

Природо- пользование

ВЫПУСК 16



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ»

Природо- пользование

Сборник научных трудов

Основан в 1996 году

Выпуск 16



МИНСК

Издатель А. Н. Вараксин

2009

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, выполняемых в рамках Государственной программы ориентированных фундаментальных исследований «Природопользование», Государственной научно-технической программы «Экологическая безопасность» и др.

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 Г. П. Бровка, д-р техн. наук
А. П. Гаврильчик, д-р геогр. наук А. А. Волчек, канд. геогр. наук О. В. Кадацкая,
д-р техн. наук С. В. Какарека, д-р геогр. наук В. Н. Киселев, академик, д-р геогр. наук
В. Ф. Логинов, академик, д-р техн. наук И. И. Лиштван, д-р техн. наук Э. И. Михневич,
канд. техн. наук Г. А. Камышенко (ответств. секретарь), д-р техн. наук Г. В. Наумова,
д-р геогр. наук И. И. Пирожник, д-р хим. наук А. И. Ратько, 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),
акад., 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

СОДЕРЖАНИЕ

I. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Струк М. И.	Концептуальное планирование экологической безопасности Беларуси	5
Логинов В. Ф., Волчек А. А., Шпока И. Н.	Пространственно-временные изменения повторяемости туманов на территории Беларуси и их причины	13
Какарека С. В., Мальчихина А. В.	Прогноз выбросов загрязняющих веществ до 2020 г. на территории Беларуси	23
Какарека С. В., Белькович О. Е., Хамицевич А. В.	Многолетняя динамика и тренды атмосферных выпадений серы и азота на урбанизированных территориях Беларуси	30
Санец Е. В., Овчарова Е. П., Белькович О. Е.	Химический состав атмосферных осадков и поверхностного стока в Минске	39
Кадацкая О. В., Санец Е. В., Селицкая В. В., Русая И. В.	Содержание минерального фосфора в речных водах бассейна Днепра: пространственно-временной анализ	49
Лукашев О. В., Жуковская Н. В., Лукашева Н. Г., Савченко С. В.	Фоновое содержание химических элементов в почвах и растительности особо охраняемых природных территорий Белорусского Поозерья	57
Матвеев А. В., Бордон В. Е.	Влияние геохимических аномалий в зонах разломов на заболеваемость населения	64
Хомич В. С., Кухарчик Т. И., Какарека С. В., Городецкий Д. Ю., Парфенов В. В., Рыжиков В. А., Савченко С. В., Самсоненко И. П.	Особенности загрязнения почв в различных функционально-планировочных зонах Минска	71
Тановицкая Н. И., Бамбалов Н. Н.	Современное состояние и использование болот и торфяных месторождений Беларуси	82
Ракович В. А.	Количественная оценка аккумуляции углерода на естественных болотах различного генезиса	89
Ракович В. А.	Количественная оценка ежегодного поступления диоксида углерода в воду естественных болот	96
Курзо Б. В.	Особенности формирования сапропеля на западе Полесья	100
Кравчук Л. А.	Подходы к оценке рекреационного потенциала ландшафтно-рекреационного комплекса в городах Беларуси	105
Сидорович Е. А., Арабей Н. М., Яковлев А. П., Булавко Г. И.	Оценка состояния и продуктивности надземной фитомассы еловых древостоев, произрастающих вокруг Минска	113
Коляда В. В., Шубская Ю. А.	Структурно-функциональные изменения агроценозов Беларуси в условиях потепления климата	122
Камышенко Г. А.	Расчет урожайности озимых зерновых культур Беларуси	132
Бровка Ю. А.	Недоборы урожаев сельскохозяйственных культур и их климатическая обусловленность	141
Тышкевич В. Е.	Опыт организации мероприятий по снижению ущерба агроценозам со стороны диких копытных (<i>Artiodactyla</i>) с помощью биотехнических мероприятий и расчет затрат на их проведение	149
Лис Л. С.	Анализ экологического состояния территорий административных районов с использованием комплексных показателей	157

Логинов В. Ф., Волчек А. А., Микуцкий В. С., Шешко Н. Н., Шубская Ю. А.	Полугодовая океаническая модуляция величины трендов температуры в период последнего потепления климата	165
II. БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ		
Лиштван И. И., Фалюшин П. Л., Братишко Р. Ф., Кожурин В. Н., Ануфриева Е. В.	Бурые угли как сырье для производства горючих газов	174
Фалюшин П. Л., Крайко В. М., Коврик С. И., Ануфриева Е. В., Кожурин В. Н., Смолячкова Е. А.	Влияние условий пиролиза сланцев на выход и состав горючих газов.	181
Бровка Г. П., Иванов С. Н., Ивашкевич И. И., Дорожок И. Н.	Физико-математические принципы информационно-моделирующей системы тепло- и массообмена в природных территориальных комплексах с неоднородным рельефом на примере территории Краснобородского рудника ПО «Беларуськалий»	186
Бровка Г. П., Иванов С. Н.	Компьютерный расчет промораживания горных пород при проходке шахтных стволов в сложных гидрогеологических условиях	197
Лис Л. С., Царюк Т. Я., Шапорева Л. Д., Фалюшина И. П.	О методе экспрессной оценки защитных свойств консервационных масел	202
Бамбалов Н. Н., Самокар О. М.	Взаимодействие гуминовых веществ и продуктов их деструкции с ионами меди	207
Кашинская Т. Я., Гаврильчик А. П., Шевченко Н. В.	Превращения гуминовых и фульвокислот в природных окислительных условиях	212
Марыганова В. В., Шайдак Л., Тычинская Л. Ю.	Особенности молекулярной структуры гуминовых кислот почв под лесополосами различного возраста в агроландшафте	222
Зайцева Т. Л.	Выделение и характеристика эфирного масла из торфа и растений-торфообразователей	227
Хрипович А. А., Томсон А. Э., Сосновская Н. Е., Соколова Т. В., Стригуцкий В. П., Пармон В. С., Пехтерева В. С.	Взаимосвязь содержания некоторых биологически активных соединений с видовым составом и степенью разложения верхового торфа.	230
Заяц В. Н., Кветковская А. В., Надаринская М. А., Галушко О. Г., Наумова Г. В., Томсон А. Э., Макарова Н. Л., Овчинникова Т. Ф.	Новая кормовая добавка на основе торфа и эффективность ее применения в животноводстве	236
Ефимов В. Г., Томсон А. Э., Наумова Г. В., Жмакова Н. А.	Влияние гидрогумата и микроэлементов на показатели обмена веществ и продуктивность телят	241

ХРОНИКА

Хомич В. С., Камышенко Г. А.	Григорий Иванович Сачок (к 70-летию со дня рождения)	244
Логинов В. Ф., Хомич В. С.	Глобальные и региональные угрозы и риски устойчивого развития стран и регионов СНГ	246
Тановицкая Н. И.	Международный семинар по проблемам восстановления болот в бассейнах реки Жаоян, озера Лотоса и реки Ляохе Китайской Народной Республики	251

РЕЦЕНЗИИ

Кухарчик Т. И.	О книге С. В. Какарека «Трансграничное загрязнение атмосферного воздуха и его регулирование»	252
-----------------------	--	-----

I. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 504.06(476)

М. И. Струк

КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БЕЛАРУСИ

Представлены концептуальные положения планирования экологической безопасности Беларуси применительно к нынешнему этапу развития страны. Даны краткая оценка современного состояния экологической безопасности, сформулированы интересы в данной области, указаны основные факторы, создающие предпосылки обеспечения экологической безопасности, а также угрожающие ей; предложены основные направления деятельности по их устранению.

Планирование является эффективным управлением инструментом, который применяется в различных сферах человеческой деятельности. К числу важнейших из них относится сфера экологической безопасности.

Начало целенаправленному планированию в области экологической безопасности на государственном уровне было положено в 70-е годы XX в., когда в мировом сообществе произошло осознание глобального характера изменений биосферы под влиянием антропогенных воздействий. В силу взаимосвязи и взаимозависимости процессов, происходящих в биосфере, экологические проблемы по своей сути являются транснациональными. Поэтому с течением времени в выработке подходов к их решению все более значительную роль стали играть международные органы, в частности, действующие под эгидой ООН. Наиболее весомым результатом выполненных ими разработок стала концепция устойчивого развития, в которой в равной степени учитываются социально-экономические нужды человечества и способность ресурсов и экосистем планеты удовлетворять его нынешние и будущие потребности [13]. Эта концепция была принята на Конференции ООН по окружающей среде и развитию, которая состоялась в 1992 г. в Рио-де-Жанейро. Фактически она представляет собой наиболее высокий (глобальный) уровень стратегического экологического планирования. В ней обозначены основные пути перехода человеческой цивилизации к устойчивому развитию [15].

Вместе с тем практическое внедрение идей устойчивого развития возможно только на уровне отдельных государств. Одним из основных каналов подобного внедрения выступает планирование, в первую очередь стратегическое. В Бела-

руси стратегическое экологическое планирование (прогнозирование) осуществляется в рамках разработки таких документов, как Концепция национальной безопасности страны, а также Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития. Для того чтобы эти документы сохраняли свое конструктивное значение, они должны периодически обновляться, поскольку меняется ситуация, какие-то проблемы теряют свое значение, другие, наоборот, становятся более весомыми.

В настоящее время в Беларуси действует Концепция национальной безопасности, утвержденная в 2001 г. [3]. Представленная в ней экологическая составляющая отражает те взгляды на данную проблему и пути ее решения, которые сложились к началу 2000-х годов. Однако за время, прошедшее с момента принятия Концепции, произошли существенные изменения в социально-экономическом развитии и экологическом планировании. В экономике на смену этапу преодоления кризиса 1990-х годов пришел этап последовательного роста, который со второй половины 2008 г. прерывается новым кризисом.

В самом экологическом планировании за период с 2001 г. произошло обновление соответствующих документов стратегического и среднесрочного назначения. В частности, в 2004 г. разработана новая Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития страны на период до 2020 г. В 2006 г. приняты новые Национальные планы действий по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды [9], а также по гигиене окружающей среды [8]. В 2004 г. утверждена Концепция совершенствования государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвы-

чайных ситуаций и гражданской обороны на 2004–2007 гг. [6].

В аналогичном развитии нуждается и экологическая составляющая Концепции национальной безопасности. Чтобы она сохранила функцию документа, задающего стратегические ориентиры в данной сфере, ее следует усовершенствовать и адаптировать к современным и перспективным потребностям общества и государства.

Статья посвящена обоснованию концептуальных положений экологической безопасности Беларуси, актуальных для нынешнего этапа развития страны. Фактическую основу исследования составили материалы национального законодательства по экологической безопасности, Национальной стратегии устойчивого развития, Национальных планов по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды, а также гигиене окружающей среды, образов национального природоохранного законодательства [11] и экологической деятельности государства [10]. Кроме этого, учитывался опыт разработки подобного рода документов в Российской Федерации [5], Украине [4], Казахстане [2].

В концептуальные положения экологической безопасности включено пять составных частей: оценка состояния экологической безопасности, формулировка жизненно важных интересов в данной области, изложение основных факторов, создающих, с одной стороны, предпосылки обеспечения экологической безопасности, с другой – угрозы для нее, а также основные направления обеспечения экологической безопасности. Подобная структура несколько шире экологического раздела в действующей Концепции национальной безопасности за счет дополнительно включенного подраздела, отражающего предпосылки обеспечения экологической безопасности.

Состояние экологической безопасности. Экологическая безопасность определяется как состояние защищенности окружающей среды, жизни и здоровья граждан от возможного вредного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [1]. Ее обеспечение является обязательным условием устойчивого развития и призвано реализовать конституционное право граждан на благоприятную окружающую среду.

За 90-е годы XX в. в Беларуси отмечено снижение нагрузок на окружающую среду. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу уменьшились в 2,5 раза, сброс сточных вод в поверхностные водоемы – почти в 2 раза. В структуре земельного фонда увеличилась доля природных угодий, которые составили 2/3 его площади. На протяжении 2000-х годов экологическая ситуация в стране оставалась относительно ста-

бильной в условиях высоких темпов экономического роста.

Достигнутая к настоящему времени в Беларуси степень защищенности населения и окружающей среды от техногенных и природных воздействий в целом является приемлемой для нынешнего этапа социально-экономического развития. Состояние окружающей среды в местах проживания людей не вызывает недопустимого риска для их здоровья; эксплуатация природно-ресурсного потенциала не сопровождается необратимыми нарушениями экологического равновесия и снижением биологического разнообразия.

Вместе с тем современный уровень экологической безопасности в стране не соответствует требованиям устойчивого развития. Имеют место экологические проблемные ситуации, которые выражаются в загрязнении окружающей среды, истощении природных ресурсов, возникновении техногенных аварий и природных бедствий. Их источники связаны с текущим функционированием народнохозяйственного комплекса страны, внешними воздействиями, наличием изначально присущих природной среде неблагоприятных для человека состояний, а также проблемами, которые не были решены в прошлом.

Потенциальную угрозу экологической безопасности Беларуси представляют такие факторы, как высокий общий уровень индустриального развития страны с большой долей химической промышленности, разветвленная сеть магистральных нефтепроводов, газопроводов и продуктопроводов, интенсивное сельское хозяйство, ограниченное использование природозащитных и ресурсосберегающих технологий, повышенный уровень износа основных производственных средств, наличие обширной зоны радиоактивного загрязнения, недостаточное развитие правовых и экономических механизмов экологического регулирования природопользования, недостаточно сформированное экологическое сознание у населения.

Развернутый анализ экологических проблем Беларуси приводится в ежегодно издаваемом Институтом природопользования НАН Беларуси совместно с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь экологическом бюллетене [14]. В настоящей статье излагается только их суть.

Наиболее масштабной по площади распространения является проблема радиоактивного загрязнения территории, которое охватывает пятую часть страны. В пределах зоны радиоактивного загрязнения проживает 1,3 млн человек.

В атмосферном воздухе городов – промышленных центров сохраняются стабильно высокие концентрации формальдегида. Периодически превышаются допустимые уровни содержания иных загрязняющих веществ – тонкодис-

персных взвешенных частиц, оксида углерода, диоксида азота, сероводорода, фенола, аммиака. Население подвергается также воздействию физических факторов – шума, вибрации, электромагнитных излучений.

Почти половина подземных вод характеризуется повышенным содержанием железа, обусловленным естественными литогеохимическими условиями залегания водоносных горизонтов. Более 40 % колодцев (а по другим данным – до 80 % [12]) отличаются нитратным, а 16 % – микробиологическим загрязнением.

В поверхностных водах регулярно фиксируются случаи превышения предельно допустимых концентраций соединений азота, тяжелых металлов, фенолов, нефтепродуктов. Содержание фосфатов находится на уровне, способствующем эвтрофированию водоемов.

В почвах городов, придорожных полос, вокруг полигонов складирования отходов, на сельскохозяйственных землях, расположенных вблизи источников выпадений загрязняющих веществ, отмечается высокое содержание тяжелых металлов, нефтепродуктов, нитратов, сульфатов, хлоридов и других вредных веществ. Десятая часть пахотных почв подвержена эрозии. На 28 % торфяных почв из-за их использования под пашню происходит минерализация органического вещества.

Развитие промышленности сопровождается высокими темпами образования отходов производства, в т. ч. токсичных. Уровень их переработки и утилизации не соответствует росту образования, вследствие чего увеличиваются объемы накопления отходов.

Места хранения отработанных и непригодных к использованию пестицидов, отдельные химические производства, а также силовое электрооборудование создают опасность загрязнения окружающей среды стойкими органическими загрязнителями.

Участившиеся в последние годы неблагоприятные погодные и климатические явления, особенно засухи и заморозки, вызывают недоборы урожаев, повышают пожарную опасность, служат причиной гибели лесов, особенно еловых.

Интересы в области экологической безопасности. Формулировка интересов в области экологической безопасности вытекает из определения данного понятия. В самом общем виде эти интересы будут заключаться в обеспечении защищенности населения и окружающей среды от неблагоприятных воздействий, сопровождающих процесс природопользования, а также от опасных природных явлений. В развернутом виде они могут быть соотнесены с защищенностью от конкретных видов угроз, связанных с загрязнением окружающей среды, истощением природных ресурсов, снижением биологического и ландшафтного разнообразия, техногенными авариями и природными бед-

ствиями. В перечень указанных интересов включено шесть их наименований.

1. *Оздоровление окружающей среды, обеспечение экологически благоприятных условий жизни, отдыха и трудовой деятельности людей.*

Интерес отражает конституционное право граждан на благоприятную окружающую среду. Его реализация призвана содействовать улучшению здоровья населения, минимизации экологически обусловленных заболеваний.

Использование понятия «оздоровление окружающей среды» ориентирует на проведение активной деятельности по устранению случаев ее загрязнения. Несмотря на достигнутое в 1990-е годы улучшение качества окружающей среды, подобного рода деятельность сохраняет актуальность, поскольку продолжается рост общей и хронической заболеваемости населения, обусловленной действием факторов среды обитания, отсутствуют положительные тенденции в изменении продолжительности активной жизни населения [8].

2. *Устойчивое природно-ресурсное обеспечение социально-экономического развития страны для удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений людей путем рационального использования природно-ресурсного потенциала (неистощительное использование возобновимых ресурсов – водных, биологических; комплексное, бережное использование невозобновимых ресурсов – полезных ископаемых, земельных; последовательное расширение использования вторичных ресурсов, а также источников энергии и материалов, заменяющих невозобновимые ресурсы).*

Данный интерес соответствует современному вектору социально-экономического развития страны, суть которого заключается в переходе на модель устойчивого развития. Тем самым задачи экологической безопасности увязываются со стратегическими задачами социально-экономического развития, которое возможно только при условии стабильного природно-ресурсного обеспечения.

3. *Сохранение биологического и ландшафтного разнообразия, сохранение природных систем в состоянии, обеспечивающем поддержание экологического равновесия.*

Интерес отражает одно из приоритетных направлений экологической безопасности, связанное с сохранением биологического и ландшафтного разнообразия и поддержанием экологического равновесия. Хотя это направление и не касается непосредственно удовлетворения каких-то потребностей людей, однако оно выступает как обязательное условие их нормального существования, поскольку обеспечивает наиболее приемлемые для человека свойства природной среды обитания.

4. Преодоление негативных последствий радиоактивного загрязнения территории страны и иных унаследованных проблем, создающих угрозу экологической безопасности; реабилитация экологически нарушенных территорий.

Если три предыдущих интереса являются универсальными, присущими практически любой стране мира, то данный интерес показывает специфику экологической ситуации в Беларуси, связанную с наличием обширной зоны радиоактивного загрязнения. Кроме того, в нем представлена необходимость решения иных проблемных ситуаций по устранению загрязнения окружающей среды и восстановлению потенциала деградированных экосистем.

5. Создание условий безопасного проживания населения и защиты территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Согласно современным представлениям, обеспечение полной безопасности людей в связи с чрезвычайными ситуациями неосуществимо, поэтому суть интереса будет заключаться в достижении максимально возможного ее уровня. Этот уровень должен устанавливаться, исходя из принципа приемлемого риска.

6. Содействие поддержанию глобального и регионального экологического равновесия, решению глобальных и региональных экологических проблем.

Территория Беларуси, как и любого иного государства, является частью земной биосфера. Поэтому все страны должны участвовать в выполнении внешних экологических функций по сохранению устойчивости биосферы в целом и ее отдельных составных частей. Применительно к Беларуси такое участие в действительности имеет место и постоянно расширяется. Страна является участницей ряда международных и двусторонних соглашений экологической направленности. Поэтому формулировка приведенного интереса не только означает потребность в поддержании глобального и регионального экологического равновесия, но и отражает реально реализуемые действия в этой области.

Основные факторы, создающие предпосылки обеспечения экологической безопасности. При выборе мер по обеспечению экологической безопасности важно иметь представление не только об угрозах для нее, но и о факторах, способствующих их снижению. Для Беларуси выделены следующие факторы:

1. Экологически благоприятная структура земельного фонда страны, две трети которого составляют природные угодья (леса, луга, болота, водные объекты), продолжающееся увеличение доли этих угодий, что обеспечивает сохранение природного равновесия, воспроизводство биологических и водных ресурсов.

2. Наличие в составе природных угодий крупных лесных и болотных массивов, имеющих не только национальное, но и общеевропейское значение для сохранения биологического и ландшафтного разнообразия.

3. Относительно невысокая и продолжающая снижаться плотность населения, что создает предпосылки для уменьшения связанных с жизнедеятельностью людей нагрузок на окружающую среду.

4. Высокая обеспеченность территории страны водными, лесными и иными возобновляемыми ресурсами, создающая условия для их использования без истощения.

5. Планируемый перевод национальной экономики на экологически благоприятный инновационный путь развития, что будет способствовать снижению воздействий на окружающую среду.

6. Наличие в стране системы управления экологической безопасностью – организационной (нормативно-законодательная база) и управлений инфраструктур, систем мониторинга, подготовки кадров, образования, научного обеспечения, информирования населения в области экологической безопасности.

Основные факторы, создающие угрозы экологической безопасности. Совокупность факторов, создающих угрозы экологической безопасности, можно представить в систематизированном виде. Для их группировки целесообразно использовать два критерия – местоположение источников угроз и вид самих угроз.

По первому из названных критериев факторы делятся на две группы: внешние, источники которых располагаются за пределами страны, и внутренние, вызванные источниками внутри страны; по второму критерию – на четыре группы, включая факторы загрязнения окружающей среды, источники природно-ресурсного потенциала, снижения биологического и ландшафтного разнообразия, техногенных аварий и природных бедствий. В качестве самостоятельной группы следует выделить субъективные факторы, которые могут стимулировать угрозы любого вида.

1. Внешние факторы:

- глобальное потепление климата, вызывающее на территории Беларуси повышение частоты опасных погодных и климатических явлений (засух, заморозков, аномально теплых и аномально суровых зим), гибель еловых лесов, вытеснение ценных холодолюбивых видов животных и растений теплолюбивыми;

- опасность разрушения стратосферного озонового слоя, способного привести к усилению вредного для здоровья людей ультрафиолетового излучения; рост приземного содержания озона за счет антропогенных факторов, вызывающий снижение накопления об-

щей биомассы растений и урожайности сельскохозяйственных культур;

- трансграничный перенос на территорию Беларуси загрязняющих веществ воздушными и водными потоками;

- возникновение эпидемий в популяциях диких животных в странах, связанных с Беларусью миграционными потоками, что может вызвать массовое заражение животных и заболеваний у людей;

- поступление на территорию Беларуси генетически модифицированных продуктов;

- размещение атомных электростанций и иных опасных объектов на сопредельных с Беларусью территориях.

2. Факторы загрязнения окружающей среды:

- масштабное радиоактивное загрязнение территории страны; повышение активности особо опасного трансуранового элемента – америция-241 в зоне отчуждения;

- наличие территорий с высокими уровнями химического и биологического загрязнения почв, вод, растительности;

- повышенные уровни выбросов и сбросов загрязняющих веществ, а также образования отходов вследствие высокой удельной материалоемкости и энергоемкости производства, высокого удельного водопотребления в жилищно-коммунальном хозяйстве, высоких удельных выбросов на транспорте;

- незавершенность в производственном комплексе страны технологических циклов по полной переработке сырья, приводящая к образованию больших объемов отходов; недостаточное развитие экологоориентированной индустрии, связанной с переработкой накаплившихся отходов, в первую очередь токсичных;

- использование оборудования и материалов, содержащих опасные вещества;

- интенсификация сельского хозяйства с повышением использования удобрений, средств защиты растений, концентраций животноводства на крупных комплексах; рост автомобилизации населения; увеличение использования местных видов топлива – торфа, бурых углей, растительных отходов, в перспективе горючих сланцев;

- размещение жилой застройки в санитарно-защитных зонах предприятий, а также вблизи источников вредных физических воздействий – шума, вибраций, электромагнитного и ионизирующего излучения.

3. Факторы истощения природно-ресурсного потенциала:

- использование экологически несовместимых технологий природопользования в сельском и лесном хозяйстве, приводящее к эрозии и деградации почв, нарушению экологических функций лесов в местах лесозаготовок;

- ухудшение в отдельных районах агрехимических и агрофизических свойств почв сельскохозяйственных земель, наличие угодий с отрицательным балансом основных питательных веществ;

- наличие на территории страны районов с пониженной экологической емкостью природной среды из-за высокого уровня их мелиоративного освоения, а также низкой лесистости;

4. Факторы снижения биологического разнообразия:

- трансформация местообитаний редких и исчезающих видов животных и растений под влиянием хозяйственной деятельности и климатических изменений, фрагментация естественных экосистем;

5. Факторы техногенных аварий и природных бедствий:

- высокая концентрация на территории Беларуси опасных объектов (химических предприятий, нефтепроводов, газопроводов, продуктопроводов, захоронений высокотоксичных и радиоактивных отходов и др.), их размещение вблизи жилых зон и систем жизнеобеспечения; повышенная степень износа основных производственных средств этих объектов;

- планируемое строительство атомной станции как потенциально опасного объекта;

- распространение на территории страны опасных природных явлений (метеорологических, гидрологических, геологических, биологических), способных вызывать стихийные бедствия – засухи, заморозки, ураганы, пожары в лесах и на торфяниках, наводнения, землетрясения, эпидемии и др.

6. Субъективные факторы:

- недостаточное развитие правовой базы, экономических механизмов обеспечения экологической безопасности, систем учета природных ресурсов и контроля качества среды;

- низкий уровень экологической культуры; преобладание у значительной части населения потребительской психологии по отношению к природе.

Основные направления обеспечения экологической безопасности. Пути обеспечения экологической безопасности связаны с устранением или минимизацией влияния совокупности угроз. Их можно группировать по тем же критериям, что и угрозы. При этом существенное значение, очевидно, должны получить направления деятельности, связанные с совершенствованием системы управления экологической безопасностью.

1. Снижение загрязнения окружающей среды:

- уменьшение загрязняющих воздействий на окружающую среду путем технологического обновления производственного комплекса и

автоматического парка, снижения степени износа основных промышленно-производственных средств, разработка и внедрение новых экологически безопасных технологий и техники в промышленности, энергетике, сельском хозяйстве, на транспорте; экологическая сертификация предприятий и выпускаемой продукции;

- разработка и использование безопасных заменителей химически опасных веществ, а также вещества, разрушающих озоновый слой;

• снижение загрязнения окружающей среды, формирование благоприятной эстетической среды в городах, населенных пунктах и местах отдыха населения; повсеместный перевод питьевого водоснабжения на подземные источники, уменьшение содержания в водах железа и нитратов;

- обеспечение безопасности проживания населения в зоне радиоактивного загрязнения; реабилитация иных загрязненных территорий.

2. Оптимизация использования природно-ресурсного потенциала:

• внедрение экологически оптимальных технологий использования природно-ресурсного потенциала (минерально-сырьевых, земельных, водных, лесных и иных растительных ресурсов, а также ресурсов животного мира), обеспечивающих неистощительное воспроизведение возобновляемых, комплексное бережное – невозобновляемых ресурсов; восстановление потенциала деградированных экосистем;

• последовательное расширение использования вторичных ресурсов, а также источников энергии и материалов, заменяющих невозобновляемые ресурсы; сокращение образования отходов, их безопасное удаление, хранение и переработка;

• адаптация отраслей народного хозяйства к изменениям климата, усиление связанных с ними положительных и минимизация отрицательных последствий.

3. Сохранение биологического и ландшафтного разнообразия, природного равновесия:

• формирование оптимальной по составу и площади системы особо охраняемых природных территорий; обеспечение сочетания в их пределах функций охраны ценных экосистем, объектов и биологических видов с развитием экологического туризма; создание национальной экологической сети, интегрированной в общеевропейскую экологическую сеть;

• совершенствование пространственной структуры природопользования с учетом экологической емкости природной среды, создание необходимых элементов экологической инфраструктуры.

4. Предотвращение техногенных катастроф и природных бедствий:

- совершенствование Государственной системы предупреждения чрезвычайных ситуаций и ликвидации их последствий; создание высокоеффективной единой системы защиты населения и территории от чрезвычайных ситуаций, обеспечивающей необходимый уровень безопасности и устойчивое функционирование народнохозяйственных объектов;

- создание системы радиационной безопасности в связи с развитием в стране ядерной энергетики;

- повышение аварийной защищенности экологически опасных объектов, в первую очередь за счет внедрения средств автоматики и автоматизированных систем, сводящих к минимуму роль человеческого фактора в возникновении аварий;

- совершенствование системы прогнозирования опасных природных явлений метеорологического, гидрологического, геологического и биологического характера.

5. Совершенствование системы мониторинга окружающей среды, оценки ее качества и учета природных ресурсов:

- развитие Национальной системы мониторинга окружающей среды, получение адекватной информации о ее состоянии и прогнозе изменения;

- совершенствование системы оценки качества окружающей среды и нормирования воздействий на нее; обеспечение ее согласования с международными стандартами;

- совершенствование системы учета природных ресурсов, ведение государственных кадастров природных ресурсов.

6. Совершенствование системы управления экологической безопасностью:

- обеспечение эффективной координации и взаимодействия различных органов и элементов в системе экологической безопасности;

- формирование действенного экономического механизма обеспечения экологической безопасности; стимулирование ресурсосбережения, комплексности использования природных ресурсов, внедрения малоотходных технологий, расширения переработки отходов, снижения загрязняющих воздействий на окружающую среду;

- совершенствование системы платежей за пользование природными ресурсами и возмещение ущерба, причиненного окружающей среде; доведение их ставок до уровня, обеспечивающего полную компенсацию ущерба (реализация принципа «загрязнитель платит»);

- формирование рынка экологических услуг; внедрение экологического аудита и страхования;

- совершенствование механизмов осуществления государственной экологической экспертизы, а также экспертизы промышленной

безопасности всех программ и проектов хозяйственной и иной деятельности, оценка связанных с ними экологических рисков; переориентация политики в области экологической безопасности на принцип профилактики проблемных ситуаций вместо их устранения;

- совершенствование нормативно-правового механизма экологической безопасности, создание правовой основы, обеспечивающей укрепление экологического правопорядка, достижение реального паритета экологических интересов с экономическими и социальными, принятие рамочного законодательного акта в области экологической безопасности;

- планирование деятельности по обеспечению экологической безопасности; разработка комплексных стратегий и планов, а также целевых республиканских, отраслевых, региональных и местных программ по решению наиболее важных проблем охраны окружающей среды, рационального использования природных ресурсов, сохранения ландшафтного и биологического разнообразия, предупреждения техногенных катастроф и природных бедствий;

- обновление материально-технической базы обеспечения экологической безопасности и мониторинга окружающей среды.

7. Развитие образования, воспитания, научных исследований и международного сотрудничества в области экологической безопасности:

- развитие системы образования и подготовки кадров в области экологической безопасности; воспитание у населения экологической культуры, постоянное информирование населения о состоянии окружающей среды; вовлечение общественных объединений и граждан в решение экологических проблем;

- развитие фундаментальных и прикладных научных исследований в области экологии и безопасности жизнедеятельности; разработка научных основ и методического обеспечения экологической безопасности применительно к условиям Беларусь;

- развитие международного сотрудничества в области охраны окружающей среды и разрешения экологических проблем транснационального характера, а также предупреждения чрезвычайных ситуаций и ликвидации их последствий.

Заключение

Приведенные концептуальные положения планирования экологической безопасности уточняют и дополняют экологический раздел, содержащийся в Концепции национальной безопасности от 2001 г. Они в большей степени ориентированы на цели устойчивого развития, учитывают современную специфику экологической ситуации в стране, наличие факторов, создающих как угрозы экологической безопасности, так и предпосылки решения данной проблемы.

Предлагаемые основные направления деятельности в области экологической безопасности связаны как с совершенствованием действующей системы ее обеспечения, так и с технологической модернизацией национального производственного комплекса. При этом в условиях современного экономического кризиса приоритет, очевидно, должны иметь меры, которые не требуют больших затрат и касаются прежде всего эффективного управления в сфере экологической безопасности. По мере преодоления кризиса и последующего экономического развития должна усиливаться роль технологической составляющей в повышении уровня безопасности.

Литература

1. Закон Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» от 26 ноября 1992 г. В редакции Закона от 17 июля 2002 г. № 126-3 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. 2002. № 85.
2. Закон Республики Казахстан «О национальной безопасности Республики Казахстан» от 26 июня 1998 г. № 233-1.
3. Концепция национальной безопасности Республики Беларусь. Утверждена Указом Президента Республики Беларусь от 17.07.2001, № 390.
4. Концепция (основы государственной политики) Национальной безопасности Украины. Одобрена Постановлением Верховного Совета Украины от 16 января 1997, № 3/97-ВР.
5. Концепция национальной безопасности Российской Федерации. М., 2005.
6. Концепция совершенствования государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны на 2004–2007 годы. Утверждена Указом Президента Республики Беларусь от 09.06.2004 № 277.
7. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. / Национальная комиссия по устойчивому развитию Республики Беларусь; редкол.: Я. М. Александрович [и др.]. Мин., 2004.
8. Национальный план действий по гигиене окружающей среды Республики Беларусь на 2006–2010 годы. Министерство здравоохранения Республики Беларусь. Мин., 2006.

9. Национальный план действий по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды Республики Беларусь на 2006–2010 годы / Мин-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Мн., 2006.
10. Обзор результативности экологической деятельности. Беларусь. Второй обзор. ООН. Нью-Йорк, Женева, 2005.
11. Обзор экологического законодательства Республики Беларусь. Мн., 2003.
12. Пашкевич В. И., Коркин В. Д., Волкова Н. П. и др. Оценка уровней нитратного загрязнения подземных вод, используемых для централизованного и нецентрализованного водоснабжения // Природные ресурсы. 2003, № 3. С. 101–102.
13. Природопользование и устойчивое развитие: Мировые экосистемы и проблемы России. М., 2006.
14. Состояние природной среды Беларуси. Экологический бюллетень 2007 г. / Под общ. ред. В. Ф. Логинова. Мн., 2008.
15. Стратегия и проблемы устойчивого развития России в XXI веке / Под ред. А. Г. Гринберга, В. И. Данилова-Данильяна, М. М. Циканова, Е. С. Шопхоева. М., 2002.

M. I. Struk

КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БЕЛАРУСИ

Представлены актуальные для современного этапа развития Беларуси концептуальные положения планирования экологической безопасности. Данна оценка ее состояния, показавшая, что нынешний уровень безопасности не создает недопустимого риска для населения и окружающей среды, однако не соответствует принятой модели устойчивого развития из-за наличия значимых экологических проблем. Выделены характерные для Беларуси факторы, создающие, с одной стороны, предпосылки обеспечения экологической безопасности, с другой стороны – угрозы для нее, вызванные внешними и внутренними источниками. Предложены основные направления деятельности в области экологической безопасности, связанные как с совершенствованием действующей системы ее обеспечения, так и с технологической модернизацией национального производственного комплекса. Указано, что в условиях переживаемого экономического кризиса приоритетное значение должны получить меры, не требующие больших затрат и касающиеся эффективного управления в данной области.

M. I. Struk

CONCEPTUAL PLANNING OF BELARUS ECOLOGICAL SECURITY

Actual for today's Belarus development stage conceptual provisions of ecological security planning are presented. Its state assessment has been provided, showing that present security level does not create intolerable risk for the population and environment, yet it does not correspond to the adopted model of sustainable development due to the presence of important ecological challenges. Specific for Belarus factors have been marked, creating, from one hand, prerequisites of ecological security provision, and from the other hand, threat for it, caused by external and internal sources. Basic trends of the activity in ecological security sphere has been offered, referring both to the improvement of the present system of its provision and to technological modernization of national production complex. It has been stated that in the conditions of the existing economical crisis measures not demanding great expenses and referring to the effective management in the stated sphere should be of first priority.

В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОВТОРЯЕМОСТИ ТУМАНОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ И ИХ ПРИЧИНЫ

Рассмотрены пространственно-временные колебания числа дней с туманами на территории Беларуси за период с 1975 по 2008 г. по данным 46 метеостанций. С помощью картографических методов исследовалась пространственная структура распределения числа дней в году по территории Беларуси, а использование стандартных статистических методов позволило установить временные закономерности в формировании туманов.

Туман – скопление продуктов конденсации (капель или кристаллов или тех и других вместе), взвешенных в воздухе, непосредственно над поверхностью земли. Туман имеет место, когда горизонтальная видимость менее 1 км, в противном случае помутнение называется дымкой [4]. Если видимость 50 м и меньше продолжительность не менее 6 ч, туман считается опасным стихийным метеорологическим явлением [3].

Для туманов характерна большая изменчивость в пространстве и во времени. Она обусловлена не только общими циркуляционными и радиационными факторами, но и местными условиями конкретного района (высота места, форма рельефа, экспозиция склонов по отношению к влагонесущим потокам, наличие крупных водоемов – озер, рек и т. д.), влияние которых при образовании туманов зачастую бывает доминирующим.

Различают радиационный, адвективно-радиационный, адвективный, орографический, фронтальный туман и туман при сильных морозах, туман испарения. Наиболее типичными для территории Беларуси являются адвективные туманы, которые формируются при перемещении воздуха с более теплой подстилающей поверхности на более холодную. Широко распространены также радиационные (местные) туманы, которые возникают вследствие охлаждения воздуха на холодной подстилающей поверхности радиационным путем. Адвективные туманы более густые и продолжительные по времени, чем туманы местного образования. Местные туманы обычно рассеиваются с восходом солнца.

Туманы оказывают заметное влияние на состояние здоровья человека. В городе туманы в сочетании с повышенным уровнем загрязнения воздуха способны оказывать отрицательное воздействие на самочувствие людей, поскольку вредное влияние дымовых и газовых примесей при туманах проявляется более остро, чем при иных погодных условиях. Негативное влияние туманы оказывают и на организацию движения транспорта, особенно автомобильного, ухудшая видимость на дорогах. В то же время в сельском хозяйстве туманы могут играть позитивную роль,

ослабляя интенсивность весенних или осенних заморозков.

Несмотря на влияние туманов на различные сферы деятельности человека, пространственно-временные колебания данного явления изучены недостаточно. Со времени исследования туманов, приведенного в фундаментальной работе «Климат Беларуси» [2], прошло около 20 лет, и в ней рассмотрены только первые годы современного потепления климата.

Задача настоящего исследования – анализ статистической структуры пространственно-временных изменений количества дней с туманами на территории Беларуси с учетом современного потепления климата.

Основными исходными материалами при исследовании пространственно-временной структуры числа дней с туманами на территории Беларуси послужили среднемесячные данные Республиканского гидрометеорологического центра Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь по 46 метеостанциям за период с 1975 по 2008 г.

Пространственная изменчивость числа дней с туманами на территории Беларуси оценивалась путем их картирования. Временные ряды количества дней в году с туманами исследовались с помощью стандартных статистических методов. Тенденции в изменениях дней с туманами оценивались с помощью линейных и криволинейных трендов.

Факторы, влияющие на формирование числа дней с туманами, можно условно разделить на две группы. К первой группе относятся региональные факторы, ко второй – локальные. Тогда число дней с туманом можно представить как:

$$N(t) = N_p(t) \pm \Delta N_l(t), \quad (1)$$

где $N(t)$ – количество дней с туманом в расчетном календарном году; $N_p(t)$ – число дней с туманом, вызванном региональными факторами, в том же году; $\pm \Delta N_l(t)$ – число дней с туманом, вызванным локальными факторами.

Влияние региональных факторов на формирование числа дней с туманом с достаточной для практических расчетов точностью можно описать с помощью линейных или полиномиальных трендов:

$$N_p(t) = N_p(0) \pm \Delta N \cdot t; \quad (2)$$

$$N_p(t) = \alpha \cdot t^2 + \beta \cdot t + \gamma, \quad (3)$$

где $N_p(0)$ – число дней с туманом на начало расчетного периода; ΔN – скорость изменения числа дней с туманом, дн/год; α, β, γ – эмпирические коэффициенты; t – календарный год.

Скорость изменения количества дней с туманом определяется как первая производная функции изменения числа дней с туманом. Для уравнения (2) скорость изменения числа дней с туманом является величиной постоянной и равна коэффициенту регрессии. При описании динамики колебаний числа дней с туманом уравнениями, отличными от линейных, скорость изменения количества дней с туманом является величиной переменной и в нашем случае имеет вид:

$$\Delta N(t) = 2 \cdot \alpha \cdot t \pm \beta. \quad (4)$$

Уравнения (2, 3) описывают фоновую составляющую формирования числа дней с туманом, а разность между фактическим количеством таких дней и фоновой составит отклонения, которые определяются в основном колебаниями погодных условий и изменением локальных факторов.

Динамика локальной составляющей формирования числа дней с туманом может быть представлена в виде аддитивной функции:

$$\Delta N_u(t) = N_u(t) \pm N_\eta(t), \quad (5)$$

где $N_u(t)$ – детерминированная функция; $N_\eta(t)$ – случайная составляющая.

Функцию $N_u(t)$ часто удается подобрать так, что процесс $N_\eta(t)$ оказывается значительно более простым, чем $\Delta N_u(t)$, и тогда решение задач, связанных с этими процессами, существенно упрощается.

Для стационарных процессов практический интерес представляет выявление закономерностей в динамике формирования числа дней с туманом: плавного возрастания или убывания (монотонный тренд), периодических изменений (циклический тренд), постоянства в течение каких-то периодов времени и резкого изменения при переходе от одного отрезка к другому (ступенчатый тренд). Все эти ситуации могут быть описаны полиномиальной аппроксимацией тренда вида [4]:

$$N_u(t) = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i \cdot \varphi_i(t), \quad (6)$$

где $\varphi_1(t) \dots \varphi_k(t)$ – заданные функции времени; $a_0 \dots a_k$ – коэффициенты регрессии.

Функции времени могут быть либо линейными, степенными, показательными или логарифмическими при монотонном тренде, либо тригонометрическими при циклическом и кусочно-постоянными при ступенчатом тренде. Во всех этих случаях параметры $a_0 \dots a_k$ оцениваются по имеющемуся ряду наблюдений $N_1 \dots N_n$.

Вклад случайной составляющей в динамику формирования числа дней с туманом можно определить как:

$$N_\eta(P\%) = \bar{N}_\eta(\Phi_{P\%} \cdot C_v + 1), \quad (7)$$

где \bar{N}_η – среднее значение случайной составляющей испарения с водной поверхности, мм; $\Phi_{P\%}$ – число Фостера расчетной обеспеченности $P\%$; C_v – коэффициент вариации.

Используя стандартные статистические методы, находят значения средней величины случайной составляющей (\bar{N}_η), коэффициенты вариации (C_v) и асимметрии (C_s). По найденным параметрам строят теоретическую кривую обеспеченности. По таблице случайных чисел путем розыгрыша моделируются значения обеспеченности (P_i). Таким образом, имея некоторый ограниченный объем информации, можно получить при принятом законе распределения временного ряд числа дней с туманом практически неограниченной длины.

При статистическом анализе временных рядов для оценки различий в статистических параметрах использовался критерий Стьюдента и критерий Фишера:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{n_x \cdot \hat{\sigma}_x^2 + n_y \cdot \hat{\sigma}_y^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_x \cdot n_y \cdot (n_x + n_y - 2)}{n_x + n_y}}; \quad (8)$$

$$F = \frac{\hat{\sigma}_x^2}{\hat{\sigma}_y^2}; \quad (9)$$

где \bar{x}, \bar{y} – выборочные средние; $\hat{\sigma}_x^2$ и $\hat{\sigma}_y^2$ – выборочные дисперсии; n_x и n_y – объемы выборок.

Полученное значение t – критерия Стьюдента и F – критерия Фишера сравнивалось с их критическим значением при заданном уровне значимости $\alpha = 5\%$. Если $t > t_\alpha$, принимается гипотеза статистического различия двух выборочных средних, а при $F > F_\alpha$ принимается гипотеза статистического различия в колебаниях рассматриваемых рядов.

Туманы возникают как при положительных, так и при отрицательных температурах воздуха. Примерно в 80 % случаев туманы наблюдаются

при малых скоростях ветра ($0,2 \text{ м/с}$) и только в 10 % – при более высоких. Причем радиационным туманам сопутствуют слабые ветры и штили, адвективным – ветры большей силы [4].

Количество дней с туманом, приходящихся на одну метеостанцию на территории Беларуси, обусловленное региональными факторами аппроксимировано уравнением

$$N_p(t) = 0,0576 \cdot t^2 - 2,4616 \cdot t + 63,078; \\ (r = 0,68), \quad (10)$$

где t – номер календарного года начиная с 1975, т. е. $t_{1975} = 1$.

Скорость изменения количества дней с туманом определяется уравнением:

$$\Delta N(t) = 0,1152 \cdot t - 2,5. \quad (11)$$

Локальная составляющая количества дней с туманом, приходящихся на одну метеостанцию, определялась как

$$\Delta N_{\alpha}(t) = N(t) - N_{\alpha}(t). \quad (12)$$

Среднее число дней с туманом за год на территории Беларуси составляет около 40 и колеблется от 30 до 75, возрастая от низин к возвышенностям в результате подъема влажных воздушных масс по наветренным склонам и их трансформации; кроме того, отмечается увеличение количества дней с туманами вблизи водных объектов (рис. 1).

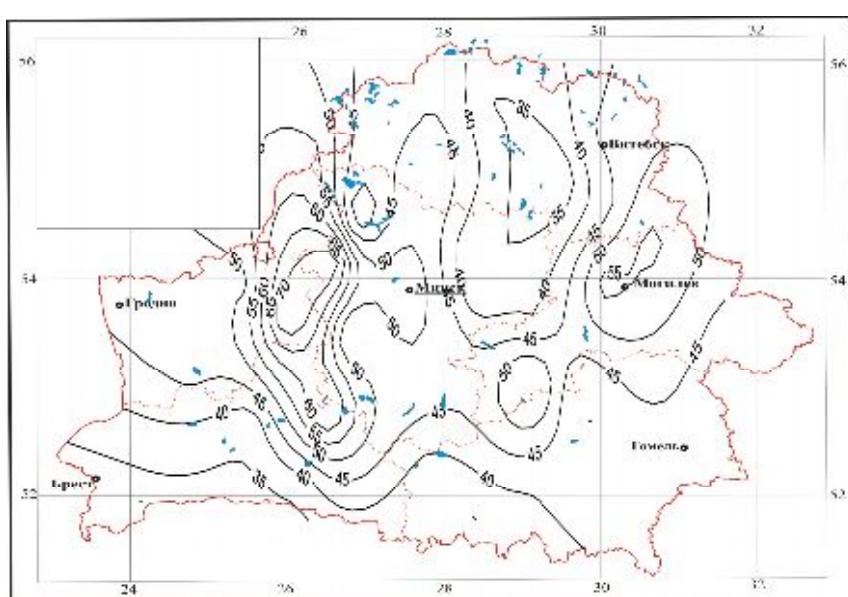


Рис. 1. Пространственное распределение среднегодового количества дней с туманами на территории Беларуси

Минимальное количество дней с туманами формируется на юго-западе (Брестском Полесье) и северо-востоке (Полоцкая низменность) и колеблется от 30 до 40 дней. Наибольшее число дней с туманами наблюдается на северо-западе страны на Ошмянской, Новогрудской и Минской возвышенностях и достигает 60–75 дней.

Помимо естественных условий существенное влияние на формирование туманов оказывают урбанизированные территории, особенно большие города. Дело в том, что туман возникает тогда, когда у земной поверхности создаются благоприятные условия для конденсации водяного пара. Нужные для этого ядра конденсации существуют в воздухе всегда. В больших промышленных центрах содержание в воздухе ядер конденсации, притом крупных, резко повышенено, что должно увеличивать повторяемость и плотность туманов в больших городах. Однако в большом городе число туманов может уменьшаться по

сравнению с окрестными населенными пунктами, поскольку в городе температура выше и для достижения состояния влагонасыщения и образования тумана требуется больше водяного пара. Число же ядер конденсации в атмосфере урбанизированных территорий всегда достаточное. Повышение температуры в большом городе даже на $0,5^{\circ}\text{C}$ по сравнению с окрестностями будет приводить к рассеиванию туманов.

Влияние широты на распределение туманов незначительно, более заметны долготные особенности. Как правило, туманы простираются вдоль возвышенных форм рельефа на западе – Ошмянская, Новогрудская возвышенности; в центре Минская возвышенность, на востоке – Оршанская, Витебская, Горецко-Мстиславская возвышенности.

Как известно, на территории Беларуси, начиная с 1988 г., наблюдается рост среднегодовой температуры воздуха. Для оценки влияния потепления на количество дней с

туманом исходный временной ряд разбит на два периода: с 1975 по 1987 г. и с 1988 по 2008 г. Для этих периодов определялись средние значения числа дней в году с туманом и сравнивалось их различие с помощью *t*-критерия Стьюдента. Как показал анализ, среднее количество дней с туманом, приходящее на одну метеостанцию до 1988 г., составило 51,3, что статистически значимо отличается по сравнению со вторым периодом, где эта величина составила 41,7. Анализ различий в числе дней с туманом выявил, что для большинства метеостанций произошло су-

щественное уменьшение для рассматриваемых периодов (табл. 1). Значительные изменения в уменьшении количества дней с туманами наблюдаются по метеостанциям Вилейка, Ошмяны, Новогрудок, Могилев, Жлобин. Так, на метеостанции Ошмяны за период 1975–1987 гг. отмечалось 71,7 дня с туманом, а в 1988–2008 гг. – 48,1 дня, на метеостанции Новогрудок – 88,6 и 66,0 дней соответственно, на метеостанции Могилев – 69,6 и 49,1 дня, на метеостанции Вилейка за период 1975–1987 гг. – 42,9 дня, а с 1988 по 2008 г. – 20,4 дня.

Таблица 1. Среднее количество дней с туманом на территории Беларуси приходящихся на одну метеостанцию для различных периодов осреднения

Метеостанции	Период осреднения								
	1975–2008 гг.			1975–1987 гг.			1988–2008 гг.		
	ср. за год	апрель–сентябрь	октябрь–март	ср. за год	апрель–сентябрь	октябрь–март	ср. за год	апрель–сентябрь	октябрь–март
Верхнедвинск	42,6	18,0	24,6	51,6	20,8	30,8	37,1	16,2	20,9
Езерище	40,7	20,1	20,6	38,5	15,8	22,7	42,1	22,8	19,3
Полоцк	35,0	14,7	20,3	41,2	18,1	23,1	31,2	12,6	18,6
Шарковщина	37,1	13,2	23,9	48,9	18,0	30,9	29,7	10,2	19,5
Витебск	44,0	13,8	30,2	55,1	19,5	35,6	37,2	10,3	26,9
Лынтупы	54,3	18,6	35,6	61,7	23,2	38,5	49,7	15,8	33,9
Лепель	34,8	11,5	23,4	39,6	13,4	26,2	31,9	10,3	21,6
Докшицы	53,3	24,8	28,5	53,5	21,2	32,3	53,2	27,1	26,1
Сенно	28,9	10,8	18,1	34,8	12,9	21,9	25,2	9,5	15,7
Березинский заповедник	37,6	18,6	19,0	35,2	17,2	17,9	39,2	19,5	19,7
Орша	42,0	15,1	26,9	50,7	18,8	31,8	36,7	12,8	23,9
Вилейка	29,0	10,2	18,9	42,9	14,9	28,0	20,4	7,2	13,2
Борисов	37,8	10,3	27,5	42,8	12,8	29,9	34,7	8,7	26,0
Воложин	75,3	23,3	52,0	85,2	30,7	54,5	69,1	18,7	50,4
Минск	51,9	14,7	37,2	59,8	17,1	42,7	47,0	13,2	33,8
Березино	32,3	11,3	21,1	39,3	11,8	27,5	28,0	10,9	17,1
Марьина Горка	45,1	14,6	30,5	53,4	18,5	34,9	40,0	12,3	27,8
Столбцы	40,1	10,4	29,7	53,0	14,5	38,5	32,1	7,9	24,2
Слуцк	47,6	14,6	33,0	54,8	17,1	37,8	43,0	13,0	30,0
Ошмяны	57,1	19,0	38,1	71,7	23,7	48,0	48,1	16,0	32,0
Лида	46,4	13,8	32,6	55,2	17,4	37,8	40,9	11,6	29,3
Гродно	46,4	16,5	29,9	50,8	20,4	30,5	43,7	14,1	29,6
Новогрудок	74,6	19,8	54,8	88,6	26,1	62,5	66,0	16,0	50,0
Волковыск	47,2	14,1	33,2	48,7	16,1	32,6	46,3	12,8	33,5
Горки	57,1	19,1	37,9	47,0	15,8	31,2	63,3	21,2	42,0
Могилев	56,9	19,3	37,7	69,6	23,2	46,4	49,1	16,8	32,3
Кличев	36,5	12,2	24,3	47,4	16,3	31,1	29,8	9,7	20,0
Бобруйск	56,7	31,6	25,1	53,8	23,1	30,8	58,5	36,9	21,6
Барановичи	59,6	18,4	41,3	66,5	19,6	46,9	55,3	17,6	37,8
Ганцевичи	64,9	29,9	35,0	54,9	20,3	34,6	71,1	35,8	35,3
Ивацевичи	36,3	11,2	25,1	40,9	12,8	28,2	33,5	10,2	23,3
Пружаны	53,1	16,1	37,0	58,2	18,0	40,2	50,0	15,0	35,0
Высокое	67,2	33,7	33,5	60,2	20,0	40,2	71,6	42,2	29,4
Полесская	60,4	31,2	29,2	59,7	33,7	26,0	60,9	29,7	31,2
Пинск	36,1	10,5	25,6	46,4	15,4	31,0	29,7	7,5	22,2

Окончание табл. 1

Метеостанции	Период осреднения								
	1975–2008 гг.			1975–1987 гг.			1988–2008 гг.		
	ср. за год	апрель–сентябрь	октябрь–март	ср. за год	апрель–сентябрь	октябрь–март	ср. за год	апрель–сентябрь	октябрь–март
Брест	33,1	8,6	24,6	42,2	11,8	30,5	27,5	6,6	21,0
Жлобин	37,3	11,6	25,7	49,7	17,1	32,6	29,6	8,1	21,5
Октябрь	39,8	13,6	26,3	45,6	16,5	29,1	36,2	11,8	24,5
Гомель	42,1	13,4	28,8	49,7	18,0	31,7	37,4	10,5	27,0
Василевичи	39,5	12,9	26,7	46,1	14,6	31,5	35,4	11,8	23,7
Житковичи	36,0	11,3	24,7	46,2	16,1	30,1	29,8	8,4	21,4
Мозырь	38,7	10,9	27,8	47,9	15,2	32,7	33,0	8,3	24,8
Лельчицы	31,2	9,0	22,1	38,3	11,9	26,4	26,8	7,2	19,5
Брагин	41,6	15,5	26,0	43,0	13,9	29,1	40,7	16,5	24,1
Среднее	45,4	16,0	29,4	51,3	17,8	33,5	41,7	14,9	26,8

Примечание. Выделены статистически различные величины среднего количества дней с туманами.

Пространственная структура распространения числа дней с туманами, представленная на рис. 1, имеет некоторое различие с аналогичной схемой, опубликованной в работе [3], как в части пространственного формирования, так и в изменении количества дней с туманом. Это обусловлено происходящими в последнее время климатическими изменениями.

В то же время на отдельных метеостанциях (Езерище, Березинский заповедник, Горки, Бобруйск, Полесская, Ганцевичи, Высокое) отмечается незначительное увеличение количества дней с туманом.

Рассмотрим пространственное распределение среднего количества дней с туманами для теплого и холодного периодов. На рис. 2 отражены пространственное распределение числа дней с туманами в холодный (а) и теплый (б) периоды. Из рис. 2 а следует, что число дней с адвективными туманами велико на Новогрудской и Минской возвышенности. Несколько меньшая повторяемость туманов отмечается на Оршанской и Смоленской возвышенности.

В теплое время года (рис. 2 б), когда доминируют радиационные туманы, в Полесской низменности наблюдаются два ядра их повторяемости: пинско-ганцевичское и октябрьское.

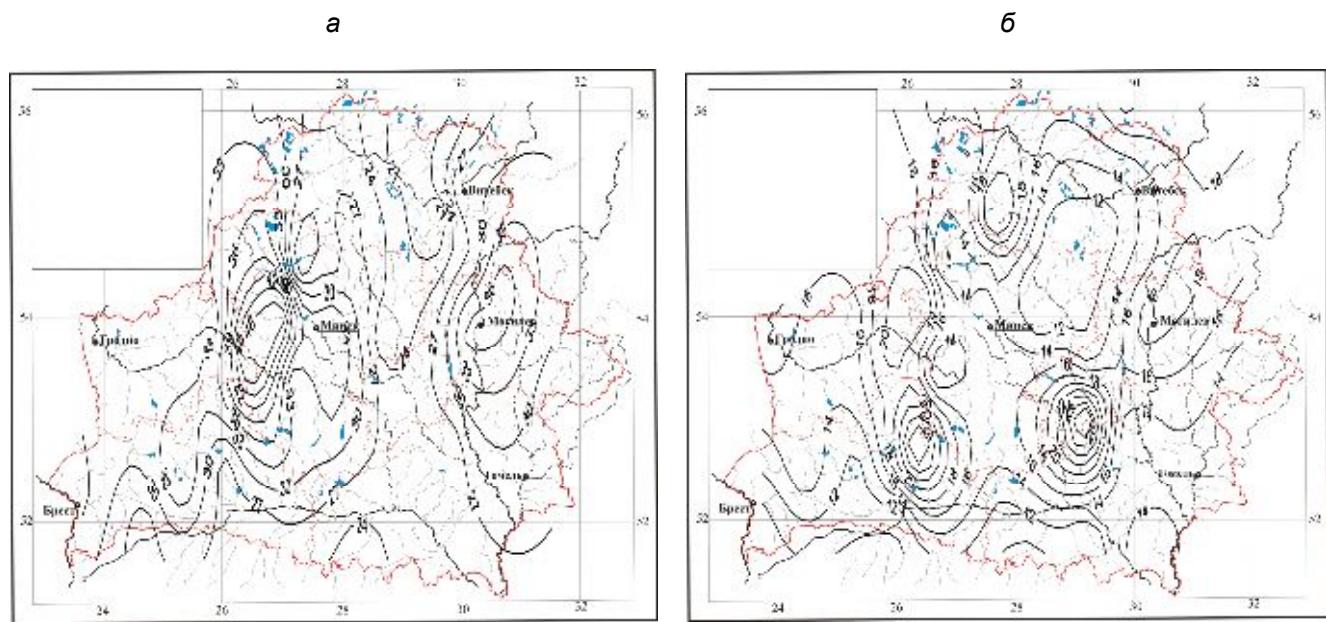


Рис. 2. Пространственное распределение среднего количества дней с туманами по территории Беларуси (а – за холодный период, б – за теплый период)

Адвектические туманы в холодное время года чаще формируются при поступлении теплого, влажного воздуха на холодную подстилающую поверхность. 60–80 % всех дней с адвектическими туманами отмечаются в холодный период на возвышенностях республики.

Анализ изменчивости числа дней с туманом показал, что за 30-летний период наблюдений имело место уменьшение количества дней с туманом в году вплоть до середины 90-х годов прошлого столетия с последующей стабилизацией повторяемости туманов в последнее десятилетие (рис. 3). Если в конце 70-х годов XX в. наблюдалось в среднем более 70 дней с туманами (Новогрудок – 112 дней, Воложин – 108 дней, Ошмяны – 104 дня в 1977 г.), то в 90-х – начале XXI в. составило около 37 дней в году (Вилейка – 16 дней, Березино – 19 дней, Пинск – 20 дней, Витебск – 26 дней в 1995 г.).

В отдельные годы число дней с туманами значительно отклоняется от средней величины. Коэффициент вариации составляет $C_v = 0,5$ и колеблется от $C_v = 0,6$ – метеостанция Вилейка до $C_v = 0,2$ – Гродно, Лынтупы, Новогрудок, Барановичи, Пружаны.

Представление о внутригодовом ходе числа дней с туманом в месяце дает рис. 4. Максимум туманов наблюдается в осенне-зимние месяцы (в основном в ноябре – декабре) и составляет в среднем 4–6 дней. Минимум дней с туманом приходится на весну – лето, особенно май, когда этот показатель составляет около 1 дня. Наибольшие различия в месячном ходе числа дней с туманом за рассматриваемые периоды приходятся на февраль и ноябрь, в летние месяцы различия несущественны. Кроме того, туманы имеют хорошо выраженный суточный ход, особенно в теплый период года, когда преобладают радиационные туманы.

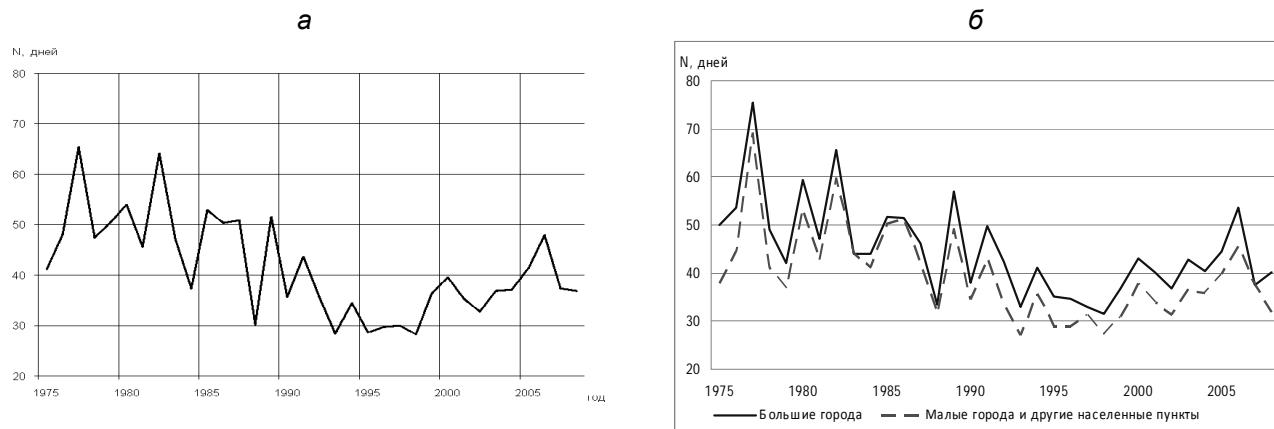


Рис. 3. Изменение среднегодового количества дней с туманами в году, приходящихся на одну метеостанцию Беларусь (а – по всей республике, б – по большим и малым городам и другим населенным пунктам)

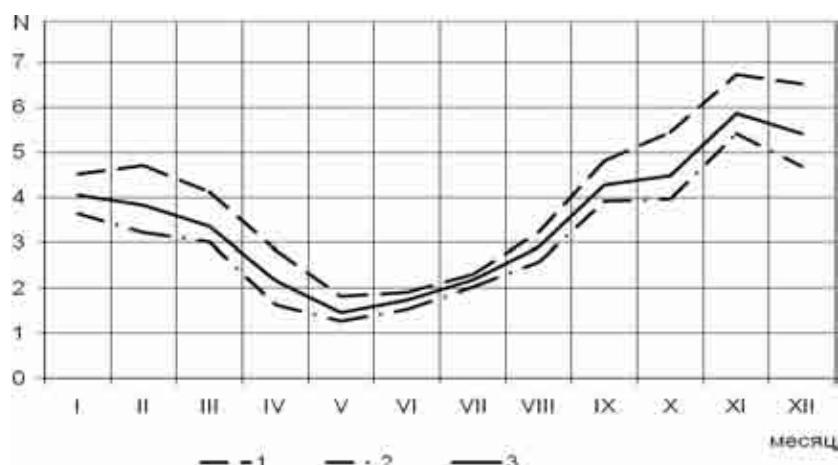


Рис. 4. Годовой ход среднемесячного числа дней с туманами, приходящихся на одну метеостанцию Беларусь для периодов: 1 – 1975–1987 гг., 2 – 1988–2008 гг., 3 – 1975–2008 гг.

Изменение среднего количества дней с туманами по месяцам представлено на рис. 5. В годовом ходе наблюдается падение числа дней с туманами на территории Республики Беларусь. В зимние месяцы отмечается в среднем от 4 до 6 дней с туманом в месяц. В весенне-летние месяцы регистрируется 2,2–2,5 дня в месяц: с марта по апрель – около 2,5 дня (в марте – 4,0, в

апреле – 2,1, в мае – 1,5), летом – около 2,2 дня с туманами. В осенние месяцы отмечается 5,1 дня в месяц с туманом.

Наличие определенных изменений в среднегодовом количестве дней с туманом подтверждает и наличие статистически значимых трендов. Так, градиент изменения числа дней в году с туманами составляет 6,2 дня/10 лет.

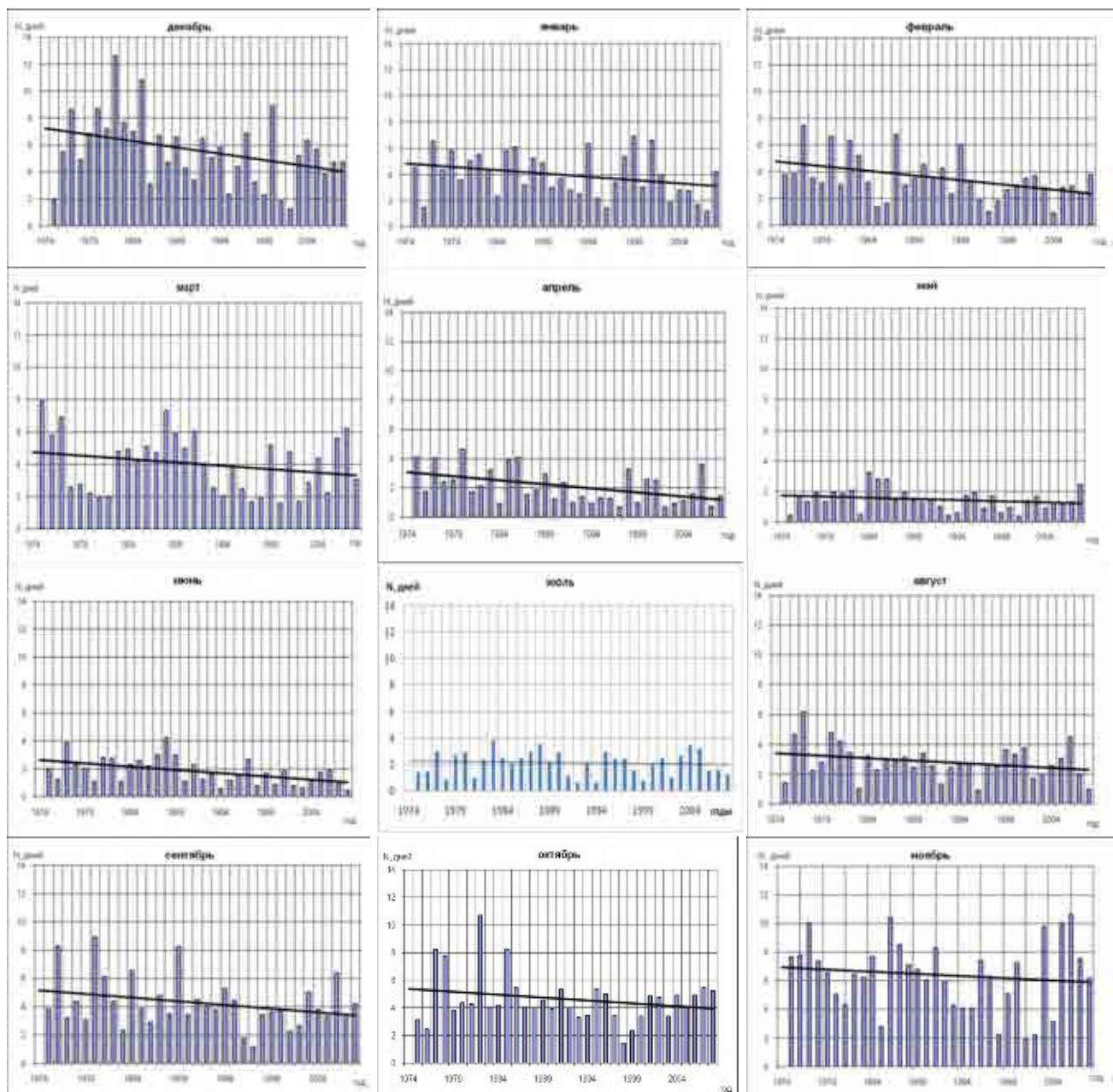


Рис. 5. Изменение среднего количества дней с туманами в разные месяцы года за период с 1975 по 2008 г.

В республике около 70 % населения проживает в городах, поэтому климатические особенности урбанизированных территорий по сравнению со слабо урбанизированными представляют значительный интерес. Город является мощным источником загрязнения воздуха аэрозолем, газообразными примесями,

твердыми частицами (пыль). Все они уменьшают прозрачность атмосферы и приход солнечной радиации. Городская застройка создает «шероховатость», в результате чего скорость и направление ветра трансформируются. Асфальтовое покрытие, здания и сооружения усиливают конвективный поток и турбулентность над горо-

дом. В больших городах туманы отмечаются чаще, чем в малых городах и других населенных пунктах (45,2 и 39,9 дня с туманом в году соответственно). Это может быть связано с тем, что в городах уменьшается скорость ветра.

Туманы неравномерно распределены в течение года. На холодную пору приходится 60–80 % всех туманов в году; максимум бывает в осенние месяцы – октябрь–ноябрь и в начале зимы – декабре (5–9 дней в месяц на низменностях и 11–20 дней на возвышенностях). Минимум дней с туманами отмечается летом, особенно в июне (0,5–1 день с туманом). За теплый период (апрель–сентябрь) наблюдается 16,0 дня с туманами, а за холодный (октябрь – март) – 29,4 дня (табл. 3).

Анализ повторяемости туманов в различные месяцы года для первого (1975–1988 гг.) и второго (1989–2008 гг.) периодов показал, что во второй период число туманов уменьшилось на одну и ту же величину как в крупных городах, так и в других населенных пунктах (табл. 3). На-

большее уменьшение повторяемости туманов характерно для X–IV месяцев как в больших городах, так и в других населенных пунктах. Собственно, в большинстве месяцев холодного времени года потепление климата было более значительным. В зависимости от месяца года снижение повторяемости туманов составило 10–40 %. Причиной такого снижения может быть рост температуры во второй период (1989–2008 гг.). При повышении температуры для достижения состояния насыщения атмосферного воздуха и последующего образования туманов требовалось большее влагосодержание атмосферного воздуха.

Среднегодовая разность повторяемости туманов несколько выше в больших городах по сравнению с другими населенными пунктами как в первый, так и во второй период. Это может быть связано со снижением скорости ветра в больших городах по сравнению с другими населенными пунктами.

Таблица 3. Повторяемость туманов в городах и других населенных пунктах с различной численностью населения за период с 1975 по 2008 г.

Повторяемость туманов	Период осреднения												средн.
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Города с численностью населения более 300 тыс. чел.													
Средняя за весь период наблюдений	4,8	4,6	4,2	2,8	2	2	2,2	3,1	4,4	5,0	6,5	6,1	4,0
Средняя за 1975–1988 гг.	5,9	5,4	6,1	3,1	2,4	3,3	3,3	3,7	4,6	5,5	6,6	6,3	4,7
Средняя за 1989–2008 гг.	4,4	4,5	3,5	2,1	1,7	1,6	1,7	2,7	3,9	4,5	6,3	5,8	3,6
Разность за периоды 1975–1988 гг. и 1989–2008 гг.	1,5	0,9	2,6	1,0	0,7	1,7	1,6	1,0	0,7	1,0	0,3	0,5	1,1
Города и другие населенные пункты с численностью населения менее 300 тыс. чел.													
Средняя за весь период наблюдений	3,9	3,8	3,3	2,1	1,4	1,8	2,2	2,9	4	4,3	5,3	5,2	3,4
Средняя за 1975–1988 гг.	4,7	4,3	5,5	2,4	1,8	3,1	2,9	3,2	4,3	5,0	6,0	5,4	4,0
Средняя за 1989–2008 гг.	3,4	3,4	2,7	1,6	1,2	1,4	2	2,5	3,8	4	5	4,3	2,9
Разность за периоды 1975–1988 гг. и 1989–2008 гг.	1,3	0,9	2,8	0,8	0,6	1,7	0,9	0,7	0,7	1,0	1,0	1,1	1,1

Рассмотрим влияние рельефа местности на количество дней с туманами по территории Беларуси. На возвышенностях количество дней с туманом значительно больше, чем в пониженных местах. Особенно это заметно в холодный период года. С апреля по сентябрь на равнинной территории отмечается 14,3 дня с туманами, на возвышенной – 21,1, на Полесье – 17,1; в период с октября по март – 25,6, 38,7, 28,3 соответственно.

В зимнее время при подъеме на каждые 100 м число дней с туманом примерно удваивается; летом влияние высоты менее заметно. По-

видимому, это связано с тем, что зимой преобладают адвективные туманы, а летом – радиационные и смешанные (рис. 6).

Математическая зависимость количества дней с туманом от высоты местности для холодного периода (октябрь–март) имеет следующий вид:

$$N = 0,170 \cdot H + 3,34, \quad (r = 0,80), \quad (13)$$

где N – количество дней с туманом; H – высота местности, м.

Для теплого периода такой зависимости не наблюдается.

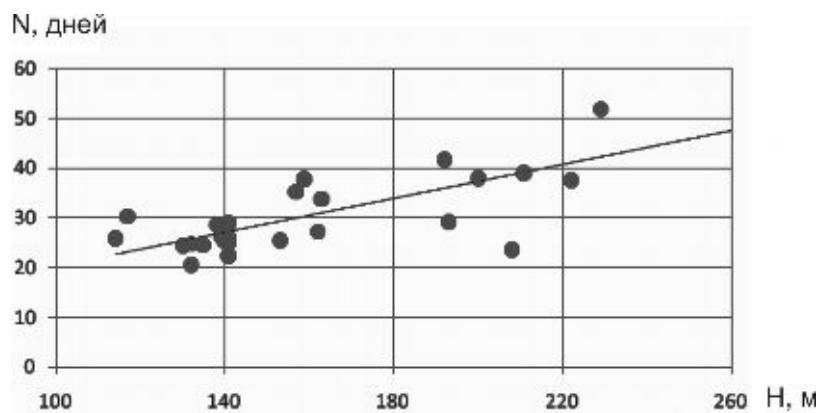


Рис. 6. Зависимость количества дней с туманом от высоты местности

Таким образом, на возвышенной части территории Беларуси отмечается значительно большее количество дней с туманами, чем на равнинной. В северной возвышенной части республики регистрируется в среднем 52,4 дня с туманами в год, в северной равнинной части – 31,7 дня, на Полесье – 45,9 дня.

Заключение

Выполненный комплексный анализ формирования туманов на территории Беларуси позволил установить пространственно-временные закономерности формирования числа дней с туманом.

Среднее число дней с туманом за год на территории Беларуси составляет около 40 дней и колеблется от 30 до 75, возрастая от низин к возвышенностям. Минимальное количество дней с туманами формируется на юго-западе (Брестском Полесье) и на северо-востоке (Полоцкая низменность) и колеблется от 30 до 40 дней. Наибольшее количество дней с туманами наблюдается на северо-западе страны на Ошмянской, Новогрудской и Минской возвышенностях и достигает 60–75 дней. За 30-летний период наблюдений отмечается уменьшение числа дней с туманами: с 1975 по 1987 г. – 51,3 дня, что статистически значимо различается по сравнению со вторым периодом (1988–2008 гг.), где эта величина составила 41,7 дня, что связано с увеличением температуры в последний период и,

как следствие, образование туманов требовало большего влагонасыщения атмосферы.

В больших городах туманы отмечаются чаще, чем в малых (45,2 и 39,9 дня с туманом в год соответственно). Это может быть связано с большим аэрозольным загрязнением и снижением скорости ветра в больших городах.

Анализ пространственного распределения среднего количества дней с туманами для теплого и холодного периодов показал, что число дней с адвективными туманами велико на Новогрудской и Минской возвышенностях, несколько меньшая повторяемость туманов отмечается на Оршанской и Смоленской возвышенностях. В теплое время года, когда доминируют радиационные туманы, в Полесской низменности наблюдаются два ядра повторяемости туманов: пинско-ганцевичское и октябрьское.

География распространения туманов находится в зависимости от микрорельефа, скорости ветра, распределения растительности, наличия водоемов и крупных населенных пунктов. На возвышенностях дней с туманом значительно больше, чем в пониженных местах. Особенно это заметно в холодный период года. С апреля по сентябрь на равнинной территории отмечается 14,3 дня с туманами, на возвышенной – 21,1, на Полесье – 17,1; с октября по март – 25,6, 38,7, 28,3 дня соответственно.

Литература

1. **Бокс Дж., Дженкинс Г.** Анализ временных рядов, прогноз и управление. М., 1974. Вып. 1.
2. Климат Беларуси / Под ред. В. Ф. Логинова. Мн., 1996.
3. Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси: Справ. / Под общ. ред. М. А. Гольберга / Мин-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Мн., 2002.
4. **Хромов С. П., Мамонтова Л. И.** Метеорологический словарь. Л., 1974.

В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОВТОРЯЕМОСТИ ТУМАНОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ И ИХ ПРИЧИНЫ

Рассмотрены туманы как опасное метеорологическое явление. Даны оценка пространственной и временной изменчивости количества дней с туманами на территории Беларуси за период с 1975 по 2008 г.

Материалами для исследования послужили данные Департамента гидрометеорологии Беларуси по 46 метеостанциям в месячном разрезе. В результате были построены карты, характеризующие пространственную и временную изменчивость количества дней с туманами. Использование стандартных статистических методов позволило установить временные закономерности в формировании туманов.

Выполненные исследования изменения числа дней с туманами на территории Беларуси показали, что статистическая структура количества туманов имеет существенную как временную, так и пространственную изменчивость. Среднее число дней с туманом за год на территории Беларуси составляет около 40 дней и колеблется от 30 до 75, возрастая от низин к возвышенностям. Минимальное количество дней с туманами формируется на юго-западе (Брестском Полесье) и на северо-востоке (Полоцкая низменность) и колеблется от 30 до 40 дней. Наибольшее количество дней с туманами наблюдается на северо-западе страны на Ошмянской, Новогрудской и Минской возвышенностих и достигает 60–75 дней. Среднее количество дней с туманами, приходящихся на одну метеостанцию, с 1975 по 1987 г. составило 51,3 дня, что статистически значительно различается по сравнению со вторым периодом (1988–2008 гг.), где эта величина составила 41,7 дня. В больших городах туманы отмечаются чаще, чем в малых (45,2 и 39,9 дня с туманом в год соответственно). Коэффициент вариации составляет $C_v = 0,5$ и колеблется по территории от $C_v = 0,6$ – метеостанция Вилейка до $C_v = 0,2$ – Гродно, Лынтупы, Новогрудок, Барановичи, Пружаны.

V. F. Loginov, A. A. Volchek, I. N. Shpoka

SPATIAL-TEMPORARY VARIABILITY OF FOGS FREQUENCY IN THE TERRITORY OF BELARUS AND THEIR REASONS

In work fogs as the dangerous meteorological phenomenon are considered, the estimation of spatial and time variability of quantity of days with fogs in territory of Belarus from 1975 on 2008.

As materials for research on 46 meteorological stations data of the Department of hydrometeorology of Belarus have served in a monthly aspect. The cards of characteristics of spatial and time variability of quantity of days with fogs have been constructed as a result. Use of standard statistical methods has allowed establishing time laws in the formation of fogs.

The executed researches of change of number of days with fogs in territory of Belarus have shown, that the statistical structure of quantity of fogs has essential both time, and spatial variability. The average of days with a fog for a year in territory of Belarus makes about 40 days and fluctuates from 30 to 75, increasing from lowlands to heights. The minimum quantity of days with fogs is formed in the southwest (Brest Polesye) and in the northeast (Polotsk lowland), fluctuates from 30 till 40 days. The greatest quantity of days with fogs is observed in the country northwest on Oshmjansky, Novogrudsky and Minsk heights and reaches from 60 till 75 days. The average quantity of days with a fog from 1975 to 1987 has made for 1 meteorological station 51,3 days, that statistically significantly differs in comparison with the second period (1988–2008) where this size has made 41,7. In big cities fogs occur more often, than in small cities (45,2 and 39,9 days with a fog in a year accordingly). The variation factor makes $C_v = 0,5$ which fluctuates on territory from $C_v = 0,6$ – meteorological station Vileika to $C_v = 0,2$ – Grodno, Lyntupy, Novogrudok, Baranovichi, Pruzhany.

С. В. Какарека, А. В. Мальчихина

ПРОГНОЗ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ДО 2020 г. НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Изложены принципы, алгоритмы и приведены результаты прогнозирования выбросов загрязняющих веществ на территории Беларуси до 2020 г. на основе методологии прогнозирования выбросов Программы ЕМЕП на примере оксидов серы и азота. Показано, что проекты (прогнозы) выбросов служат инструментом разработки и оценки стратегий их сокращения. Расчеты выполнены для двух сценариев социально-экономического развития: базового и текущего законодательства.

В последние годы в различных сферах государственного управления в ряд важнейших задач выдвигается прогнозирование. Не стала исключением и область охраны окружающей среды. Экологический прогноз необходим для научного обеспечения планирования природоохранной деятельности, правильного ранжирования и определения путей решения экологических проблем, рационального распределения имеющихся материальных ресурсов.

В настоящее время в Беларуси происходит переориентация с «исправления ошибок» на предотвращение причинения вреда окружающей среде. Инструментом выявления и предсказания проблемной, с точки зрения экологии, ситуации служит экологический прогноз. Конструктивные возможности экологического прогнозирования очевидны. Между тем, оно пока не получило должного развития. Разработка прогнозов состояния окружающей среды в Беларуси не является систематической, в отличие от социально-экономического прогнозирования.

Одна из составляющих экологического прогнозирования – прогнозирование загрязнения атмосферного воздуха. В международном сообществе разработка прогнозов (проектов) выбросов является важным элементом управления качеством атмосферного воздуха в рамках Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния 1979 г. (далее – Конвенция). Проекты выбросов служат инструментом разработки и оценки стратегий сокращения выбросов, направленных на достижение поставленных экологических целей. Проекты выбросов загрязняющих веществ помогают оценить альтернативные возможности по сокращению выбросов в рамках заданных социально-экономических трендов (роста численности населения, изменений в землепользовании, роста валового национального продукта, развития энергетического, транспортного, промышленного, сельскохозяйственного секторов). Согласно решению Исполнительного органа Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния, Стороны Конвенции должны регулярно предоставлять информацию о проектах выбросов, в ча-

стности соединений, регулируемых подписанными Протоколами [2]. При этом проекты выбросов должны быть построены на основе рекомендуемых методологий.

Вышесказанное определило постановку и реализацию проекта по разработке сценария детализации до 2020 г. выбросов оксидов азота, соединений серы, летучих органических соединений, твердых частиц и аммиака с учетом программ по модернизации основных производственных фондов в энергетике, использованию местных видов топлива, программы по экологической безопасности транспортных средств.

В статье приводится методология и обсуждаются результаты проектирования уровней выбросов оксидов серы и азота на территории Беларуси на 2010, 2015 и 2020 гг.

Методология проектирования выбросов. Экологическое прогнозирование, как и любое другое прогнозирование, направлено на опережающее отражение действительности. Возможны два варианта предсказания: целевое и поисковое. Первое предполагает постановку конкретного результата, который должен быть достигнут к определенному времени. Второе ориентировано на оценку состояния окружающей среды.

По временному масштабу выделяют сезонный (до 1 года), краткосрочный (1–5 лет), среднесрочный (5–15 лет), долгосрочный (от 15 лет до несколько десятилетий) и сверхдолгосрочный (несколько столетий) прогнозы [10].

В соответствии с приведенной классификацией, выполненный прогноз относится к долгосрочному поисковому прогнозу.

К основным методам экологического прогнозирования относятся методы экстраполяции, моделирования, аналогий и экспертных оценок [13]. Метод экстраполяции основан на предположении о существовании устойчивых связей между изменениями прогнозируемого объекта и определяющими их факторами в ретроспективном периоде. Данный метод достаточно прост и в настоящее время является наиболее распространенным.

Метод моделирования предусматривает использование моделей для прогноза явления. Модели могут быть натурными или математическими. Первые предназначены для прогноза локальных явлений, вторые – для более высокого территориального уровня, в том числе регионального.

Метод аналогий предполагает, что изучаемый объект будет изменяться аналогично уже известному объекту, находящемуся в сходных условиях.

Метод экспертных оценок основан на опросе экспертов. Он относится к интуитивным методам и применяется в тех случаях, когда объект прогнозирования либо слишком прост, либо настолько сложен, что практически невозможно аналитически учесть влияние всего множества факторов, от которых зависят его изменения.

Выбор того или иного метода или их сочетания для разработки прогнозов развития различных элементов природной среды обусловлен, главным образом, спецификой элементов, наличием информационной базы, характеризующей их современное и прошлое состояние, наличием и адекватностью соответствующих математических моделей, применяемых для прогнозирования.

В международном сообществе при прогнозировании выбросов загрязняющих веществ выделяют два подхода: социально-экономический и технологический [16]. Первый базируется на корреляции выбросов с социально-экономическими временными рядами и не учитывает технологические изменения. Второй учитывает также технологические изменения, выражющиеся в изменениях удельных показателей выбросов; такой подход в настоящее время используется все более широко.

В рамках технологического подхода влияние социально-экономических (население, цена на энергоресурсы, показатели экономического роста и торговли и пр.) и технологических граничных условий (современные технологии) можно представить следующими параметрами: интенсивность деятельности; удельные показатели выбросов; схемы внедрения технологий.

Проектирование этих параметров может быть выполнено независимо друг от друга. Удельные показатели выбросов могут быть получены из различных источников, включая международные руководства и результаты проведения измерений [16, 17, 19]. В качестве базовых показателей прогноза экономической деятельности служат данные из официальных источников. Однако, зачастую они носят общий характер и малопригодны для непосредственного использования при разработке проектов выбросов. Наиболее сложной задачей является моделирование изменения технологий и предпринимаемых мер по сокращению выбросов.

Так как совместимость данных о выбросах (прошлых и будущих) – важный критерий применимости любого прогноза, проекты выбросов должны быть основаны на существующей инвентаризации выбросов, которая является стартовой точкой прогноза.

Прогноз изменения интенсивности деятельности (сценарии социально-экономического развития). Сценарий социально-экономического развития включает изменение интенсивности деятельности в будущем и основывается на экономических теориях и зависимостях. При составлении сценария часто используются различные допущения и предположения (например, о формировании цен на энергоносители). Можно выделить следующие уровни детализации/агрегации сценариев: основной сценарий для разработки на международном уровне; национальные экономические сценарии; сценарии на уровне процессов.

Прогноз технологических изменений. Удельные показатели выбросов на уровне отдельной технологии подвергаются воздействию внешних факторов, например требованиям экологического законодательства относительно соответствия определенным значениям пределов выбросов. Последствиями введения пределов выбросов являются изменение существующих технологий, использование систем очистки и пр., что учитывается с помощью адаптированных удельных показателей выбросов и адаптированной доли внедрения технологий при разработке проектов выбросов. На практике удельные показатели выбросов часто используются на более высоком уровне агрегирования, что приводит к некоторому усреднению прогнозных показателей выбросов.

Модели, используемые при проектировании выбросов загрязняющих веществ. Проектирование выбросов в настоящее время является динамично развивающимся направлением научных исследований, тесно связанным с инвентаризацией выбросов. Обычно проектирование осуществляется с использованием моделей, разработанных для инвентаризации и оценки выбросов. Такие модели могут быть как универсальными (для всех секторов источников), так и специализированными (для той или иной категории источников). Значительная часть моделей представляет собой продукт международного сотрудничества, в разработке и развитии которых участвует большое количество исследовательских организаций.

Наиболее апробированным в настоящее время универсальным инструментом для проектирования выбросов ряда загрязняющих веществ, в том числе диоксида серы и оксидов азота, от всех основных категорий источников является модель Международного института прикладного системного анализа RAINS/GAINS [19].

Эта модель позволяет давать оценку выбросов, строить проекты выбросов до 2030 г., рассчитывать затраты на воздухоохраные мероприятия для различных технологических сценариев. Использование данной модели предполагает сбор большого объема информации, характеризующей интенсивность того или иного вида деятельности, системы и уровни очистки выбросов и др.

Среди специализированных моделей, которые могут быть использованы для проектирования выбросов, в Европе наиболее известны такие как PRIMES, TREMOVE, CAPRI и ряд других [18, 20].

Модель PRIMES разработана в рамках ряда исследовательских проектов, финансируемых Еврокомиссией, и охватывает различные вопросы, связанные с энергетикой, учитывая изменение спроса на тот или иной вид топлива и внедрение новых технологий. При помощи данной модели можно проводить анализ стратегии развития по следующим направлениям: разработка энергетической политики (стратегия, стоимость и т. д.); экологические проблемы энергетического сектора; политика ценообразования, налогообложения, технологических стандартов; новые технологии, возобновляемые источники, энергетическая эффективность с точки зрения востребованности.

В отношении окружающей среды в PRIMES выделены формы регулирования на уровне отрасли (ограничивающиеся выбросами в пределах одной отрасли) и на уровне государства (учитываются эмиссии от всех модулей).

Модель TREMOVE разработана для Еврокомиссии и предназначена для изучения влияния внедрения политических решений, затрагивающих транспорт и охрану окружающей среды на выбросы от передвижных источников. Модель оценивает потребность в транспорте, состав транспортного парка, выбросы в атмосферный воздух при различных политико-экономических сценариях.

Разработка модели CAPRI (Common Agricultural Policy Regional Impact Analysis) началась в 1997 г. в рамках проекта, финансируемого Евросоюзом. Она предназначена для моделирования процессов в сельском хозяйстве на основе баланса спроса-потребления.

Разработка прогноза выбросов загрязняющих веществ до 2020 г. для Беларуси. Разработка проекта выбросов соединений серы и оксидов азота базировалась на следующих принципах:

а) методологической базой подготовки проекта (прогноза) выбросов послужили Руководящие принципы проектирования выбросов в рамках Конвенции [16];

б) прогноз выбросов базировался на прогнозе экономических показателей и прогнозе технологических изменений, влияющих на вы-

бросы, и прогнозе влияния планируемых воздухоохраных мер на снижение выбросов;

в) прогноз выполнялся по категориям источников выбросов, используемых Программой ЕМЕП (SNAP и НПО) на уровне Республики Беларусь в целом;

г) в основу прогноза экономических и технологических показателей и влияния планируемых воздухоохраных мер на выбросы положены целевые показатели государственных и отраслевых программ социально-экономического развития и охраны окружающей среды, программ по модернизации основных производственных фондов в энергетике, использованию местных видов топлива, экологической безопасности транспортных средств и др. [1, 3–9, 11, 12, 14];

д) расчет выбросов выполнялся на основе использования удельных показателей выбросов; сокращение выбросов в результате принятия запланированных мер учитывалось путем введения поправок в удельные показатели выбросов на 2010, 2015 и 2020 гг.;

е) базовым годом составления прогноза выбросов выбран 2005 г.;

ж) рассчитывались два сценария выбросов – базовый (без учета мер по снижению выбросов в атмосферу) и сценарий текущего законодательства (с учетом влияния на выбросы законодательных и нормативно-правовых актов, принятых в соответствии с принципами Конвенции до 2006 г.).

Процедура сбора и анализа необходимой информации состояла из трех этапов:

1) сбор фактических показателей выбросов и экономической деятельности на 2005 г.;

2) сбор информации о прогнозных экономических показателях, выпуске продукции, потреблении топлива в основных секторах экономики до 2020 г.;

3) сбор информации о планах технологических изменений и внедрения мер по снижению выбросов в атмосферный воздух до 2020 г.

Для получения дополнительных данных по фактическим и прогнозным экономическим показателям, производству продукции, использованию топлива, образованию отходов, мерам по снижению выбросов подготовлены и отправлены запросы в основные министерства (экономики, промышленности, энергетики, транспорта и коммуникаций, статистики и анализа, архитектуры и строительства, жилищно-коммунального хозяйства, сельского хозяйства и продовольствия) и концерны («Белнефтехим», «Беллегпром», «Белгоспищепром», «Беллесбумпром», «Белбиофарм»). Прогноз внедрения мер по снижению выбросов сделан также на основе программ технического перевооружения отраслей и государственных отраслевых программ по охране окружающей среды.

Исходя из полученных данных определены временные ряды изменения активности деятельности различных секторов промышленности, энергетики и транспорта, а также временные ряды удельных показателей выбросов.

Диоксид серы. Результаты расчета прогнозных выбросов диоксида серы по двум сценариям (базовому и с учетом мер по снижению выбросов) приведены в табл. 1.

Согласно базовому сценарию, суммарные выбросы диоксида серы в 2010 г. возрастут по

отношению к 2005 г. на 24 %, в 2015 г. – на 49 %, в 2020 г. – на 68 %. Это будет обусловлено в основном изменением структуры топливного баланса и увеличением использования мазута и торфа. Расчеты по сценарию текущего законодательства показывают, что в 2010 г. выбросы данного соединения могут возрасти по сравнению с 2005 г. на 19 %, в 2015 г. – на 25 %; позже возможно сокращение выбросов и в 2020 г. они составят 113 % от уровня 2005 г. (рис. 1).

Таблица 1 . Прогноз выбросов диоксида серы по двум сценариям по категориям источников, тыс. т

Категория источника	Базовый сценарий			Сценарий текущего законодательства		
	2010 г.	2015 г.	2020 г.	2010 г.	2015 г.	2020 г.
Сжигание топлива в энергетике	44,9	59,5	70,95	41,2	43,7	34,5
Обрабатывающая промышленность и строительство	18,5	22	23,4	18,5	20,1	18,5
Дорожные передвижные источники	0,28	0,33	0,38	0,19	0,12	0,05
Внедорожные передвижные источники	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,03
Сжигание топлива в жилом секторе	5,5	7,4	9,1	5,5	7,4	9,1
Нефтеперерабатывающая промышленность	18,9	17,8	17,8	18,9	17,8	17,8
Химическая промышленность	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37
Всего	95,57	114,53	129,13	91,8	96,63	87,35

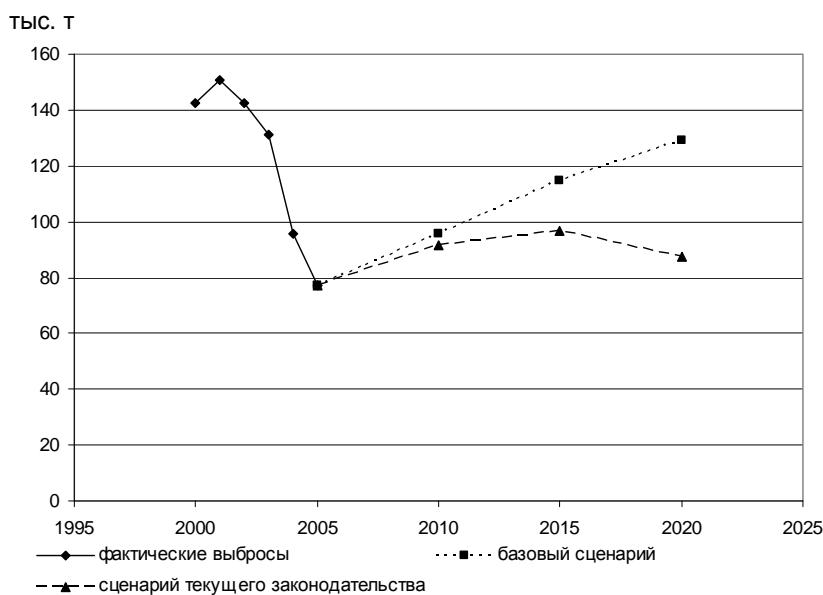


Рис. 1. Прогноз изменения выбросов диоксида серы в атмосферный воздух по двум сценариям

Оксиды азота. Результаты расчета прогнозных выбросов оксидов азота по двум сценариям приведены в табл. 2. Выбросы оксидов азота в 2010 г. по базовому сценарию возрастут по отношению к 2005 г. на 30 %, в 2015 г. – на 53 %, в 2020 г. – на 73 %. Данное увеличение будет обусловлено в основном увеличением объемов сжигания топлива в энергетическом и институциональном секторах, а также ростом потребления топлива транспортными средствами. Расче-

ты по сценарию текущего законодательства свидетельствуют, что к 2010 г. можно ожидать снижения выбросов оксидов азота на 5 %, к 2015 – на 15 % и к 2020 г. – на 40 % (рис. 2) вследствие улучшения технического уровня транспортных средств и реализации мер, предусмотренных в текущем законодательстве в энергетическом секторе.

Для верификации результатов выполнено сравнение полученных прогнозных выбросов с

проектами выбросов для Беларуси, разработанными Международным Институтом прикладного системного анализа (IIASA) с помощью RAINS/GAINS [17].

Полученные нами проекты выбросов оксидов азота для 2010 г. достаточно близки к дан-

ным IIASA (рис. 3). Различия проектов для диоксида серы обусловлены завышенным объемом потребления мазута, принятым в модели RAINS: по данным IIASA, потребление мазута составит 145 ПДж (вместо 49 ПДж).

Таблица 2. Прогноз выбросов оксидов азота по двум сценариям по категориям источников, тыс. т

Категория источника	Базовый сценарий			Сценарий текущего законодательства		
	2010 г.	2015 г.	2020 г.	2010 г.	2015 г.	2020 г.
Сжигание топлива в энергетике	31,18	34,19	34,09	26,5	23,93	23,86
Обрабатывающая промышленность и строительство	7,8	8,47	8,2	6,63	5,93	5,74
Дорожные передвижные источники	74,56	86,51	101,01	50,9	32,52	14,14
Внедорожные передвижные источники	68,47	84,41	100,35	41,09	42,21	20,07
Жилой сектор (сжигание топлива)	25,55	30,33	32,58	25,55	30,33	32,58
Всего	207,56	243,91	276,23	150,67	134,92	96,39

тыс. т

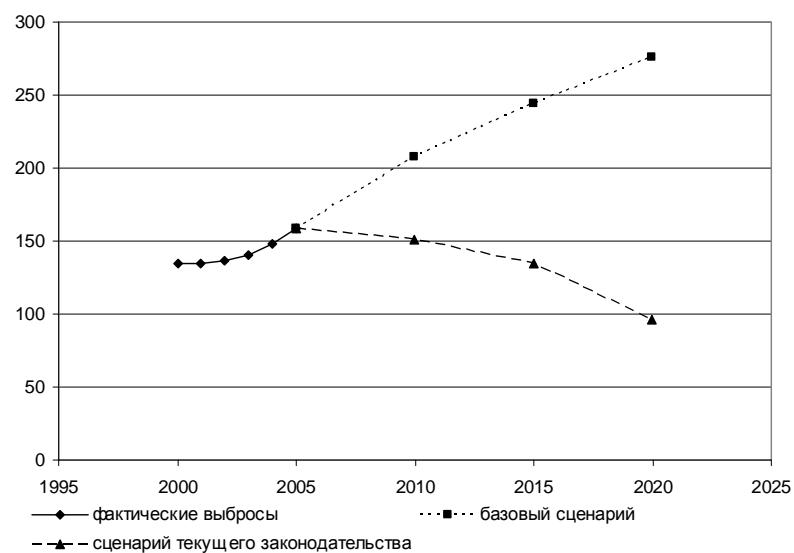


Рис. 2. Прогноз изменения выбросов оксидов азота в атмосферный воздух по двум сценариям

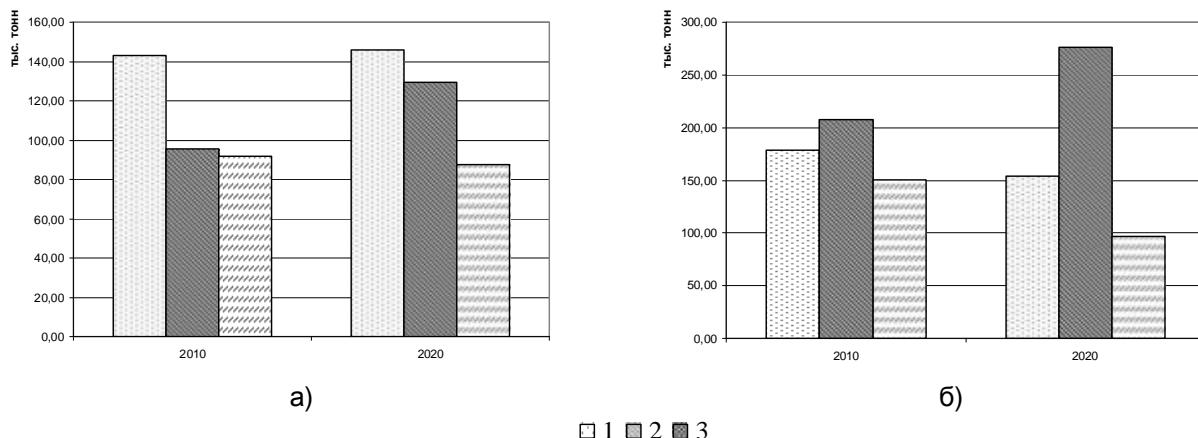


Рис. 3. Сравнение проектов выбросов диоксида серы (а) и оксидов азота (б) на территории Беларуси, полученных авторами статьи и разработанного IIASA:

1 – проект выбросов по данным IIASA, 2 – проект выбросов в соответствии с базовым сценарием, 3 – проект выбросов в соответствии со сценарием текущего законодательства

Выводы

Для Республики Беларусь разработка проектов выбросов является новым инструментом при разработке стратегий по сокращению выбросов, в то время как проектирование выбросов широко используется в различных странах для оценки и выбора альтернативных возможностей по сокращению выбросов для достижения поставленных целей в рамках заданных социально-экономических трендов. В Беларуси впервые разработаны проекты выбросов оксидов азота и диоксида серы, которые учитывают как социально-экономическое, так и техническое развитие республики. Данная работа позволила показать, что:

- предельные значения выбросов диоксида серы для Беларуси, установленные Протоколом по сере (415 тыс. т) и Гетеборгским протоколом (480 тыс. т к 2010 г.), не будут превышены при любом сценарии;
- предельные значения выбросов оксидов азота, установленные Протоколом об ограничении выбросов оксидов азота или их трансграничных потоков (263 тыс. т) и Гетеборгским протоколом (255 тыс. т к 2010 г.), не будут превышены только в случае реализации мер по снижению выбросов.

Таким образом, реализация запланированных мер по снижению выбросов и программ технического перевооружения позволит в значительной степени предотвратить увеличение выбросов загрязняющих веществ, в частности оксидов азота, которое может произойти вследствие роста в секторах экономики и изменений в топливном балансе.

Результаты работы использованы для корректировки положений Гетеборгского протокола к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния.

Работа выполнена в рамках договора 247-07 «Разработка сценария детализации до 2020 года выбросов оксидов азота, соединений серы, летучих органических соединений и твердых частиц, аммиака с учетом программ по модернизации основных производственных фондов в энергетике, использованию местных видов топлива, программы по экологической безопасности транспортных средств для корректировки положений Гетеборгского протокола к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния» с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Л и т е р а т у р а

1. Государственная комплексная программа модернизации основных производственных фондов Белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли использования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов в 2006–2010 гг. Указ Президента Республики Беларусь от 25 августа 2005 г. № 399. Минск, 2005. (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2005 г., № 137, 1/6735).
2. Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния. 1979 г.
3. Концепция энергетической безопасности и повышения энергетической независимости. Указ Президента Республики Беларусь от 25 августа 2005 г. № 399.
4. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 года / Национальная комиссия по устойчивому развитию Республики Беларусь; Редкол.: Я. М. Александрович и др. Мин., 2004.
5. Национальный план действий по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды Республики Беларусь на 2006–2010 годы / Мин-во природ. ресурсов и охр. окруж. среды Республики Беларусь. Мин., 2006..
6. Основные направления энергетической политики Республики Беларусь на 2001–2005 годы и на период до 2015 года. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 27 октября 2000 г. № 1667. (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2000 г., № 104, 5/4432).
7. Отраслевая программа по охране окружающей среды на 2006–2010 годы / Мин-во транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. Мин., 2005.
8. План мероприятий по использованию в республике местных топливно-энергетических ресурсов. Постановление Совета Министров Республики Беларусь № 1726 от 26 декабря 2006 г.
9. План основных мероприятий по реализации Концепции энергетической безопасности и повышения энергетической независимости Республики Беларусь. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 18 ноября 2005 г. № 1290.
10. Прогноз изменения окружающей природной среды на 2010–2020 гг. / Под ред. В. Ф. Логинова. Мин., 2004.
11. Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2006–2010 годы. Мин., 2006.
12. Проект программы снижения вредного воздействия транспорта на окружающую среду Республики Беларусь на 2007–2010 годы. Мин., 2006.
13. Рабочая книга по прогнозированию / Редкол.: И. В. Бестужев-Лада и др. М., 1982.
14. Республиканская программа энергосбережения на 2006–2010 годы. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 2 февраля 2006 № 137. Мин., 2006.

15. Целевая программа обеспечения в республике не менее 25 процентов объема производства электрической и тепловой энергии за счет использования местных видов топлива и альтернативных источников энергии на период до 2012 г. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 30 декабря 2004 г. № 1680. Мн., 2004. (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2005 г., № 4, 5/15414).
16. Atmospheric Emission Inventory Guidebook. A Joint EMEP / CORINAIR Production Prepared by the EMEP Task Force on Emission Inventories, Copenhagen. EEA. 3^d edition updated – 2006.
17. Draft RAINS Input Data for Projections of Air Pollutant Emissions and their Sources in the Non-EU Countries up to 2020 // EMEP CIAM Report 1/2006.
18. PRIMES Model Version 2 Energy System Model: Design and Features // E3Mlab – ICCS/NTUA. 2005. 51 p.
19. RAINS. User Guide. / F. Wagner, W. Schopp, Ch. Heyes. IIASA, Laxenberg, Austria, 2004.
20. TREMOVE 2 Service contract for the further development and application of the TREMOVE transport model – Lot 3 Service // Contract 070501/2004/387327/MAR/C1. Belgium, 2006.

C. V. Kakareka A. V. Мальчихина

ПРОГНОЗ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ДО 2020 г. НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Изложены принципы, алгоритмы, входная информация и результаты прогнозирования выбросов загрязняющих веществ на территории Беларуси до 2020 г. на основе методологии прогнозирования выбросов Программы ЕМЕП. Показано, что проекты (прогнозы) выбросов служат инструментом разработки и оценки стратегий их сокращения. Разработаны проекты выбросов для двух сценариев социально-экономического развития: базового и текущего законодательства.

Выполненные оценки показали, что предельные значения выбросов диоксида серы для Беларуси, установленные Протоколом по сере и Гетеборгским протоколом, не будут превышены при любом сценарии. Предельные значения выбросов оксидов азота, установленные Протоколом об ограничении выбросов оксидов азота или их трансграничных потоков (1988 г.) и Гетеборгским протоколом, не будут превышены при реализации мер по снижению выбросов.

Реализация запланированных мер по снижению выбросов и программ технического перевооружения позволит в значительной степени предотвратить увеличение выбросов загрязняющих веществ, в частности оксидов азота, которое может произойти вследствие роста в секторах экономики и изменений в топливном балансе.

Результаты работы использованы для корректировки положений Гетеборгского протокола к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния.

S. V. Kakareka, A. V. Malchykhina

PROJECTIONS OF AIR POLLUTANT EMISSIONS IN BELARUS UP TO 2020

The algorithms, main principles, input data, and results of emissions projections in Belarus up to 2020 are shown. It is shown that emission projections are used as instrument on development and assessment of emission abatement strategies. The emission projections of nitrogen oxides and sulfur dioxide for baseline and current legislation socio-economic scenario were made. The EMEP methodology for emission projections was used for assessment.

The assessment of emissions projections have shown that emission limits for sulfur dioxide that were set by Protocol on and Gothenburg Protocol will not exceeded in any case. Emission limits for nitrogen oxides that were set by Protocol concerning the Control of Emissions of Nitrogen Oxides (1988) and Gothenburg Protocol will not exceeded in case of emission abatement measures implementation.

It is shown that the realization of planned emission abatement measures and programs of technical re-equipment will allow preventing further emissions increase to a great extent. Such increasing could occur as a result of economic growth and change of fuel balance.

The results of the work were used for the revision of the Gothenburg Protocol.

С. В. Какарека, О. Е. Белькович, А. В. Хамицевич

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА И ТRENДЫ АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ СЕРЫ И АЗОТА НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ БЕЛАРУСИ

Описана динамика уровней атмосферных выпадений соединений серы и азота на урбанизированных территориях Беларусь с 1990 по 2007 г. Использованы данные мониторинга атмосферных осадков в рамках НСМОС и результаты моделирования переноса и выпадения загрязняющих веществ в рамках Программы ЕМЕП. Оценено соотношение уровней выпадений в городах и на фоновых территориях. Показано, что тренды выпадений серы как в городах, так и на фоновых территориях в целом имеют достаточно хорошую сходимость с результатами моделирования по Программе ЕМЕП. В то же время временные ряды атмосферных выпадений соединений азота по данным измерений на сети НСМОС существенно отличаются от модельных рядов выпадений. Выполнено также сравнение выявленных трендов выпадений по данным мониторинга атмосферных осадков и по результатам картографирования загрязнения снежного покрова (на примере г. Минска).

Атмосферные выпадения являются основным источником поступления загрязняющих веществ в экосистемы. В связи с этим информация об уровнях атмосферных выпадений необходима для оценки воздействий на экосистемы, оценки эффективности воздухоохраных мероприятий, разработки прогнозов состояния окружающей среды.

Оценки уровней атмосферных выпадений могут быть получены двумя основными методами: а) на основе инструментальных наблюдений содержания загрязняющих веществ в атмосферных осадках (влажные выпадения) и атмосферном воздухе (сухие выпадения); б) на основе моделирования переноса и рассеяния загрязняющих веществ. К дополнительным методам относится мониторинг химического состава снежного покрова, который выступает депонентом влажных и сухих выпадений.

Мониторинг и моделирование атмосферных выпадений в Европе насчитывает более 30 лет: первые измерения выполнены в 1977–1978 гг. в рамках организационно оформленной несколько позже Программы ЕМЕП. В настоящее время около 100 станций ЕМЕП замеряют содержание закисляющих соединений в атмосферном воздухе и осадках, из них около 60 замеряют также соединения азота. В состав сети измерения озона входят порядка 100 постов; летучие органические соединения (ЛОС) замеряют на 9 станциях ЕМЕП.

В Беларусь мониторинг в рамках Программы ЕМЕП начал в 1979 г. на метеостанции Высокое, которая входила в сеть станций трансграничного мониторинга вдоль западных границ СССР. Мониторинг включал отбор суточных проб атмосферных осадков (общие и влажные выпа-

дения), отбор суточных проб атмосферного воздуха.

Непрерывные наблюдения на станции продолжались до 1991 г. Затем в связи с нарушением наложенных связей, позволявших выполнять химические анализы, наблюдения были свернуты. В апреле 2001 г. на станции Высокое возобновлены отбор и анализ суточных проб атмосферных осадков. Анализируются pH, электропроводность, основные компоненты химического состава в соответствии с рекомендациями Программы ЕМЕП. В то же время мониторинг атмосферного воздуха на станции пока не наложен.

Мониторинг атмосферных осадков осуществляется в Беларусь с 1962 г. (начат на ст. Березино). На ст. Березинский заповедник наблюдения проводятся с 1984 г. В настоящее время наблюдения осуществляются на 18 станциях, на большинстве из них с 1990–1991 гг. На ст. Гродно наблюдения начаты в 2002 г., ст. Новогрудок – в 2004 г., ст. Мстиславль – в 2005 г., ст. Браслав – в 2006 г., ст. Жлобин – в 2007 г., ст. Лида – в 2008 г. Большинство пунктов наблюдений за осадками находится в городах. Отбираются и анализируются месячные пробы атмосферных осадков.

В данной статье приводится сравнительный анализ информации об атмосферных выпадениях серы и азота на урбанизированных территориях Беларусь, полученной разными методами. Для оценки уровней и трендов атмосферных выпадений использованы данные модельных расчетов и мониторинга, полученные в рамках Программы ЕМЕП [6-8, 10-12], данные мониторинга атмосферных осадков НСМОС Беларусь [3, 4, 9], а также результаты картографирования загрязнения снежного покрова в г. Минске [1, 5].

Тренды атмосферных выпадений серы и азота в Европе по данным Программы ЕМЕП

Моделирование переноса и рассеяния загрязняющих веществ, выполняемое научными центрами Программы ЕМЕП, позволяет получить поля годовых атмосферных выпадений (сухих, влажных и суммарных) на территории Европы, в т. ч. Беларуси, с пространственным разрешением 50x50 км. Результаты расчетов выпадений в рамках Программы ЕМЕП, а также результаты инструментального мониторинга на станциях ЕМЕП могут сравниваться напрямую только с данными для новых территорий Беларуси. Интерполяция полученных в рамках ЕМЕП уровней и трендов на урбанизированные территории может осуществляться лишь с учетом дополнительной информации об атмосферных выпадениях.

Сера

Совместные действия стран в области охраны атмосферного воздуха привели к тому, что

за истекшее после принятия в 1979 г. Женевской конвенции время произошло значительное сокращение выбросов загрязняющих веществ. В первую очередь, это характерно для серы: общее сокращение выбросов серы в Европе составило около 70 % [5, 6]; намеченные цели по снижению выбросов для региона ЕМЕП в целом уже достигнуты [10]. В Беларуси с 1980 г. выбросы серы сократились примерно на 80 %.

Среднегодовое значение pH атмосферных осадков в Европе повысилось с 4,7 в 1977 г. до 5,2 в 2001–2005 гг. Снижение кислотности атмосферных осадков связано в первую очередь со снижением выбросов серы и, как следствие, уменьшением ее содержания в атмосферных осадках. Так, среднее содержание серы в осадках уменьшилось с 1,3–1,5 мг/л в конце 1970-х – начале 1980-х гг. до 0,5–0,6 мг/л в 1998–2001 гг. (рис. 1). В целом снизилось влияние кислотных осаждений на экосистемы, природные воды и здоровье человека.

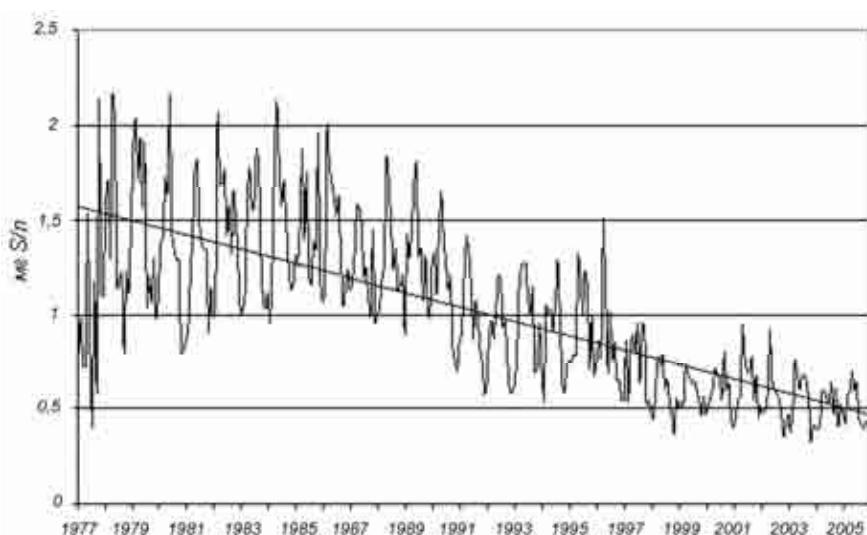


Рис. 1. Динамика среднемесячного содержания серы в атмосферных осадках в Европе на станциях Программы ЕМЕП за период с 1977 по 2005 г.

Окисленный и восстановленный азот

В отличие от выбросов серы, борьба с выбросами оксидов азота, основным источником которых является транспорт, не была столь успешной. Общее сокращение выбросов оксидов азота в Европе с момента подписания Конвенции составило 25–30 % (в Беларуси – 43 %). Эффект осаждения аммиака схож с эффектом от поступления оксидов азота в экосистему: он оказывает как закисляющее, так и эвтрофирующее воздействие. Выбросы аммиака сократились в среднем на 20 %; наибольшее сокращение характерно для стран Восточной Европы (в Беларуси – примерно на 35 %), в то время как в остальной части

Европы сокращение не превысило в среднем 10 %.

Тренды изменений концентраций окисленного и восстановленного азота в атмосферных осадках не столь выражены, как для серы: в большинстве стран нисходящий тренд составляет 20–30 %, однако отмечаются значительные вариации в зависимости от пункта наблюдения (рис. 2, 3). В целом сокращение содержания серы и азота в осадках в Европе происходило до 1998 г., с 1998 по 2003 г. существенных изменений концентраций как серы, так и азота не отмечено. Однако в последние годы наблюдается некоторая тенденция к росту содержания азота в атмосферных осадках [11, 12].

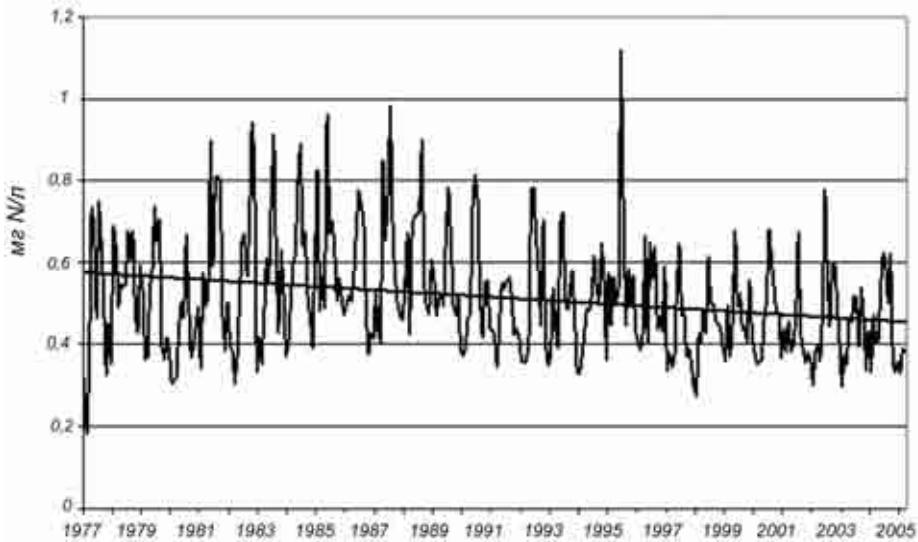


Рис. 2. Динамика среднемесячного содержания окисленного азота в атмосферных осадках в Европе на станциях Программы ЕМЕП за период с 1977 по 2005 г.

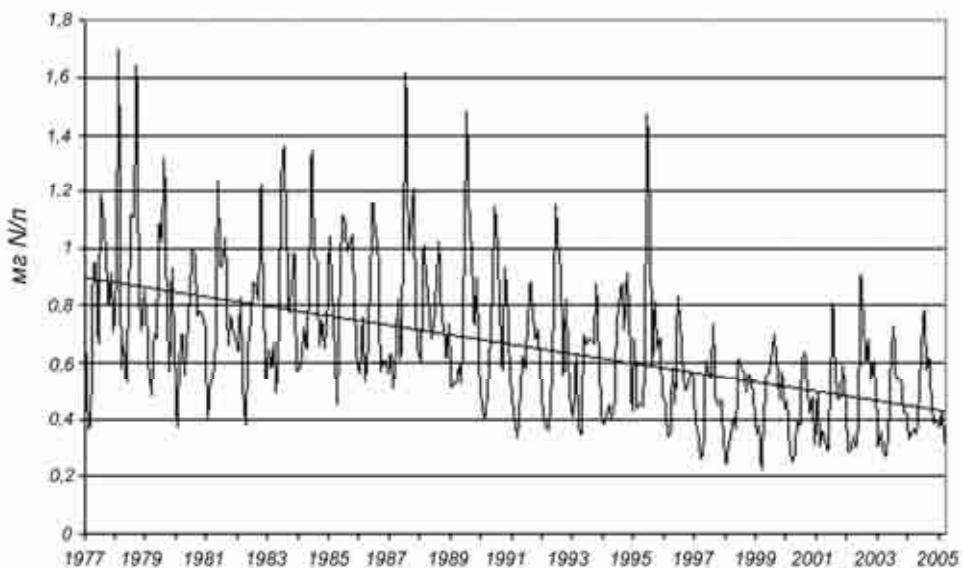


Рис. 3. Динамика среднемесячного содержания восстановленного азота в атмосферных осадках в Европе на станциях Программы ЕМЕП за период с 1977 по 2005 г.

Тренды атмосферных выпадений серы и азота в Беларуси по данным Программы ЕМЕП

Особенности географического положения Беларуси обусловили резкое преобладание в составе атмосферных выпадений трансграничной составляющей. По последним оценкам центров ЕМЕП, доля трансграничной серы в выпадениях на территорию Беларуси составляет 85 %, окисленного азота – 91 %, восстановленного азота – 49 %, бензо(а)пирена – 52 %. Около 70 % антропогенного свинца, 79 % кадмия и 84 % ртути также имеют внешнее происхождение. В

поступлении на территорию Беларуси окисленных серы и азота, тяжелых металлов, бензо(а)пирена основной вклад принадлежит странам-соседям: России, Украине, Польше, Румынии, Германии. Восстановленный азот имеет в основном местное происхождение; существенный вклад вносят также Украина и Польша. В свою очередь, более 60 % серы и восстановленного азота и около 87 % окисленного азота от источников на территории Беларуси выпадает на территорию других стран.

По модельным расчетам Метеорологического синтезирующего центра «Запад» Програм-

мы ЕМЕП (данные на 2006 г.), годовой поток выпадений на территорию Беларуси составил 94,8 тыс. т серы, 61,6 тыс. т окисленного и 80,7 тыс. т восстановленного азота [12]. По сравнению с 2005 г. выпадения окисленной серы снизились на 16 %, окисленного азота – на 10 %,

восстановленного – на 18 %. Согласно расчетам по Программе ЕМЕП [11, 12], по сравнению с 1990 г. выпадения серы в Беларуси снизились примерно на 75 %, окисленного азота – примерно на 50 %, восстановленного – более чем на 40 % (рис. 4).

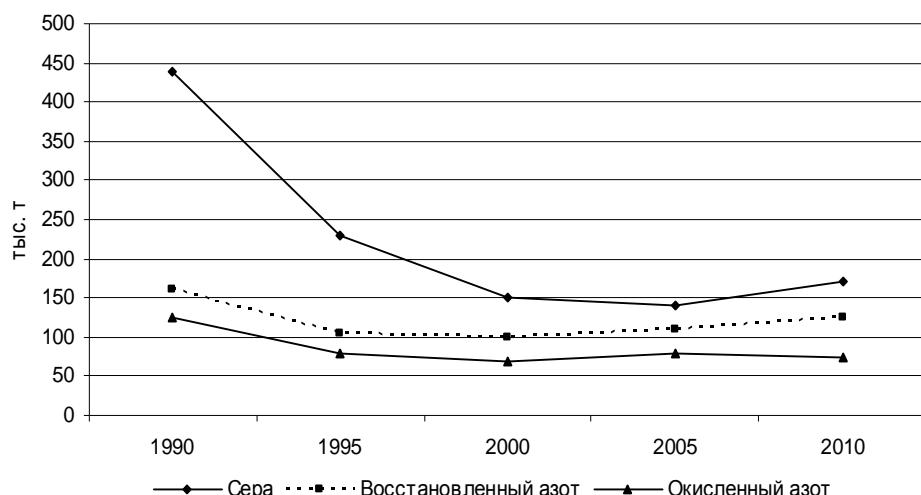


Рис. 4. Динамика и прогнозные уровни выпадения серы и азота на территории Беларуси по данным расчетов по Программе ЕМЕП

Тренды атмосферных выпадений в городах Беларуси по данным НСМОС

Оценить уровни выпадений серы и азота на территории Беларуси позволяют данные сети мониторинга химического состава атмосферных осадков в рамках НСМОС. Интенсивность потока осаждения с атмосферными осадками рассчитывалась как функция взвешенной средней годовой концентрации серы и азота в осадках на основе данных о месячных концентрациях компонентов в осадках определенной станции и годового количества осадков.

Для оценки средних уровней и трендов выпадений на урбанизированных территориях Беларуси использованы данные станций, имеющих ряд наблюдений более 10 лет. Для оценки различий в уровнях выпадений на урбанизированных и фоновых территориях рассчитывалось соотношение среднего уровня выпадений в городах и на станции Березинский заповедник.

Средние уровни выпадения серы в городах Беларуси, по данным мониторинга атмосферных осадков, снизились с 1250–1550 кг/км²/год в начале 1990-х до 650–700 кг/км²/год в 2005–2007 гг., т. е. примерно на 50 % (рис. 5). Близкие уровни снижения выпадений серы отмечены практически во всех городах. Сходные уровни снижения (около 55 %) характерны для фоновых территорий (ст. Березинский заповедник). В то же время на ст. Нарочь средние уровни выпадений серы существенно не изменились: в 2004–

2007 гг. они составили 85 % от уровня выпадений 1990–1993 гг. В целом снижение интенсивности выпадений серы в городах на 15–20 % меньше, чем по расчетам по Программе ЕМЕП. Это может быть объяснено влиянием локальных источников.

Абсолютные значения уровней выпадений серы на урбанизированных территориях Беларуси в 1990–2007 гг. в среднем в 2,2 раза превышали выпадения на фоновых территориях; это соотношение варьировало в диапазоне 1,4–3,4 без выраженного тренда. Средние уровни выпадений серы за период с 1990 по 2007 г. были самыми высокими в Полоцке, Пинске, Мозыре и Березино.

Динамика атмосферных выпадений как окисленного, так и восстановленного азота по данным измерений на сети мониторинга атмосферных осадков не может быть описана линейным трендом. Выпадения окисленного азота имели два максимума – в 1994 и 2007 гг., и два минимума – в 1995 и 2000 гг. (рис. 6). Если, согласно данным ЕМЕП, выпадения окисленного азота в Беларуси снизились за 15 лет примерно в 2 раза, то по данным НСМОС в последние 4 года уровни выпадений окисленного азота в городах Беларуси были лишь на 23 % ниже среднего уровня в 1990–1993 гг. Сходные тенденции отмечены и для фоновых территорий: на ст. Березинский заповедник уровни выпадений в 2004–2007 гг. снизились по отношению к 1990–

1993 гг. лишь на 12 %, на ст. Нарочь они были выше на 7 %.

Абсолютные значения уровней выпадений окисленного азота на урбанизированных территориях в 1990–2007 гг. в среднем в 1,4 раза пре-

вышали выпадения на фоновых территориях; их соотношение варьировало в диапазоне 0,9–2,7 раза без выраженных закономерностей. Наивысшие средние уровни характерны для Березино, Гомеля и Полоцка.

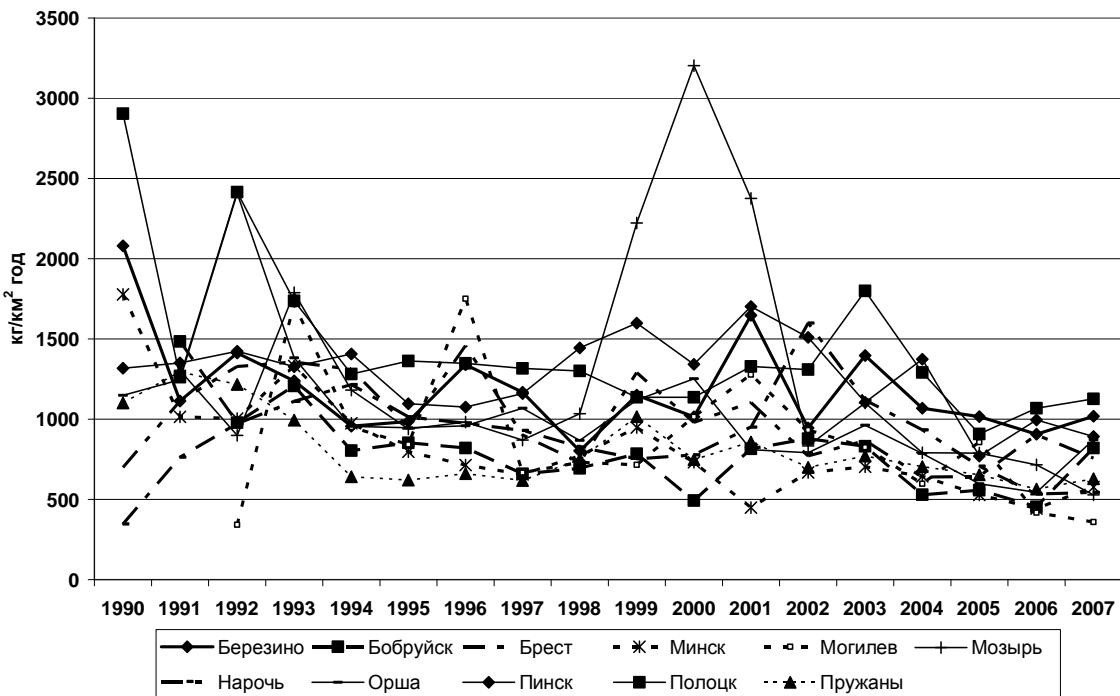


Рис. 5. Динамика среднегодовых уровней выпадения соединений серы с атмосферными осадками в городах Беларусь за период с 1990 по 2007 г.

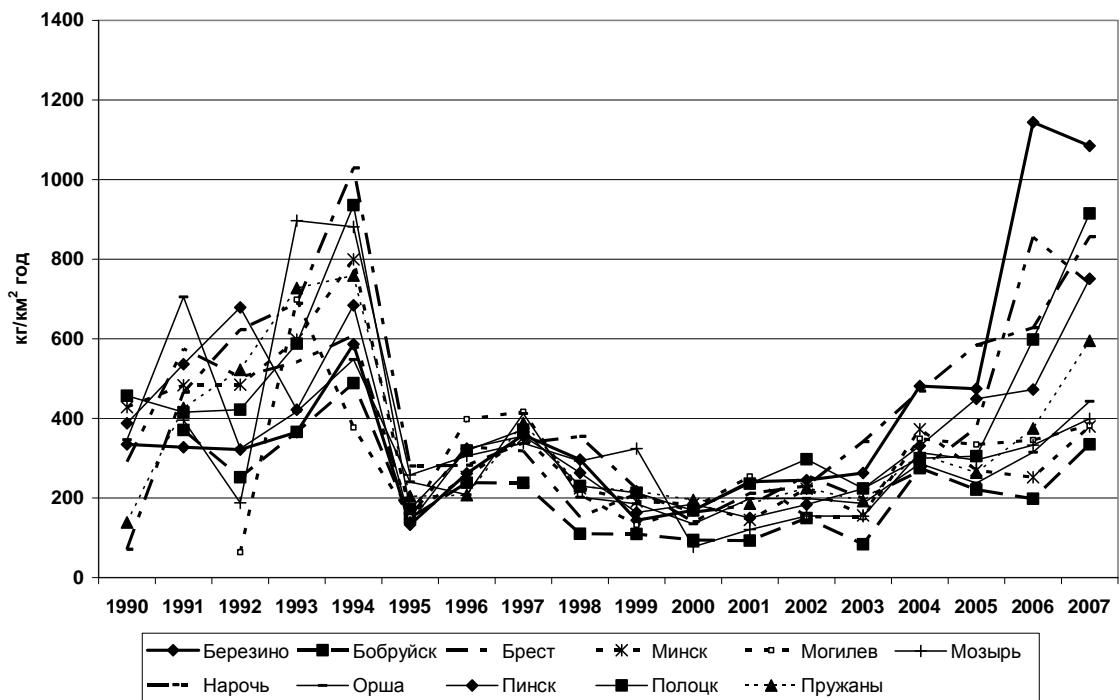


Рис. 6. Динамика среднегодовых уровней выпадения окисленного азота с атмосферными осадками в городах Беларусь за период с 1990 по 2007 г.

Выпадения восстановленного азота имели два максимума: в 1993 и 1998–2001 гг. В 2004–2007 гг. средние уровни выпадений этого соединения были на 48 % ниже, чем в 1990–1993 гг. (рис. 7), что в целом близко общему сокращению выпадений восстановленного азота по результатам моделирования в рамках Программы ЕМЕП. На ст. Березинский заповедник выпадения восстановленного азота в 2004–2007 гг. были на 50 % ниже, чем в 1990–1993 гг., на ст. Нарочь – на 21 % ниже. Однако значительные межгодичные вариации уровней выпадений восстановленного азота не позволяют говорить о четких трендах.

Абсолютные значения уровней выпадений восстановленного азота на урбанизированных территориях в 1990–2007 гг. в среднем в 1,7 раза превышали выпадения на фоновых территориях, при этом их соотношение было подвержено значительным колебаниям (варьировало в диапазоне 0,4–4,0 раза) с тенденцией к некоторому росту различий между урбанизированными и фоновыми территориями. Наивысшие уровни выпадений характерны для Пинска, Бобруйска, Мозыря и Могилева.

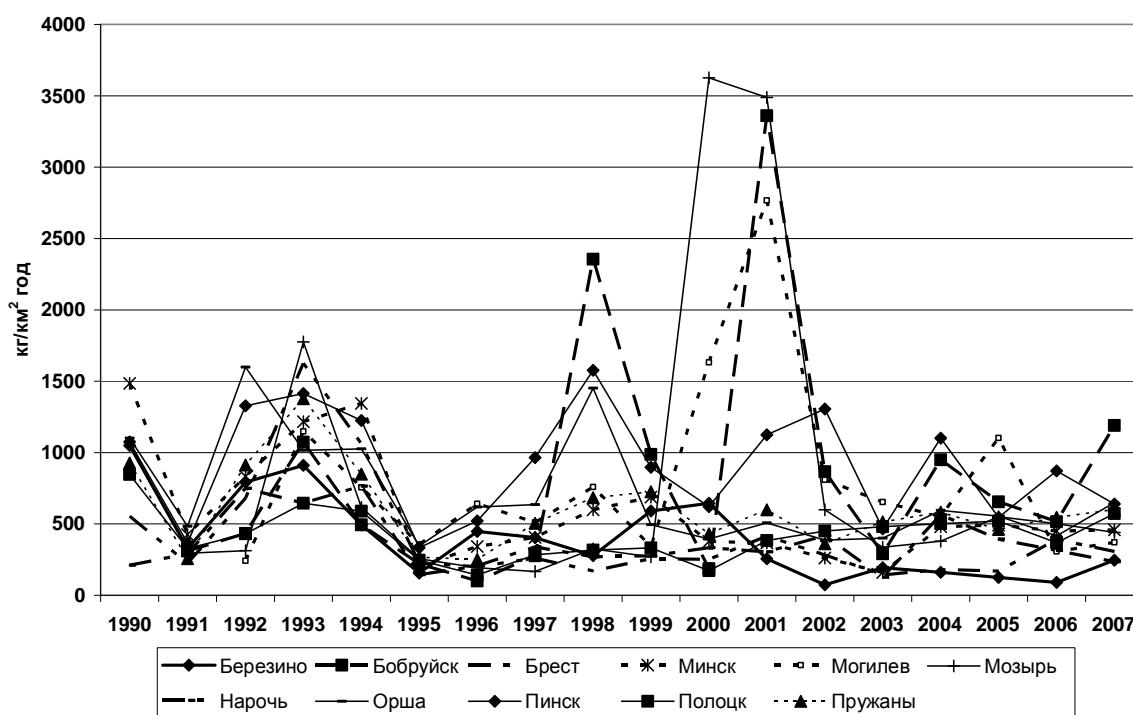


Рис. 7. Динамика среднегодовых уровней выпадения восстановленного азота с атмосферными осадками в городах Беларусь за период с 1990 по 2007 г.

Анализ динамики выпадения закисляющих соединений по данным НСМОС показывает, что, в отличие от первой половины 1990-х гг., когда интенсивность выпадения всех закисляющих соединений уменьшалась, для последних лет характерна тенденция к снижению поступления только серы; изменения атмосферных потоков азота неустойчивы (рис. 8).

Тренды выпадений на урбанизированных территориях по данным картографирования загрязнения снежного покрова

Опробование снежного покрова позволяет получить интегральную оценку атмосферных выпадений в зимний период (сумму влажных и сухих). Регулярное (ежегодное) опробование снежного покрова в городах не только дает возможность более точно оценить средние уровни атмосферных выпадений, но и выявить территори-

альную структуру выпадений. Однако широкое использование данного метода усугубляется рядом обстоятельств, в первую очередь неустойчивостью залегания снега, сложностью организации его опробования в сжатые сроки, переотложением снега и потерями загрязняющих веществ при таянии, методическими сложностями расчета выпадений.

В связи с этим, опробование снежного покрова для оценки трендов атмосферных выпадений не получило широкого применения. Наиболее регулярно выполняется опробование снега на территории г. Минска (имеется ряд наблюдений (с перерывами) с конца 1970-х гг.), однако даже для Минска по результатам анализа снежных вод не всегда рассчитываются уровни атмосферных выпадений.

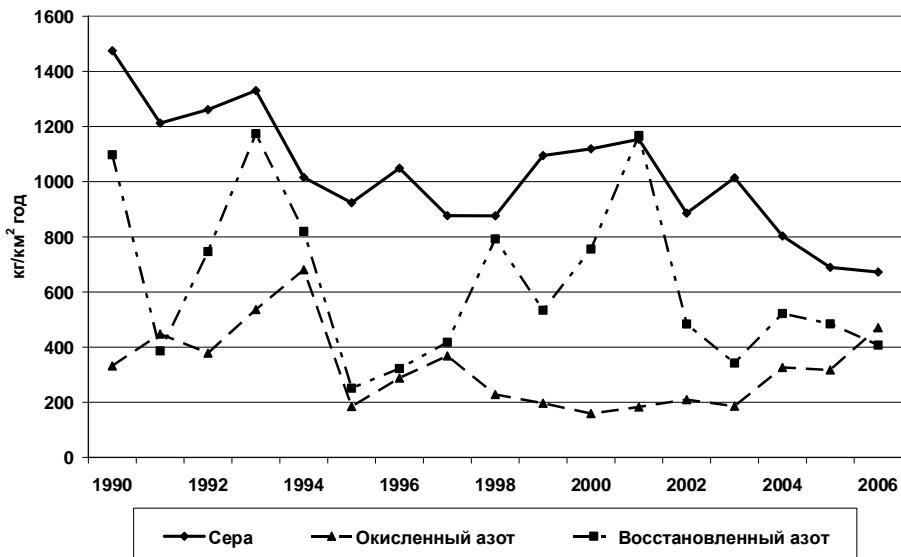


Рис. 8. Динамика среднегодового выпадения серы и азота с атмосферными осадками в городах Беларусь за период с 1990 по 2006 г.

Расчет интенсивности атмосферных выпадений на основе данных о содержании загрязняющих веществ в снежной воде может быть выполнен различными методами. Один из методов – оценка выпадений как частного от деления запаса того или иного загрязняющего вещества в снеге с единицы площади на продолжительность его залегания. Однако этот метод достаточно трудоемкий. Может использоваться упрощенный метод оценки выпадений исходя из содержания загрязнителей в снежных водах и суммы осадков за период с устойчивым снежным покровом.

Для выявления тренда атмосферных выпадений в г. Минске по данным картографирования загрязнения снежного покрова нами использованы данные опробования снежного покрова в Минске в 1996 и 2007 гг. Методика анализа и состав информации описаны ранее [1,5].

По сравнению с 1996 г. содержание сульфат-иона в снежном покрове в 2007 г. было выше в 1,3 раза, содержание нитратов – ниже на 19 %, аммонийного азота – ниже на 11 % (табл. 1).

Таблица 1. Сравнительные уровни выпадения серы и азота в зимний период на территории г. Минска по данным опробования снежного покрова и мониторинга атмосферных осадков НСМОС, кг/км²/сут

Год опробования	Исходные данные	Сера	Оксисленный азот	Восстановленный азот
1996	По данным опробования снежного покрова	1,57	0,15	0,79
	По данным мониторинга атмосферных осадков	1,48	0,46	0,22
2007	По данным опробования снежного покрова	2,48	0,65	0,86
	По данным мониторинга атмосферных осадков	1,43	1,02	0,94

Средний уровень выпадения серы в Минске, по данным мониторинга атмосферных осадков, составил в январе–марте 1996 г. 1,48 кг/км²/сут, окисленного азота – 0,46 кг/км²/сут, восстановленного – 0,22 кг/км²/сут. Эти значения существенно ниже среднегодовых выпадений для города за 1996 г. (соответственно 2,12; 0,75 и 1,02 кг/км²/сут).

Средние выпадения серы на территории г. Минска в зимний период 1995–1996 гг., рассчитанные по данным опробования снежного покрова по второму из указанных методов, составили 1,57 кг/км²/сут, окисленного азота – 0,15 кг/км²/сут, восстановленного – 0,79 кг/км²/сут.

В январе–феврале 2007 г. среднесуточные выпадения серы в г. Минске, по данным мониторинга атмосферных осадков, составили 1,43 кг/км²/сут, окисленного азота – 1,02 кг/км²/сут, восстановленного – 0,94 кг/км²/сут, что в целом близко средним за год уровням (соответственно 1,58, 1,04 и 1,26 кг/км²/сут). Среднесуточный уровень выпадений, рассчитанных по снежному покрову, составил для серы 2,48 кг/км²/сут, окисленного азота – 0,65 кг/км²/сут, восстановленного – 0,86 кг/км²/сут.

Согласно данным мониторинга атмосферных осадков, в Минске уровни выпадения серы

зимой 2007 г. по отношению к зиме 1996 г. почти не изменились, окисленного и восстановленного азота – возросли в 2,2 и 3,6 раза соответственно. Согласно результатам опробования снежного покрова, выпадения серы зимой 2007 г. были выше, чем в январе–марте 1996 г., на 58 %, окисленного азота – в 4,3 раза, восстановленного – на 9 %. Таким образом, связь между выпадениями серы и азота с атмосферным осадками и их накоплением в снежном покрове нелинейная, что затрудняет использование результатов картографирования снежного покрова для выявления многолетних трендов атмосферных выпадений.

Анализ показал, что в целом сходимость результатов оценок трендов выпадений серы по данным мониторинга атмосферных осадков и модельных расчетов в рамках Программы ЕМЕП достаточно хорошая. При этом не выявлено существенных различий в трендах атмосферных выпадений серы между городскими и фоновыми территориями, несмотря на то что абсолютные величины уровней выпадений в городах существенно выше. Это свидетельствует об определенной синхронности изменения вклада регионального переноса и локальных источников в содержание серы в атмосферных осадках на территории Беларуси.

Абсолютные значения уровней выпадений серы на урбанизированных территориях в 1990–2007 гг. в 1,4–3,4 раза превышали выпадения на фоновых территориях (в среднем в 2,2 раза), окисленного азота – в 0,9–2,7 раза (в среднем в 1,4 раза), восстановленного азота – в 0,4–4,0 раза (в среднем в 1,7 раза).

Тренды атмосферных выпадений соединений азота в городах Беларуси и на фоновых территориях, по данным мониторинга НСМОС, существенно менее четкие, чем это вытекает из модельных расчетов Программы ЕМЕП и динамики выбросов данных соединений в Европе. Особенно это характерно для окисленного азота. Причины могут быть выявлены в ходе дальнейших исследований.

Результаты опробования снежного покрова показали отсутствие линейной связи между выпадениями загрязняющих веществ с содержанием химических веществ в атмосферных осадках и их накоплением в снежном покрове; эта связь более сложная.

Авторы выражают благодарность руководству и сотрудникам Департамента по гидрометеорологии за предоставленную информацию о химическом составе атмосферных осадков на сети наблюдений НСМОС.

Литература

1. **Какарека С. В., Белькович О. Е., Чудук В. Н., Саливончик С. В.** Особенности химического состава снежного покрова в г. Минске в зимний период 2006–2007 гг. // Природопользование. Мн., 2008. Вып. 14. С. 57–62
2. **Какарека С. В., Белькович О. Е., Чудук В. Н., Саливончик С. В.** Внутригодовая динамика химического состава атмосферных осадков на территории г. Минска // Природопользование. Мн., 2009. Вып. 15. С. 60–68.
3. Состояние природной среды Беларуси. Экологический бюллетень 2006 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. Мн., 2007.
4. Состояние природной среды Беларуси. Экологический бюллетень 2007 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. Мн., 2008.
5. **Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И.** Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси. Мн., 2004.
6. EMEP Assessment. Part I. European Perspective. Oslo, 2004.
7. EMEP Assessment. Part II. National Contributions. Oslo, 2004.
8. **Hjellbrekke A.-G., Fjæraa A.** Data Report 2005. Acidifying and Eutrophying Compounds and Particulate Matter. EMEP/CCC-Report 1/2007. Norwegian Institute for Air Research, 2007.
9. **Kakareka S.** Deposition and Emission Fluxes of Acidifying Compounds on the Territory of Belarus // Water, Air and Soil Pollution. 2001. Vol. 130, № 1–4. P. 523–528.
10. Transboundary Acidification, Eutrophication and Ground Level Ozone in Europe Since 1990 to 2004. EMEP Status Report 1/2006 ISSN 1504-6109. 2006.
11. Transboundary Acidification, Eutrophication and Ground Level Ozone in Europe in 2005. Status report 2007. EMEP Report 1/2007. 2007.
12. Transboundary Acidification, Eutrophication and Ground Level Ozone in Europe in 2006. Status report 2008. EMEP Report 1/2008. 2008.

С. В. Какарека, О. Е. Белькович, А. В. Хамитович

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА И ТRENДЫ АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ СЕРЫ И АЗОТА НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ БЕЛАРУСИ

В статье приведены результаты анализа динамики уровней атмосферных выпадений серы и азота на урбанизированных территориях Беларуси по данным НСМОС и результатам моделирования переноса и выпадения загрязняющих веществ в рамках Программы ЕМЕП.

Показана достаточно хорошая сходимость трендов выпадений серы по данным мониторинга атмосферных осадков и модельных расчетов в рамках Программы ЕМЕП. При этом тренды содержания серы в атмосферных осадках в городах и на фоновых территориях в целом сходны, несмотря на то, что абсолютные величины уровней выпадений в городах существенно выше. Это свидетельствует об определенной синхронности изменений поступления серы вследствие регионального переноса и от локальных источников в атмосферные осадки на территории Беларуси.

Многолетняя динамика атмосферных выпадений соединений азота в городах республики и на фоновых территориях по данным мониторинга существенно отличается от расчетных, полученных по Программе ЕМЕП; особенно это характерно для окисленного азота. Это свидетельствует о более сложной химии соединений азота в атмосфере по сравнению с соединениями серы, в частности, о более сложных связях между поступлением оксидов азота и аммиака в атмосферу с выбросами и их вымыванием атмосферными осадками.

Показано наличие более сложной, по сравнению с линейной, связи между выпадениями загрязняющих веществ с атмосферными осадками и их накоплением в снежном покрове.

S. V. Kakareka, O. E. Belkovich, A. V. Khamitsevich

DYNAMICS AND TRENDS OF ATMOSPHERIC SULPHUR AND NITROGEN FALLOUTS ON URBANIZED BELARUS TERRITORIES OF MANY YEARS

Results of the dynamics analysis of levels of atmospheric sulfur and nitrogen fallouts on urbanized Belarus territories according to data of the NSEM and results of modeling of the transfer and fallout of pollutants in the frames of EMEP Program are provided in the article.

Rather good coincidence of trends of sulfur fallout by data of monitoring of atmospheric precipitation and model calculations in the frames of EMEP Program has been shown. Trends of sulfur content in atmospheric precipitation in cities and in the background territories are similar in general, in spite of the fact that absolute values of fallouts levels in cities are much higher. This proves a definite synchronicity of changes of sulfur income due to regional transfer and from local sources into atmospheric precipitation on Belarus territory.

Dynamics of atmospheric nitrogen compound fallout in Belarus cities and on background territories by monitoring data of many years greatly differs from the calculated ones, obtained through EMEP Program; especially this is specific to oxidized nitrogen. This proves a more complex chemistry of nitrogen compounds in the atmosphere in comparison to sulfur compounds, in particular, more complex links between the nitrogen oxides and ammonia income into the atmosphere with effluents and their wash-out by atmospheric precipitation.

The presence of more complicated, if compared to linear, link between the contaminants fallouts with atmospheric precipitation and their accumulation in a snow cover have been shown.

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

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ И ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА В МИНСКЕ

Приведены данные по химическому составу атмосферных осадков и поверхностного стока, отобранных на экспериментальной площадке в Минске в период лето 2008–зима 2009 г. Показаны различия в макрокомпонентном составе осадков и стока в зависимости от периода их формирования. Для воды поверхностного стока выявлена зависимость трансформации химического состава от уровня антропогенной нагрузки.

В условиях урбанизированной среды, подверженной интенсивным техногенным воздействиям, происходит существенная геохимическая трансформация всех типов природных вод. Источниками такой трансформации являются выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросы в поверхностные водные объекты, загрязнение окружающей среды отходами производства и потребления.

Атмосферные осадки в городах, будучи начальным звеном цепочки «атмосферные осадки–поверхностный сток–поверхностные воды», представляют собой один из факторов формирования химического состава поверхностного стока с городской территории и через него – поверхностных вод. Тем не менее влияние атмосферных осадков на химический состав поверхностного стока в городах априори считается незначительным и практически не изучается. Однако, как показывают недавние исследования [13], это влияние существует, и изучение взаимосвязей между химическим составом атмосферных выпадений и поверхностного стока представляет как научный, так и практический интерес.

Цель работы – изучение химического состава атмосферных осадков и воды поверхностного стока с городской территории (на примере Минска). Полученные результаты планируется использовать для оценки атмосферной составляющей в выносе загрязняющих веществ поверхностным стоком, а также для разработки алгоритма расчета выноса загрязняющих веществ с территорий различных функциональных зон города для оценки влияния поверхностного стока на водоемы и водотоки, расположенные в городской черте.

Использованные в исследовании методические подходы базировались на проведении натурных экспериментальных работ, а также на анализе литературных данных. Период исследований охватывал июль 2008–февраль 2009 г.

Изученность трансформации химического состава атмосферных осадков и поверхностного стока в городах

Атмосферные осадки. Ранние научные работы, посвященные изучению химического со-

става атмосферных осадков, связаны с именами таких исследователей, как О. А. Алекин, А. М. Никаноров и Е. В. Посохов, которые рассматривают гидрохимию атмосферных осадков как неотъемлемую часть общей гидрохимии природных вод, как важный фактор формирования химического состава поверхностных и подземных вод [1, 12, 16].

Пристальный интерес к химическому составу атмосферных осадков возник в связи с постоянно нарастающим загрязнением воздушного бассейна Земли антропогенными примесями. На начальном этапе исследований химического состава атмосферных осадков наибольшее внимание уделялось кислотным дождям, основными источниками образования которых являются диоксид серы и оксиды азота. Вопросы образования кислотных дождей, их нейтрализации и влияния на окружающую среду достаточно подробно освещены в научной литературе [9, 26]. В настоящее время проблема кислых атмосферных осадков стоит не столь остро в связи с сокращением выбросов соединений серы и снижением концентрации сульфатов в аэрозолях и осадках [23]. Однако недостаточно внимания уделяется соединениям азота как основным заискивающим компонентам. Проблема остается актуальной, т.к. постоянно возрастает количество автомобильного транспорта, являющегося главным источником оксидов азота в атмосфере, что не позволяет значительно сократить выбросы.

Из основных компонентов химического состава атмосферных осадков в наибольшей степени изучены сульфаты [10, 14, 20, 21, 30]. Что касается влияния химического состава атмосферных выпадений на поверхностные воды, то эти сведения в научной литературе представлены отрывочно [6, 11, 25].

Основные данные о химическом составе атмосферных выпадений в Беларусь получают на сети мониторинга, проводимого Республиканским центром радиационного контроля и мониторинга окружающей среды Департамента по гидрометеорологии (РЦРКМ). Эта сеть включает 19 станций, расположенных в городах и населенных пунктах страны, а также в Березинском био-

сферном заповеднике. В пробах атмосферных осадков определяют содержание основных макрокомпонентов – анионов SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , HCO_3^- и катионов NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , показатель кислотности pH, удельную электропроводность; результаты исследований публикуются в ежегодных информационно-аналитических изданиях «Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень» [23].

Данные наблюдений за химическим составом атмосферных осадков в Беларуси за 1990–1999 гг. обобщены С. В. Какарека и Т. Б. Евстафьевой [8]. В последние годы экспериментальные исследования химического состава атмосферных осадков в Минске ведутся О. Е. Белькович [3, 7].

В настоящее время характеристика состава атмосферных осадков является неотъемлемой частью гидрохимических исследований во всем мире.

Поверхностный сток. Гидрологические и гидрохимические аспекты формирования химического состава воды поверхностного стока на городской территории изучались различными авторами на примере городов Минска [13, 17], Борисова [4], Курска [2], Санкт-Петербурга [28], Москвы [5, 27], Харькова [24], провинции Онтарио (Канада) [31].

При оценке воздействия городских поселений на качество водных ресурсов учитываются главным образом загрязнение и объемы сброса сточных вод коммунально-бытового хозяйства и промышленности. Однако мировая практика показывает, что такая категория вод, как поверхностный сток с территории города, может оказывать существенное влияние на водные объекты, способствуя не только обогащению воды основными макрокомпонентами солевого состава, но и загрязнению взвешенными веществами, нефтепродуктами, тяжелыми металлами и полиароматическими углеводородами. С учетом того, что в Беларуси очищается только 10 % поверхностного стока с городских территорий (главным образом от взвешенных веществ и нефтепродуктов), он остается одним из основных источников загрязнения водных объектов.

Гидрохимические исследования поверхностного стока с городской территории проводятся, как правило, в двух направлениях. Первое представляет собой изучение химического состава стекающих вод в зависимости от функционального назначения территории, периода формирования, транспортной нагрузки, количества осадков и т.д. Второе направление связано с оценкой вклада поверхностного стока с городской территории в целом в загрязнение принимающих актуальных систем наряду с другими категориями сточных вод.

В настоящее время Минским городским комитетом природных ресурсов и охраны окру-

жающей среды ведется мониторинг загрязнения воды шести основных выпусков дождевой канализации. Последние пять лет опробование осуществляется 12 раз в год. Однако анализ данных за период с 2000 по 2006 г. показал, что мониторинг не всегда отражает реальную ситуацию загрязнения поверхностного стока. Часто выпуски опробуются в бездождевой период, когда поверхностного стока нет, а вода из выпусксов – это нормативно чистая вода предприятий, или в конце снеготаяния, когда основная масса загрязняющих веществ уже вынесена в принимающий водоток [13].

Методика и объекты исследований

Экспериментальная работа по изучению химического состава атмосферных осадков и поверхностного стока в Минске включала отбор проб атмосферных осадков и воды поверхностного стока, а также опробование выпусков дождевой канализации.

Площадка по отбору проб атмосферных осадков располагалась в северо-восточной части города на территории Института природопользования НАН Беларуси. Опробование проводилось во время отдельных дождей или снегопадов при помощи осадкомера конструкции NILU [29]. В полученных пробах атмосферных осадков определяли содержание основных макрокомпонентов, кислотность и электропроводность [18].

Отбор проб воды поверхностного стока проводился во время интенсивных дождей с проезжей части ул. Скорины (транспортная зона с большой антропогенной нагрузкой) и со двора Института природопользования НАН Беларуси (общественная зона с небольшой антропогенной нагрузкой). Наиболее представительные пробы поверхностного стока были отобраны 8, 17, 21 июля и 19 ноября 2008 г., а также 9 февраля 2009 г. (табл. 1).

Кроме того, проводилось опробование трех выпусксов дождевой канализации, собирающей поверхностный сток с территории экспериментальных водосборов. В качестве экспериментальных водосборов выбраны водосборы коллекторов дождевой канализации с выпускками по ул. Пулихова и по ул. Полевой, а также коллектора дождевой канализации «Комаровка» (табл. 2).

Коллектор с выпусктом по ул. Пулихова собирает поверхностный сток с территории в основном с жилой многоэтажной застройкой. Диаметр трубы на выпуске 1 м. Очистных сооружений не предусмотрено. При высоком уровне воды в реке труба погружена в воду полностью. Нормативно чистые воды в коллектор не поступают. Мониторинг загрязнения вод данного выпуска не ведется.

Таблица 1. Условия отбора проб воды поверхностного стока на территории Минска, лето 2008–зима 2009 г.

Дата	Тип стока	Условия отбора
8.07.2008	Дождевой	Отбор проводился через 20 минут после начала дождя, до этого в течение недели дожди не выпадали
17.07.2008	Дождевой	Отбор проводился практически через сутки после начала сильного дождя
21.07.2008	Дождевой	Отбору предшествовали два дня слабых дождей
19.11.2008	Талый	Отбор проводился после того, как выпал первый снег. Одновременно на дорогах города началось применение противогололедных смесей (главным образом чистой соли), что способствовало стачиванию снега с дорожного покрытия, в то время как вне дорог талый сток отсутствовал
9.02.2009	Смешанный	Отбор проводился после двух дней снеготаяния во время дождя

Таблица 2. Структура использования территорий экспериментальных водосборов

Ливневый коллектор	Тип территории								Общая площадь водосбора, га	
	жилая		транспортная		промышленная		«зеленая»			
	га	%	га	%	га	%	га	%		
С выпуском по ул. Пулихова	57,50	84	10,82	16	—	—	—	—	68,32	
С выпуском по ул. Полевой	83,46	51	34,01	20	47,08	29	—	—	164,55	
«Комаровка»	669,14	62	212,38	20	155,65	14	46,83	4	1084,0	

В коллектор с выпуском по ул. Полевой помимо поверхностного стока с территории жилой застройки поступает поверхностный сток с территории автопарка № 1 и ЗАО «Автокомбинат № 2». Выпуск воды осуществляется по двум трубам диаметром 1 м каждая. Выпуск коллектора оборудован нефтевушкой. Нормативно чистые воды в коллектор не поступают. Мониторинг загрязнения вод данного выпуска не ведется.

Коллектор «Комаровка» оборудован на выпуске очистным сооружением, предназначенным для осаждения взвешенных веществ и очистки от нефтепродуктов. Сброс воды осуществляется через три трубы диаметром 2 м каждая. В коллектор поступает поверхностный сток с территории жилых кварталов и промышленных предприятий. Кроме того, в данный коллектор сбрасывает нормативно чистые воды котельная «Орловская».

Опробование выпусков дождевой канализации проводилось 31 марта 2008 г. в период снеготаяния, а также 4 апреля, когда сток на территории города не формировался и в течение предыдущих пяти дней было сухо.

В пробах поверхностного стока определялись содержание основных макрокомпонентов, фосфатов, взвешенных веществ и сухой остаток, а также кислотность, цветность и электропроводность [15].

Химический состав атмосферных осадков в Минске

Как показали проведенные ранее исследования [3, 7], для большинства компонентов химического состава атмосферных осадков в Минске

характерна сезонная динамика. Наиболее значительные сезонные колебания претерпевают концентрации гидрокарбонатов и калия. Так, в 2008 г. содержание гидрокарбонатов изменялось от 1,0 мг/дм³ в зимний период до 3,8 мг/дм³ в летний, калия – от 0,4 мг/дм³ зимой до 1,9 мг/дм³ летом. В зимний период снежный покров выступает в качестве фактора, лимитирующего почвенно-эррозионные процессы, являющиеся основным источником данных элементов в осадках.

Концентрации сульфатов и нитратов в летний период снизились более чем в 2 раза по сравнению с зимним, что объясняется окончанием отопительного сезона и, как следствие, меньшим выбросом соединений серы и азота в атмосферу.

Сезонные изменения в сторону уменьшения содержания в весенне-летний период характерны также для хлора и натрия: их концентрации снизились более чем в 3 раза по сравнению с зимним периодом, что может быть связано с более интенсивным поступлением этих элементов зимой вследствие внесения противогололедных солевых смесей.

Для ионов кальция и магния статистически значимых сезонных колебаний не зафиксировано.

Данные об ионном составе атмосферных осадков, отобранных на экспериментальной площадке одновременно с поверхностным стоком, представлены в табл. 3. Кислотность отобранных проб варьировала от 4,9 (8 июля) до 6,4 (17 июля). Средний показатель pH составил 5,7. Общая минерализация изменилась в пределах 2,9–15,1 мг/дм³.

Сравнив результаты определения содержания основных макрокомпонентов в разовых пробах атмосферных осадков со среднегодовыми показателями, можно заключить, что концентрации ионов в большинстве проб ниже или близки к их среднегодовым значениям. Исключение составила пробы, отобранная 19 ноября. Ее минерализация превысила среднегодовую в 1,6 раза и достигла $15,1 \text{ мг/дм}^3$. Концентрации большинства ионов также превысили среднегодовые показатели. Наиболее существенные различия зафиксированы для сульфатов (превышение

среднегодового значения в 1,8 раза), хлоридов (в 2,4 раза), иона аммония и натрия (в 1,7 раза). Столь высокие концентрации объясняются тем, что отбору данной пробы предшествовал период с малым количеством осадков (за 16 дней перед отбором выпало менее 6 мм осадков).

Поскольку 9 февраля поверхностный сток формировался как за счет дождя, так и за счет таяния снега, интерес представляет пробы снега, отобранная 4 февраля на территории опытной площадки института (табл. 4).

Таблица 3. Содержание основных макрокомпонентов в воде разовых проб атмосферных осадков на территории экспериментальной площадки в период лето 2008–зима 2009 г., мг/дм^3

Дата	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	HCO_3^-	NH_4^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
8 июля 2008 г.	0,70	0,24	0,95	0,12	0,53	0,03	0,05	0,19	0,09
17 июля 2008 г.	2,20	0,70	2,14	1,59	1,31	0,25	0,20	1,72	0,65
21 июля 2008 г.	1,25	0,60	2,13	1,22	1,20	0,40	0,19	0,41	0,26
19 ноября 2008 г.	5,10	2,51	2,55	0,37	2,04	1,00	0,31	0,94	0,29
9 февраля 2009 г.	1,40	0,39	0,25	0,24	0,39	0,02	0,13	0,40	0,12

Таблица 4. Содержание основных макрокомпонентов в пробе снежного покрова на территории экспериментальной площадки, мг/дм^3

Дата	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	HCO_3^-	NH_4^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
4 февраля 2009 г.	1,67	1,48	1,05	1,64	0,40	0,60	0,08	0,75	0,24

Проба снега характеризовалась низким показателем минерализации ($7,9 \text{ мг/дм}^3$) и слабокислой реакцией среды (6,0). Влагозапас снежного покрова к моменту отбора пробы составлял 44 мм.

Проведено сравнение пробы снега с осредненными показателями для атмосферных осадков, выпадавших с момента установления снежного покрова до момента отбора пробы. По сравнению с атмосферными осадками в снежном покрове концентрация сульфатов и кальция выше в 1,9 раза, гидрокарбонатов – в 4,3 раза, нитратов – в 2,6 раза. Содержание ионов аммония выше в атмосферных осадках, чем в снежном покрове, в 1,7 раза.

Преобладающими анионами в составе атмосферных осадков являются сульфаты и нитраты. В среднем их содержание в 2008 г. составило соответственно 35 и 27 %-экв. В составе катионов преобладают ион аммония и кальций – соответственно 40 и 28 %-экв. Согласно классификации О. А. Алекина [1], данные осадки принадлежат к нитратно-сульфатному кальциево-аммонийному типу.

Как видно из приведенных ионных формул (табл. 5), тип воды атмосферных осадков претерпевает сезонные изменения. В осенне-зимний период в ионном составе увеличивается доля хлоридов. Так, 19 ноября тип атмосферных осадков был хлоридно-сульфатным аммонийным, а

9 февраля – сульфатным кальциево-аммонийным с высокой долей хлоридов (23 %-экв.). Тип июльских осадков (сульфатно-нитратный или нитратно-сульфатный аммонийный) более близок к среднегодовому.

Химический состав воды поверхностного стока с территории Минска

Химический состав воды поверхностного стока на городской территории зависит от многих факторов: периода формирования, климатических условий, санитарного состояния водосбора, наличия промышленных предприятий и т. д. [13]. В целом на урбанизированной территории основными источниками питания поверхностного стока загрязняющими веществами являются промышленные выбросы в атмосферу и атмосферные выпадения, городские почвы, автотранспорт, коррозия дорожных покрытий, применение противогололедных смесей и т. п. При этом химический состав воды поверхностного стока может варьировать в очень широких пределах.

В табл. 6 приведены данные по химическому составу воды поверхностного стока, отобранного на территории Минска в 2008–2009 гг. Анализ показал, что в летний период вода поверхностного стока была маломинерализованной ($20,8\text{--}92,7 \text{ мг/дм}^3$), в отличие от воды, отобранной в конце марта во время активного снеготаяния, когда минерализации я достигала $534,2\text{--}705,7 \text{ мг/дм}^3$ (воды повышенной минерализации).

Таблица 5. Ионный состав атмосферных осадков на территории экспериментальной площадки в 2008–2009 гг.

Дата	Общая минерализация, мг/дм ³	Ионный состав воды, %-экв
8 июля 2008 г.	2,9	NO ₃ ⁻ (40) SO ₄ ²⁻ (37) Cl ⁻ (17) HCO ₃ ⁻ (5)
		NH ₄ ⁺ (60) Ca ²⁺ (19) Mg ²⁺ (15) Na ⁺ (3) K ⁺ (3)
17 июля 2008 г.	10,8	SO ₄ ²⁻ (36) NO ₃ ⁻ (28) HCO ₃ ⁻ (21) Cl ⁻ (16)
		Ca ²⁺ (38) NH ₄ ⁺ (32) Mg ²⁺ (23) Na ⁺ (5) K ⁺ (2)
21 июля 2008 г.	7,7	NO ₃ ⁻ (36) SO ₄ ²⁻ (27) HCO ₃ ⁻ (20) Cl ⁻ (17)
		NH ₄ ⁺ (51) Ca ²⁺ (16) Mg ²⁺ (16) Na ⁺ (13) K ⁺ (4)
19 ноября 2008 г.	15,1	SO ₄ ²⁻ (47) Cl ⁻ (31) NO ₃ ⁻ (19) HCO ₃ ⁻ (3)
		NH ₄ ⁺ (48) Ca ²⁺ (20) Na ⁺ (18) Mg ²⁺ (10) K ⁺ (3)
9 февраля 2009 г.	3,3	SO ₄ ²⁻ (60) Cl ⁻ (23) NO ₃ ⁻ (9) HCO ₃ ⁻ (8)
		NH ₄ ⁺ (39) Ca ²⁺ (36) Mg ²⁺ (18) K ⁺ (6) Na ⁺ (2)

Таблица 6. Содержание основных макрокомпонентов и взвешенных веществ в поверхностном стоке с территории, близ Института природопользования в 2008–2009 гг., мг/дм³

Место отбора	pH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Сумма ионов	Взвешенные вещества
8 июля 2008 г.												
Проезжая часть ул. Скорины	8,68	48,8	1,69	2,20	0,72	0,30	6,17	1,61	3,00	7,2	71,7	532,0
Двор института	7,63	28,1	0,60	0,70	1,18	0,42	6,01	0,15	0,25	1,9	39,3	758,0
17 июля 2008 г.												
Проезжая часть ул. Скорины	7,59	24,6	16,1	5,01	1,48	0,81	11,22	2,31	8,65	1,5	24,5	531,9
Двор института	7,67	45,9	0,80	2,20	0,72	1,14	15,22	0,65	0,35	3,4	20,8	722,8
21 июля 2008 г.												
Проезжая часть ул. Скорины	6,99	26,1	30,78	2,00	0,76	0,65	8,82	0,61	18,00	4,9	92,7	508,9
Двор института	7,52	42,6	2,68	2,30	2,52	0,39	11,42	1,09	2,75	1,5	67,2	487,6
19 ноября 2008 г.												
Проезжая часть ул. Скорины	8,02	62,2	4733,0	26,7	0,36	2,07	99,4	12,6	2864,0	173,4	7973,8	1296,0
Двор института	Стока нет											
9 февраля 2009 г.												
Проезжая часть ул. Скорины	8,19	54,918	60,747	9,5	2,3	1,04	8,016	2,918	53	3,5	196,1	879,8
Двор института	6,42	18,306	13,499	24,3	17,5	4,4	11,22	2,918	5,8	5,4	103,4	6,93

Наименьшее содержание в воде поверхностного стока основных макрокомпонентов зафиксировано 17 июля 2008 г. Данный факт обусловлен, скорее всего, тем, что отбор проб проводился примерно через сутки после начала сильного дождя, поэтому к моменту опробования территории, на которой формировался сток, была достаточно «промытой». Сумма ионов составила только 20,8–24,5 мг/дм³. Вода поверхностного стока слабощелочная (рН = 7,6–7,7), в отличие от нейтральных атмосферных осадков. 8 июля 2008 г. минерализация воды поверхностного стока с

проезжей части ул. Скорины и двора института составила соответственно 71,7 и 39,3 мг/дм³. Содержание всех макрокомпонентов (за исключением форм азота) в стоке с проезжей части было выше. В этот день при кислых атмосферных осадках (рН = 4,9) сток с ул. Скорины был щелочным (рН = 8,7), а со двора института – слабощелочным (рН = 7,6).

21 июля 2008 г. зафиксирована самая высокая в этом месяце минерализация воды поверхностного стока (67,2–92,7 мг/дм³), хотя перед отбором проб в течение двух дней шел слабый

дождь. При слабокислых атмосферных осадках вода поверхностного стока классифицировалась как нейтральная. Содержание взвешенных веществ составило 487,6–508,9 мг/дм³.

19 ноября 2008 г. содержание основных макрокомпонентов в воде поверхностного стока значительно превышало их уровень не только в атмосферных осадках, но и в воде стока в летний период, что обусловлено началом применения на дорогах противогололедных смесей. Так, минерализация воды стока составила 7973,8 мг/дм³, что примерно в 8 раз выше ПДК для воды рыбохозяйственных водоемов. Содержание взвешенных веществ достигало 1300 мг/дм³.

9 февраля 2009 г. поверхностный сток формировался как за счет таяния снега, так и за счет дождя. Применение противогололедных смесей на дорогах к этому времени уже прекра-

тилось. Поверхностный сток с проезжей части дороги ул. Скорины имел слабощелочную реакцию ($\text{pH} = 8,2$), со двора института – нейтральную ($\text{pH} = 6,4$). Как видно из табл. 5, сток с проезжей части дороги, как правило, всегда характеризуется более щелочной реакцией среды по сравнению с поверхностным стоком с дворового проезда. Вода поверхностного стока классифицировалась как маломинерализованная (103,4–196,1 мг/дм³). Содержание хлоридов и натрия в воде значительно снижалось по сравнению с талым стоком, однако в 2–35 раз превышало значения, характерные для поверхностного стока в летние месяцы. Концентрации остальных макрокомпонентов в воде поверхностного стока близки к летним значениям.

Наиболее наглядно трансформацию воды поверхностного стока можно показать при помощи ионных формул (табл. 7).

Таблица 7. Трансформация химического состава воды поверхностного стока в 2008–2009 гг.

Дата	Место отбора	Общая минерализация, мг/дм ³	Ионный состав воды, %-экв
8 июля 2008 г.	Проезжая часть ул. Скорины	71,0	HCO_3^- (88) Cl^- (5) SO_4^{2-} (5) NO_3^- (1) Ca^{2+} (40) K^+ (24) Mg^{2+} (17) Na^+ (17) NH_4^+ (2)
	Двор института		HCO_3^- (90) NO_3^- (4) Cl^- (3) SO_4^{2-} (3) Ca^{2+} (76) K^+ (12) NH_4^+ (6) Mg^{2+} (3) Na^+ (3)
17 июля 2008 г.	Проезжая часть ул. Скорины	25,0	Cl^- (46) HCO_3^- (41) SO_4^{2-} (11) NO_3^- (2) Ca^{2+} (46) Na^+ (31) Mg^{2+} (16) NH_4^+ (4) K^+ (3)
	Двор института		HCO_3^- (90) SO_4^{2-} (5) Cl^- (3) NO_3^- (1) Ca^{2+} (78) K^+ (9) NH_4^+ (6) Mg^{2+} (5) Na^+ (2)
21 июля 2008 г.	Проезжая часть ул. Скорины	93,0	Cl^- (64) HCO_3^- (32) SO_4^{2-} (3) NO_3^- (1) Na^+ (55) Ca^{2+} (31) K^+ (9) Mg^{2+} (3) NH_4^+ (3)
	Двор института		HCO_3^- (81) Cl^- (9) SO_4^{2-} (6) NO_3^- (5) Ca^{2+} (68) Na^+ (14) Mg^{2+} (11) K^+ (5) NH_4^+ (3)
19 ноября 2008 г.	Проезжая часть ул. Скорины	7970,0	Cl^- (99) HCO_3^- (1) Na^+ (96) Ca^{2+} (3) Mg^{2+} (1)
9 февраля 2009 г.	Проезжая часть ул. Скорины	196,0	Cl^- (60) HCO_3^- (32) SO_4^{2-} (7) NO_3^- (1) Na^+ (75) Ca^{2+} (13) Mg^{2+} (8) K^+ (3) NH_4^+ (2)
	Двор института		SO_4^{2-} (34) Cl^- (26) HCO_3^- (20) NO_3^- (19) Ca^{2+} (39) Na^+ (18) Mg^{2+} (17) NH_4^+ (17) K^+ (10)

Как видно из приведенных ионных формул, тип воды поверхностного стока с дворовой территории института, где отсутствует сильная антропогенная нагрузка, в основном гидрокарбонатный кальциевый. Исключение составила вода поверхностного стока, отобранная 9 февраля. Тип воды – хлоридно-сульфатный кальциевый, наиболее приближенный к типу атмосферных осадков. Очевидно, данный факт обусловлен тем, что дорога, с которой отбирался поверхностный сток, была покрыта льдом, что препятствовало его контакту с асфальтовым покрытием и

почвами обочин, и, как следствие, в воде практически отсутствовали взвешенные вещества. Поэтому химический состав воды поверхностного стока (за исключением хлоридов и натрия) обусловлен главным образом содержанием макрокомпонентов в атмосферных осадках, а высокие доли хлоридов и натрия, вероятно, связаны с таянием загрязненного снега и льда.

Тип воды поверхностного стока с проезжих частей дорог в период применения противогололедных смесей – азональный хлоридный натриевый. К концу снеготаяния или при формировании

смешанного поверхностного стока доля хлоридов и натрия в составе вод снижается, а доля гидрокарбонатов и кальция возрастает. Этот факт подтверждают данные по составу воды поверхностного стока с проезжей части ул. Скорины за 9 февраля 2009 г.

Несмотря на небольшую минерализацию воды поверхностного стока с проезжей части ул. Скорины в июле 2008 г., только в начале месяца воды были гидрокарбонатными кальциевыми. Доля хлоридов и натрия в ионном составе воды 17 и 21 июля 2008 г. значительно возросла, что отразилось на типе вод, которые были гидрокарбонатно-хлоридными кальциево-натриевыми. Наличие в воде поверхностного стока повышен-

ных концентраций хлоридов и натрия, очевидно, связано с их вымыванием из загрязненных придорожных почв. На значительное накопление компонентов противогололедных смесей в почвах вдоль улиц и дорог на территории г. Минска указано в работах Е. А. Сидоровича с соавт. [22], а также В. А. Рыжикова и В. С. Хомича [19].

Химический состав поверхностного стока на выпусках дождевой канализации

Выпуски дождевой канализации опробованы в период снеготаяния, когда в нее поступает наиболее загрязненный поверхностный сток. Данные по химическому составу водных проб приведены в табл. 8.

Таблица 8. Содержание основных макрокомпонентов и взвешенных веществ в поверхностном стоке в период снеготаяния в 2008 г., мг/дм³

Место отбора (дата отбора)	pH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	P _{фос-фатный}	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Сумма ионов	Взвешенные вещества
Водосбор коллектора по ул. Пулихова														
Выпуск коллектора (31 марта)	8,2	128,1	159,5	22,0	2,5	0,111	0,0	0,2	34,5	11,7	108,0	2,7	469,3	101,5
Внутридворовый проезд (31 марта)	8,4	54,9	542,4	9,0	1,3	0,322	0,0	0,6	19,2	1,0	355,0	2,6	986,3	392,5
Выпуск коллектора (4 апреля)	Стока нет													
Водосбор коллектора по ул. Полевой														
Выпуск коллектора (31 марта)	8,0	146,4	181,9	22,8	3,1	0,133	0,0	0,4	40,1	12,6	124,0	2,8	534,2	233,0
Внутридворовый проезд (31 марта)	8,4	61,0	499,3	31,0	1,1	0,199	0,0	0,4	19,2	1,9	350,0	2,5	966,7	246,0
Выпуск коллектора (4 апреля)	7,7	201,3	20,7	23,8	3,7	0,267	0,11	1,8	48,9	12,2	18,0	2,3	333,1	49,5
Водосбор коллектора «Комаровка»														
Выпуск коллектора (31 марта)	8,1	79,3	351,0	13,6	1,8	0,222	0,034	0,5	24,0	4,4	228,0	2,8	705,7	630,5
Выпуск коллектора (4 апреля)	7,8	262,3	38,3	49,6	11,5	0,199	0,046	0,5	72,1	10,2	35,0	7,7	487,5	11,0

Установлено, что в период снеготаяния воды с повышенной минерализацией (534,2–705,7 мг/дм³) характерны для выпусков коллекторов по ул. Полевой и «Комаровка»; минерализация воды из выпуска коллектора по ул. Пулихова несколько ниже (469,3 мг/дм³), воды относятся к среднеминерализованным (водосбор с наименьшей антропогенной нагрузкой). Основной вклад в общую минерализацию в данный период вносят, как правило, гидрокарбонаты, кальций, хлориды и натрий. Если гидрокарбонаты и кальций являются основными макрокомпонентами поверхностных вод страны, то такие высокие концентрации хлоридов и натрия характерны только для талого стока на территории города и обусловлены применением противогололедных

смесей. Данный факт подтверждается тем, что концентрации данных ионов в воде поверхностного стока и, следовательно, общая минерализация значительно выше для водных проб, отобранных непосредственно на территории водосбора на внутридворовых проездах (966,7–986,3 мг/дм³).

Воды поверхностного стока в период снеготаяния слабощелочные (pH = 8,0–8,4) с высоким содержанием взвешенных веществ (101,5–630,5 мг/дм³).

Анализ данных о химическом составе воды, отобранный из тех же выпусков через пять дней, когда поверхностный сток на территории города не формировался, показал, что общая минерализация воды уменьшилась до 333,1–

487,5 мг/дм³ (средняя минерализация), так же как и концентрации хлоридов (до 20,7–38,3 мг/дм³) и натрия (до 18,0–35,0 мг/дм³). Основной вклад в общую минерализацию вносили гидрокарбонаты, кальций и магний. Также значительно снизилось содержание в воде взвешенных веществ (до 11,0–49,5 мг/дм³).

Таким образом, наиболее минерализованный поверхностный сток на территории города формируется в период активного снеготаяния из-за растворенных в нем веществ, входящих в состав противогололедных смесей. Основной вклад в общую минерализацию в данный период вносят хлориды, натрий и гидрокарбонаты.

Заключение

В процессе исследования химического состава атмосферных осадков и воды поверхностного стока в Минске установлено, что атмосферные осадки в среднем за год являются низкоминерализованными, слабощелочными, принадлежащими к нитратно-сульфатному кальциево-аммонийному типу. Содержание основных макропонентов различается по сезонам года: гидрокарбонатов и калия – увеличивается в летний период по сравнению с зимним, сульфатов, нитратов, хлоридов и натрия – уменьшается в летний период.

Вода поверхностного стока в зимний период высокоминерализованная с азональным хлоридным натриевым типом и высоким содержанием хлоридов и натрия, что связано с применением противогололедных смесей.

Применение противогололедных смесей в зимний период является основным фактором трансформации воды поверхностного стока, а влияние атмосферных выпадений на химический

состав стока в это время ничтожно мало. О вкладе атмосферных выпадений в химический состав поверхностного стока в зимний период можно говорить лишь применительно к «зеленой» зоне или отдельным макропонентам (например, сульфатам).

По сравнению с поверхностным стоком в период снеготаяния летний сток характеризуется значительно меньшей минерализацией (в 10 и более раз) и содержанием основных макропонентов. В гораздо меньшей степени выражено различие между поверхностным стоком с различных функциональных зон города (менее чем в 2 раза). Различие между химическим составом атмосферных осадков и воды поверхностного стока в летний период менее контрастное, следовательно, вклад осадков в состав стока по некоторым макропонентам увеличивается. Основной вклад в общую минерализацию поверхностного стока в данный период вносят гидрокарбонаты и кальций. Летом наиболее минерализованный поверхностный сток формируется в первые часы сильного дождя после продолжительного периода без осадков, а затем по мере выноса накопленных за данный период загрязняющих веществ его минерализация уменьшается.

Следует отметить тот факт, что даже в летние месяцы, когда формируется дождевой поверхностный сток, доля хлоридов и натрия в составе вод может быть достаточно высокой. Вероятно, это связано с вымыванием данных ионов из засоленных почв придорожных полос.

Работа выполняется при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор № Х08М-099 от 01.04.2008).

Л и т е р а т у р а

1. Алекин О. А. Основы гидрохимии. Л., 1970.
2. Барыкова Н. А., Чернышев Е. П. Состав поверхностного стока с городской территории и качество речных вод // Взаимодействие хозяйства и природы в городских и промышленных геосистемах. М., 1982. С. 31–45.
3. Белькович О. Е., Чудук В. Н., Бокая Г. М. Исследование динамики атмосферных выпадений в городе Минске // Региональные проблемы экологии: пути решения: Материалы IV Междунар. эколог. симп. Новополоцк, 2007. Т. 1. С. 15–18.
4. Воронин А. Г., Хмыль А. Л. Организация отведения и очистки поверхностного стока промышленных центров (на примере г. Борисова) // Водные ресурсы / ЦНИИКИВР. Мн., 2001. № 9. С. 42–52.
5. Гидроэкология: количественная оценка поступления в водные объекты загрязняющих веществ от рассредоточенных источников / Н. А. Архипова [и др.] // Инженерная экология. 2002. № 1. С. 27–41.
6. Загрязненные атмосферные осадки как источник загрязнения речных вод / З. Л. Синицына [и др.] // Содержание примесей в атмосферных осадках. Атмосферные аэрозоли. Защита атмосферы от загрязнений. Вильнюс, 1976. Вып. 3. С. 15–21.
7. Изучение динамики химического состава атмосферных осадков и снежного покрова на территории города Минска / С. В. Какарека [и др.] // Сахаровские чтения 2007 года: экологические проблемы XI века: Материалы 7-й Междунар. науч. конф. Мн., 2007. С. 197.
8. Какарека С. В., Евстафьев Т. Б. Химический состав атмосферных осадков // Природная среда Беларуси / Под ред. В. Ф. Логинова. Мн., 2002. С. 118–123.
9. Кислотные дожди / Ю. А. Израэль [и др.]. Л., 1989.
10. Лавриненко Р. Ф. О содержании серы в атмосферных осадках // Тр. ГГО. М., 1968. Вып. 207. С. 87–91.
11. Ландшафтные воды в условиях техногенеза / О. В. Кадацкая [и др.]. Мн., 2005.

12. Никаноров А. М. Гидрохимия. Л., 1989.
13. Овчарова Е. П. Эколого-геохимическая оценка поверхностного стока с городской территории (на примере г. Минска): Дис. ... канд. геогр. наук. Мин., 2006.
14. Первунина Р. И., Хромова Т. И., Малахов С. Г. Кислотность атмосферных осадков и сульфаты // Загрязнение почв и сопредельных сред. М., 1988. Вып. 16(133). С. 20–24.
15. Перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению в деятельности лабораторий экологического контроля предприятий и организаций Республики Беларусь: В 2 т. Мин., 1995.
16. Посохов Е. В. Ионный состав природных вод. Генезис и эволюция. Л., 1985.
17. Правошинский Н. А. Исследование поверхностного стока с застроенных территорий и его учет при проектировании канализации городов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Одесса, 1971.
18. Руководство по контролю загрязнения атмосферы 52.04.186-89. М., 1991.
19. Рыжиков В. А., Хомич В. С. Техногенные химические нагрузки и загрязнение почв вдоль городских автомагистралей (на примере г. Минска) // Природные ресурсы. 2007. № 3. С. 64–73.
20. Санец Е. В. Аэротехногенные потоки серы как фактор геохимической трансформации геосистем Беларуси: Дис. ... канд. геогр. наук. Мин., 2005.
21. Селезнева Е. С. Вымывание осадками и баланс серы в атмосфере промышленного района // Изв. АН СССР. Сер. физика атмосферы и океана. 1979. Т. 15, № 4. С. 408–417.
22. Содержание ионов хлора в почвах под зелеными насаждениями Минска и аккумуляция их в асимиляционных органах деревьев / Е. А. Сидорович [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук. 2001. № 1. С. 9–14.
23. Состояние природной среды Беларуси: экол. бюл. 2007 / Под ред. В. Ф. Логинова. Мин., 2008.
24. Хват В. М., Симкин В. Н., Моставенко В. П. Поверхностный сток городов и пути ликвидации его вредного влияния на водные источники // Разработка и организация комплекса водоохраных мероприятий: Тез. сообщ. Всесоюз. науч.-техн. совещ. Харьков, 1973. С. 231–236.
25. Хомяков П. В., Белоногов В. А., Торсуев Н. П. Роль сульфатов атмосферных осадков в ионном стоке рек Тиманского кряжа // География и природные ресурсы. 2005. № 1. С. 34–39.
26. Хорват Л. Кислотный дождь. М., 1990.
27. Черногаева Г. М. Водный баланс территории города и его влияние на окружающую среду // Гидрологические аспекты урбанизации (на примере Москвы). М., 1978. С. 15–20.
28. Шигорин Г. Г. Общесплавная система канализации. М., 1960.
29. EMEP manual for sampling and chemical analysis / EMEP/CCC-Report, vol. 1/95. NILU, Kjeller, Norway, 1996.
30. Kakareka S. V. Deposition and Emission Fluxes of Acidifying Compounds on the Territory of Belarus // Water, Air and Soil Pollution. 2001. Vol. 130, № 1–4. P. 523–528.
31. Marsalek J., Brownlee B., Mayer T. Heavy Metals and PAHs in Stormwater Runoff from the Skyway Bridge, Burlington, Ontario // Water Quality. 1997. № 4. P. 816–827.

E. В. Санец, Е. П. Овчарова, О. Е. Белькович

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ И ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА В МИНСКЕ

Цель работы – установление взаимосвязей между атмосферными выпадениями и химическим составом поверхностного стока в условиях города. Для ее достижения решались задачи по изучению химического состава атмосферных осадков на территории города и воды поверхностного стока с городской территории в его пространственно-временной динамике.

При выполнении исследования использовались метод сопряженного гидрохимического анализа (одновременное опробование атмосферных осадков и поверхностного стока), химико-аналитические методы, методы математической статистики.

Показано, что атмосферные осадки в Минске – низкоминерализованные, слабощелочные, принадлежат к нитратно-сульфатному кальциево-аммонийному типу. В зимний период их влияние на химический состав поверхностного стока ничтожно мало. В это время основным фактором, определяющим содержание загрязняющих веществ в поверхностном стоке, является внесение противогололедных смесей. Вода поверхностного стока в зимний период высокоминерализованная с высоким содержанием хлоридов и натрия и азональным хлоридным натриевым типом.

В летний период поверхностный сток характеризуется значительно меньшей минерализацией и содержанием основных макрокомпонентов. Различие между химическим составом атмосферных осадков и воды поверхностного стока менее контрастное, вклад осадков в состав стока по некоторым макрокомпонентам увеличивается.

CHEMICAL COMPOSITION OF PRECIPITATION AND URBAN RUNOFF IN MINSK

The aim of research was to find out a correlation between chemical composition of atmospheric deposition and urban runoff. For an achievement of this aim the chemical composition of precipitation and urban runoff had to be determined in their temporal and spatial dynamics.

The following methods were used for the research conducting: method of interfaced hydrochemical analysis (simultaneous sampling of precipitation and urban runoff), methods of analytical chemistry and statistical methods.

It was determined that precipitations in Minsk have low solute content, alkalescent reaction and belong to nitrate-sulphate calcium-ammonium type. In a winter period an influence of precipitation on the chemical composition of urban runoff is minimal. The main factor of runoff transformation in this period is application of deicing agents. Water of urban runoff in a winter period is high mineralized with high content of chlorides and sodium, belongs to azonal chloride sodium type.

In a summer period urban runoff is characterized by low solute content and the main ions. The difference between chemical composition of precipitation and urban runoff is less contrast. The contribution of precipitation to the runoff composition is increased for some ions. The most mineralized urban runoff in a summer period is formed during the first hours of downpour after the long dry period.

О. В. Кадацкая, Е. В. Санец, В. В. Селицкая, И. Е. Русая

СОДЕРЖАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО ФОСФОРА В РЕЧНЫХ ВОДАХ БАССЕЙНА ДНЕПРА: ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ

С использованием данных, полученных в Национальной системе мониторинга окружающей среды Беларусь в 2006–2008 гг., исследован характер антропогенной трансформации концентраций фосфатов в воде контролируемых участков рек Днепра, Сожа, Березины и Свислочи за трехлетний период. Анализ среднегодовых величин минерального фосфора и пределов его содержания в речной воде позволил выявить особенности «фосфатного» загрязнения рассматриваемых рек. По результатам изучения годового режима фосфатов сделан вывод о его техногенной трансформации, способствующей развитию процессов эвтрофирования речных экосистем.

Как известно, фосфор является одним из важнейших биогенных элементов, присутствие которого в природных водах в значительной мере определяется его поступлением извне и использованием гидробионтами. При этом на долю неорганического фосфора приходится менее 50 % общего количества фосфора в водной экосистеме [4]. Наиболее подвижной и легко усваиваемой гидробионтами формой минерального фосфора является ортофосфат-ион (PO_4^{3-}).

В естественных условиях на концентрацию фосфатов в воде и их годовой режим влияют разные факторы, в том числе сезонные изменения температуры, освещение, количество выпавших осадков, формирующих почвенно-поверхностный и почвенно-грунтовый сток с водохранилищ и водохранилищных пространств. Летом содержание минерального фосфора в речной воде падает, иногда до нулевых значений, поскольку усиливается потребление биогенного элемента фитопланктоном и водными животными, а зимой, когда происходит массовое отмирание и разложение гидробионтов, – наоборот, возрастает. Во время весеннего половодья количество фосфатов увеличивается за счет их вымывания из почв и грунтов водохранилищ с последующим падением до минимальных значений летом [1].

В природно-техногенных условиях главными источниками поступления фосфатов в реки становятся коммунально-бытовые и промышленные сточные воды городов, стоки сельскохозяйственных предприятий и поверхностный сток с сельскохозяйственных угодий, воздействие которых приводит к трансформации естественного режима фосфатов, росту концентраций рассматриваемого ингредиента в воде и развитию процессов, способствующих эвтрофированию речных экосистем.

С использованием данных Национальной системы мониторинга окружающей среды Беларусь за 2006–2008 гг. проведен пространственно-временной анализ содержания фосфатов в воде контролируемых участков рек Днепра, Сожа, Бе-

резины и Свислочи. Для оценки экологического состояния водотоков анализировались среднегодовые концентрации ингредиента и пределы его содержания в воде рек, что позволило дать общее представление о сложившейся ситуации. Годовой режим фосфатов рассматривался по данным для замыкающих створов или для участков рек, в воде которых концентрация фосфатов свидетельствовала о значительной антропогенной нагрузке. При этом учитывалось, что содержание фосфатов в речной воде выше 0,030 мгР/дм³ – величины, близкой к фоновым концентрациям, указывает на начало обогащения речной экосистемы фосфатами [2, 3]. Официально утвержденная в 2007 г. ПДК (0,066 мгР/дм³) идентифицирует «фосфатное» загрязнение рек Беларусь.

Химический состав воды *Днепра* ежегодно контролируется на участке реки от н.п. Сарвиры (трансграничный створ на границе с Россией) до г.п. Лоева (трансграничный створ на границе с Украиной), на котором расположены населенные пункты Орша, Шклов, Могилев, Быхов, Речица и Лоев. Во все рассматриваемые годы среднегодовое содержание фосфатов в воде створов приближалось к ПДК или превышало норматив, составляя 1,0–2,6 ПДК (2006 г.), 0,9–2,6 ПДК (2007 г.) и 0,8–1,7 ПДК (2008 г.). Судя по среднегодовому содержанию и кратности превышения ПДК, для Днепра характерна достаточно напряженная ситуация в отношении фосфатов, хотя загрязнение реки к 2008 г. несколько снизилось (табл. 1).

Вместе с тем анализ пределов содержания минерального фосфора в воде Днепра в 2008 г. свидетельствовал об устойчивом загрязнении участка реки от створа выше г. Шклова до створа ниже г. Быхова: наименьшие концентрации, отмеченные в течение года, варьировали от 1,1 до 1,3 ПДК, максимальные – от 2,2 до 3,4 ПДК.

В 2007 г. режим фосфатов формировался на фоне постоянно повышенного их содержания в воде реки только в районе г. Шклова (1,1–6,3 ПДК) и выше г. Быхова (1,1–4,6 ПДК). Мини-

мальные концентрации, зафиксированные в речной воде в 2006 г., повсеместно были ниже нормативной величины, но, как правило, больше 0,030 мгР/дм³, что, как известно, предполагает возможность развития процессов эвтрофирования.

Особенности режима фосфатов в воде Днепра на замыкающем (трансграничном) створе (8,5 км ниже г.п. Лоева) отражены на рис. 1.

Наибольшее антропогенное изменение режима наблюдалось в 2006 г., когда вариации кон-

центраций фосфора в течение года существенно отличались от их естественного хода, особенно в летний период, для которого отмечен рост содержания изучаемого ингредиента. Колебания содержания фосфатов в воде Днепра в течение 2007–2008 гг. в определенной мере были близки природным, однако имели место на фоне повышенных концентраций, обусловленных антропогенным воздействием.

Таблица 1. Среднегодовые концентрации и пределы содержания фосфатов в воде р. Днепра в 2006–2008 гг., мгР/дм³

Створ	2006 г.		2007 г.		2008 г.	
	пределы содержания	среднее за год	пределы содержания	среднее за год	пределы содержания	среднее за год
В черте н.п. Сарвиры	0,027–0,104	0,066	0,036–0,186	0,112	0,040–0,150	0,082
1,0 км выше г. Орши	0,041–0,159	0,095	0,036–0,262	0,130	0,050–0,148	0,103
0,5 км ниже г. Орши	0,045–0,165	0,103	0,056–0,271	0,139	0,053–0,144	0,105
1,0 км выше г. Шклова	0,034–0,287	0,108	0,075–0,311	0,135	0,085–0,143	0,099
2,0 км ниже г. Шклова	0,047–0,348	0,118	0,067–0,418	0,144	0,087–0,151	0,109
1,0 км выше г. Могилева	0,026–0,300	0,114	0,036–0,302	0,132	0,085–0,153	0,107
25,6 км ниже г. Могилева	0,056–0,361	0,169	0,046–0,329	0,169	0,073–0,152	0,103
1,0 км выше г. Быхова	0,052–0,299	0,142	0,070–0,302	0,156	0,082–0,222	0,115
2,0 км ниже г. Быхова	0,052–0,295	0,133	0,051–0,335	0,155	0,078–0,164	0,112
0,8 км выше г. Речицы	0,039–0,118	0,071	0,016–0,125	0,062	0,035–0,089	0,075
5,6 км ниже г. Речицы	0,029–0,152	0,083	0,017–0,140	0,072	0,038–0,148	0,092
0,8 км выше г.п. Лоева	0,039–0,120	0,069	0,040–0,136	0,073	0,017–0,107	0,056
8,5 км ниже г.п. Лоева	0,022–0,198	0,140	0,011–0,169	0,123	0,026–0,178	0,105
ПДК		0,066				

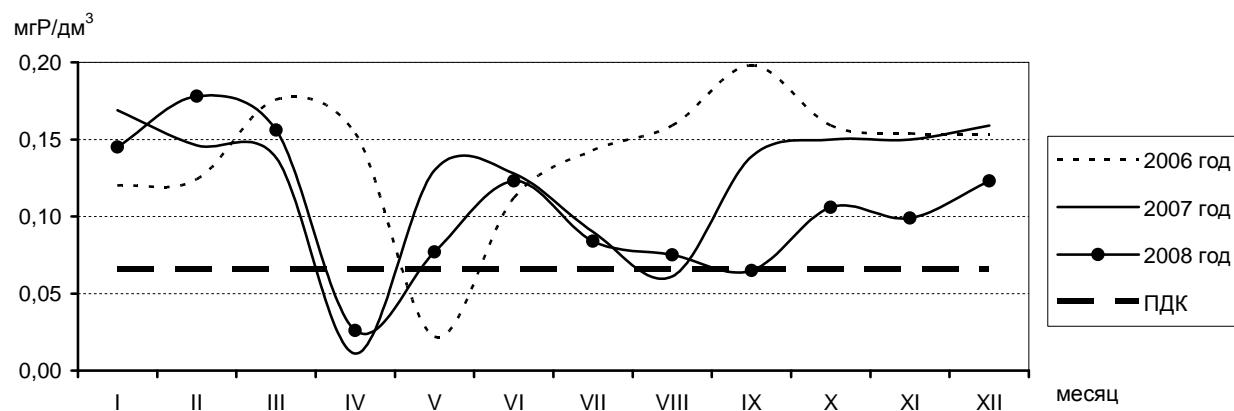


Рис. 1. Внутригодовая динамика содержания фосфатов в воде р. Днепра ниже г.п. Лоева в 2006–2008 гг.

Несколько менее напряженная ситуация в отношении минерального фосфора характерна для *р. Сожа*, качество воды которой формируется под влиянием сброса сточных вод городов Кричева, Славгорода, Гомеля и сельскохозяйственных объектов, расположенных в водосборе. Так, среднегодовые концентрации фосфатов изменились в воде контролируемых створов реки в

пределах 0,8–2,3 ПДК (2006 г.), 0,7–1,4 ПДК (2007 г.) и 0,9–1,5 ПДК (2008 г.). Максимальные значения из зафиксированных концентраций в воде каждого створа были существенно выше, достигая соответственно 1,3–4,6 ПДК, 1,0–2,6 ПДК и 1,3–4,2 ПДК. Минимальное содержание фосфатов в речной воде за период исследований

ния в 76 % случаев оказалось близким к фоновому значению (табл. 2).

Таким образом, анализ данных (табл. 2) показал, что загрязнение реки фосфатами в рассматриваемый период не имеет четко выраженной тенденции к улучшению или ухудшению ситуации. Так, в 2008 г. по сравнению с 2006 г. тенденция к снижению концентраций фосфатов в

2008 г. отчетливо прослеживалась в районе н.п. Коськово, а к росту – ниже г. Кричева и в районе г. Гомеля.

Режим фосфатов, характеризующий колебание содержания ингредиента в речной воде в различные гидрологические фазы в исследуемые годы ниже Кричева, Славгорода и Гомеля, показан на рис. 2–4.

Таблица 2. Среднегодовые концентрации и пределы содержания фосфатов в воде р. Сож в 2006–2008 гг., мгР/дм³

Створ	2006 г.		2007 г.		2008 г.	
	пределы содержания	среднее за год	пределы содержания	среднее за год	пределы содержания	среднее за год
1,0 км восточнее н.п. Коськово	0,065–0,303	0,154	0,028–0,068	0,053	0,006–0,124	0,073
1,0 км выше г. Кричева	0,029–0,301	0,076	0,030–0,088	0,064	0,037–0,129	0,076
4,0 км ниже г. Кричева	0,020–0,251	0,075	0,022–0,103	0,066	0,045–0,280	0,097
0,5 км выше г. Славгорода	0,025–0,105	0,063	0,017–0,117	0,062	0,026–0,087	0,058
8,0 км ниже г. Славгорода	0,012–0,094	0,061	0,032–0,107	0,063	0,037–0,087	0,064
0,6 км выше г. Гомеля	0,009–0,089	0,053	0,026–0,084	0,046	0,020–0,101	0,067
13,7 км ниже г. Гомеля	0,027–0,190	0,077	0,016–0,171	0,090	0,022–0,135	0,099
ПДК		0,066				

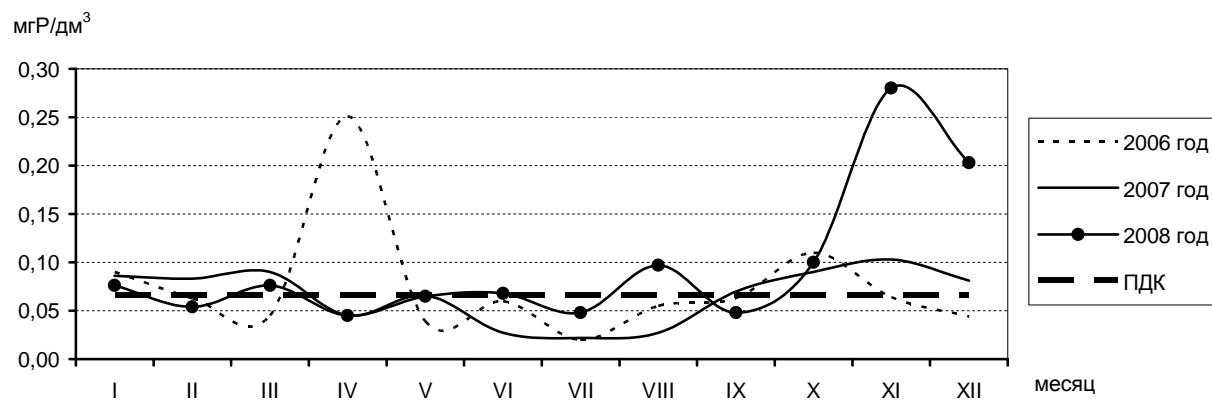


Рис. 2. Внутригодовая динамика содержания фосфатов в воде р. Сож ниже г. Кричева в 2006–2008 гг.

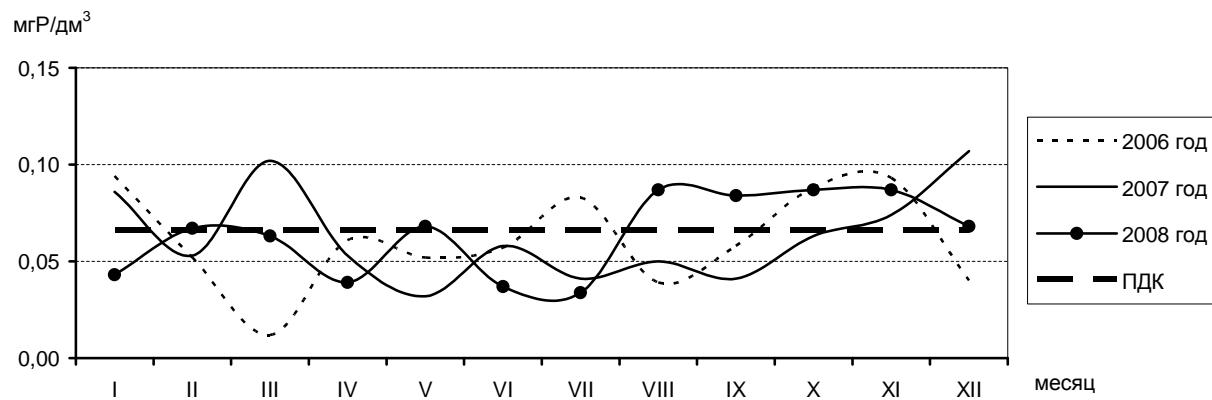


Рис. 3. Внутригодовая динамика содержания фосфатов в воде р. Сож ниже г. Славгорода в 2006–2008 гг.

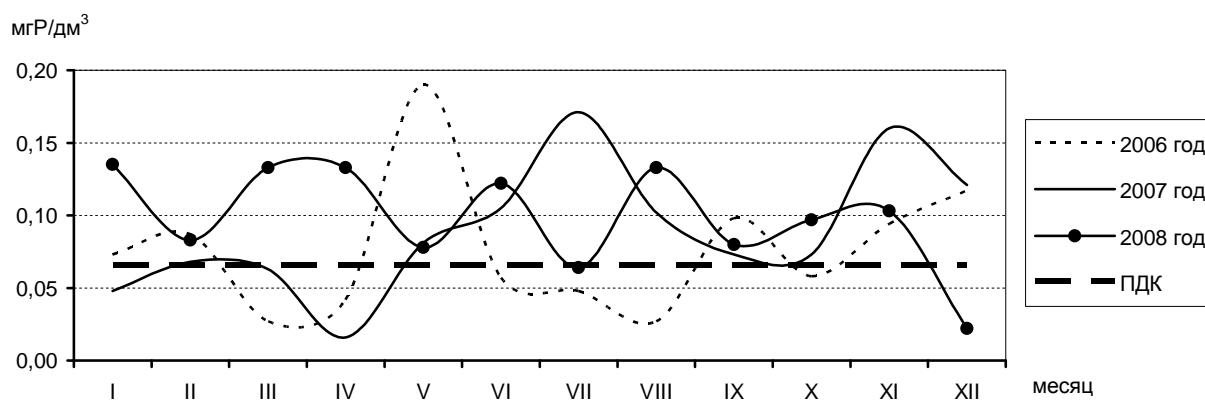


Рис. 4. Внутригодовая динамика содержания фосфатов в воде р. Сож ниже г. Гомеля в 2006–2008 гг.

Согласно рис. 2–4, трансформация режима минерального фосфора усиливается вниз по течению реки, при этом его нарушения имеют индивидуальные черты как для каждого из рассматриваемых лет, так и для каждого створа. В районе г. Кричева изменение концентраций фосфатов по сезонам года в 2006–2007 гг. в значительной степени были близки их естественному ходу в годовом режиме. Аналогичная ситуация была отчасти характерна для поведения фосфатов в воде реки в районе г. Славгороды в 2007 г. Естественный процесс разбавления и концентрирования вещества в зависимости от гидрологических фаз был существенно нарушен на отрезке реки ниже г. Гомеля.

Химический состав воды р. **Березины** формируется в основном под воздействием антропогенного пресса городов Борисова, Бобруйска и

Светлогорска, а также под влиянием сильно загрязненного притока – р. Свисочи.

Среднегодовое содержание фосфатов в воде верховья реки (0,5 км выше н.п. Броды–1 км выше г. Борисова) в рассматриваемый период находилось практически на уровне фоновых концентраций, хотя максимальные значения из наблюдавшихся в 2007 и 2008 г. достигали соответственно 2,9 ПДК выше г. Борисова и 3,7 ПДК выше н.п. Броды. Избыточное содержание фосфатов в воде, фиксируемое их среднегодовыми показателями, наблюдается, как правило, на отрезке реки ниже г. Борисова – выше г. Светлогорска. Для этого участка Березины наибольшие из установленных в годовом режиме концентраций превысили норматив в 2006 г в 1,7–3,6 раза, в 2007 г. – 1,3–3,1, в 2008 г. – в 1,4–5,1 раза (табл. 3).

Таблица 3. Среднегодовые концентрации и пределы содержания фосфатов в воде р. Березины в 2006–2008 гг., мгР/дм³

Створ	2006 г.		2007 г.		2008 г.	
	пределы содержания	среднее за год	пределы содержания	среднее за год	пределы содержания	среднее за год
0,5 км выше н.п. Броды	0,008–0,022	0,016	0,005–0,022	0,011	0,005–0,244	0,043
1,0 км выше г. Борисова	0,010–0,044	0,021	0,005–0,192	0,025	0,005–0,034	0,016
5,9 км ниже г. Борисова	0,015–0,223	0,071	0,018–0,735	0,205	0,014–0,340	0,097
5,0 км выше г. Бобруйска	0,022–0,240	0,152	0,022–0,240	0,135	0,051–0,158	0,106
1,9 км ниже г. Бобруйска	0,050–0,234	0,135	0,050–0,234	0,120	0,038–0,158	0,098
1,0 км выше г. Светлогорска	0,040–0,112	0,063	0,044–0,185	0,084	0,035–0,095	0,070
2,7 км ниже г. Светлогорска	0,026–0,116	0,026	0,045–0,185	0,079	0,036–0,092	0,065
ПДК				0,066		

Судя по среднегодовым концентрациям, загрязнение реки уменьшается вниз по течению во все рассматриваемые годы. Загрязнение реки в районе г. Светлогорска оказалось наиболее выраженным в 2007 г.

О характере внутригодовых изменений содержания фосфатов в воде реки в районе г. Бобруйска дает представление рис. 5. Прежде всего следует отметить, что Березина на данном отрезке была загрязнена фосфатами во все исследуемые годы, о чем свидетельствуют концен-

трации ингредиента, достигающие ПДК или превышающие нормативную величину фактически на протяжении всего годового периода. Следовательно, нарушения режима фосфатов фиксируются на фоне избыточного их содержания в воде реки практически во все сезоны года как выше, так и ниже города.

Загрязнение реки выше г. Бобруйска объясняется, по-видимому, влиянием сильно загрязненных вод Свислочи. Причем амплитуда колебаний абсолютных концентраций в воде реки может достигать в весенний период значительных величин – 0,062 мгР/дм³ (2008 г.), а содер-

жение фосфатов в воде летом может превышать таковое в зимний сезон, указывая на трансформацию естественной годовой динамики минерального фосфора.

Таким образом, следует констатировать, что режим фосфатов в настоящее время определяется главным образом антропогенным фактором. Разнонаправленность процессов разбавления и концентрирования (метаморфизаций) в одни и те же сезоны года может быть обусловлена климатическими изменениями, инициирующими нарушение гидрологического фактора в формировании гидрохимического.

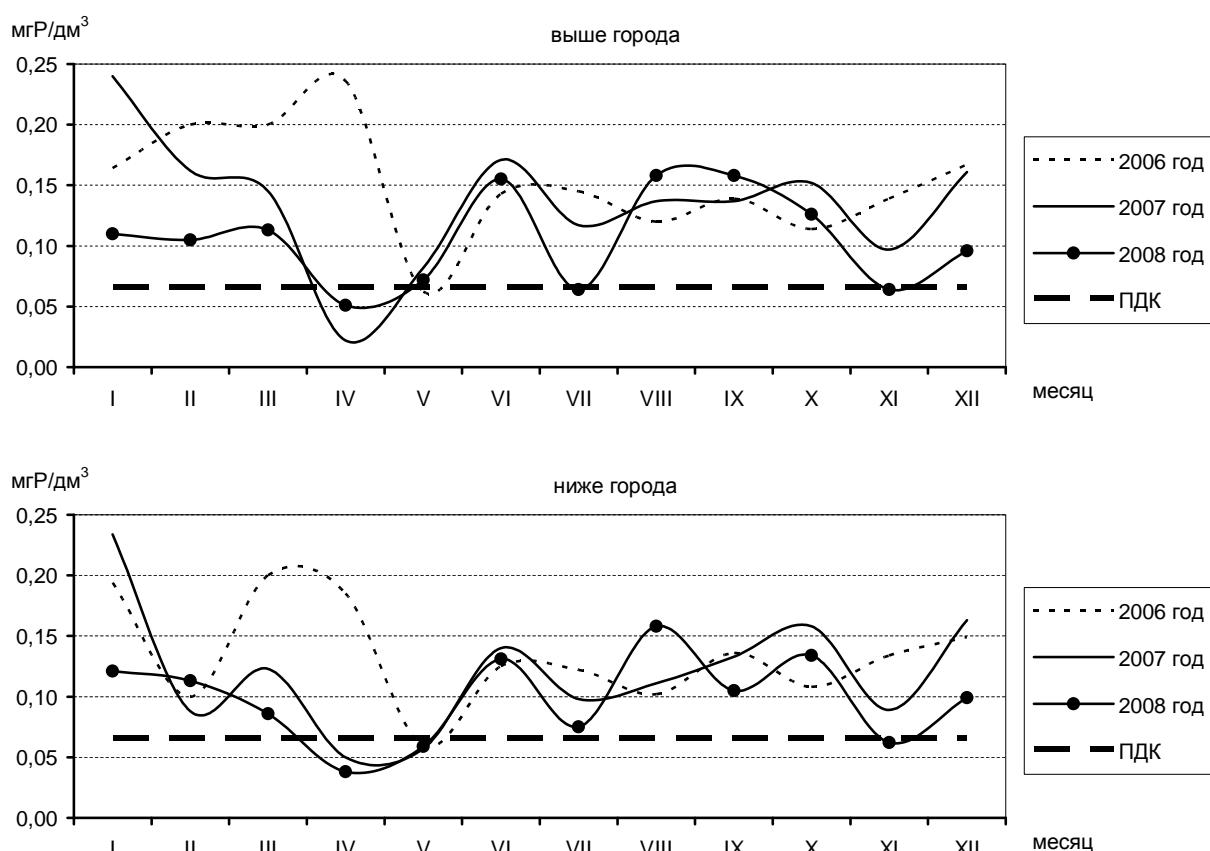


Рис. 5. Внутригодовая динамика содержания фосфатов в воде р. Березины выше и ниже г. Бобруйска в 2006–2008 гг.

Как указывалось выше, вниз по течению Березины антропогенный пресс несколько ослабевает, загрязнение реки в районе г. Светлогорска, исходя из превышений ПДК, в годовом разрезе характеризуется неустойчивостью, поскольку отмечается только в отдельные месяцы или сезоны года, что и отражено на рис. 6.

Как видно из рис. 6, нарушения в распределении содержания фосфатов в течение каждого года выражены по-разному, хотя прослеживается определенное сходство в режиме минерального фосфора выше и ниже города. В последние два года обращает на себя внимание

факт отсутствия максимума накопления фосфатов в воде реки в зимний период и избыток минерального фосфора в отдельные летние месяцы в период активной вегетации.

К рекам страны, режим которых значительно преобразован человеком, в первую очередь относится **Свислочь**, дренирующая территорию Минска. Влияние города на формирование собственно режима фосфатов начинает отчетливо прослеживаться только после сброса в водоток нормативно очищенных сточных вод Минской очистной станции (МОС), к устьевой части оно несколько ослабевает, но все еще остается

весьма существенным. Среднегодовые концентрации минерального фосфора для воды данного отрезка Свислочи составили 6,3 ПДК (2006 г.), 8,8 ПДК (2007 г.) и 6,3 ПДК (2008 г.) в районе с. Королищевичи (в 10 км ниже г. Минска) и 3,3 ПДК (2006 г.), 3,0 ПДК (2007 г.) и 2,3 ПДК (2008 г.) у н.п. Свислочь (табл. 4).

Наибольшие концентрации фосфатов, установленные в разрезе каждого из анализируе-

мых лет, оказались выше норматива в 20,6–28,2 раза (с. Королищевичи) и в 3,7–4,7 раза (н.п. Свислочь).

Наименьшее содержание ингредиента, обнаруженное в речной воде в рассматриваемые годы, только в отдельных случаях оказалось ниже нормативной величины как в одном, так и в другом створе (рис. 7, 8).

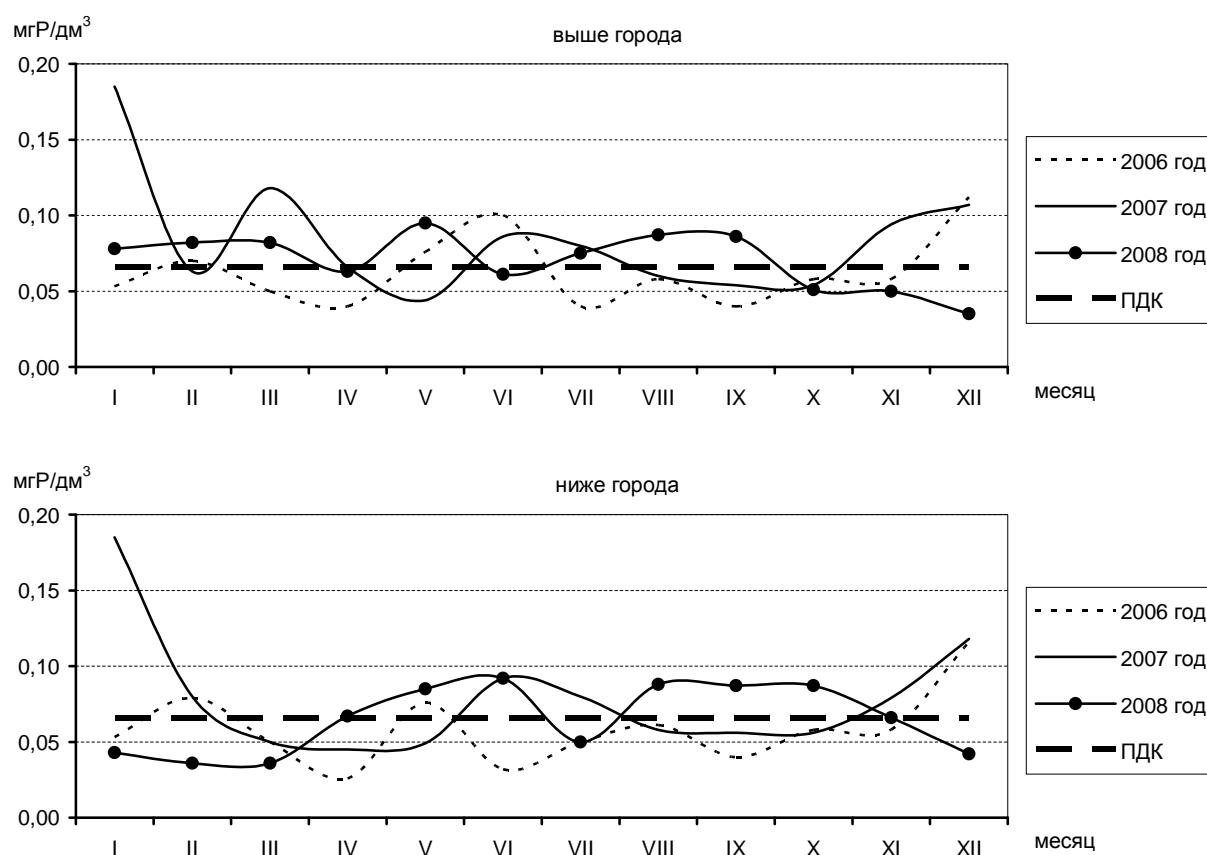


Рис. 6. Внутригодовая динамика содержания фосфатов в воде р. Березины выше и ниже г. Светлогорска в 2006–2008 гг.

Таблица 4. Среднегодовые концентрации и пределы содержания фосфатов в воде р. Свислочи в 2006–2008 гг., мгР/дм³

Створ	2006 г.		2007 г.		2008 г.	
	пределы содержания	среднее за год	пределы содержания	среднее за год	пределы содержания	среднее за год
0,5 км выше н.п. Хмелевка	0,000–0,029	0,008	0,005–0,060	0,012	<0,005–0,019	0,012
1,5 км выше г. Минска	0,000–0,049	0,022	0,005–0,096	0,022	<0,005–0,050	0,022
0,5 км ниже г. Минска	0,008–0,069	0,017	0,005–0,080	0,018	<0,005–0,022	0,011
10,0 км ниже г. Минска	0,030–1,860	0,417	0,071–1,360	0,578	0,026–1,643	0,417
В черте н.п. Свислочь	0,100–0,308	0,220	0,040–0,274	0,198	0,064–0,244	0,155
ПДК				0,066		

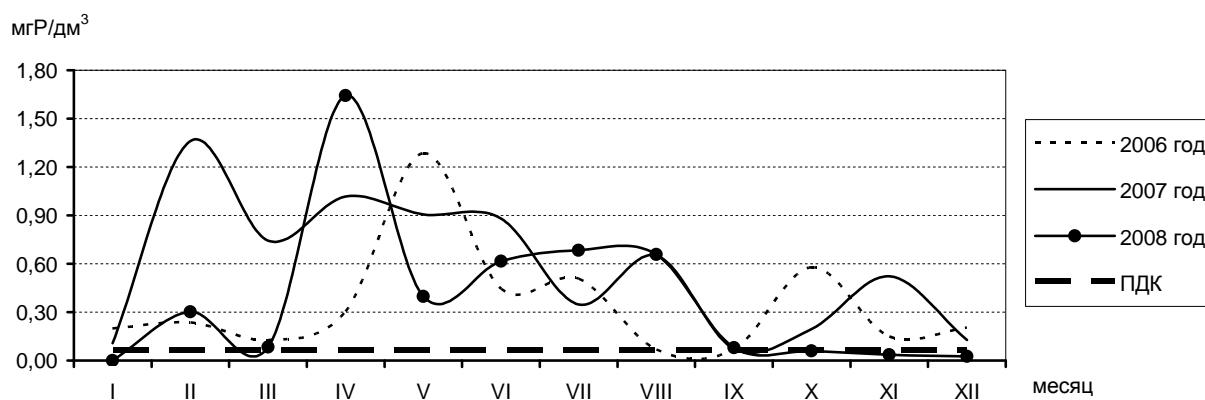


Рис. 7. Внутригодовая динамика содержания фосфатов в воде р. Свислочи ниже г. Минска (н.п. Королищевичи) в 2006–2008 гг.

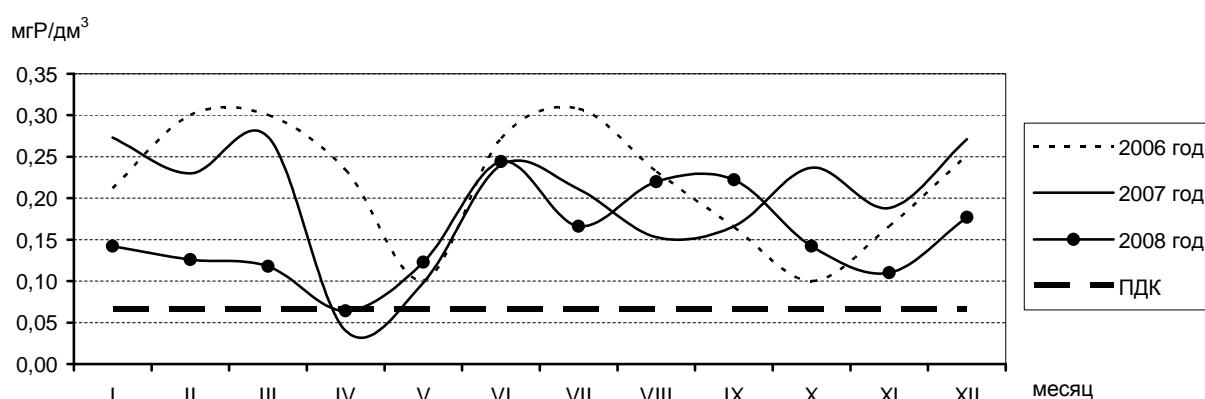


Рис. 8. Внутригодовая динамика содержания фосфатов в воде р. Свислочи (н.п. Свислочь) в 2006–2008 гг.

Анализ рис. 7 и 8 позволяет констатировать наличие устойчивого загрязнения низовьев реки фосфатами, избыточное накопление которых накладывает определенный отпечаток на их режим. В вариациях концентраций фосфатов в воде реки в течение года не наблюдаются природные закономерности изменения содержания минерального фосфора, связанные с сезонностью функционирования речных экосистем. Режим фосфатов имеет четко выраженные техногенные черты.

Проведенный пространственно-временной анализ содержания минерального фосфора в воде рек Днепр, Сожа, Березины и Свислочи позволяет сделать следующие выводы.

Режим фосфатов в рассматриваемых реках значительно изменен под влиянием антропогенных факторов, при этом значительную роль играет сброс в реки хозяйственно-бытовых сточных вод городов. Как известно, более 90 % сбрасываемых в водотоки фосфатов формируется в сфере ЖКХ [5].

Трансформация режима минерального фосфора проявилась в увеличении концентра-

ций фосфатов практически во все сезоны года, что привело к среднегодовым значениям ингредиента, зачастую превышающим ПДК.

Согласно среднегодовым показателям, река Днепр загрязнена фосфатами на всем контролируемом участке водотока – от н.п. Сарвиры до г.п. Лоева, река Березина – на отрезке реки ниже г. Борисова – выше г. Светлогорска, река Свислочь – в нижнем течении (с. Королищевичи – с. Свислочь). Менее напряженная ситуация в отношении минерального фосфора характерна для реки Сож. В целом можно говорить о существенном обогащении рассматриваемых рек фосфатами, что способствует развитию урбогенной эвтрофикации, возникающей вследствие сброса сточных вод, недостаточно очищенных от фосфатов [4].

Антропогенные изменения режима фосфатов фиксируются также в нарушении природных закономерностей поведения минерального фосфора в водных экосистемах, связанных с особенностями его потребления в период вегетации и поступлением в воду в результате минерализации мертвой органики в зимний период. Так, в

летние месяцы отмечаются концентрации фосфатов, превышающие таковые в другие сезоны года, т. е. наблюдается избыток минерального фосфора в период активной вегетации. Напротив, в холодное время года не всегда фиксирует-

ся рост концентраций фосфатов. В отдельные годы показатели содержания в воде фосфатов в период вегетации могут быть значительно выше, чем в зимний период.

Л и т е р а т у р а

1. **Алекин О. А.** Основы гидрохимии. Л., 1970.
2. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О. П. Оксюк, В. Н. Жукинский, Л. П. Брагинский и др. // Гидробиологический журнал. 1993. Т. 29, № 4. С. 62–72.
3. **Оксюк О. П., Жукинский В. Н.** Экологические нормативы качества воды для р. Россь // Гидробиологический журнал. 1999. Т. 35, № 6. С. 16–22.
4. **Романенко В. Д.** Основы гидроэкологии. Киев, 2004.
5. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень, 2007 г. / Под общ. ред. В. Ф. Логинова. Минск, 2008.

О. В. Кадацкая, Е. В. Санец, В. В. Селицкая, И. Е. Русая

СОДЕРЖАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО ФОСФОРА В РЕЧНЫХ ВОДАХ БАССЕЙНА ДНЕПРА: ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ

С использованием данных, полученных в Национальной системе мониторинга окружающей среды Беларуси за 2006–2008 гг., изучена динамика содержания фосфатов в воде контролируемых участков рек Днепра, Сожа, Березины и Свислочи за трехлетний период. Анализ среднегодовых концентраций ингредиента и пределов его содержания в воде рек позволил охарактеризовать их современное гидрохимическое состояние. В ходе исследования установлено «фосфатное» загрязнение рек, различающееся по уровню загрязнения и распространению по длине водотока. Как выяснилось, Днепр загрязнен фосфатами на всем контролируемом участке реки – от н.п. Сарвиры до г.п. Лоева, Березина – на отрезке реки ниже г. Борисова – выше г. Светлогорска, Свислочь – в нижнем течении (с. Королищевичи – н.п. Свислочь). Менее напряженная ситуация в отношении минерального фосфора отмечена для Сожа. Обогащение рассматриваемых рек фосфатами связано, как правило, со сбросом сточных вод, содержащих избыточные количества загрязняющего вещества, что способствует развитию процессов урбогеннойeutrofикации.

В статье рассматриваются также вопросы изменения режима минерального фосфора под воздействием антропогенного фактора.

O. V. Kadetskaya, E. V. Sanets, V. V. Selitskaya, I. V. Rusaya

CONTENT OF MINERAL PHOSPHORUS IN RIVER WATERS IN THE DNIIEPER BASIN: SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS

Anthropogenic alteration of phosphates concentrations in river waters of controlled reaches of the Dnieper, Sozh, Berezina and the Svisloch during the three-year period (2006–2008) is studied. Data received in the National System of Environment Monitoring are used in the research. Analysis of average annual concentrations of phosphates and their limits in river waters made possible to show the characteristic features of the hydrochemical situation of studied rivers. In the course of investigation the phosphates pollution of all rivers was established. Rivers varied in degree and length extent of pollution. The Dnieper was polluted all over the controlled reach of the river (from the settlement of Sarviry to the urban settlement of Loev), the Berezina – on the length of the river from the town of Borisov (below the town) to the town of Svetlogorsk (above the town), the Svisloch River – in its lower reach (from the village of Korolistchevichy to the village of Svisloch). The less stressed state as to phosphates pollution was detected for the Sozh River. The growth of mineral phosphorus concentrations in river waters caused by wastes discharge contained the pollution agent in plenty is favorable to development of eutrophication processes.

Problems of phosphates regime changes under the influence of anthropogenic factors are also examined.

О. В. Лукашёв, Н. В. Жуковская, Н. Г. Лукашёва, С. В. Савченко

ФОНОВОЕ СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ БЕЛОРУССКОГО ПООЗЕРЬЯ

Изучены статистические параметры валового содержания ряда микроэлементов в почвах и растительности двух эталонных участков, расположенных на территории национальных парков «Браславские озера» и «Нарочанский». Проведено сравнение полученных значений со средними для почв республики, сопредельных стран, а также других особо охраняемых природных территорий Беларуси. Полученные показатели являются фоновыми и могут использоваться как эталон при оценке уровня техногенного загрязнения почв и растительности Белорусского Поозерья.

Первые оценки фонового содержания химических элементов (макрокомпонентов – Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Fe, микроэлементов – Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Sr, Ba, Pb) в почвенном покрове и растительности Беларуси выполнены в 1960-х гг. [5, 14]. Позднее полученные данные неоднократно уточнялись [12, 16, 17]. Последнее обобщение данных о фоновом содержании микроэлементов в почвенном покрове Беларуси проведено Н. Н. Петуховой и В. А. Кузнецовым в 1999 г. – рассчитаны кларки ряда химических элементов, определены средние значения и пределы их содержания в различных типах почв [18].

Анализ работ, посвященных геохимическим особенностям отдельных регионов страны, показал, что к настоящему времени наиболее изучены территории Березинского биосферного заповедника [6, 15] и Припятского Полесья [4, 11]. Аналогичных исследований подобного уровня в других районах республики пока не проводилось.

Цель настоящей работы – определение фонового содержания микроэлементов в почвах и растительности Белорусского Поозерья.

Фоновые геохимические характеристики изучались на примере двух специально выбранных эталонных участков. Их выбор определялся ландшафтной репрезентативностью относительно всей территории Белорусского Поозерья и отсутствием крупных источников техногенного воздействия. Этапонный участок I (площадь примерно 400 км²) располагался на территории национального парка «Браславские озера», участок II (площадь примерно 800 км²) – на территории национального парка «Нарочанский».

Полевые исследования на территории эталонных участков проводились в летний период 1999–2003 гг. Опробование поверхностного горизонта почв (0...10 см) и хвойных деревьев (*Pinus sylvestris* L., *Picea abies* Karst.) осуществлялось по сети 2 × 2 км. В качестве представительной почвенной пробы принимался образец из горизонта A₁ дерново-подзолистой почвы с низким содержанием органического вещества (не

требующий озоления при определении химических элементов методом эмиссионного спектрального анализа (ЭСА)). По мере встречаемости на профилях отбора опробовались также торфяно-болотные почвы. Представительной растительной пробой считалась хвоя двухлетнего возраста доминантных видов *Pinus sylvestris* L., *Picea abies* Karst. нормальной естественной зольности (в среднем 3 %). Данные виды не являются естественными концентриаторами ни по одному из определявшихся микроэлементов.

Пробоподготовка включала высушивание образцов до воздушно-сухого состояния, выделение гранулометрической фракции менее 1 мм из минеральных почв при помощи сит, озоление торфяно-болотных почв и растений.

Анализ валового содержания микроэлементов выполнялся в Институте геохимии и геофизики НАН Беларуси методом ЭСА на приборе PGS-2 согласно [8].

Статистическая обработка данных.

За фоновое содержание химических элементов в почвах и растительности при нормальном законе распределения принималась средняя арифметическая (\bar{x}), при логарифмически нормальном – средняя геометрическая (\bar{x}_g) величина. Проверка закона распределения осуществлялась с помощью гистограмм, графиков распределения на «вероятностной бумаге» и критерия Колмогорова–Смирнова. В случае усеченных выборок при встречаемости более 50 % в качестве среднего использовалась медиана (Me), при встречаемости элемента менее 50 % среднее значение рассчитывалось по формуле [23]:

$$\bar{x} = (\bar{x}_{\max} - \bar{x}_{\min}) \times n : N + \bar{x}_{\min}, \quad (1)$$

где \bar{x}_{\max} – максимально возможная средняя величина (при исключении из расчетов проб с концентрациями ниже предела обнаружения); \bar{x}_{\min} – минимально возможная средняя величина (при «обнулении» проб с концентрациями ниже пре-

дела обнаружения); n – число «непустых» проб; N – число всех проб.

При обработке данных применялись корреляционный и факторный анализы. Последний выполнялся на основе корреляционной матрицы методом главных компонент с последующим варимакс-вращением. Критическое значение уровня значимости принималось равным 5 %. Расче-

ты производились с помощью пакетов программ SPSS 12, Statistica 6.

Почвы. По сравнению со среднебелорусским региональным фоном почвы исследуемого региона характеризуются повышенными концентрациями Mn и Ni, а также MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃ [5]. Среднее содержание и пределы вариации химических элементов в дерново-подзолистых почвах эталонных участков представлены в табл. 1.

Таблица 1. Содержание химических элементов в горизонте A₁ дерново-подзолистых почв эталонных участков Белорусского Поозерья, мг/кг сухого вещества

Элемент	Эталонный участок I ($n = 85$)		Эталонный участок II ($n = 191$)	
	\bar{x}	Min – max	\bar{x}	Min – max
Ti	928 _r ¹	400 – 3 100	1 299	350 – 2 800
V	10,7	3,0 – 20,0	10,6 _r	3,0 – 35,0
Cr	7,5	3,0 – 13,0	8,3 _r	3,0 – 30,0
Mn	159 _r	60 – 500	181	40 – 480
Fe	4 381 _r	1 800 – 12 000	5 588 _r	1 600 – 19 600
Ni	9,0	6,0 – 14,0	10,0 _r	7,0 – 25,0
Cu	8,3	5,0 – 15,0	8,1 _r	4,0 – 30,0
Zr	343	15,0 – 800	331 _r	110 – 850
Ba	277	220 – 400	307	210 – 400
Pb	10,3 _r	7,0 – 18,0	11,3 _r	7,0 – 30,0

Примечание: ¹ – средняя геометрическая величина.

Дерново-подзолистые почвы эталонных участков I и II характеризуются близким содержанием V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zr, Ba, Pb. Более высокие концентрации Ti и Fe отмечаются в почвах эталонного участка II. Данное различие можно объяснить тем, что исследуемые территории относятся к разным минералогическим районам Поозерской минералогической провинции Беларуси [24]. Содержание Ti и Cu в дерново-подзолистых почвах эталонных участков, в общем, согласуется со значениями, установленными предшествующими исследованиями для территории Северной геохимической провинции в целом (табл. 2). С другой стороны, получены значительно более низкие концентрации V, Cr, Mn, Ni. В отличие от исследований 1960-х гг., Pb в настоящее время фиксируется во всех пробах.

Торфяно-болотные почвы характеризуются следующим валовым содержанием химических элементов (среднее содержание, в скобках – минимальное и максимальное значения): Ti – 368 мг/кг (250–713 мг/кг), V – 3,2 (1,7–5,4), Cr – 1,6 (0,75–4,0), Mn – 58,8 (10–168), Fe – 2 603 (620–7 100), Ni – 3,0 (1,5–5,1), Cu – 3,8 (1,2–7,7), Zr – 21,5 (н. о.–51), Ba – 60,7 (25–150), Pb – 9,1 мг/кг (3,6–17,9 мг/кг).

В рамках стран Европы, Беларуси и бассейна р. Западная Двина дерново-подзолистые почвы эталонных участков демонстрируют низкие или сопоставимые концентрации всех изученных химических элементов (кроме Zr) (табл. 2). По сравнению с кларком для почв Беларуси [17] в поверхностном горизонте дерново-

подзолистых почв изучаемой территории заметно ниже содержание V (в 3,2 раза), Cr (в 4,4–4,8 раза) и Ni (в 2,0–2,2 раза).

Определенный интерес представляет выделение фоновых парагенетических ассоциаций химических элементов. В соответствии с работой [21], «под парагенетической ассоциацией понимается группа сонаходящихся в конкретном природном объекте элементов, сходно (как по интенсивности, так и по знаку) реагирующих на изменения параметров среды и характеризующихся в связи с этим сопряженностью и односторонностью изменения их содержаний в пространстве объекта».

В частности, в почвенном покрове Литвы выделяются две основные природные парагенетические ассоциации химических элементов [1, 7]. Первая, *литогенная*, включает в себя элементы, содержание которых предопределено количеством тонкодисперсной фракции почв (Li, B, Sc, V, Cr, Co, Ni, Ga). Другая – *кластогенная* – состоит из элементов (Ti, Y, Zr, Nb, La, Yb), содержащихся в устойчивых к выветриванию тяжелых минералах. Дополнительно выделяются также *крупнообломочная ассоциация* (группы, пары или единичные элементы) – микроэлементы, носителями которых являются обломки горных пород, средне- и слабоустойчивые к выветриванию пордообразующие минералы, а также группы либо отдельные элементы геохимических барьера.

**Таблица 2. Среднее содержание химических элементов в почвах различных территорий,
мг/кг сухого вещества**

Почвы, количество проб	Ti	V	Cr	Mn	Fe ¹	Ni	Cu	Zr	Ba	Pb
<i>Страны Европы [26]</i>										
В целом, 845 (Ме)	1 499	60,4	60	503	1,23	18	13	231	375	22,6
<i>Эстония [28]</i>										
Дерново-слабоподзолистые, 220 (x_f)	—	50	42	396	1,33	20	9,0	287	411	16
Дерново-подзолистые, 95 (x_f)	—	14	24	105	0,57	16	6,2	162	235	13
Дерново-подзолистые глеевые, 75 (x_f)	—	27	33	142	0,80	20	7,2	210	332	12
В целом, 1 550 (x_f)	—	43,6	42	329	1,41	21,9	10,6	223	383	16,4
<i>Литва (по [25])</i>										
Минеральные	Песчаные, 676 (Ме)	—	—	25,1	—	—	9,4	6,5	—	—
	Супесчаные, 699 (Ме)	—	—	35,7	—	—	13,8	9,6	—	—
	Суглинистые, 678 (Ме)	—	—	44,0	—	—	18,0	11,4	—	—
Торфяные, 630 (Ме)	—	—	—	—	—	—	12,1	10,6	—	—
В целом (Ме) ²	—	29,7	31,7	578	—	13,3	9,5	—	400	16,6
<i>Польша [27]</i>										
Почвы в целом, 10 840	—	6	4	173	0,50	4	5	—	32	16,0
<i>Беларусь</i>										
<i>Северная геохимическая провинция [5]</i>										
В целом	1 430	27	36	440	—	17	9	—	—	—
<i>Бассейн р. Западная Двина [16]</i>										
В целом, 40	1 964	45	50	237	2,37	33	25	218	—	—
<i>Березинский биосферный заповедник [6]</i>										
В целом, 32	537	8,9	5,1	188	—	2,7	1,5	275	—	3,6
<i>Березинский биосферный заповедник [15]</i>										
Дерново-подзолистые песчаные (дерново-подзолистые автоморфные) ³ , 15	1 600	25	14	376	—	11	6,2	—	335	21
Дерново-подзолистые песчаные (дерново-подзолистые полугидроморфные) ⁴ , 27	1 110	21	9,6	170	—	9,4	6,8	430	320	19
Дерновые заболоченные (дерновые полугидроморфные), 17	1 040	19	7,6	340	—	8,2	13	—	262	26
Торфяно-болотные низинные, 17	870	16	6,9	230	—	6,6	12	340	210	22
Торфяно-болотные верховые, 9	98	2,7	1,2	70	—	1,3	2,9	—	15	4,1
<i>Белорусское Поозерье (эталонные участки I и II)</i>										
Дерново-подзолистые, 276	1 185	10,6	8,1	174	0,52	9,7	8,2	335	298	11,0
Торфяно-болотные, 14	368	3,2	1,6	59	0,26	3,0	3,8	21,5	61	9,1
<i>Кларк почв Беларусь [17]</i>										
Минеральные	1 562	34	36	247	—	20	13	336	370	12

Примечание: ¹%; ² дополнено по данным работы [29]; ³ двучленные; ⁴ одночленные.

В большинстве случаев количественной мерой выделения ассоциаций на практике служит суммарный показатель загрязнения (Z_c), представляющий собой аддитивную сумму превышений коэффициентов концентраций над единичным (фоновым) уровнем [19]. Вместе с тем данный показатель носит относительный характер, так как зависит от субъективного подбора эталонных (фоновых) значений.

Для выделения ассоциаций химических элементов могут быть использованы методы многомерного статического анализа и, в частности, метод факторного анализа [7, 10, 22]. Гипотеза факторного анализа о существовании небольшого числа скрытых (латентных) факторов,

через которые линейно выражаются все анализируемые переменные и в которых содержится вся существенная информация, соответствует понятию парагенетических ассоциаций, обусловленных одним общим геохимическим процессом или источником поступления элементов [7].

С помощью факторного анализа на примере эталонного участка II были выделены фоновые геохимические ассоциации химических элементов в дерново-подзолистых почвах. Пригодность данных для факторного анализа подтверждается высоким значением критерия Кайзера–Майера–Олкина ($KMO = 0,903$) и теста сферичности Бартлетта ($\chi^2 = 1 163$, $df = 45$; $p < 0,01$).

В результате анализа выделились две главные компоненты (два фактора), на долю которых приходится 65 % общей дисперсии (табл. 3).

Для фактора 1, дающего наибольший вклад в общую дисперсию (54 %), характерна ассоциация Ni–Cu–Fe–V–Cr–Pb–Mn. Содержание в почвах V, Cr, Fe, Ni, Cu в значительной степени зависит от ее гранулометрического состава. V, Cr, Ni и Cu концентрируются в основном во фракциях мельче 0,01 мм (главным образом мельче 0,001 мм). Основная масса Fe также концентрируется в глинистой составляющей [5, 9, 16]. Можно предположить, что фактор 1 отражает содержание тонкодисперской части почв, с увеличением доли которой растет концентрация элементов данной ассоциации.

Фактор 2 характеризуется высокими нагрузками Ba, Ti, и Zr. Ba присутствует в почвах в основном в составе щелочного полевого шпата и

биотита [9], Zr – чаще всего в виде самостоятельного минерала циркона. На долю связанного с минералами тяжелой фракции Ti приходится 60–75 % его общего количества в породе [5]. Носятелями элементов данной ассоциации являются минералы песчаной и алевритовой фракций почв.

Растительность. Предшествующими исследованиями [12] установлено, что древесно-кустарниковая растительность Северной геохимической провинции отличается пониженным содержанием Ti, V, Co и Cu по сравнению с Южной геохимической провинцией (Полесье) и повышенным содержанием Ti по сравнению с центральным регионом Беларуси. В табл. 4 представлены данные о содержании микроэлементов в хвои *Pinus sylvestris* L. и *Picea abies* Karst. на эталонных участках I и II.

Таблица 3. Значения факторных нагрузок двух главных компонент, описывающих 65 % различий распределения элементов

Фактор	Ni	Cu	Fe	V	Pb	Cr	Mn	Ba	Zr	Ti	Вклад, %
1	0,833	0,830	0,801	0,711	0,621	0,617	0,578			0,538	54
2	0,215		0,443	0,539	0,317		0,554	0,779	0,724	0,712	11

Примечание: полужирным шрифтом выделены ведущие компоненты для каждой переменной. Нагрузки, не являющиеся достоверными, опущены.

Таблица 4. Содержание химических элементов в хвои доминантных видов растений эталонных участков Белорусского Поозерья, мг/кг сухого вещества

Элемент	Эталонный участок I				Эталонный участок II			
	<i>Pinus sylvestris</i> L. (n = 57)		<i>Picea abies</i> Karst. (n = 21)		<i>Pinus sylvestris</i> L. (n = 133)		<i>Picea abies</i> Karst. (n = 9)	
	\bar{x}	Min – max	\bar{x}	Min – max	\bar{x}	Min – max	\bar{x}	Min – max
Ti	6,2	1,3 – 41,0	3,5	1,4 – 22,0	22,9	4,5 – 150	13,5	9,0 – 27,0
V	–	–	–	–	0,3	н. о. – 1,2	–	н. о. – 0,24
Cr	–	–	–	–	0,57	0,08 – 6,0	0,12	н. о. – 0,2
Mn	172,0	18,0 – 700	364	140 – 870	124,6	3,4 – 450	413	160 – 630
Fe	117,7	55,0 – 580	86,6	50,0 – 230	117,5	11,0 – 1 940	56,0	36,0 – 78,0
Co	–	–	–	–	0,068	н. о. – 0,43	0,05	н. о. – 0,08
Ni	0,68	0,17 – 5,6	1,14	0,42 – 4,8	1,37	0,2 – 7,8	0,73	0,27 – 2,4
Cu	3,3	1,3 – 7,8	3,3	1,5 – 9,9	3,56	0,22 – 17,0	2,5	1,5 – 3,4
Zn	14,2	6,0 – 44,0	10,5	4,0 – 28,0	13,9	3,0 – 72,0	15,5	11,0 – 20,0
Ba	6,40	1,9 – 17,0	15,1	5,8 – 57,0	6,66	0,56 – 33,0	25,0	15,0 – 43,0
Pb	0,58	0,23 – 2,4	0,47	0,23 – 1,4	0,58	0,09 – 8,0	0,30	н. о. – 0,37

Для сравнения использовались опубликованные данные [2, 3, 15, 20] о содержании микроэлементов в аналогичных видах растений заповедных территорий Беларуси (табл. 5). В частности, концентрация Ni, Cu, Zn, Pb в хвои *Pinus sylvestris* L. эталонных участков близка к соответствующей для Березинского биосферного заповедника, частично расположенного в пределах

Северной геохимической провинции, и ниже (кроме Zn), чем в заповеднике «Беловежская пуща» и национальном парке «Припятский». По сравнению с показателями, рассчитанными для Беларуси в целом, хвоя *Pinus sylvestris* L. и *Picea abies* Karst. эталонных участков отличается пониженным содержанием V, Mn, Ni, Cu и Pb.

В табл. 6 представлены коэффициенты биологического поглощения (КБП) микроэлементов (отношение содержания микроэлемента в золе растения к его содержанию в почве) для хвои *Pinus sylvestris* L. эталонных участков и по стране в целом. Наиболее интенсивно в данном случае поглощаются Mn и Cu, к разряду инертных элементов могут быть отнесены Ti, Fe и Ba.

В целом же по интенсивности накопления изученные микроэлементы располагаются в следующем ряду КБП: Mn > Cu > Ni > Cr > Pb > V > Fe > Ti. По сравнению с Беларусью в целом для обоих эталонных участков получены более высокие КБП Pb.

Таблица 5. Среднее содержание микроэлементов в хвои *Pinus sylvestris* L. и *Picea abies* Karst. различных районов Беларуси, мг/кг сухого вещества

Район	Ti	V	Mn	Ni	Cu	Zn	Pb
<i>Pinus sylvestris</i> L.							
Эталонный участок I	6,2	—	172	0,99	3,3	14,2	0,69
Эталонный участок II	22,9	0,3	125	1,37	3,6	13,9	0,58
Заповедник «Беловежская пуща» [3]	24,0	1,0	302	3,8	9,8	—	9,0
Национальный парк «Припятский» [2]	8,4	0,4	319	3,6	8,1	—	—
Березинский биосферный заповедник (цит. по [20])	3,5	0,7	280	1,8	4,4	16,2	0,3
Березинский биосферный заповедник [15] ¹	4,2	—	300	1,9	5,6	16,3	0,3
Беларусь в целом [13]	17,0	1,3	392	3,3	6,7	—	2,6
<i>Picea abies</i> Karst.							
Эталонный участок I	3,5	—	364	1,14	3,3	10,5	0,47
Эталонный участок II	13,5	—	413	0,73	2,5	15,5	0,31
Заповедник «Беловежская пуща» [3]	12,0	0,8	757	4,9	8,7	—	1,4
Березинский биосферный заповедник (цит. по [20])	2,4	—	620	1,4	4,9	11,7	0,3
Березинский биосферный заповедник [15] ¹	1,8	—	359	0,7	4,8	16,5	0,2
Беларусь в целом [13]	13	1,3	586	3,4	7,6	—	1,2

Примечание: ¹ Пересчитано (средневзвешенное).

Таблица 6. КБП химических элементов хвоей *Pinus sylvestris* L. на эталонных участках

Территория	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Ba	Pb
Эталонный участок I	0,23	—	—	38,2	0,95	2,8	14,5	0,81	2,0
Эталонный участок II	0,69	0,99	2,7	24,2	0,83	5,4	17,3	0,85	2,0
Беларусь в целом [13]	0,3	1,2	—	45,0	—	5,5	17,0	—	0,9

Выводы

Рассчитанные фоновые валовые концентрации ряда химических элементов в дерново-подзолистых почвах эталонных участков, характеризующих территорию Белорусского Поозерья, не всегда согласуются со значениями, установленными предшествующими исследованиями для территории Северной геохимической провинции в целом. Получены значительно меньшие концентрации V, Cr, Mn, Ni. Во всех пробах в настоящее время устойчиво фиксируется Pb. По сравнению с кларком для почв Беларуси в целом [17] в поверхностном горизонте дерново-подзолистых почв исследованных территорий заметно ниже концентрации V (в 3,2 раза), Cr (в 4,4 раза), Ni (в 2,1 раза).

В дерново-подзолистых почвах эталонного участка II с помощью факторного анализа выде-

лены две природные ассоциации химических элементов. Ассоциация Ni–Cu–Fe–V–Cr–Pb–Mn (литогенная) включает элементы, содержание которых в значительной степени предопределено глинистой составляющей почвы. Ассоциация Ba–Ti–Zr–Mn объединяет элементы, носителями которых служат минералы песчаной и алевритовой фракций почв.

Изученные древесные виды (*Pinus sylvestris* L. и *Picea abies* Karst.) в целом характеризуются низкими концентрациями микроэлементов. Содержание Ni, Cu, Zn, Pb в хвои *Pinus sylvestris* L. эталонных участков близко к соответствующему для Березинского биосферного заповедника и ниже (исключая Zn), чем в заповеднике «Беловежская пуща» и национальном парке «Припятский».

Л и т е р а т у р а

1. **Балтакис В.** Некоторые аспекты разработки методики эколого-геохимического картографирования и геохимического мониторинга // Геохимия техногенеза: Тез. докл. II Всесоюз. совещ. Мин., 1991. С. 14–16.
2. **Вадковская И. К.** Сравнительный анализ микроэлементного состава древесной растительности заповедных территорий Беларуси // Природопользование. Мин., 1996. Вып. 1. С. 143–146.
3. **Вадковская И. К., Гурч Е. П.** Геохимические особенности древесно-кустарниковой растительности «Беловежской Пущи» // Природопользование. Мин., 1999. Вып. 5. С. 46–48.
4. Геохимическая характеристика литогенеза и ландшафтов Белорусского Полесья / Под ред. К. И. Лукашева. Мин., 1966.
5. Геохимические провинции покровных отложений БССР / Под ред. К. И. Лукашева. Мин., 1969.
6. Геохимическое изучение ландшафтов Березинского биосферного заповедника / Под ред. К. И. Лукашева. Мин., 1985.
7. **Зинкуте Р.** Факторный анализ при выделении ассоциаций и методические разработки подсчета геохимического фона // Природные ресурсы. 1999. № 4. С. 97–108.
8. **Зырин Н. Г., Обухов А. И.** Спектральный анализ почв, растений и других биологических материалов. М., 1977.
9. **Кабата-Пендрас А., Пендрас Х.** Микроэлементы в почвах и растениях. М., 1989.
10. **Кирюшин А. В., Пузаченко Ю. Г., Стульцев Ю. К., Ямашкин А. А.** Многомерное отображение структуры региональных геохимических полей (факторный анализ) // Изв. РАН. Сер. геогр. 1996. № 4. С. 24–45.
11. **Кузнецов В. А., Петухова Н. Н., Оношко М. П.** и др. Геохимия ландшафтов Припятского Полесья. Мин., 1997.
12. **Лукашев К. И., Вадковская И. К.** Территориальные особенности микроэлементного состава древесно-кустарниковой растительности Белорусской ССР // Докл. АН БССР. 1982. Т. XXVI, № 10. С. 925–927.
13. **Лукашев К. И., Вадковская И. К.** Геохимические особенности древесно-кустарниковой растительности Березинского биосферного заповедника // Докл. АН БССР. 1988. Т. XXXII, № 2. С. 160–162.
14. **Лукашев К. И., Петухова Н. Н.** Химические элементы в почвах. Мин., 1970.
15. **Натаров В. М.** Итоги комплексного геохимического мониторинга в Березинском биосферном заповеднике // Особо охраняемые природные территории Беларуси. Исследования. Мин., 2006. Вып. 1. С. 111–132.
16. **Петухова Н. Н.** Геохимия почв Белорусской ССР. Мин., 1987.
17. **Петухова Н. Н., Кузнецов В. А.** К кларкам микроэлементов в почвенном покрове Беларуси // Докл. АН Беларуси. 1992. Т. 36, № 5. С. 461–465.
18. **Петухова Н. Н., Кузнецов В. А.** Геохимическое состояние почвенного покрова Беларуси // Природные ресурсы. 1999. № 4. С. 40–49.
19. **Саэт Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П.** и др. Геохимия окружающей среды. М., 1990.
20. **Савченко С. В., Вадковская И. К., Лукашев О. В.** Микроэлементный состав растительности Национального парка «Браславские озера» // Природопользование. Мин., 2003. Вып. 9. С. 99–101.
21. **Смирнов Б. И.** Корреляционные методы при парагенетическом анализе. М., 1981.
22. **Тютюнник Ю. Г., Горлицкий Б. А.** Факторный анализ геохимических особенностей почв городов Украины // Почвоведение. 1998. № 1. С. 100–109.
23. **Шиманович В. М., Акудович С. А.** К методике расчета средних значений микроэлементов для выборок, усеченных нижним пределом обнаружения // Литасфера. 2000. № 13. С. 144–147.
24. **Ярцев В. И., Аношко Я. И.** Минералогия. Изучение и определение обломочных минералов антропогенных пород Беларуси. Мин., 1998.
25. **Buivydaite V. V.** Soil Survey and Available Soil Data in Lithuania // Soil Resources of Europe: 2nd ed. European Soil Bureau Report. N 9, EUR 20559 EN. P. 211–233.
26. Geochemical Atlas of Europe – <http://www.gtk.fi/publ/foregsatlas/>.
27. **Lis J., Pasieczna A.** Geochemical atlas of Poland. Warszawa, 1995.
28. **Petersell V., Ressar H., Carlsson M.** et al. The geochemical atlas of the humus horizon of Estonian soil. Tallinn – Uppsala, 1997.
29. **Taraškevičius R., Zinkutė R., Jankauskaitė M.** Differences of Vilnius topsoil contamination in the Neris River valley due to anthropogenic factors // Geologija. 2008. № 3 (63). P. 135–142.

О. В. Лукашёв, Н. В. Жуковская, Н. Г. Лукашёва, С. В. Савченко

ФОНОВОЕ СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ БЕЛОРУССКОГО ПООЗЕРЬЯ

Фоновые геохимические характеристики почв и растительности изучались на примере двух эталонных участков, расположенных в пределах Белорусского Поозерья. Первый эталонный участок (площадью 400 км²) располагался на территории национального парка «Браславские озера», второй участок (площадью около 800 км²) – на территории национального парка «Нарочанский».

Полевые исследования проводились в летний период 1999–2003 гг. Опробование поверхности горизонта почв (0...10 см) и хвойных деревьев (*Pinus sylvestris L.*, *Picea abies Karst.*, хвоя двухлетнего возраста) осуществлялось по сети 2 × 2 км.

Дерново-подзолистые почвы эталонных участков характеризуются близким содержанием V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zr, Ba, Pb. Более высокие концентрации Ti и Fe отмечаются в почвах эталонного участка на территории национального парка «Нарочанский». Содержание Ti и Cu в дерново-подзолистых почвах эталонных участков согласуется со значениями, установленными предшествующими исследованиями для территории Северной геохимической провинции в целом. Отмечаются значительно более низкие концентрации V, Cr, Mn, Ni. В настоящее время во всех почвах устойчиво фиксируется Pb. По сравнению с кларками для почв Беларуси в почвах эталонных участков зафиксированы пониженные концентрации V (в 3,2 раза), Cr (в 4,4 раза), Ni (в 2,1 раза).

В дерново-подзолистых почвах эталонного участка в национальном парке «Нарочанский» с помощью факторного анализа выделены две природные ассоциации химических элементов. Ассоциация Ni–Cu–Fe–V–Cr–Pb–Mn включает элементы, содержание которых в значительной степени предопределено глинистой составляющей почвы. Ассоциация Ba–Ti–Zr–Mn объединяет элементы, носителями которых служат минералы песчаной и алевритовой фракций почв.

Изученные древесные виды растений в целом характеризуются низкими концентрациями микроэлементов. Содержание Ni, Cu, Zn, Pb в хвое *Pinus sylvestris L.* эталонных участков близко к соответствующему для Бerezинского биосферного заповедника и ниже (исключая Zn), чем в заповеднике «Беловежская пуща» и национальном парке «Припятский».

Полученные значения содержания химических элементов являются фоновыми и могут использоваться как эталон при оценке техногенного загрязнения других территорий Белорусского Поозерья.

O. V. Lukashev, N. V. Zhukovskaja, N. G. Lukasheva, S. V. Savchenko

THE BACKGROUND CONTENTS OF CHEMICAL ELEMENTS OF SOILS AND PLANTS OF NATURE RESERVE IN BYELORUSSIAN POOZER'E

The background geochemical characteristic of soils and vegetation were studied on an example of two reference territory located within the limits of Byelorussian Poozer'e. The first reference territory by the area 400 km² settled down the national park «Braslav lakes», second territory by the area about 800 km²— in the national park «Narochanski».

*The field researches were carried out in the summer period 1999–2003. The approbation of superficial horizon of soils (0...10 cm) and coniferous trees (*Pinus sylvestris L.*, *Picea abies Karst.*, needle of two-years age) was carried out on a network 2 × 2 kms.*

Umbric ambeluvisols of reference territories are characterized by the close contents of V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zr, Ba, Pb. Higher concentration of Ti and Fe are marked in soils of a reference territory of in national park «Narochanski». The contents of Ti and Cu in umbric ambeluvisols of reference territories will be coordinated to values established previous researches for territory of Northern geochemical province as a whole. Considerably lower concentration of V, Cr, Mn, Ni are marked. Now Pb in all soils is steadily fixed. In comparison with average values, designed for soils of Belarus, in soils of reference territories the lowered concentration of V (in 3,2 times), Cr (in 4,4 times), Ni (in 2,1 times) are fixed.

In umbric ambeluvisols of the reference territory in national park «Narochanski» with the help of factorial analysis two natural associations of chemical elements are allocated. Association Ni–Cu–Fe–V–Cr–Pb–Mn includes elements, which contents is substantially predetermined of clay making of soils. Association Ba–Ti–Zr–Mn unites elements, which carriers serve the minerals sandy and aleurite fractions of soils.

*The investigated wood kinds of plants as a whole are characterized by low concentration of microelements. The contents of Ni, Cu, Zn, Pb in needles *Pinus sylvestris L.* of the reference territory is close to appropriate for the Berezinski biosfere of reserve, and is lower (excluding Zn), than in the reserve «Belovezhskaya pushcha» and the national park «Pripiatski».*

The received values of the contents of chemical elements are background and to be used as the standard at a rating of technogenic contamination of other Byelorussian Poozer'e territories.

А. В. Матвеев, В. Е. Бордон

ВЛИЯНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ В ЗОНАХ РАЗЛОМОВ НА ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ

На основании исследований геохимических особенностей покровных отложений на ключевых участках установлено формирование в зонах разрывных нарушений повышенных концентраций Ni, Y, V, Cu, Ti, Co, реже Cr, Pb, Yb, Nb, в единичных случаях Zr, P, Zn, а также радона в почвенном воздухе. Выявлена корреляция этих аномалий с распространением онкологических, нервных, сердечно-сосудистых и других заболеваний. Подчеркнуто, что аномалии в зонах разломов сами по себе в основном не могут вызывать развитие тех или иных болезней, но при сочетании с другими факторами благоприятствуют их распространению.

При оценках экологической обстановки любого региона и ее влияния на здоровье населения необходимо учитывать комплекс факторов природного, техногенного и социального характера. При этом, по данным Всемирной организации здравоохранения, вклад в развитие различных заболеваний природной составляющей, как одного из наиболее ярких проявлений экологической не благоприятности среды обитания, оценивается от 20–30 до 55 % [5]. Из природных факторов на распространение эндемических болезней существенное воздействие оказывают геохимические аномалии [8]. Наибольший вклад в изучение влияние этого фактора на заболеваемость населения на территории бывшего СССР внесен сотрудниками Биогеохимической лаборатории им. В. И. Вернадского. Этой же тематике посвящены исследования Т. В. Беляковой, Т. М. Диановой, Е. Е. Ермакова, Н. С. Петрушиной, С. А. Алексеевой, О. П. Дегтяревой и др. [13]. Судя по опубликованным данным, активно влияют на биологические процессы Co, Cu, Zn, Mo, Ni, Sr, Ti, V, Cr, Ba, J и др.

Связь геохимических аномалий и заболеваемости населения на территории Беларуси также рассмотрена в ряде публикаций. Так, по данным В. В. Ковальского [8], неблагоприятное состояние большинства ценозов на территории Полесья обусловлено недостатком J, Co, Mo, Ca, P, K, Cu, B, Zn и изредка избытком Sr. О влиянии геохимических аномалий на экологическую обстановку и распространение некоторых заболеваний в разные годы писали белорусские исследователи И. К. Вадковская, С. Г. Комракова, А. В. Кудельский, В. А. Кузнецов, Л. И. Лозовский, В. К. Лукашев, К. И. Лукашев, М. П. Оношко, В. С. Хомич и др. Обобщая опубликованные данные, можно отметить, что на территории нашего региона существуют значимые корреляции между геохимическими аномалиями и целым рядом заболеваний. Так, аномальные (повышенные, реже пониженные) концентрации Cr вызывают развитие аллергии, психических расстройств, онкологических заболеваний; Ni – аллергии, заболева-

ний носовых пазух, легких; Cu – болезней органов дыхания, щитовидной железы, анемии, нефритов, сахарного диабета, гепатитов; Zn – онкологических болезней, анемии, кишечно-желудочных заболеваний, нефритов, сахарного диабета, гепатитов; Ti – болезней крови; Mn – бронхиальной астмы, анемии, нефритов, сахарного диабета, гепатитов, нарушений опорно-двигательного аппарата, повышение смертности новорожденных; Pb – заболеваний нервной системы, онкологических и сердечно-сосудистых болезней; Co – нефритов, аллергии, болезней крови, органов дыхания; As – дерматитов, снижение слуха, онкологических заболеваний; J – заболеваний щитовидной железы; Mo – анемии, нефритов, сахарного диабета, онкологических заболеваний и гепатитов; Hg – онкологических заболеваний, болезней крови, гипотонии; Cd – болезней почек, предстательной железы, костно-мышечной системы и т. д.

Корреляция площадей распространения повышенной заболеваемости населения и геохимических аномалий, сформированных в покровных отложениях, установлена и авторами статьи в процессе выполненных ранее исследований. В частности, по результатам работ на территории Белорусского Полесья получены данные о том, что болезни щитовидной железы чаще встречаются на участках аномальных концентраций J, Cu, Li, Mn, Ti, Zr, V, заболевания эндокринной системы – Mo, Li, J, Nb, онкологические заболевания – Mo, Li, J, Nb, Mn, Ni, Zr, Cu, Pb и Zn, болезни кроветворной системы – Cu, Mn, V, Ti, Zr, J, Li, Fe, болезни желудочно-кишечного тракта – Cu, Cr, V, Zn, Ni, Zr, болезни органов дыхания – Ti, Zr, V, P, B, Cr, повышенная первичная инвалидность – Cr, Cu, Li, B, Pb [14].

Таким образом, к настоящему времени накоплено достаточно данных о влиянии геохимических аномалий в целом на здоровье населения.

Задача авторов статьи – конкретизация этого общего вывода на примере зон разрывных нарушений.

Геохимические аномалии в зонах разломов

О заметном влиянии линейных структур на заболеваемость населения еще в 1929 г. писал немецкий исследователь Густав фон Поль, в 1932 г. – чех Олдрек Юризек [17]. На это же указывают V. Fritsch [20], K. Bachler [19], материалы симпозиума в Москве (1992 г.) [16], санкт-петербургские ученые [17]. В перечисленных публикациях отмечается, что над участками геологических неоднородностей (зонами разломов, повышенной плотности разрывных структур в целом, погребенными долинами и ложбинами) резко возрастает частота онкологических (до 2,8–4,1 раза в Санкт-Петербурге), сердечно-сосудистых, легочных заболеваний, ревматизма, сахарного диабета, рассеянного склероза и др.

Выполненные авторами статьи исследования на территории ключевых участков (рис. 1), расположенных в разных частях Беларуси, показали, что в зонах разломов в покровных отложениях накапливаются Ni, Y, V, Cu, Ti, Co, реже Cr,

Pb, Mn, Yb, Nb, в единичных случаях Zr, P, Zn (таблица). При этом коэффициенты концентрации элементов (отношение содержания элемента в пробе к кларку соответствующего генетического типа отложений) чаще всего варьируют в интервале 1,1–2,5. В формирующихся геохимических аномалиях в большинстве случаев количество отдельных элементов не достигает предельно допустимых концентраций (ПДК для почв). Однако местами содержание Ni, Cr, V, Mn, Pb может приближаться и изредка даже превышать этот показатель. Так, в зонах некоторых разломов количество Ni составляет до 70 г/т (севернее Житковичей, восточнее Логишина), Cr – до 65–100 г/т и более (севернее Калинковичей, севернее Слуцка, западнее Турова), V – до 100 г/т и более (западнее Турова, восточнее Кобриня, восточнее Логишина), Mn – до 3 кг/т и более (восточнее Логишина, западнее Турова, юго-восточнее Светлогорска), Pb – до 30–40 г/т (южнее Борисова, севернее Березы, юго-восточнее Светлогорска).

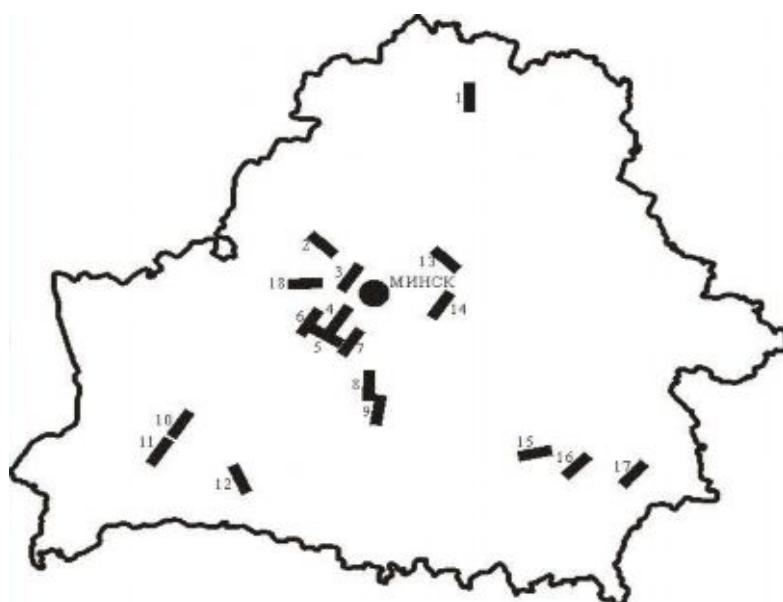


Рис. 1. Схема расположения ключевых участков: 1 – Полоцкий, 2 – Молодечненский, 3 – Заславский, 4 – Негорельский, 5 – Колоссовский, 6 – Засульский, 7 – Узденский, 8 – Слуцкий, 9 – Солигорский, 10 – Ивацевичский, 11 – Березовский, 12 – Логишинский, 13 – Борисовский, 14 – Замосточный, 15 – Сосновоборский, 16 – Васильковский, 17 – Гомельский, 18 – Исполчий

Повышение в зонах разломов в верхней части чехла и покровных отложениях концентраций отдельных элементов, минералов и соединений отмечают и другие белорусские исследователи. В частности, в работах В. Е. Бордона, Е. Т. Ольховик [4], В. А. Кузнецова с соавт. [11] установлено, что в зонах разрывных нарушений и на ограниченных ими поднимающихся блоках земной коры накапливаются Ca, Mg, Fe, Ti, Zr, Mn, Ni, V, B, иногда Pb. Эти данные подтверждаются и материалами исследований по геохимической характеристике толщи четвертичных отложений в целом. Так, выявленные авторами

статьи повышенные концентрации тяжелых металлов (более 90 г/т) в подавляющем большинстве случаев тяготеют к дизъюнктивным зонам. К аналогичному выводу приводят и результаты изучения особенностей состава аллювия в долинах Днепра, Ясельды, Случи, Друти и Цны на участках пересечения с зонами различных линейных нарушений. В результате проведенных работ установлено, что в этих зонах в аллювии в 1,5–2 раза и более возрастает содержание тяжелых минералов (плотность более 2,89 г/см³) – циркона, гранатов, амфиболов, ильменита, лейкоксена, рутила и др. [13].

Таблица. Наличие повышенных содержаний микроэлементов в зонах разломов на изученных ключевых участках (показано знаком «+»)

Ключевые участки	Элементы														
	Ni	Ti	Cr	V	Pb	Mn	Co	Zr	Cu	P	Zn	B	Y	Yb	Nb
Полоцкий	+	+	+	+					+						
Молодечненский	+							+					+		
Заславский	+		+	+			+		+				+		
Негорельский	+	+	+		+	+							+		
Колоссовский	+			+			+		+				+	+	
Засульский	+	+							+			+	+	+	
Узденский	+			+	+		+	+							
Слуцкий	+		+				+						+	+	
Солигорский		+		+		+		+							
Ивацевичский					+				+			+			+
Березовский					+	+			+	+	+	+			
Логашинский	+	+		+				+	+	+					
Борисовский	+	+											+		+
Замосточный	+				+	+	+						+		
Сосновоборский	+		+												
Васильковский	+	+										+			+
Гомельский	+			+	+										
Иллочский	+			+	+		+		+			+	+	+	+

Помимо перечисленных элементов и минералов вблизи разрывных нарушений могут формироваться повышенные концентрации радионуклидов. Так, с дизъюнктивами иногда увязываются контуры загрязненных площадей, появившихся в результате аварии на Чернобыльской АЭС [18]. Наглядно это проявляется на территории Воложинского грабена, где участки с загрязнением более 1 Ки/км² в субмеридиональном направлении контролируются Первайским и Ивенецким линейными разрывными нарушениями, а с севера и юга соответственно ограничиваются Ошмянским и Налибокским разломами. В менее выраженной форме связь распределения повышенных содержаний выпавших радиоактивных веществ с зонами разломов прослеживается на юге страны. Причиной этого является известный факт тяготения облаков к линейным разрывным структурам и наличие аномалий геофизических полей. Кроме того, по данным В. А. Кузнецова и др. [11], с линейными структурами, ограничивающими блоки земной коры и испытывающими поднятие на современном этапе, связывается вторичное загрязнение радиоактивным цезием аллювиальных отложений в долине Днепра, Сожа и, вероятно, других рек, дренирующих территории с повышенным содержанием чернобыльских радионуклидов.

Наконец, необходимо отметить, что в зонах разломов в покровных отложениях формируются повышенные концентрации радона, которые могут превышать фоновые значения в 2–5 раз. Подтверждение связи радионовых аномалий с

разрывными структурами получено при выполнении специальных исследований на территории Воложинского грабена и Центрально-Оршанского горста (измерения проводились специалистами Института радиологии и Геофизической экспедиции РУП «Белгеология»). Из полученных данных [1, 15] следует, что в пределах Воложинского грабена наиболее четко в распределении концентраций рассматриваемого газа проявляются оба проникающих в чехол региональных разлома (Налибокский и Ошмянский). Содержание Rn в почвенном воздухе составляет 80–100 Бк/кг (фоновые значения не превышают 40 Бк/кг). В ряде случаев увеличение количества радона (до 60–70 Бк/кг) отмечается над разломами, которые по геологическим данным считаются не проникающими в чехол. Почти такая же картина выявлена и по результатам работ в левобережной части Днепра, где подавляющее большинство выделенных радионовых аномалий (до $(17\text{--}18)\cdot10^3$ Бк/м³) тяготеет к разрывным нарушениям при фоновых содержаниях $(3\text{--}6)\cdot10^3$ Бк/м³.

Исследования в Солигорском районе (анализы выполнялись ведущим научным сотрудником Института радиологии М. И. Автушко) показали, что при преобладающих значениях около 30 Бк/кг в зонах разломов концентрации радона в почвенном воздухе могут возрастать до 48 Бк/кг. При этом обращает на себя внимание тот факт, что особых различий в проявлении разломов разного ранга не установлено. Например, в зонах нарушений, которые не проникают и проникают в чехол, значение глубинной компоненты радона

изменяется в интервалах 29,3–48,0 Бк/кг и 32,3–48,0 Бк/кг соответственно. Мало различаются рассматриваемые параметры также в зонах региональных и локальных нарушений – 32,2–48,0 Бк/кг и 29,3–44,2 Бк/кг. Кроме радона с зонами разрывных нарушений на территории Беларуси в ряде случаев связываются аномалии и некоторых других газов – гелия, торона, водорода, углеводородов, но экологические последствия этих аномалий изучены слабо.

Связь геохимических аномалий в зонах разломов с заболеваемостью населения

Естественно предположить, что возникающие в зонах разрывных нарушений геохимические аномалии могут влиять на экологическую обстановку и способствовать развитию различных заболеваний населения, животных и растительности.

Для более конкретной оценки воздействия геохимических аномалий, генетически связанных с разломами, на здоровье населения нами проведено сопоставление распространения онкологических заболеваний [3] с расположением разрывных

структур (в рамках изученных ключевых участков). Анализ показал, что районы с максимальной концентрацией больных (более 1848 на 100 000 жителей) совпадают только с двумя ключевыми участками (1 и 6), средний уровень заболеваемости выявлен на 14 участках (924–1848 чел.) а на двух участках онкологическая заболеваемость менее 924 чел. на 100 000 жителей. Для уточнения возможной связи уровней распространения раковых болезней и разломов, кроме изучения этой проблемы на территории ключевых участков, выполнено сравнение карт комплексного медико-географического районирования [3] и разломов [2]. Такое сопоставление показало, что только на отдельных участках отмечается совпадение простирания разрывных структур и контуров районов с повышенной онкологической заболеваемостью (рис. 2). Из приведенных данных следует, что устойчивые геохимические аномалии не являются основной причиной повышенной заболеваемости раком, но, очевидно, могут усугублять эту болезнь и способствовать ее развитию.

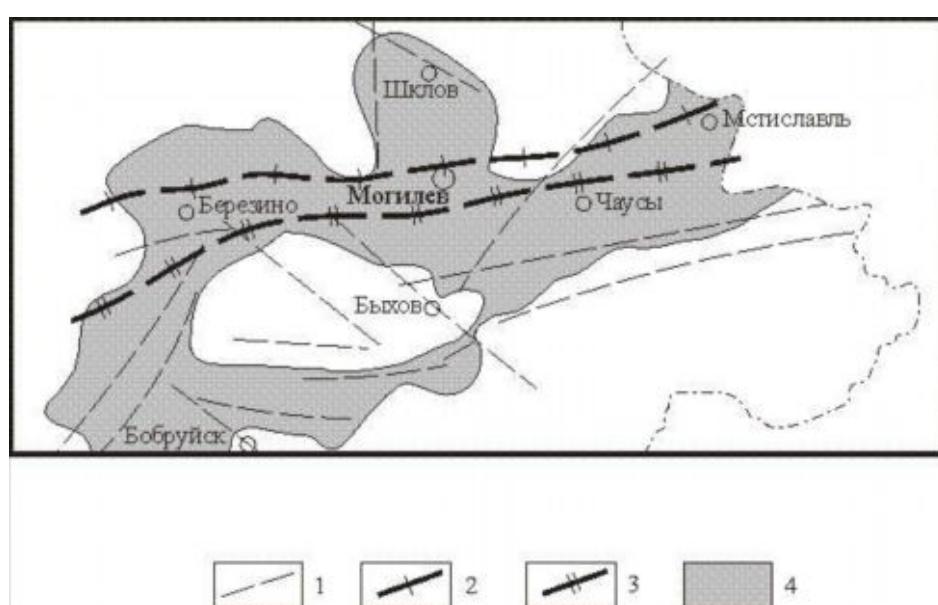


Рис. 2. Корреляция площадей повышенной онкологической заболеваемости населения с простирием разрывных нарушений: разломы локальные (1), региональный (2) и суперрегиональный (3); 4 – площади повышенной онкологической заболеваемости (В. С. Аношка і інш., 2002)

Интересные данные получены по связи заболеваний органов дыхания в городах с распространением на их территории разрывных структур. Например, в Борисове и Минске, расположенных в зонах суперрегиональных и серии локальных разломов, количество подобных заболеваний у населения в 1997–1999 гг. в пересчете на 100 тыс. жителей составило соответственно 61,9 тыс. и 61,6 тыс., в то время как на прилегающих территориях эти показатели заметно ниже – соответственно 33–40 тыс. и 40–

50 тыс. (Казлова, Піліпецвіч, 2002). В таких городах как Пинск и Полоцк, находящихся вне зоны разрывных нарушений, заболеваемость в этот же период составила 38,8 тыс. и 45,2 тыс., в прилегающих районах – 25–33 тыс. и 33–40 тыс. жителей.

Разнообразные материалы по влиянию геохимических аномалий на развитие определенных заболеваний получены по Гомелю [9]. На территории этого населенного пункта выделена достаточно густая сеть разрывных нару-

шений. С юго-запада в направлении на северо-восток примерно по центру города проходит Лоевский региональный разлом. Он пересекается также почти в центре города с субмеридиональным Урицким разломом. Кроме этих достаточно протяженных разрывных нарушений по геолого-геофизическим данным выделено еще 9 локальных дизъюнктивов.

В пределах всех этих нарушений сформировались различные геохимические аномалии, которые практически перекрывают всю площадь города. Это, вероятно, и послужило одной из причин повышения заболеваемости населения. Так, уровень онкологической заболеваемости взрослого населения Гомеля в 1,5 раза превышает соответствующий показатель по области в целом и в 3 раза по Гомельскому району. Подобным же образом разнится распространение и ряда других заболеваний: болезни нервной системы в городе отмечаются в 1,2 раза чаще, чем в области, и в 3,5 раза, чем в районе, болезни кроветворной системы соответственно в 1,7 и 1,9 раза; болезни костно-мышечной системы – в 1,7 раза и т.п. [9]. Выявлена на территории города корреляция болезней эндокринной системы с аномалиями в покровных отложениях ^{137}Cs и Cr, щитовидной железы – Zn и нефтепродуктов, осложнений беременности – Cu, Hg, Cd, психических расстройств и кровообращения – Cr, эндокринной системы, онкологических заболеваний, болезней крови и органов пищеварения – Zn, Cu, онкологических заболеваний – Cr, Pb. Особенно часто распространение заболеваний коррелирует с аномалиями нескольких химических элементов и соединений: новообразования – Pb и Hg, Hg и нефтепродуктов; болезни эндокринной системы – ^{137}Cs и нефтепродуктов, щитовидной железы – ^{137}Cs и нефтепродуктов, ^{137}Cs и Zn, Zn и нефтепродуктов, Pb и радионуклидов; заболевания нервной системы – Pb и радионуклиды, органов дыхания – Pb и Hg, желудочно-кишечного тракта – Pb и Hg; осложнения беременности – Pb и Hg, Pb и нефтепродуктов; психические расстройства – ^{137}Cs и Pb, ^{137}Cs и Zn, Zn и Pb, ^{137}Cs , Pb и Zn [9].

Естественно, что только часть из сложившихся в г. Гомеле химических аномалий обусловлена процессами в зонах разрывных нарушений, но тем не менее нельзя отрицать роль этих структур в формировании повышенных концентраций Zn, Cu, Cr, Pb, как это было доказано на примере изученных авторами ключевых участков.

Приведенные данные, а также опыт эколого-геохимических исследований позволяют говорить о влиянии на организм комплекса макро- и микроэлементов, попадающих в среду обитания или пищу из разных источников, в числе которых значительную роль играют аномалии в покровных отложениях в зонах разломов. Кроме того,

при проведении более детальных исследований влияния геохимических аномалий на здоровье населения, на возникновение или развитие тех или иных заболеваний следует учитывать взаимоотношения между микроэлементами при их воздействии на организм человека. Результаты опытов на животных и растениях, приведенные [7], показали, что отрицательное влияние на их состояние оказывают не только очень высокие (или слишком низкие) содержания микроэлементов, но и их соотношения в рамках выделенных ассоциаций. К их числу относятся: Ca – Sr, Mo – Cu, Ni – Cu, Cu – Mo – сульфат, J – Co, J – Co – Cu – Mn, Mn – Co, Ca – В – Cu, Cu – Ca, Zn – Ca, Cu – Zn, Cu – Zn – Ca и некоторые другие. Установлены относительно безопасные соотношения содержаний микроэлементов, попадающих в организм. Например, для ассоциации Cu–Mo эта величина в норме составляет 4:1. Относительное повышение молибдена и отношение Cu:Mo = 1.6:1 приводит к нежелательным последствиям – повышению образования мочевой кислоты, торможению процессов обмена, замене в слизистых оболочках одного элемента другим и т. д. [7].

Соотношения макро- и микроэлементов, влияющие на многие, если не все биологические процессы в природе, чрезвычайно разнообразны и сложны. Поэтому не всегда обнаруживается явная, прямая зависимость синтеза металло содержащих биологически активных соединений, определяющих, как правило, степень здоровья организма, от концентрации и соотношения химических элементов в воде, почвах, продуктах и т.д. Так например, синтез йодсодержащих аминокислот в щитовидной железе человека зависит не только от содержания йода, но и от концентрации Co, Cu, Mn. Недостаток или избыток элементов, изменение их соотношений, вызванные в том числе дополнительным привносом элементов в покровные отложения в зонах разломов, приводят к ослаблению или усилинию синтеза биологически активных веществ, содержащих микроэлементы, к полной или частичной перестройке процессов промежуточного обмена веществ, к выработке новой адаптивной их слаженности или дисфункциям, в конечном счете ведущим к недомоганиям и серьезным заболеваниям. На живые организмы оказывают влияние не только перечисленные выше аномалии и соотношения, но и в ряде случаев отдельные соединения и элементы.

Следует подчеркнуть опасность для населения радионовых аномалий, которые формируются в зонах практически всех активных разломов. К сожалению, на территории Беларуси связь отдельных заболеваний с конкретными радионовыми аномалиями изучена слабо. Однако в целом признается, что не менее половины дозы облучения от всех источников ионизирующего излучения человек получает от радона. Этим и

определяются возможные экологические последствия формирования радоновых аномалий, развитие различных заболеваний населения. В частности, по данным Научного комитета ООН по действию атомной радиации, радон и его дочерние продукты распада могут обусловливать до 20 % всех заболеваний раком легких [15]. Из известных фактов по территории Беларуси можно привести только установленную корреляцию повышенной заболеваемости детей в одном из микрорайонов г. Речицы с выявленными здесь радоновыми аномалиями [6], а также то, что в приведенных выше данных о развитии заболеваемости органов дыхания в городах определенную роль сыграли и аномалии радона. При этом следует иметь в виду, что доза облучения, принятая у нас в стране за предельно допустимую, может быть получена при содержании радона в воздухе жилых помещений в количестве 51 Бк/м³ и нахождении там в течение 8 часов ежесуточно, а при постоянном нахождении достаточно 17 Бк/м³ [12]. Проведенные этими же авторами исследования показали, что в ряде помещений на территории Гомельской области содержание радона достигает следующих величин: подвал лабораторного корпуса Института радиологии – 780±143 Бк/м³; подвал жилого дома в пос. Новая Жизнь – 370±75 Бк/м³; подвал жилого дома в пос. Гомельмаша – 400±81 Бк/м³ и т.д. Несомненно, часть повышенных концентраций радона в этих помещениях имеет природное происхождение и связана с зонами разрывных нарушений. Кроме этого, определенный вклад вносят горные породы в основании зданий, строительные материалы, атмосферный воздух, вода и др.

Выводы

1. Зоны разломов, которые по результатам проведенных исследований характеризуются повышенными содержаниями в покровных отложениях Ni, Ti, V, Cr, Co, Cu, Mn, В, а также радона в почвенном воздухе, могут рассматриваться в качестве геопатогенных территорий, на которых возрастает вероятность развития онкологических, нервных, сердечно-сосудистых заболеваний, анемии, нефритов, сахарного диабета, гепатитов, болезней крови и др.

2. Аномалии в зонах разломов сами по себе не могут вызывать (за исключением радона) развитие тех или иных болезней, но при сочетании с другими факторами, несомненно, способствуют их распространению.

3. Для снижения негативных последствий воздействия сформировавшихся в зонах разрывных нарушений геохимических аномалий целесообразно избегать размещения на этих территориях новых районов жилой застройки, провести перепрофилирование использования зданий школ, детских садов, обеспечить снижение общей техногенной нагрузки, организовать постоянный мониторинг состояния здоровья населения, качества продуктов питания, водоснабжения, разработать комплекс медицинских и технических мер, ослабляющих воздействие повышенных концентраций химических элементов.

4. Исследования влияния разрывных нарушений на экологическую обстановку следует продолжить в направлении детализации данных по влиянию зон разломов на развитие заболеваемости населения (по отдельным домам, улицам, деревням, поселкам, городским районам), воздействию геохимических аномалий на состояние посевов, растительного покрова, животных.

Л и т е р а т у р а

1. Автушко М. И., Матвеев А. В., Нечипоренко Л. А. Проявление линейных нарушений в концентрациях радона в покровных отложениях на территории Воложинского грабена // Докл. АН Беларуси. 1996. Т. 40, № 6. С. 92–94.
2. Аксаментава Н. В., Даніевіч І. В., Найдзянкоў І. В., Пап А. М. Карта крышталічнага фундамента. М 1:2 000 000 // Нацыянальны атлас Беларусі. Мн., 2002. С. 41.
3. Аношка В. С., Казлова Т. А., Піліпецвіч М. М., Пульманоўскі В. А. Комплекснае медыка-геаграфічнае раянаванне. Масштаб 1:3 000 000 // Нацыянальны атлас Беларусі. Мн., 2002. С. 157.
4. Бордон В. Е., Ольховик Е. Т. Минералого-геохимические критерии диагностики глубинных разломов // Прикладная геохимия Беларуси и государств Балтии. Мн., 1992. С. 205–206.
5. Губин В. Н., Ковалев В. А., Коркин В. Д., Комаровский М. Е. Геоэкология Минского региона. Мн., 2005.
6. Калинин М. Ю. Радонопроявления и здоровье населения // Современные геологические процессы. Мн., 1998. С. 43–45.
7. Ковальский В. В. Геохимическая экология. М., 1974.
8. Ковальский В. В. Геохимическая среда, микроэлементы, реакции организмов // Тр. Биогеохимической лаборатории. М., 1991. Т. XXII. С. 5–23.
9. Красовская И. А., Галкин А. Н. Оценка состояния эколого-геологических условий урбанизированных территорий. Витебск, 2007.
10. Кудельский А. В., Пашкевич В. И., Капора М. С. Гидрогеология / Геология Беларуси. Мн., 2001. С. 635–652.

11. Кузнецов В. А., Веремчук С. Н., Глаз А. С. Новые данные о строении и развитии долины р. Сож в голоцене // Докл. НАН Беларусь. 2000. Т. 44, № 4. С. 87–90.
12. Лазин В. А., Морозов В. Н. Методика регистрации радона в воздухе жилых помещений с помощью угольных сорбентов // Проблемы радиологии загрязненных территорий. Мин., 2001. Вып. 1. С. 221–225.
13. Матвеев А. В. Влияние разломов на состав руслового аллювия рек бассейна Днепра // Літасфера. 2004. № 2 (21). С. 93–99.
14. Матвеев А. В., Бордон В. Е., Нечипоренко Л. А. Оценка эколого-геохимической опасности на территории Белорусского Полесья // Европейское Полесье – хозяйственная значимость и экологические риски. Мин., 2007. С. 98–101.
15. Матвеев А. В., Кудельский А. В., Айзберг Р. Е. и др. Радон в природных и техногенных комплексах Беларуси // Літасфера. 1996. № 5. С. 151–161.
16. Международный симпозиум по прикладной геохимии стран СНГ: Тез. докл. М., 1997.
17. Мельников Е. К., Мусийчук Ю. И., Потифоров А. И., Рудник В. А., Рымарев В. К. Геопатогенные зоны – миф или реальность. Санкт-Петербург, 1993.
18. Тышкевич И. А., Жмайдяк Р. А., Жмайдяк Е. Р., Ковалевская Г. В. Геолого-геодинамические аспекты изучения радионуклидного загрязнения в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Современные геологические процессы: Тез. докл. Мин., 1993. С. 46–47.
19. Bachler K. Erth Radiation. Mancheser Wordmasters, 1989.
20. Fritsch V. Das problem geopathogenez erscheinung vom Standpunkt der geophysik. Munchen, 1955.

A. V. Matveev, V. E. Bordon

ВЛИЯНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ В ЗОНАХ РАЗЛОМОВ НА ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ

Выполненные исследования на 18 ключевых участках, расположенных в разных районах Беларусь, показали, что в зонах разломов в покровных отложениях сформировались геохимические аномалии Ni, Y, V, Cu, Ti, Co, радона, реже Cr, Pb, Mn, Yb, Nb, единично Zr, P, Zn. Сопоставление местоположения этих аномалий с картой распространения на территории региона заболеваемости населения и данными по отдельным городам позволяют считать зоны разрывных нарушений геопатогенными территориями, на которых возрастает вероятность развития онкологических, нервных, сердечно-сосудистых и других заболеваний. При этом подчеркнуто, что сами по себе аномалии в основном не могут вызывать развитие болезней, но при сочетании с другими факторами благоприятствуют их распространению.

A. V. Matveyev, V. E. Bordon

IMPACT OF GEOCHEMICAL ANOMALIES IN FAULTS ZONES ON THE POPULATION MORBIDITY

The carried out researches on 18 key sites, located in various regions of Belarus have shown that in fault zones in cover deposits geochemical anomalies of Ni, Y, V, Cu, Ti, Co, radon, more seldom Cr, Pb, Mn, Yb, Nb, single Zr, P, Zn formed. The comparison of these anomalies locations to distribution map on the territory of population morbidity and data on separate cities allows considering these zones of rupture disturbances as geo-pathogenic territories, where the probability of oncological, nervous, cordial-vascular and other diseases increases. Thus it has been stressed that anomalies themselves can not be reasons of diseases evolution, but accounting for other factors they promote to their distribution.

В. С. Хомич, Т. И. Кухарчик, С. В. Какарека, Д. Ю. Городецкий,
В. В. Парфенов, В. А. Рыжиков, С. В. Савченко, И. П. Самсоненко

ОСОБЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ В РАЗЛИЧНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ ЗОНАХ МИНСКА

Приведены результаты оценки современного состояния и пространственной структуры загрязнения почв на территории г. Минска в разрезе функционально-планировочных зон города. Показано, что высокий уровень загрязнения почв в границах перспективной застройки характерен для 11 функционально-планировочных зон, занимающих примерно 4,8 % общей площади города. Проанализированы причины пространственной неоднородности загрязнения почвенного покрова городской территории, приведены первоочередные мероприятия для предотвращения загрязнения почв.

При составлении карт загрязнения городских почв обычно используется изолинейный метод, позволяющий наглядно отобразить пространственную структуру загрязнения с выделением геохимических аномалий [2, 8, 12, 15, 16]. При разреженной сети отбора проб почвы для этих целей применяется система условных знаков, показывающих принадлежность точки опробования к определенному интервалу содержания химического элемента в почве [5].

Использование таких карт в целях градостроительного проектирования затруднительно в связи с высокой контрастностью содержания химических веществ в городских почвах. Этим целям, а также для комплексных оценок состояния городской среды в наибольшей степени соответствуют карты, отображающие усредненные концентрации химических веществ в почве для конкретных территориальных образований внутри городской черты.

При составлении карт содержания химических элементов в почве и загрязнения почв в рамках разрабатываемой «Схемы охраны окружающей среды г. Минска и Минского района» в качестве операционных территориальных единиц использованы функционально-планировочные зоны города в соответствии с Генпланом. Всего на территории города в пределах перспективной городской черты выделено 237 функционально-планировочных зон [4].

Информационной основой для анализа и оценки загрязнения почв на территории города послужили результаты детальной почвенно-геохимической съемки г. Минска, выполненной в 1990–1991 гг., новые данные, полученные Республиканским центром радиационного контроля и мониторинга окружающей среды Департамента по гидрометеорологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь при проведении мониторинга за-

грязнения земель на территории г. Минска в 2003–2005 гг., а также фоновые материалы Института природопользования НАН Беларуси, полученные при изучении загрязнения почв на территории города, и результаты натурных исследований, проведенных в 2006–2007 гг.

При выполнении натурных исследований учитывались ландшафтная структура города, функциональное зонирование территории, местоположение источников загрязнения, возможные аэральные и водно-потоковые пути миграции загрязняющих веществ, предполагаемые участки аккумуляции загрязнителей, соотношение открытых и «запечатанных» пространств. Отбор проб почв производился с глубины 0–10 см. Почвенные пробы формировались из 10–15 точечных уколов. Для определения тяжелых металлов применялся метод атомно-абсорбционной спектрометрии [11].

Для эколого-геохимической оценки состояния почв использовались фактические значения содержания химических элементов, коэффициент аномальности Ка (отношение содержания элемента в исследованном объекте к местному геохимическому фону, в качестве которого использовались значения концентраций элементов в почвах периферийных участков города), а также сравнение абсолютных значений с санитарно-гигиеническими нормативами (ПДК/ОДК) с учетом гранулометрического состава почв [3, 7].

Обобщение результатов проведенных исследований подтверждает полученные ранее выводы о загрязнении почв г. Минска тяжелыми металлами [5, 6, 9, 12, 13]. По сравнению с незагрязненными территориями почвы города обогащены кадмием и медью в среднем в 2,6 раза, свинцом и цинком – в 2,0, никелем – в 1,8 раза (табл. 1).

Таблица 1. Основные статистические параметры распределения тяжелых металлов в почвах на территории г. Минска в границах перспективной застройки

Параметры	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni
Количество проб	1302	1340	1336	1340	1340
Среднее содержание, мг/кг сух. в-ва	0,52	20,5	39,3	13,3	8,8
Максимальное содержание, мг/кг сух. в-ва	7,88	785,0	1077,0	716,0	217,0
Коэффициент аномальности	2,6	2,0	2,0	2,6	1,8
Местный фон, мг/кг сух. в-ва	0,2/0,4*	10,0	20,0	5,0	5,0

* В числителе – для проб, отобранных в 1990-х гг., в знаменателе – для проб, отобранных после 2000 г.

При этом доля проб с превышением порога аномальности ($K_a > 1,5$) составляет для кадмия 77 %, меди – 63 %, свинца – 54 %, цинка и никеля – 49 %. Зафиксированные максимальные концентрации в ряде случаев в десятки и сотни раз превышают местный фоновый уровень, что обусловило широкий диапазон значений коэффици-

ента вариации для большинства анализируемых элементов – 114–220 %.

Достаточно четко прослеживается зависимость накопления тяжелых металлов в почвах Минска от функционального использования территории. Наиболее высокие концентрации меди, никеля, свинца и цинка отмечаются в почвах производственной зоны (рис. 1, 2).

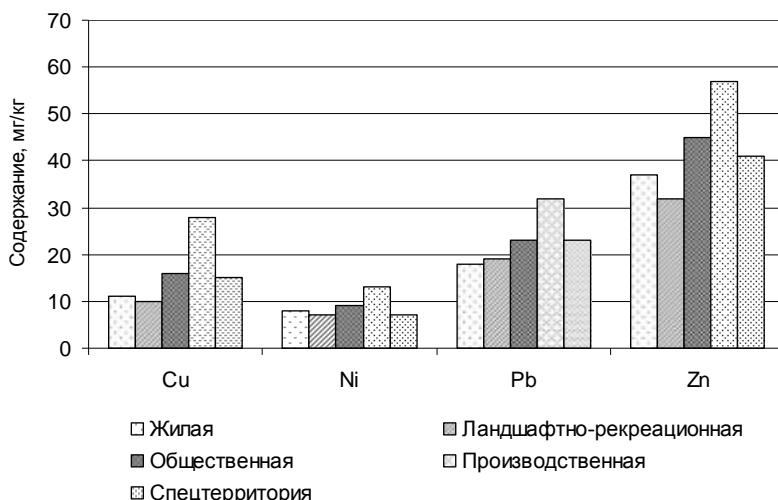


Рис. 1. Среднее содержание тяжелых металлов в почвах различных функциональных зон г. Минска

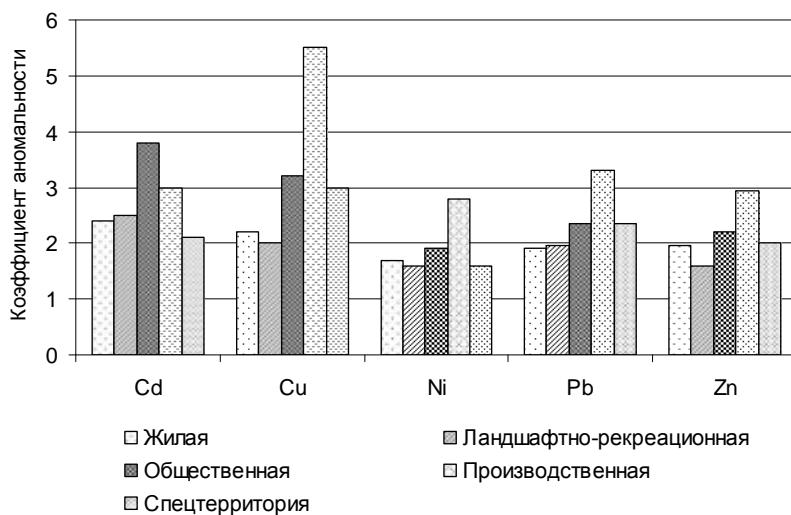


Рис. 2. Коэффициенты аномальности тяжелых металлов в почвах различных функциональных зон г. Минска

Так, среднее содержание меди в почвах производственной зоны примерно в 2,8 раза выше, чем в ландшафтно-рекреационной и жилой зонах, свинца и цинка – в 1,5–1,8 раза. Почвы общественной зоны по сравнению с другими зонами в большей степени загрязнены кадмием.

Для оценки опасности загрязнения почв г. Минска выполнено сравнение полученных данных с установленными санитарно-гигиеническими нормативами. Установлено, что наиболее часто превышаются нормативы по кадмию – в 32–34 % случаев в почвах жилой и ландшафтно-рекреационной зон, в 48 % – производственной, в 64 % – общественной зоны. Достаточно высок удельный вес проб с превышением ОДК по цинку, при этом в 33 % случаев превышаются нормативы в почвах жилой зоны и в 23 % – об-

щественной и производственной. Наибольшая доля проб с концентрациями свинца, превышающими ПДК элемента, характерна для специальных территорий – 25 % проанализированных проб. В почвах жилой, рекреационной и производственной зон данный показатель составляет 16–18 %. Наибольшее количество проб с превышением ПДК/ОДК по меди (15 %) и никелю (11 %) приходится на производственную зону.

Новые, предназначенные для освоения территории г. Минска в значительной мере отличаются от староосвоенных как по структуре землепользования, так и по состоянию почв. Параметры содержания тяжелых металлов в почвах перспективных для развития города территорий приведены в табл. 2.

Таблица 2. Статистические параметры содержания тяжелых металлов в почвах на перспективных для развития г. Минска территориях

Параметры	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni
Количество проб	174	174	174	174	174
Среднее содержание, мг/кг сух. в-ва	0,45	22,0	36,8	6,6	8,1
Коэффициент аномальности	2,2	1,5	1,6	1,3	1,6
Фон, мг/кг сух. в-ва	0,2	10,0	20,0	5,0	5,0

Если в староосвоенной части города почвы обогащены кадмием и медью в среднем в 2,6 раза по сравнению с местным фоном, то на новых территориях эти величины составляют 2,2 раза по кадмию и 1,3 раза по меди. Почвы староосвоенных территорий в среднем в 2,0 раза относительно местного фона содержат больше свинца и цинка, для новых территорий эти величины составляют соответственно 1,5 и 1,6 раза. Коэффициенты аномальности никеля на староосвоенных и запланированных для освоения территориях соответственно составляют 1,8 и 1,6. Вариабельность содержания большинства изучаемых тяжелых металлов также заметно ни-

же: в большинстве случаев коэффициент вариации не превышает 60–80 %.

Вместе с тем на отдельных перспективных для развития города участках в почвах зафиксированы аномальные концентрации элементов, в десятки раз превышающие значения местного фона. Эти участки, как правило, приурочены к полигонам складирования твердых отходов, выпускам сточных вод и неорганизованным свалкам.

Жилая зона. Всего в границах перспективной застройки г. Минска обследовано 98 выделов, относящихся к жилой зоне. Основные статистические параметры распределения тяжелых металлов в почвах жилых зон представлены в табл. 3.

Таблица 3. Основные статистические параметры распределения тяжелых металлов в почвах жилых зон г. Минска

Показатель	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni
Количество проб	623	646	646	646	646
Минимальное содержание, мг/кг	0,06	2,3	9,6	2,3	1,0
Максимальное содержание, мг/кг	4,16	108,8	300,0	72,6	87,0
Среднее содержание для всей выборки, мг/кг	0,47	17,8	37,3	10,8	8,2
Коэффициент аномальности	2,4	1,8	1,9	2,2	1,6
Встречаемость выделов с $\text{Ca} > 1,5\%$	75	55	55	60	49
Встречаемость значений выше ПДК/ОДК	34,0	18,4	32,7	2,0	5,3
Максимальная кратность превышения ПДК/ОДК	8,3	3,4	5,5	2,2	4,4

Как показал анализ данных, средний коэффициент аномальности для всех рассматриваемых элементов превышает 1,5, составляя от 1,6 для никеля до 2,4 для кадмия. При этом в 49 % исследованных функционально-планировочных зон отмечается накопление в почвах ни-

келя, 55 % – свинца и цинка, в 60 % – меди, в 75 % – кадмия.

Приоритетными загрязняющими веществами почв жилой зоны являются кадмий, цинк и свинец, концентрации которых превышают гигиенические нормативы соответственно в 34 %,

33 % и 18,4 % исследованных проб почв. Источники поступления этих веществ в почвы разнообразны: выбросы автотранспорта и промышленных предприятий, коммунальные и производственные отходы [12, 14]. Максимальные концентрации вышеназванных элементов зафиксированы в различных жилых зонах и не коррелируют между собой.

Таблица 4. Основные статистические параметры распределения тяжелых металлов в почвах ландшафтно-рекреационных зон г. Минска

Показатель	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni
Количество проб	354	369	365	369	369
Минимальное содержание, мг/кг	0,08	5,0	8,6	2,0	1,7
Максимальное содержание, мг/кг	6,19	785,0	300,6	70,0	40,4
Среднее содержание для всей выборки, мг/кг	0,49	19,0	32,5	10,0	7,5
Коэффициент аномальности	2,5	1,9	1,6	2,0	1,5
Встречаемость выделов с $\text{Ca} > 1,5$, %	69	60	42	67	62
Встречаемость значений выше ПДК/ОДК	31,6	6,0	8,2	2,0	1,4
Максимальная кратность превышения ПДК/ОДК	12,4	24,5	5,5	2,1	2,0

Средний коэффициент аномальности для всех анализируемых элементов (кроме никеля) превышает 1,5, составляя от 1,6 для цинка до 2,5 для кадмия. Из 52 выделенных ландшафтно-рекреационных зон в 42 % отмечается повышенное по сравнению с местным фоном содержание цинка, 60 % – свинца, никеля и меди, 69 % – кадмия. Вместе с тем в пределах обследованных выделов встречаемость проб с превышениями ПДК/ОДК по большинству элементов меньше, чем в других зонах: по цинку – 8,2 %, свинцу – 6 %, меди – 2 % и никелю – 1,4 %. Максимальные концентрации кадмия зафиксированы в ландшафтно-рекреационной зоне на севере городской территории, свинца – в районе д. Б. Стиклево, цинка – на юге в границах перспективной границы, никеля – на озелененной территории в районе моторного завода. Территориально указанные районы рассредоточены, что свидетель-

ствует о различных источниках поступления тяжелых металлов в почвы ландшафтно-рекреационных выделов. В ряде случаев загрязнение почв обусловлено большой замусоренностью территорий и рассеиванием остаточной золы костищ [17].

Общественная зона. Для почв общественных зон так же как и для города в целом, характерно накопление тяжелых металлов. Установлен значительный разброс значений для кадмия, меди и никеля, что подтверждает их техногенное происхождение. Средний коэффициент аномальности для всех анализируемых элементов превышает 1,5, составляя от 1,9 для никеля до 3,8 для кадмия (табл. 5). Из 20 выделенных общественных зон в 83 % отмечается накопление в почвах кадмия (по сравнению с фоном), в 75 % – меди, в 60 % – свинца, в 55 % – никеля и цинка.

Таблица 5. Основные статистические параметры распределения тяжелых металлов в почвах общественных зон г. Минска

Показатель	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni
Количество проб	145	145	145	145	145
Минимальное содержание, мг/кг	0,02	5,0	11,4	2,2	2,2
Максимальное содержание, мг/кг	7,88	164,9	162,9	363,4	217,0
Среднее содержание для всей выборки, мг/кг	0,75	23,5	44,8	15,9	9,7
Коэффициент аномальности	3,8	2,3	2,2	3,2	1,9
Встречаемость выделов с $\text{Ca} > 1,5$, %	83	60	55	75	55
Встречаемость значений выше ПДК/ОДК	54,0	18,0	23,0	4,0	1,2
Максимальная кратность превышения ПДК/ОДК	15,8	5,2	3,0	11,0	10,9

В пределах общественной зоны, включающей центральную историческую часть города и территорию бывшего болота «Озерище-1», высока доля проб почв с превышениями ПДК/ОДК по кадмию (54 %), цинку (23 %), свинцу (18 %) и меди (4 %). В центре города загрязнение почв обусловлено совокупностью техногенных факторов,

прежде всего наличием техногенных загрязненных грунтов и выбросами автотранспорта. На территории бывшего болота основным источником загрязнения почв являются отходы, несанкционированное складирование которых осуществлялось продолжительное время вплоть до 2000-х годов [1].

Производственная зона. Всего обследовано 40 функционально-планировочных производственных зон. Содержание тяжелых металлов в почвах производственных зон характеризуется самой высокой в городе вариабельностью значений, что подтверждает техногенный характер загрязнения почв данных территорий (табл. 6).

Средний коэффициент аномальности для анализируемых элементов составляет от 2,0 до 5,5, что свидетельствует о значительном накоплении в почвах тяжелых металлов. При этом в 86 % выделенных функционально-планировочных зон отмечается загрязнение почв кадмием, в 77 % – медью, в 73 % – свинцом, в 65 % – никелем, в 60 % – цинком.

Таблица 6. Основные статистические параметры распределения тяжелых металлов в почвах производственных зон г. Минска

Показатель	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni
Количество проб	168	168	168	168	168
Минимальное содержание, мг/кг	0,06	2,8	6,0	3,0	2,3
Максимальное содержание, мг/кг	6,3	491,0	1077,0	716,0	177,5
Среднее содержание для всей выборки, мг/кг	0,60	31,5	57,2	27,5	13,5
Коэффициент аномальности	3,0	3,2	2,9	5,5	2,7
Встречаемость выделов с $\text{Ca} > 1,5$, %	86	73	60	78	65
Встречаемость значений выше ПДК/ОДК	48	15	23	15	11
Максимальная кратность превышения ПДК/ОДК	12,6	15,3	19,6	21,7	8,9

Наибольшая встречаемость проб с превышениями ПДК/ОДК зафиксирована для кадмия и цинка – 48 и 23 % проанализированных проб почв; достаточно высоки эти показатели для свинца и меди – 15 %. Следует отметить, что именно в производственной зоне установлено максимальное для города содержание большинства рассматриваемых элементов. Так, выбороч-

ное обследование промышленных площадок Минского тракторного (МТЗ), автомобильного (МАЗ) и подшипникового заводов показало, что встречаемость превышающих ПДК/ОДК значений по цинку, кадмию, меди и никелю достигает 100 %, а максимальные превышения установленных нормативов достигают 20–22 раз (табл. 7).

Таблица 7. Встречаемость проб с превышением ПДК/ОДК и максимальная кратность превышения ПДК/ОДК тяжелых металлов в почвах промышленных площадок предприятий машиностроения и металлообработки на территории г. Минска

Предприятие	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni
РУП «Минский подшипниковый завод»	$\frac{100^*}{4}$	$\frac{33}{1,6}$	$\frac{100}{20}$	$\frac{100}{22}$	$\frac{67}{2}$
РУП «Минский тракторный завод»	$\frac{50}{13}$	$\frac{75}{3,5}$	$\frac{100}{10}$	$\frac{75}{6}$	$\frac{100}{7}$
РУП «Минский автомобильный завод»	$\frac{100}{5}$	$\frac{77}{6}$	$\frac{100}{20}$	$\frac{86}{6}$	$\frac{86}{11}$

*В числителе – встречаемость проб с превышением ПДК/ОДК, %; в знаменателе – максимальная кратность превышения ПДК/ОДК, количество раз.

По наиболее высокому уровню загрязнения почвы четко выделяются юго-восточная часть города, где расположены предприятия 3–4 классов опасности, участки, территориально приуроченные к предприятиям МАЗ и МТЗ, а также южная часть города, где размещены производственные зоны с предприятиями 5 класса опасности. К этим же территориям приурочены отдельные участки с максимальной кратностью превышения ПДК/ОДК меди, кадмия, цинка и свинца в почвах. В целом основными источниками поступления тяжелых металлов в почвы производственных зон являются предприятия машиностроения и металлообработки.

Поэлементная оценка пространственного распределения тяжелых металлов в

почвах г. Минска. Для выявления пространственных особенностей распределения тяжелых металлов в почвах города выполнена оценка их среднего содержания по функционально-планировочным зонам. При расчете и картографировании не учитывались аномальные точки, в которых содержание того или иного элемента превышало среднее на 3 стандартных отклонения.

Кадмий. Диапазон средних значений содержания кадмия в почвах выделенных функционально-планировочных зон – 0,1–1,36 мг/кг. Для почв большей части города среднее содержание элемента составляет менее 0,5 мг/кг. Указанные концентрации формируют достаточно однородную картину распределения металла в северной и северо-западной частях города.

Обширный ореол загрязнения почв кадмием приурочен к центральной части г. Минска с продолжением в юго-западном, юго-восточном и северо-восточном направлениях (рис. 3). Преобладающие концентрации в этой части города находятся в диапазоне 0,5–0,75 мг/кг. Основными источниками формирования указанных аномалий являются выбросы различных видов транспорта, в

том числе авиационного (в районе аэропорта), промышленные предприятия и бытовые источники загрязнения. Достаточно четко проявляется приуроченность аномалий кадмия к зонам влияния автомобильного завода, промузла тракторного завода, завода отопительного оборудования, завода холодильников и некоторых других предприятий.

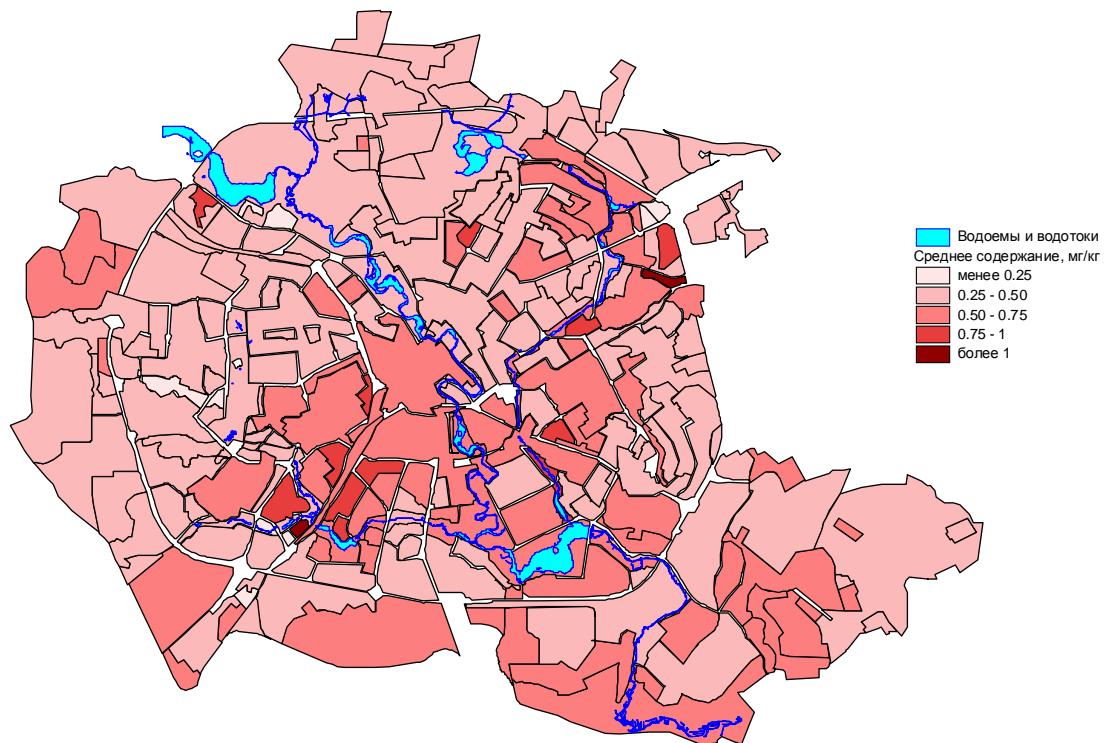


Рис. 3. Среднее содержание кадмия в почвенном покрове функционально-планировочных зон г. Минска

Свинец. Среднее содержание свинца в почвах функционально-планировочных зон города варьирует от 5,1 до 70,7 мг/кг почвы. Пространственное распределение элемента в почвах городской территории сходно с распределением кадмия. Так, обширная аномалия свинца с Ка от 2,0 до 4,0 сформировалась в центральной старообжитой части г. Минска и простирается, как и аномалия кадмия, в северо-восточном, юго-западном и юго-восточном направлениях (рис. 4). Интенсивное движение автотранспорта при густой сети улиц обусловило перекрытие придорожных зон загрязнения, что вместе с осаждением пыли промышленного происхождения способствовало формированию геохимической аномалии. В ряде случаев при наложении ореолов выпадения пылевых свинецсодержащих выбросов промышленных предприятий, авто- и железнодорожного транспорта, а также рассеяния отходов формируются более интенсивные, но ограниченные по площади аномалии [9, 10]. Одна из таких аномалий – в районе станции «Товарная» – сформиро-

валась в зонах воздействия вагоноремонтного завода, завода «Калибр», авто- и железнодорожного транспорта.

Достаточно четко выделяется ряд высоко-контрастных локальных аномалий в юго-восточной части города, в зонах воздействия тракторного и автомобильного заводов и др. В западных и северо-западных районах Минска значительного накопления техногенного свинца не наблюдается, что позволяет отнести местные почвы к категории незагрязненных. Невысокое содержание элемента в почвах этих районов при благоприятных для сорбции тяжелых металлов свойствах почв, сложенных моренными и лессовидными суглинками, свидетельствует о невысокой пылевой техногенной нагрузке.

Цинк. Среднее содержание цинка в почвах функционально-планировочных зон города находится в диапазоне 11,4–77,3 мг/кг. Наиболее часто встречаются концентрации металла в интервале 35–55 мг/кг, что в 2–3 раза превышает местный фоновый уровень.

Для цинка характерна весьма неоднородная пространственная структура распределения в почвах, хотя в целом она сходна с пространствен-

ным накоплением в почвах других загрязняющих веществ (рис. 5).

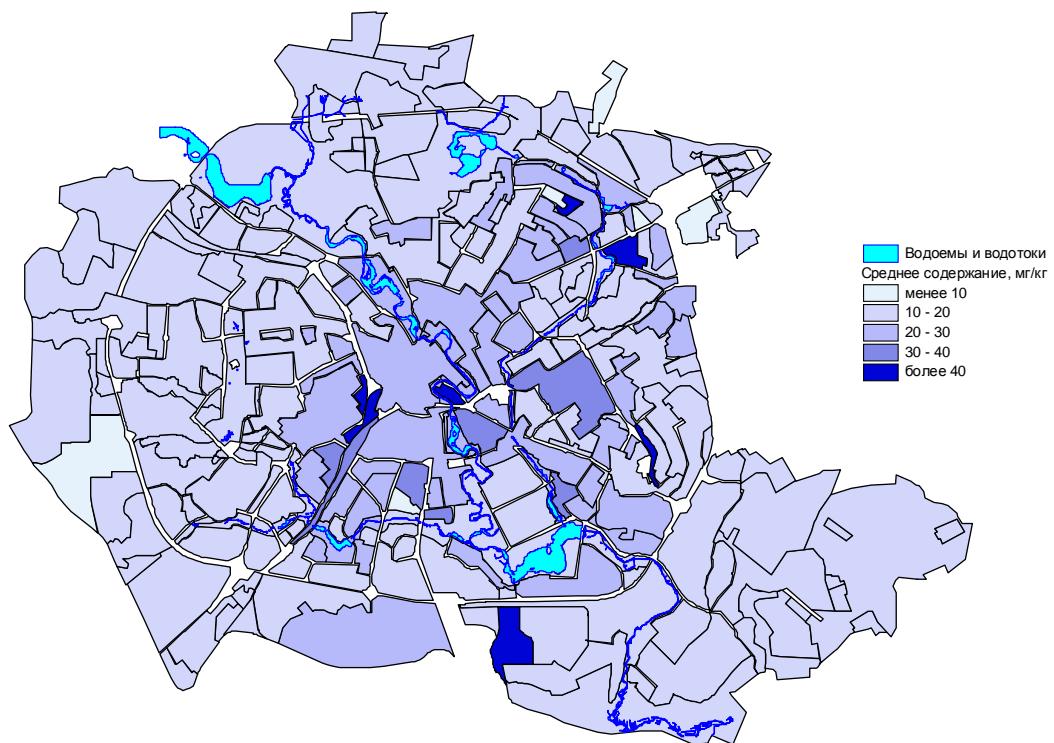


Рис. 4. Среднее содержание свинца в почвенном покрове функционально-планировочных зон г. Минска

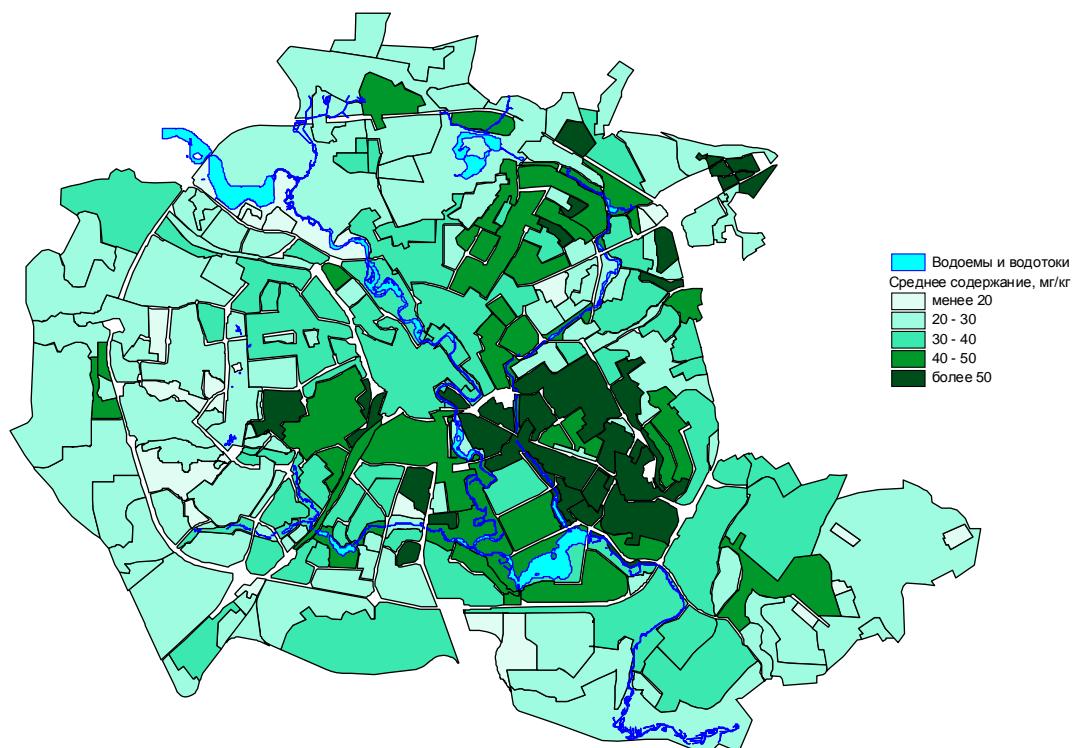


Рис. 5. Среднее содержание цинка в почвенном покрове функционально-планировочных зон г. Минска

Наиболее значительная по площади и контрастности аномалия цинка с $\text{Ca} > 3$ охватывает промышленную зону города в районе Минского тракторного и автомобильного заводов. Участок с повышенным содержанием цинка выявляется также в северо-восточной части города между ул. М. Богдановича и пр. Независимости, где концентрация элемента в 2,5–4,5 раза выше фоновых значений. В перечень источников загрязнения цинком городских почв входят промышленные предприятия и автотранспорт, а также бытовые отходы (оцинкованная жесть, хозяйствственно-бытовая посуда). Участки с наименьшим содержанием металла расположены в юго-западной, западной, северо-западной и северной частях г. Минска и относятся преимущественно к сельскохозяйственным угодьям и лесным массивам.

Медь. Среднее содержание меди в почвенном покрове функционально-планировочных зон города составляет от 2,28 до 72,6 мг/кг. Обширная аномалия металла с коэффициентом аномальности от 2 до 4 сформировалась в центральной части города и простирается, как и аномалия кадмия, в северо-восточном, юго-западном и юго-восточном направлениях (рис. 6). Возникновение аномалий меди в староосвоенных исторических районах Минска нельзя объяснить влиянием какого-либо одного ведущего фактора. По-видимому, накопление металла здесь связано с большой продолжительностью бытовой, транспортной и промышленной нагрузки на городские почвы.

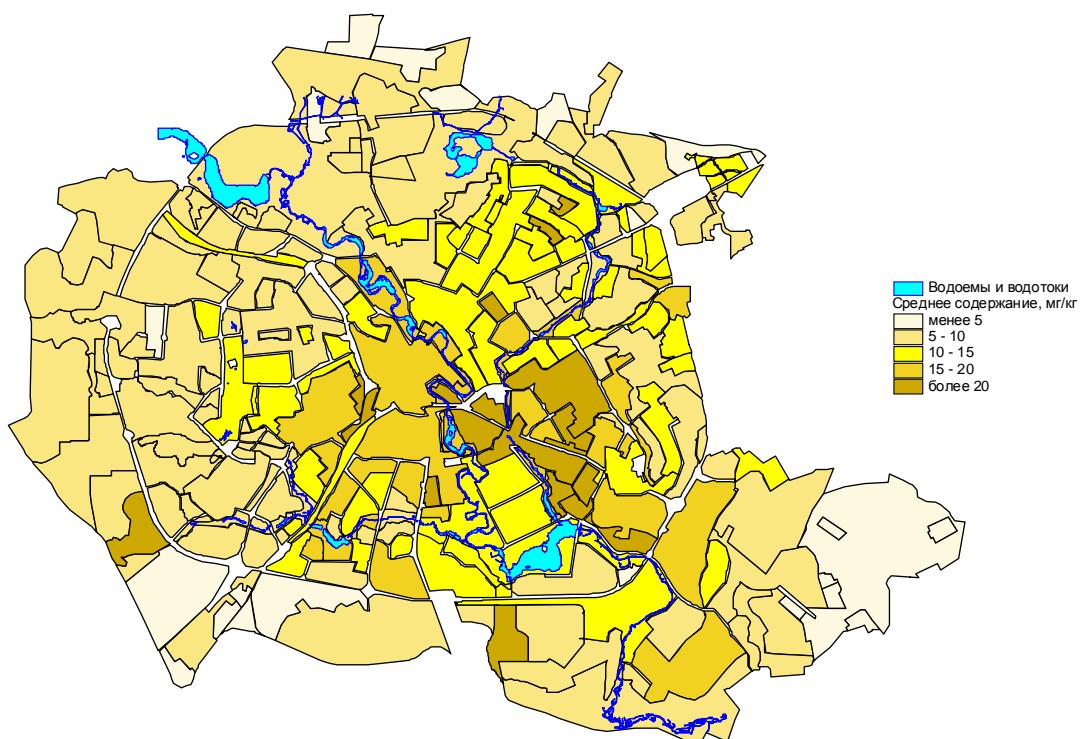


Рис. 6. Среднее содержание меди в почвенном покрове функционально-планировочных зон г. Минска

Высокое содержание меди наблюдается также в восточной части города, что связано с выбросами в атмосферу значительного количества металлосодержащей пыли. Влиянием нескольких источников загрязнения обусловлено формирование аномалий в почвах в районе Минского тракторного завода, в зоне совместного влияния ТЭЦ-3 и подшипникового завода. Аномалия меди в почвах образовалась в районе расположения мотовело- и инструментального заводов, а также в районе вагоноремонтного завода и станции «Товарная».

Как и для кадмия, минимальные значения меди, близкие к местному фону, зафиксированы в западной и северо-западной частях города.

Никель. Установленное среднее содержание никеля в почвах функционально-планировочных зон г. Минска изменяется в пределах от 4,1 до 19,7 мг/кг. Содержание никеля по сравнению с другими тяжелыми металлами отличается большей однородностью, особенно в почвах в северной части города, и высокой контрастностью в юго-восточной промышленной зоне (рис. 7). Повышенные концентрации металла, в 2–3 раза превышающие фоновые значения, выявлены западнее и южнее кольцевой автодороги в новых, перспек-

тивных для развития города районах. Это может быть обусловлено природными свойствами почв, представленных преимущественно суглинистыми

разновидностями. Содержание никеля в северных и западных частях города близко к фоновым значениям.

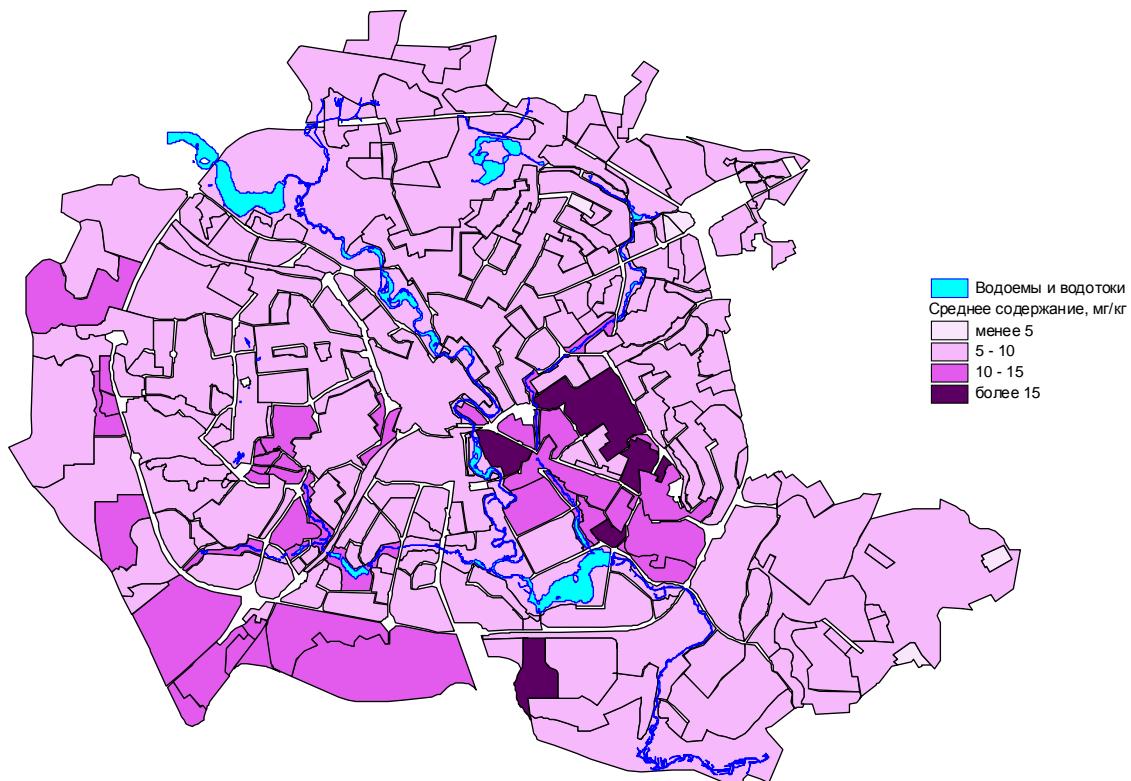


Рис. 7. Среднее содержание никеля в почвенном покрове функционально-планировочных зон г. Минска

Заключение

Оценка эколого-геохимического состояния почв г. Минска показала, что по сравнению с местным фоном почвы города в 1,8–2,6 раза обогащены тяжелыми металлами. Коэффициенты аномальности тяжелых металлов в почвах перспективных для градостроительного освоения территории г. Минска составляют 1,3–2,2.

По уровню загрязнения почв тяжелыми металлами четко выделяются функционально-планировочные зоны в центральной исторической части города, юго-восточной – с предприятиями 3–4 класса опасности, предприятиями коммунального обслуживания и зоны, территориально приуроченные к промузлам в районе тракторного и автомобильного заводов, а также к южной части города с предприятиями 5 класса опасности и коммунального обслуживания. Функционально-планировочные зоны с низким уровнем загрязнения почв характерны для западной и северо-западной частей Минска, где химические нагрузки на почвенный покров значительно ниже.

Наиболее высокие уровни накопления тяжелых металлов характерны для производственных зон, в пределах которых содержание меди,

свинца и цинка в среднем в 1,5–2,8 раза выше, чем в жилой и ландшафтно-рекреационной зонах.

Максимальное загрязнение почв характерно для промплощадок предприятий машиностроения и металлообработки, в почвах которых концентрации тяжелых металлов в несколько раз превышают допустимые уровни. Наиболее актуальна данная проблема для Заводского и Партизанского районов, где загрязнение почв обусловлено атмосферными выпадениями пылевых выбросов предприятий, а также рассеянием отходов, сырья, промышленных химикатов. Следует подчеркнуть, что среди наиболее важных источников поступления загрязняющих веществ в почвы города являются разнообразные техногенные грунты, которые зачастую преднамеренно используются в практике градостроительства, а также замусоривание и захламление территорий, на что в последнее время обращается особое внимание.

Для снижения техногенных нагрузок на городские почвы и уровня их загрязнения предлагаются следующие меры: ограничение (контроль состава и свойств) или запрет на использование для строительства и рекультивации

загрязненных техногенных грунтов и отходов; выявление наиболее загрязненных участков для принятия последующих мер по их очистке; ограничение запечатывания поверхности почвы и контроль за чистотой поверхности; задернование открытых участков, использование устойчивых к вытаптыванию видов растений; благоустройство дворов, создание пешеходных дорожек; обследование и оценка уровня загрязнения почв на территории детских садов, школ, больниц; обследование загрязнения почв при реконструкции (строительстве) объектов и сооружений с целью принятия последующих мер по очистке почвы и

обезвреживанию сильно загрязненных грунтов; запрет на разжиг костров и сжигание отходов, листвы и травы после уборки территории; благоустройство внутридворовых территорий, ликвидация пустырей.

Для определения перечня первоочередных мероприятий по обращению с загрязненными почвами требуется адресный подход для каждого конкретного участка, учитывающий его функциональное использование, местоположение, характер источника загрязнения, уровень химического загрязнения почв, наличие почвенно-растительного покрова и т. д.

Л и т е р а т у р а

1. Выработанные торфяники в городах: опыт ландшафтных исследований / Т. И. Кухарчик, С. В. Какарека, В. С. Хомич, В. А. Прокопеня // Природные ресурсы. 1999. № 2. С. 83–91.
2. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саэт, Б. А. Ревич, Е. П. Янин и др. М., 1990.
3. ГН 2.1.7.12-1-2004. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве.
4. Колонтай А. Н. Новый генеральный план г. Минска // Архитектура и строительство. 2003. № 1. С. 7–32.
5. Лукашев В. К., Окунь Л. В. Загрязнение тяжелыми металлами окружающей среды г. Минска. Мн., 1996.
6. Лукашев В. К., Окунь Л. В. Изучение загрязнения почв тяжелыми металлами на примере городов Белоруссии // Докл. АН БССР. 1991. Т. 35, № 11. С. 1009–1012.
7. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами. М., 1982.
8. Мырлян Н. Ф., Морару К. Е., Настас Г. И. Эколого-геохимический атлас Кишинева. Кишинев, 1992.
9. Пространственная структура, уровни и источники загрязнения почв г. Минска / В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик, В. В. Парfenov // Природные ресурсы. 2003. № 4. С. 42–53.
10. Рыжиков В. А. Эколого-геохимическая оценка автотранспортных ландшафтов города Минска // Природопользование. Мн., 2009. Вып. 15. С. 145–157.
11. Сборник методик выполнения измерений, допущенных к применению в деятельности лабораторий экологического контроля предприятий и организаций Республики Беларусь. В 3 ч. Мн., 2005.
12. Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И. Экогохимия городских ландшафтов Беларуси. Мн., 2004.
13. Хомич В. С., Какарека С. В., Парфенов В. В. Анализ структуры полей распределения тяжелых металлов в почвах г. Минска // Природопользование. Мн., 1996. Вып. 1. С. 134–139.
14. Хомич В. С., Кухарчик Т. И., Какарека С. В. Цинк в почвах городов Беларуси // Почвоведение. 2004. № 4. С. 430–440.
15. Экогохимия городских ландшафтов / Под ред. Н. С. Касимова. М., 1995.
16. Экологический атлас Москвы / Рук. проекта И. Н. Ильина. М., 2000.
17. Экспериментальные исследования некоторых источников загрязнения поверхностного стока в городах / Т. И. Кухарчик, Е. П. Овчарова, Г. М. Бокая, И. М. Тяпкина, Н. К. Быкова, А. В. Крылович // Природопользование. Мн., 2004. Вып. 10. С. 63–67.

**В. С. Хомич, Т. И. Кухарчик, С. В. Какарека, Д. Ю. Городецкий,
В. В. Парфенов, В. А. Рыжиков, С. В. Савченко, И. П. Самсоненко**

ОСОБЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ В РАЗЛИЧНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ ЗОНАХ МИНСКА

В статье представлены результаты исследований почв на содержание тяжелых металлов, проведенных при разработке «Схемы охраны окружающей среды г. Минска и Минского района».

При выполнении исследований учитывались ландшафтная структура города, функциональное зонирование территории, местоположение источников загрязнения, возможные аэральные и водно-потоковые пути миграции загрязняющих веществ, участки аккумуляции загрязнителей. Отбор проб почв производился с глубины 0–10 см. Для определения тяжелых металлов использовался метод атомно-абсорбционной спектрометрии.

Оценка загрязнения почв г. Минска тяжелыми металлами показала, что по сравнению с местным фоном почвы города обогащены всеми исследованными элементами, коэффициент аномальности составляет для кадмия и меди – 2,6, свинца и цинка – 2,0, никеля и марганца – 1,7 и 1,8 соответственно. Доля загрязненных почвенных проб составляет для кадмия 77 %, меди – 63 %, свинца – 54 %, цинка и никеля – 49 %. По уровню загрязнения почв тяжелыми металлами четко выделяется центральная историческая часть города, юго-восток с предприятиями 3–4 класса опасности, предприятиями коммунального обслуживания и зоны, территориально приуроченные к Минскому тракторному и автомобильному заводам, и юг города с предприятиями 5 класса опасности и коммунального обслуживания. Почвы с низким уровнем загрязнения встречаются в западной и северо-западной частях Минска, где химические нагрузки на почвенный покров значительно ниже.

Достаточно четко прослеживается зависимость накопления тяжелых металлов в почвах города от функционального использования территории. Наиболее высокие уровни накопления металлов характерны для производственных зон, в пределах которых содержание меди, свинца и цинка в среднем в 1,5–2,8 раза выше, чем в жилой и ландшафтно-рекреационной зонах. Почвы общественных зон по сравнению с другими зонами в большей степени загрязнены кадмием. В целом, высокий уровень загрязнения почв в границах перспективной застройки характерен для 11 функционально-планировочных зон, занимающих примерно 4,8 % общей площади города.

Максимальное загрязнение почв характерно для промплощадок предприятий машиностроения и металлообработки, в почвах которых концентрации тяжелых металлов в несколько раз превышают допустимые уровни.

Предложены первоочередные мероприятия для снижения техногенных нагрузок на городские почвы и уровня их загрязнения.

**V. S. Khomich, T. I. Kukharchik, S. V. Kakareka, D. Yu. Gorodetskiy,
V. V. Parfyonov, V. A. Ryzhikov, S. V. Savchenko, I. P. Samsonenko**

PARTICULAR FEATURES OF SOILS POLLUTION IN VARIOUS FUNCTIONAL-PLANNING MINSK ZONES

The article presents soils research results on heavy metals content, conducted at the development of «The Scheme of the Environment Protection of Minsk and Minsk Region».

During the researches arrangement a landscape structure of the city, territories functional zoning, pollution sources location, possible aeration and water-current migration paths of the pollutants, sites of pollutants accumulation were considered. The soils tests selection was done from 0–10 cm depth. To determine heavy metals, the method of nuclear-absorptive spectroscopy was used.

The assessment of Minsk soils heavy metals contamination showed that in comparison to a local background, city's soils are enriched with all the investigated elements, the coefficient of anomaly scope for cadmium and copper is – 2,6, for lead and zinc – 2,0, nickel and manganese – 1,7 and 1,8 correspondingly. The amount of polluted soil tests for cadmium is 77 %, copper – 63, lead – 54, zinc and nickel – 49 %. As for the level of soils heavy metals pollution the central historical part of the city, south-east with enterprises of 3–4 hazard class, enterprises of household service and zones with adjacent territories to Minsk tractor and automobile plants, south of the city with 5 class hazard enterprises and household service is clearly seen. Low pollution level soils occur in west and north-west city's parts, where chemical loads on a soil cover are much lower.

Rather clearly may be traced the dependence of heavy metals accumulation in Minsk soils from the territory functional use. Most high metals accumulations are typical for industrial zones, in the limits of which copper, lead and zinc contents are 1,5–2,8 times higher in the average than in living and landscape-recreational ones. Soils in public zones in comparison to others are greatly cadmium-polluted. In the whole, high soils pollution level in the limits of perspective building is typical for 11 functionally-planning zones, occupying about 4,8 % of the city's total area.

Soils maximal pollution levels are typical for industrial sites of metallurgy enterprises, machine-building and metal working, in soils of which the heavy metals concentrations several times exceed the permissible levels.

First priority events to decrease technogenic loads on a city's soils and their pollution level have been proposed.

Н. И. Тановицкая, Н. Н. Бамбалов

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОЛОТ И ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЕЛАРУСИ

Приведена обзорная информация по этапам инвентаризации болот Беларуси. Оценено современное состояние болот, их распределение согласно классификации торфяного фонда по направлениям использования. Прослежена динамика изменения целевых фондов со временем разработки «Схемы рационального использования и охраны торфяных ресурсов Республики Беларусь на период до 2010 года» по настоящее время и дана оценка современного использования торфяных ресурсов республики.

Начало инвентаризации торфяных ресурсов Беларуси положено принятым в 1922 г. Декретом «О торфяных болотах», а системное изучение торфяного фонда республики началось в 1928 г. До настоящего времени в архиве сохранилась часть материалов разведок тех лет, но особенно активно поисковая разведка торфяных месторождений проводилась в 1935–1938 и 1948–1953 гг.

Первый справочник «Торфяной фонд Белорусской ССР», изданный в 1953 г., включал 5945 торфяных месторождений с общей площадью промышленной залежи 1467,55 тыс. га [5].

В 1979 г. справочник переиздан как «Кадастровый справочник торфяного фонда БССР», включающий 7055 торфяных месторождений с площадью в нулевых границах 2543,78 тыс. га [7]. Запасы торфа изучены детально на 35 %, предварительно – на 18 % и поисково – на 47 % территории торфяных месторождений.

Инвентаризация проводилась несколькими разведочными отрядами Белоруссии, а также Московским трестом «Геолторфразведка» и Ленинградским «Гипроторфом» с государственным финансированием всех работ. Независимо от стадии разведки на каждое торфяное месторождение составлялся геологический отчет с описанием рельефа, гидрологии и растительного покрова болот, а также с характеристикой торфяной залежи по запасам и качеству торфа.

Эти этапы инвентаризации проводились с целью изучения перспективы промышленной и сельскохозяйственной эксплуатации болот.

Мнение специалистов государственного аппарата и общественности о том, что болота должны быть только объектом использования в народном хозяйстве, стало меняться после разработки в 1990 г. Институтом проблем использования природных ресурсов и экологии Национальной академии наук (ИПИПРЭ НАНБ) критериев для формирования перспективных целевых фондов и Схемы рационального использования и охраны торфяных ресурсов Республики Беларусь на период до 2010 года, одобренной постановлением Совета Министров Республики Бела-

русь от 25 ноября 1991 г. № 440 [12]. Схема включала 9192 торфяных месторождения общей площадью 2415,2 тыс. га и предусматривала увеличение природоохранного фонда с 13 до 29,7 % территории болот к 2010 г.

Цель работы – проследить изменение целевых фондов со времени разработки Схемы по настоящее время и дать оценку современного использования торфяных ресурсов республики.

Общая площадь болот в Беларуси до начала мелиорации и промышленного использования составляла 2939 тыс. га, или 14,2 % территории страны. В результате крупномасштабного осушения и активного использования болот при мелиорации земель и добыче торфа более 51 % площади торфяных месторождений осушено.

Общая площадь осущенных болот составляет 1 505 000 га, из них 1 085 200 га (72,1 %) используется в сельском хозяйстве, включая выработанные торфяные месторождения – 122 200 га [1, 9]; 383 000 га (25,5 %) – осущенные болота лесного фонда, в том числе 103 000 га – выработанные торфяные месторождения [7]; 36 800 га (2,4 %) используется для промышленной добычи торфа (рис. 1).

В республике для сельскохозяйственных целей осушено 1085,2 тыс. га торфяных почв, из которых 963 000 га – осущенные естественные болота, еще 122,2 тыс. га передано сельскому хозяйству после рекультивации выработанных торфяных месторождений с остаточным слоем торфа 0,5 м [9]. Из осущенных болот для сельскохозяйственных целей 96 % составляют торфяно-болотные почвы низинного типа, и лишь 4 % осущенной площади приходится на почвы верхового и переходного типов, находящиеся в комплексе с крупными низинными массивами.

Согласно отчету Министерства лесного хозяйства 2007 г. [7], общая площадь нарушенных болот лесного фонда составляет 400 000 га, из них 103 000 га – выработанные торфяные месторождения; 280 000 га – осущенные болота, из них неэффективно осущенные земли лесных болот с низкой продуктивностью лесов составляют 24 тыс. га и подлежат повторному заболачиванию;

17 000 га – сельскохозяйственные земли в составе лесного фонда (рис. 2). На диаграмме использования осушенных болот Беларуси (рис. 1) сельскохозяйственные земли в составе лесного фонда (17 000 га) отнесены к болотам, осушенным для сельского хозяйства, и на этой

территории болота полностью уничтожены в связи с заменой болотных фитоценозов агроценозами. Для сельскохозяйственных целей служат оставшиеся 383 000 га осушенных болот лесного фонда.

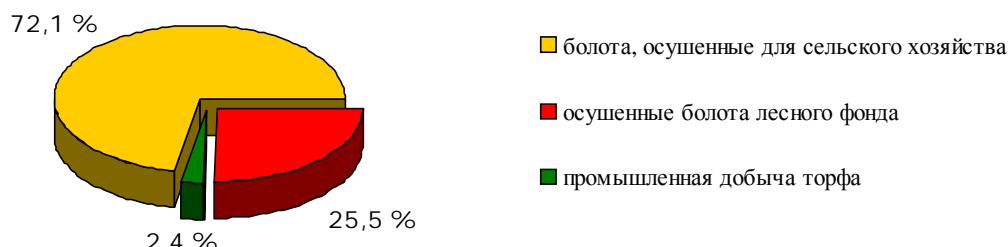


Рис. 1. Диаграмма использования осушенных болот Беларуси



Рис. 2. Распределение 400 000 га нарушенных болот лесного фонда

На остальной территории осушенных болот лесного фонда (256 тыс. га) понижение УГВ до 30–40 см разреженными каналами не ведет к полному уничтожению лесных болот, на них сохраняются лесная и болотная растительность, а также животный мир, хотя и в угнетенном виде. Их биосферные функции в какой-то степени сохраняются и по мере заплывания мелких осушительных каналов постепенно восстанавливаются. В связи с этим осушенные лесные болота отнесены к категории угнетенных болот [1], в отличие от осушенных болот и торфяных месторождений для сельскохозяйственного использования и добычи торфа, на которых болотные экосистемы уничтожены полностью.

Все болота и торфяные месторождения Беларуси находятся в собственности государства, и в целях их рационального использования и охраны правительство в 1991 г. утвердило «Схему рационального использования и охраны торфяных ресурсов Республики Беларусь на период до 2010 г.» [12]. Согласно Схеме в зависимости от направлений использования болота и торфяные месторождения сгруппированы в целевые

фонды: природоохраный, земельный, разрабатываемый, запасной и нераспределенный остаток (рис. 3) [14]. В настоящее время общая площадь торфяного фонда составляет 2415,2 тыс. га с геологическими запасами торфа 4,373 млрд т. Еще 523,8 тыс. га болот не вошли в состав торфяного фонда как не имеющие промышленных запасов торфа (мелкозалежные и с площадью менее 1 га) [1]. Распределение площадей болот и торфяных месторождений Беларуси по целевым фондам в 1988 г., планируемое к 2010 г. согласно Схеме и фактическое в 2008 г., тыс. га приведено в таблице.

В природоохраный фонд входят болота и торфяные месторождения, используемые в природоохранных, научных и рекреационных целях. Этот фонд систематически пополняется за счет включения в его состав новых природоохранных территорий. Однако увеличение территории природоохранных объектов с 13 до 29,7 %, предусмотренных Схемой рационального использования и охраны торфяных ресурсов, не выполнено, и в настоящее время природоохранный фонд составляет 13,5 % [1, 13].

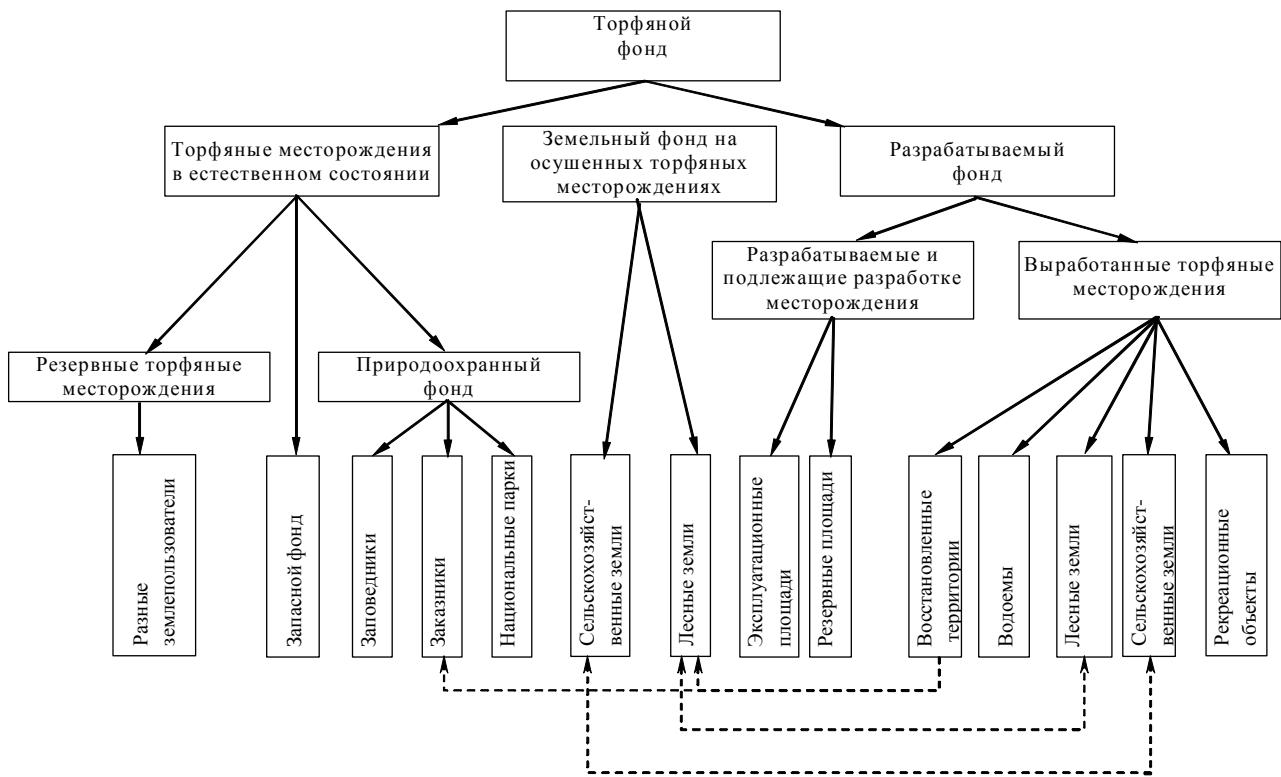


Рис. 3. Классификация торфяного фонда по направлениям использования [14]

Таблица. Распределение площадей болот и торфяных месторождений Беларусь по целевым фондам в 1988 г., планируемое к 2010 г. согласно «Схеме рационального использования и охраны торфяных ресурсов Республики Беларусь на период до 2010 г.» и фактическое в 2008 г., тыс. га

Направление использования болот и торфяных месторождений	По состоянию на 1988 г. согласно Схеме	Планируемое изменение за счет нераспределенного остатка	К 2010 г. согласно Схеме	Фактически по состоянию на 01.01.2008 г.
Природоохранный фонд	312,6	+401,7	714,3	326,5
Остаток разрабатываемого фонда	109,0	+23,6	23,6	36,8
Выработанные торфяные месторождения, в т. ч.:	183,4	—	292,4	255,6
используемые в сельском хозяйстве	—	—	—	122,2
принятые в лесной фонд	—	—	—	103,0
реабилитированные	—	—	—	26,0
Запасной фонд	31,1	—	31,1	30,8
Земельный фонд:				1468,2
сельскохозяйственные земли,				1085,2
в т. ч.:				
деградированные торфяные почвы	—	—	—	224,2
минеральные после сработки торфа	—	—	—	27,3
Осушенные болота лесного фонда,	—	—	—	383,0
в т. ч.:				
неэффективно осушенные лесные болота	—	—	—	24,0
Нераспределенный остаток торфяного фонда	797,5	292,7	504,8	522,5
Болота, не включенные в торфяной фонд	542,3	—	542,3	523,8
Всего	2939,0	797,5	2939,0	2939,0

В разрабатываемый фонд включены все торфяные месторождения, которые утверждены в качестве сырьевой базы для промышленной добычи торфа на топливо и удобрения. В разрабатываемом фонде согласно Схеме рационального использования и охраны торфяных ресурсов по состоянию на 1988 г. находилось 109,0 тыс. га торфяных месторождений с запасами около 323 млн т и 183,4 тыс. га выработанных торфяных месторождений [9, 12].

На 01.01.2008 г., по данным ГПО «Белтопгаз», остаток разрабатываемого фонда составлял 36,8 тыс. га, соответственно выработанные торфяные месторождения – 255,6 тыс. га, в т. ч. используемые в сельском хозяйстве – 122,2 тыс. га, принятые в лесной фонд – 103,0 тыс. га, из них реабилитированные – 26 тыс. га. Разрабатываемый фонд, включая выработанные торфяные месторождения, составлял 292,4 тыс. га.

В запасной фонд включены торфяные месторождения, содержащие ресурсы особо ценных видов торфяного сырья для производства лечебных грязей, химической и микробиологической переработки. Эти сырьевые базы сфагнового малой степени разложения и битуминозного торфа планируются к разработке лишь при организации химико-технологической и биохимической переработки. До этого периода они будут выполнять природоохранные функции. Запасной фонд в настоящее время составляет 30,8 тыс. га [1].

В земельный фонд включены болота и торфяные месторождения, предназначенные для использования в качестве осушенных сельскохозяйственных и лесных земель. Из осушенных для сельского хозяйства 1085,2 тыс. га торфяных почв [7, 9] в результате деградации торфяного слоя в стране сохранилось лишь 861 тыс. га, остальные утратили генетические признаки торфяных и перешли в категорию антропогенно деградированных почв. Общая площадь деградированных торфяных почв с содержанием органического вещества менее 50 % в 2008 г. с учетом прогнозной оценки изменения площадей торфяных почв составляла 224 000 га, из них 27,3 тыс. га – минеральные почвы с содержанием органического вещества менее 5 %, на площади которых на поверхность вышли малоплодородные, развеиваемые ветром пески [1].

Почвы с глубиной торфяного слоя менее 1 м занимают 65,6 %, с глубиной более 1 м – лишь 34,4 %. Свыше 90 % площади осушенных торфяных почв подстилается водопроницаемыми песками, остальные – супесями и суглинками [1, 7].

Земельный фонд с учетом сельскохозяйственных земель и осушенных болот лесного фонда составляет 1468,2 тыс. га.

Выработанные торфяные месторождения. В настоящее время площади выработан-

ных торфяных месторождений и отдельных участков составляют 255,6 тыс. га.

До 90-х годов прошлого века приоритетным направлением использования выработанных торфяных месторождений считалось сельскохозяйственное. Однако практика показала, что использование таких земель в качестве сельскохозяйственных угодий часто неэффективно. При принятии решения о целесообразности использования торфяных участков в сельскохозяйственном направлении необходимо учитывать их геоморфологические и гидрологические особенности, которые обусловлены генезисом, т.е. принятие решения должно быть научно обоснованным.

До 1997 г. узаконено три вида использования земель, выбывших из эксплуатации после добычи торфа: под сельскохозяйственные и лесные угодья или водоемы.

Положением о рекультивации земель, нарушенных при разработке месторождений полезных ископаемых и торфа, проведении геологоразведочных, строительных и иных работ [8], утвержденным приказом Комзема РБ от 25.04.97 г. № 22, вместо прежних трех видов использования нарушенных земель предусматривается семь: сельскохозяйственное, лесохозяйственное, природоохранное, рыбохозяйственное, водохозяйственное, рекреационное и строительное.

Одной из проблем, связанных с выработанными торфяными месторождениями при проведении работ по их повторному заболачиванию, по определению научно обоснованного выбора их использования после промышленной эксплуатации или изменению направления использования до 2009 г. являлось отсутствие нормативно-правовой базы, регламентирующей эти процедуры.

В связи с этим в рамках проекта ПРООН сотрудниками ИПИПРЭ НАН Беларуси разработаны два Технических кодекса установившейся практики: ТКП 17.12-01-2008 и 17.12-02-2008 [15, 16]. Эти нормативно-правовые акты обязательны к выполнению и регламентируют порядок выбора научно обоснованного направления использования выработанных торфяных месторождений, процедуру изменения направления их использования, основные требования и правила проведения работ по их экологической реабилитации.

В состав нераспределенного остатка вошли торфяные месторождения, находящиеся частично в естественном состоянии, направление использования которых пока не определено из-за того, что не проводились исследования их характеристик на общей площади 522,5 тыс. га. Все эти месторождения находятся в естественном состоянии и в настоящее время выполняют природоохранные функции. Следует разработать научно обоснованные предложения по направлениям использования этой части торфяного

фонда, однако для этого необходимо провести ее инвентаризацию.

Динамика запасов торфа в республике такова: первоначальные геологические запасы торфа в Беларуси по данным первого торфяного кадастра (1953 г.) составляли 5,7 млрд т, извлекаемые прогнозно оценивались в 1,5 млрд т. В 1979 г. геологические запасы составляли 4,9 млрд т, извлекаемые – 1,0 млрд т, в 1988 г. оставшиеся геологические запасы оценены в 4,4 млрд т, извлекаемые – 320 млн т [10].

Со времени появления в Беларуси торфяной отрасли промышленные запасы торфа уменьшились примерно на 1,4 млрд т [4, 10]. Естественный прирост торфа за период с начала мелиорации и промышленной эксплуатации составил 60–70 млн т [1]. Геологические запасы торфа в республике в настоящее время составляют около 4,0 млрд т [4]. В их состав помимо кондиционного торфяного сырья входят зазолённые отложения торфа, а также мелкозалежные и малые торфяные месторождения, не имеющие промышленного значения, но выполняющие существенные природоохранные функции.

К 1959 г. доля торфа в топливном балансе республики составляла 48,4 %. С 1961 г. быстрыми темпами стали нарастать объемы добычи торфа для удобрений объединениями Белсельхозхимии. В 1975 г. был достигнут самый высокий за все годы уровень добычи торфа – 38,9 млн т. Около 6 млн т ежегодно скапгалось в топках электростанций, 4–5 млн т – в виде брикетов, а 20–25 млн т предназначалось для использования в сельском хозяйстве [10]. Однако к 1980 г. стал сказываться недостаток площадей с промышленными запасами и снижаться объем добычи торфа. Основные крупные торфяные месторождения низинного типа были уже выработаны, а на оставшихся мелких месторождениях было невозможно обеспечить прежний объем добычи торфа. Выполненный в 1991 г. анализ торфяного фонда показал, что в республике нет торфяных месторождений, которые можно было

рекомендовать как сырьевую базу для строительства нового торфопредприятия или брикетного завода [2, 10].

В начале 1990-х годов республика была обеспечена другими дешевыми энергоресурсами, что позволило сократить объемы добычи торфа в топливно-энергетических целях. Однако в период нарастающего дефицита энергоресурсов в 2007 г. были разработаны Комплексная программа модернизации основных производственных фондов Белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли использования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов на период до 2011 года, утвержденная Указом Президента Республики Беларусь от 15 ноября 2007 г. № 575; Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь, утвержденная Указом Президента Республики Беларусь от 17 сентября 2007 г. № 433, и Программа «Торф» на 2008–2010 годы и на период до 2020 года, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 23 января 2008 г. № 94 [3, 4, 6].

Согласно Государственной комплексной программе модернизации в 2006–2010 гг. производство тепловой и электрической энергии необходимо довести до 25 %, а в 2020 г. – до 30 % за счет использования местных, возобновляемых и альтернативных источников энергии.

Согласно Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь торф и древесное топливо являются наиболее востребованными в энергетике и сельском хозяйстве топливно-энергетическими ресурсами, и к 2020 г. объем добычи торфа только для нужд энергетики должен возрасти до 4,4 млн т.

Государственная программа «Торф» направлена на повышение эффективности и объемов использования торфа в энергетике и сельском хозяйстве и предусматривает увеличение объемов добычи торфа до 7,5 млн т, в том числе для энергетики – до 5,1 млн т и сельского хозяйства – до 2,4 млн т к 2020 г. (рис. 4).

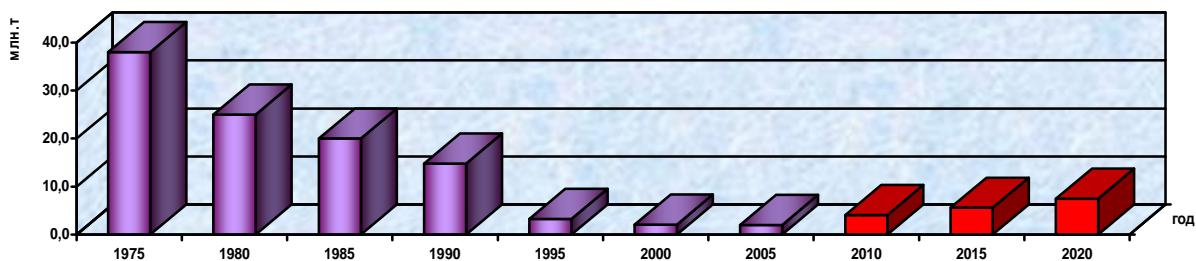


Рис. 4. Ежегодная добыча торфа в Беларуси с 1975 г. по настоящее время и прогноз до 2020 г.

Объемы добычи торфа на топливо и удобренения к 2006 г. снизились до 2,3 млн т, в 2008 г. объем добычи составил 2,7 млн т, а согласно Государственной программе «Торф» к 2020 г. ежегодная добыча торфа увеличится более чем в 2,5 раза.

В настоящее время предприятия торфяной промышленности работают на 46 торфяных месторождениях.

Программа «Торф» предусматривает комплексную оценку торфяных месторождений, перспективных для разработки и добычи торфа с уточнением критериев их распределения по целевым фондам, и выполнение ряда научно-технических заданий, в том числе оценку современного состояния торфяных ресурсов и разработку схемы рационального их использования и охраны Республики Беларусь на период до 2020 г., а также разработку справочника перспективных для добычи торфа торфяных месторождений. Намечается увеличение разрабатываемого фонда до 1,1–1,2 млрд т с извлекаемыми запасами торфа до 0,6–0,8 млрд т [4] за счет перераспределения торфяных ресурсов по существующим целевым фондам.

Таким образом, торфяной фонд Республики Беларусь за последние 20 лет изменился достаточно быстрыми темпами. Геологические запасы торфа уменьшились на 0,4 млрд т и в настоящее время оцениваются в 4,0 млрд т. С 1989 по 2008 г. площадь выработанных торфяных месторождений увеличилась на 72 200 га и составила 255 600 га, из них реабилитировано только 10 % (26 000 га).

Земельный фонд за этот период увеличился на 505 100 га и уже в 2008 г. составил 1 468 200 га по сравнению с планируемыми к

2010 г. 1 042 600 га. Для сельскохозяйственных целей осушено 1085,2 тыс. га торфяных почв, но в результате деградации торфяного слоя сохранилось лишь 861 тыс. га, остальные перешли в категорию антропогенно деградированных почв. В перспективе ожидается дальнейшая деградация торфяных почв, используемых в сельском хозяйстве, и увеличение площади малопродуктивных земель с низким содержанием органического вещества.

Намеченные Схемой показатели не выдержаны также по природоохранному фонду. Планируемое увеличение природоохранного фонда за счет нераспределенного остатка на 407,1 тыс. га (с 13,0 до 29,7 % от всего торфяного фонда) не выполнено и фактически составляет 13,5 тыс. га (с 13,0 до 13,5 %).

За последние 20 лет процессы восстановления болот путем повторного заболачивания происходят достаточно интенсивно. Площадь восстановленных болот составляет 26 тыс. га, и в перспективе ожидается их существенное увеличение. Ранее осущенные, находящиеся в лесохозяйственном использовании болота, медленно, но неуклонно восстанавливаются естественным путем за счет заплыивания неглубоких каналов.

К настоящему времени из общей площади 2939 тыс. га болот более 51 % осушено. В естественном состоянии сохранилось 1434 тыс. га болот. Восстановлено 26 тыс. га, 256 тыс. га составляют слабо осущенные болота лесного фонда, болотные экосистемы которых находятся в угнетенном состоянии, но продолжают функционировать. Таким образом, в республике насчитывается 1714 тыс. га торфяных месторождений, которые выполняют биосферные функции болот.

Л и т е р а т у р а

1. Бамбалов Н. Н., Ракович В. А. Роль болот в биосфере. Мин., 2005.
2. Бамбалов Н. Н., Тановицкий И. Г., Беленький С. Г. Развитие исследований в области генезиса, использования и охраны торфяных месторождений Беларуси // Твердые горючие отложения Беларуси и проблемы охраны окружающей среды. Мин., 1992. С. 27–39.
3. Государственная программа «Комплексная программа модернизации основных производственных фондов Белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли использования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов на период до 2011 года» от 15 ноября 2007 г. № 575. Мин., 2007.
4. Государственная программа «Торф» на 2008–2010 годы и на период до 2020 года от 23 января 2008 г. № 94. Мин., 2008.
5. Кадастровый справочник «Торфяной фонд Белорусской ССР». Мин., 1979.
6. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь от 17 сентября 2007 г. № 433. Мин., 2007.
7. Отчет Министерства лесного хозяйства «Программа восстановления нарушенных торфяников Минлесхоза» по проекту ПРООН–ГЭФ. Мин., 2007.
8. Положение о рекультивации земель, нарушенных при разработке месторождений полезных ископаемых и торфа, проведении геологоразведочных, строительных и других работ. Мин., 1997.
9. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь. Мин., 2001.
10. Радзевич Л. Ф. Торфяной фонд Белорусской ССР и основные направления его охраны и рационального использования БелНИИНТИ, серия 87.51.15. Мин., 1991.
11. Справочник «Торфяной фонд Белорусской ССР». Мин., 1953.

12. Схема рационального использования и охраны торфяных ресурсов Республики Беларусь на период до 2010 г. Мин., 1991.
13. Схема рационального размещения особо охраняемых природных территорий республиканского значения до 1 января 2015 г. Мин., 2007.
14. Тановицкий И. Г. Рациональное использование торфяных месторождений и охрана окружающей среды. Мин., 1980.
15. ТКП 17.12-01-2008 (02120) «Правила и порядок определения и изменения направления использования выработанных торфяных месторождений и других нарушенных болот». Мин., 2008.
16. ТКП 17.12-02-2008 (02120) «Порядок и правила проведения работ по экологической реабилитации выработанных торфяных месторождений и других нарушенных болот и предотвращению нарушений гидрологического режима естественных экологических систем при проведении мелиоративных работ». Мин., 2008.

Н. И. Тановицкая, Н. Н. Бамбалов

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОЛОТ И ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЕЛАРУСИ

Приведена обзорная информация по этапам инвентаризации болот Беларусь в 1953, 1979 и 1990 годах. Данна оценка современному состоянию болот: из общей площади 2939 тыс. га болот более 51 % осушено, в естественном состоянии сохранилось около 1434 тыс. га торфяных болот. Выполнен анализ использования осушенных болот в сельском хозяйстве (72,1 %), в лесном фонде (25,5 %) и для промышленной добычи торфа (2,4 %).

Показано современное распределение торфяных ресурсов согласно классификации торфяного фонда по направлениям использования. Прослежена динамика изменения целевых фондов со временем разработки «Схемы рационального использования и охраны торфяных ресурсов Республики Беларусь на период до 2010 года» по настоящее время и дана оценка современного использования торфяных ресурсов республики.

Намеченные Схемой показатели не выдержаны по целевым фондам: по природоохранному планировалось увеличение на 401,1 тыс. га, выполнено на 13,5; по земельному фонду осушено 1468,2 тыс. га болот вместо намеченных 1042,6; по разрабатываемому фонду площадь выработанных торфяных месторождений предусматривалась 292,4, в настоящее время – 255,6 тыс. га; естественные болота запасного фонда уменьшились на 0,3 тыс. га.

N. I. Tanovitskaya, N. N. Bambalov

MODERN STATE OF PEAT DEPOSITS AND MIRES USE OF BELARUS

A survey information on stages of Belarus mires inventory in 1953, 1979 and 1990 is given. An assessment of today's mires state is provided: of total area 2939 thou ha of mires over 51 % was dried, in natural state has been preserved about 1434 thou ha of peat bogs. The analysis of dried bogs use in agriculture (72,1 %), in forest fund (25,5 %) and for industrial peat extraction (2,4 %) has been carried out.

A modern distribution of peat resources according to peat fund classification on utilization directions has been shown. The dynamics of change of target funds from the time of the development of «The Scheme of rational use and protection of the Republic of Belarus peat resources for the period till 2010» till present has been traced and assessment of modern peat resources use of the republic has been given.

The marked by the Scheme tasks have not been realized on the target funds: planned on nature protective increase by 401,1 thou ha was done 13,5; in a land fund dried 1468,2 thou ha of mires in stead of 1042,6 planned; for the developed fund the area of cut-out peat deposits was planned 292,4, at present – 255,6 thou ha; natural mires of the reserve fund decreased by 0,3 thou ha.

В. А. Ракович

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА АККУМУЛЯЦИИ УГЛЕРОДА НА ЕСТЕСТВЕННЫХ БОЛОТАХ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА

Приведена количественная оценка ежегодной аккумуляции углерода на естественных болотах различного генезиса, рассчитанная по среднему ежегодному приросту торфяной залежи, определенной радиоуглеродным методом по ^{14}C .

По мере нарастания торфяных залежей в них происходит аккумуляция биогенных химических элементов – углерода, кислорода, водорода, азота серы, фосфора, кальция, магния, железа и многих других микроэлементов, входящих в состав растений-торфообразователей и питающих болота вод, а также вод, поступающих с атмосферными осадками. По мере нарастания торфяных залежей новые слои торфа переходят из торфогенного слоя в нижележащие, а вместе с ними осуществляется переход химических элементов из биогенного круговорота в геологический.

Таким образом, выполнение болотами межкруговоротной функции обусловлено незамкнутостью годичных биоциклов углерода в болотной среде, благодаря чему ежегодно продуцируемое органическое вещество полностью не разлагается и постепенно погребается последующими отложениями. В болотных биогеоценозах из биогенного круговорота в геологический ежегодно выводится до 16,5 % массы углерода, ежегодно поглощаемого из атмосферы в процессе фотосинтеза [2].

В настоящее время круговорот углерода на болотах изучен весьма слабо, и недостаточно знаний о величине ежегодной его аккумуляции.

Цель настоящего исследования – получить количественную оценку аккумуляции углерода на естественных болотах различного генезиса. Эти сведения необходимы для ведения отчетности о поглощении диоксида углерода из атмосферы болотными экосистемами, государственного кадастра парниковых газов, подготовки бизнес-планов, инвестиционных проектов, предложений о реализации проектов совместного осуществления (PIN).

Объектами исследования служили верховые и низинные естественные болота, расположенные в различных регионах Беларуси.

Расчет ежегодной аккумуляции углерода естественной торфяной залежью (т/га) вычислялся по формуле:

$$P_C = 10\,000 \times h \times \gamma \times K_W \times K_A \times K_C, \quad (1),$$

где 10 000 – переводной коэффициент с m^2 в га; h – ежегодный прирост торфяного слоя, м, определялся радиоуглеродным методом по ^{14}C ; γ – плотность торфа в залежи, t/m^3 ; K_W – коэффициент влажности; K_A – коэффициент зольности; K_C – коэффициент содержания углерода в органическом веществе.

Коэффициент влажности рассчитывался по формуле:

$$K_W = \frac{100 - W}{100}, \quad (2)$$

где W – влажность торфа, %, определялась по ГОСТ 11305 или ГОСТ 19723.

Коэффициент зольности рассчитывался по формуле:

$$K_A = \frac{100 - A}{100}, \quad (3)$$

где A – зольность торфа, %, определялась по ГОСТ 11306.

Коэффициент содержания углерода в органическом веществе вычислялся по формуле:

$$K_C = \frac{C}{100}, \quad (4)$$

где C – содержание углерода в органическом веществе, %, определялось по ГОСТ 2408.1.

Для определения процентного содержания углерода в органическом веществе в различных группах и типах торфа Беларуси были проанализированы литературные источники [1, 3–12, 14–23, 27] и данные, полученные в лаборатории биогеохимии ландшафтов Института природопользования НАН Беларуси. Обобщенные результаты, показывающие среднестатистическое содержание углерода (C) по типам и группам торфа, % С от органического вещества (ОВ), представлены в табл. 1.

Таблица 1. Среднестатистическое содержание углерода в различных типах и группах торфа

Группа торфа	Количество образцов	Среднее статистическое содержание углерода	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартная ошибка
		% С от ОВ	Низинный тип		
Моховая					
Травяно-моховая	14	58,6	53,8	60,1	0,14
Травяная	139	59,5	53,9	60,7	0,37
Древесно-моховая	—	—	—	—	—
Древесно-травяная	77	58,0	53,2	61,0	0,33
Древесная	33	60,2	53,6	62,3	0,79
Все группы	263	58,9	53,2	62,3	—
Переходный тип					
Моховая	11	57,6	54,5	59,8	0,92
Травяно-моховая	15	58,5	55,7	60,2	0,54
Травяная	14	57,7	49,8	58,6	0,69
Древесно-моховая	—	—	—	—	—
Древесно-травяная	11	57,9	56,2	61,9	0,87
Древесная	—	—	—	—	—
Все группы	51	58,4	49,8	61,9	—
Верховой тип					
Моховая	146	54,7	46,3	59,4	0,53
Травяно-моховая	53	56,9	49,3	59,1	0,39
Травяная	32	57,4	53,1	59,9	0,81
Древесно-моховая	3	57,7	56,6	59,7	2,10
Древесно-травяная	11	58,2	52,9	62,5	0,97
Древесная	—	—	—	—	—
Все группы	245	56,1	46,3	62,5	—

Обобщенные среднестатистические данные по белорусским болотам [25, 26] показали, что торф низинного типа образовался при максимальном участии торфообразователей травяной группы – 72,2 %, древесной – 15,9 % и моховой – 11,9 %; переходного типа: древесной – 14 %, травяной – 54,8 %, моховой – 32,2 % соответственно; верхового типа: древесной – 10,7 %, травяной – 37,6%, моховой – 51,7 % соответственно. Отсюда следует, что 63,2 % общих запасов торфяных залежей представлено торфами травяной, 22,2 % – моховой и около 15 % – древесной группы.

При получении среднего содержания углерода по типам для торфов Беларуси нами применялось процентное соотношение участия групп торфа, приведенное в работах [25, 26]. К моховой группе мы относили моховой торф, к травяной – травяно-моховой и травяной, к древесной – древесно-моховой, древесно-травяной и древесный.

Из табл. 1 следует, что количественные показатели среднего содержания углерода в торфах Беларуси составили: для низинного типа – 58,9 %, переходного – 58,4 % и верхового – 56,1 % соответственно. Для торфов России, представленных в монографии И. И. Лиштвана, Н. Т. Короля [13], эти данные близки по значению и составляют для низинного типа – 58,0 %, переходного – 58,6 % и верхового – 56,0 % соответственно.

Содержание углерода зависит от типа торфа и его ботанического состава. Оно увеличивается от верхового к переходному и низинному типам и от моховой к травяной и далее к древесной группе.

Содержание углерода в органической массе белорусских торфов изменяется от 46,3 до 62,5 % (табл. 1). Торфа верхового типа имеют наибольшую амплитуду изменения содержания углерода. Минимальное содержание наблюдалось у балтикума, максимальное – у сосново-пушкицевого торфа верхового типа.

Ежегодный прирост торфяного слоя на болотах различного генезиса определялся по абсолютному возрасту. Для определения абсолютного возраста образцы торфа, торфосапропеля и сапропеля отобраны в 1996–2008 гг. автором в разных частях Беларуси. В Институте геохимии и геофизики НАН Беларуси выполнено 20, а в Институте торфа и болот при университете г. Чанчунь провинции Цзилинь Китайской Народной Республики – 5 датировок. Еще один образец (IGSB 251) отобран и исследован Г. И. Симако-

вой (Институт геохимии и геофизики НАН Беларуси) [24].

Абсолютный возраст образцов определен радиоуглеродным методом путем счета β -активности ^{14}C в бензоле, синтезируемом из углеродсодержащих образцов торфа. Счет β -активности произведен на β -счетчике в течение 10 часов для каждого образца. Данные датировок, ежегодного прироста, накопления отложений углерода и стока диоксида углерода в естественные болота представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2. Ежегодный прирост, накопления отложений углерода и сток диоксида углерода в естественные верховые болота

Кадастровый номер, название торфяного болота, место расположения	Средняя степень разложения по глубине (R%)	Средняя глубина отбора проб, см	Номер образца, возраст по ^{14}C , лет, ежегодный прирост торфяного слоя, мм/год	Ежегодное накопление отложений C_{opr} , г/м ² в год	Балансовый сток CO_2 в пересчете с углерода г/м ² в год
3. Церковное Верхнедвинский район Витебской области	17,5	105	IGSB 405 1847 ± 88 0,57	29,0	106,3
1. Освейское Верхнедвинский район Витебской области	18	175	IGSB 120 3411 ± 297 0,51	25,9	95,1
991. Савский Мох Лепельский район Витебской области	10	395	NU 9511 3245 ± 85 1,22	62,0	227,5
991. Савский Мох Лепельский район Витебской области	12	645	NU 9512 6150 ± 100 1,05	53,3	195,8
993. Домжерицкое Лепельский район Витебской области	8,5	110	NU 9508 1025 ± 75 1,07	54,4	199,5
993. Домжерицкое Лепельский район Витебской области	17	205	NU 9509 2305 ± 80 0,89	45,2	165,9
993. Домжерицкое Лепельский район Витебской области	28	265	NU 9510 5655 ± 95 0,47	23,9	87,6
204. Стречно Миорский и Шарковщинский районы Витебской области	26	445	IGSN 818 8400 ± 240 0,53	26,9	98,8
197. Ельня Миорский район Витебской области	20	245	IGSN 1040 4100 ± 80 0,60	30,5	111,9
6. Моховое Мядельский район Минской области	25	485	IGSN 1039 10050 ± 130 0,48	24,4	89,5
189. Докудовское Лидский район Гродненской области	26	50	IGSN 1193 840 ± 61 0,60	30,5	111,9
135. Щенец Щучинский район Гродненской области	17,5	35	IGSN 1329 470 ± 40 0,74	37,6	138,0
329. Казине Крупский район Минской области	10	15	IGSN 1330 160 ± 30 0,94	47,8	175,2
Средние показатели			0,74	37,6	138,0

Таблица 3. Ежегодный прирост, накопления отложений углерода и сток диоксида углерода в естественные низинные болота

Кадастровый номер, название торфяного болота, место расположения	Средняя степень разложения по глубине (R%)	Средняя глубина отбора проб, см	Номер образца, возраст по ^{14}C , лет, ежегодный прирост торфяного слоя мм/год	Ежегодное накопление отложений $\text{C}_{\text{орг}}$, г/м ² в год	Балансовый сток CO_2 в пересчете с углерода г/м ² в год
126. Песчанка Березовский и Дрогичинский районы Брестской области	32	215	IGSN 592os 6512 ± 44 0,33	18,3	67,3
126. Песчанка (по гуминовым кислотам из торфа)	32	215	IGSN 592gk 6310 ± 35 0,34	18,9	69,4
126. Песчанка Березовский и Дрогичинский районы Брестской области	37	375	IGSN 593os 13600 ± 691 0,28	15,6	57,1
126. Песчанка (по гуминовым кислотам из сапропеля)	37	375	IGSN 593gk 12950 ± 358 0,29	16,1	59,2
75. Дикое Пружанский и Свислочский районы Брестской и Гродненской областей (разрез 2)	21	35	IGSN 712 1060 ± 120 0,33	18,3	67,3
75. Дикое (разрез 5)	16	40	IGSN 713 1110 ± 110 0,36	20,0	73,5
75. Дикое (разрез 5)	29	190	IGSN 714 6430 ± 90 0,30	16,7	61,2
249. Великий Лес Кобринский и Дрогичинский районы Брестской области (разрез 1)	34	85	IGSN 817 2800 ± 160 0,30	16,7	61,2
249. Великий Лес (разрез 2)	33	135	IGSN 819 4400 ± 170 0,31	17,2	63,2
1426. Мх в пойме р. Нижняя Кривина (Кривина) Бешенковичский и Сенненский районы Витебской области	35	50	IGSB 251 1588 ± 180 0,31	17,2	63,2
2. Выдрино Верхнедвинский район Витебской области	28	185	IGSN 1038os 5170 ± 130 0,36	20,0	73,5
2. Выдрино (по гуминовым кислотам из торфа)	28	185	IGSN 1038gk 4780 ± 110 0,39	21,7	79,6
8. Корытино Барановичский район Брестской области	9	60	IGSN 1331 1240 ± 70 0,48	26,7	97,9
Средние показатели			0,34	18,9	69,4

Расчет балансового стока диоксида углерода из атмосферы в торфяную залежь P_{CO_2} , (т/га) вычислялся по формуле:

$$P_{\text{CO}_2} = P_C \times K_{\text{C-CO}_2}, \quad (5)$$

где $K_{\text{C-CO}_2}$ – коэффициент перевода углерода в углекислый газ.

Коэффициент перевода углерода в углекислый газ $K_{\text{C-CO}_2}$ рассчитывался согласно уравнению

$$K_{\text{C-CO}_2} = \frac{M_r(\text{CO}_2)}{A_r(\text{C})} \frac{44}{12} \approx 3,67, \quad (6)$$

где M_r – относительная молекулярная масса; A_r – относительная атомная масса.

В некоторых разрезах абсолютный возраст был определен по двум компонентам в каждом образце: по гуминовым кислотам и по остатку после удаления гуминовых и гидролизуемых веществ. Как видно из табл. 2 и 3, возраст некоторых образцов торфа и сапропеля, определенный по гуминовой фракции, оказался несколько меньше возраста, определенного по остатку. Это говорит о загрязнении гуминовых веществ древних образцов более молодыми гуминовыми кислотами, мигрирующими из верхних горизонтов торфяной залежи в нижние.

При оценке скорости накопления торфа в естественных болотах следует отметить, что ежегодный прирост торфяного слоя больше для

болот верхового типа – 0,51–1,22 мм, чем для низинного – 0,30–0,48 мм (табл. 2, 3). Соответственно и ежегодное накопление углерода больше для торфов верхового типа – 239–620 кг/га (среднее 376 кг/га), чем для низинного – 156–267 кг/га (среднее 189 кг/га).

Балансовый сток CO_2 из атмосферы в болотные экосистемы для торфов верхового типа составил 876–2276 кг/га (среднее 1380 кг/га), для низинного – 571–979 кг/га (среднее 694 кг/га).

Из табл. 2 и 3 построены графики зависимости ежегодной аккумуляции углерода в естественных болотах от средней степени разложения торфа (рис. 1, 2).

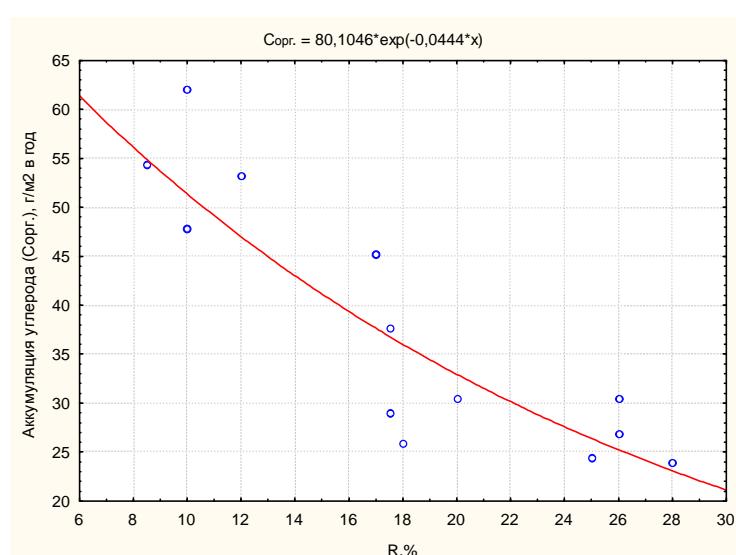


Рис. 1. Зависимость ежегодной аккумуляции углерода залежью естественных верховых болот от средней степени разложения торфа

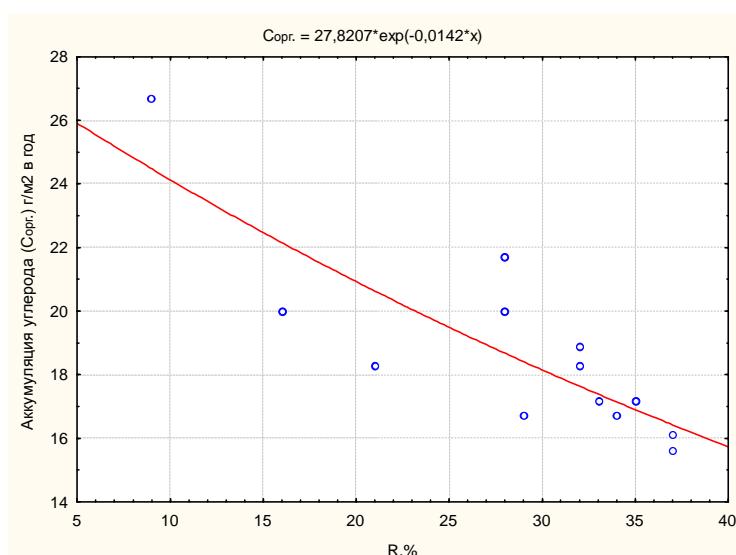


Рис. 2. Зависимость ежегодной аккумуляции углерода залежью естественных низинных болот от средней степени разложения торфа

Как видно из рис. 1, 2 ежегодная аккумуляция углерода естественными болотами зависит от степени разложения торфа и у верхового и низинного типов уменьшается с увеличением степени разложения. Графики (рис.1, 2) позволяют по степени разложения торфа в верхнем слое залежи получить приблизительную ежегодную аккумуляцию углерода болотами различных типов.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Количественные показатели среднего содержания углерода в торфе Беларуси для низинного типа составили 58,9 %, для переходного – 58,4 % и для верхового – 56,1 % соответственно.

2. Содержание углерода в органическом веществе торфа изменяется от 46,3 до 62,5 %. Среднее процентное содержание органического углерода в торфе увеличивается от верхового к переходному и низинному типам.

3. Ежегодная аккумуляция углерода в торфяной залежи различных типов уменьшается с увеличением степени разложения.

4. Ежегодное накопление углерода больше для торфа верхового типа – 239–620 кг/га (среднее 376 кг/га), чем для низинного – 156–267 кг/га (среднее 189 кг/га).

5. Балансовый сток CO_2 из атмосферы в болотные экосистемы верхового типа составил 876–2276 кг/га (среднее 1380 кг/га), низинного – 571–979 кг/га (среднее 694 кг/га).

Л и т е р а т у р а

1. **Бамбалов Н. Н.** Минерализация и трансформация органического вещества мелиорированных торфяных почв при их сельскохозяйственном использовании (на примере торфяных почв Белоруссии): Дис. ... д-ра. с.-х. наук. Мн., 1983.
2. **Бамбалов Н. Н., Ракович В. А.** Роль болот в биосфере. Мн., 2005.
3. **Баранчикова М. И., Раковский В. Е.** Влияние термической устойчивости кислородсодержащих соединений торфа на содержание летучих веществ в коксе // Состояние и перспективы комплексного использования торфа. Мн., 1975. С. 103–109.
4. **Белькевич П. И., Гайдук К. А.** О термическом разложении гуминовых кислот / Тр. Ин-та торфа. Мн., 1960. Т. 9. С. 267–273.
5. **Белькевич П. И., Гайдук К. А.** О термическом распаде гуминовых кислот // Тр. Ин-та торфа. Мн., 1959. Т. 7. С. 282–290.
6. **Белькевич П. И., Гайдук К. А.** О термическом распаде гуминовых кислот // Тр. Ин-та торфа. Мн., 1959. Т. 7. С. 291–303.
7. **Белькевич П. И., Цыбулькин В. М.** Исследование химического состава спиртобензольного битума растений-торфообразователей и торфов залежи верхового типа // Тр. Ин-та торфа. Мн., 1959. Т. 7. С. 117–122.
8. **Белькевич П. И., Чистова Л. Р., Зайцева Т. В.** и др. Исследование кислотных свойств функциональных групп окисленного двуокисью азота торфа // Проблемы использования торфа и торфяных месторождений в сельском хозяйстве. Мн., 1976. С. 252–257.
9. **Братишко Р. Ф.** Влияние условий гидролиза на выход и химический состав отдельных компонентов торфа: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Мн., 1968.
10. **Гаврильчик А. П.** Превращения торфа при добыче и переработке. Мн., 1992.
11. **Дрожалина Н. Д.** Углеродные молекулярные сита на основе торфа. Мн., 1984.
12. **Кунцевич В. Б.** Влияние условий хранения на саморазогревание фрезерного торфа и качество продуктов его переработки: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Мн., 1988.
13. **Лиштван И. И., Король Н. Т.** Основные свойства торфа и методы их определения. Мн., 1975.
14. **Лукошко Е. С., Пигулевская Л. В., Хоружик А. В., Янковская Н. С.** Исследование физико-химических свойств гуминовых кислот современных и межледниковых погребенных торфов // Проблемы использования торфа и торфяных месторождений в сельском хозяйстве. Мн., 1976. С. 52–54.
15. **Мазина О. И., Макеева Г. П., Микулич С. М.** и др. Изучение механизма термической деструкции торфа и лигнина в атмосфере водяного пара // Комплексное использование торфа. Мн., 1965. С. 98–103.
16. **Маль С. С.** Углеводы и азотсодержащие вещества торфа. Мн., 1982.
17. **Пигулевская Л. В.** Изменение химического состава отдельных видов торфов в зависимости от их возраста: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Мн., 1955.
18. **Пигулевская Л. В., Лукошко Е. С., Хоружик А. В., Янковская Н. С.** Изменение химического состава торфа в процессе диагенеза // Проблемы использования торфа и торфяных месторождений в сельском хозяйстве. Мн., 1976. С. 45–51.
19. **Позняк В. С., Раковский В. Е.** О химическом составе некоторых сапропелей Белорусской ССР // Тр. Ин-та торфа. Мн., 1954. Т.3. С. 109–119.
20. Превращения торфа и его компонентов в процессе саморазогревания при хранении / Под ред. Н. С. Панкратова. Мн., 1972.
21. **Раковский В. Е., Каганович Ф. Л., Новичкова Е. А.** Химия пирогенных процессов. Мн., 1959.
22. **Раковский В. Е., Пигулевская Л. В.** Химия и генезис торфа. М., 1978.
23. Связь между составом торфа и составом продуктов его термического разложения // Химия и технология первичных дегтей торфа / Под ред. В. Е. Раковского. Мн., 1949. С. 56–58.

24. Симакова Г. И., Павлова И. Д. Особенности палеогеографии территории Кривинского торфяного массива в позднеледниково и голоцене// Докл. НАНБ. 1999. Т. 43, № 5. С. 98–101.
25. Тишкович А. В. Использование торфа в сельском хозяйстве / Под ред. И. И. Лиштвана. Мин., 1984.
26. Тишкович А. В., Шныриков В. Г., Зубовский В. С. Природа торфа и эффективность удобрений на его основе. / Под ред. И. И. Лиштвана. Мин., 1987.
27. Томсон А. Э., Наумова Г. В. Химическая характеристика сфагнового торфа основных сырьевых баз Беларуси. // Природопользование. 2008. Вып. 14. С. 197–203.

V. A. Rakovich

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА АККУМУЛЯЦИИ УГЛЕРОДА НА ЕСТЕСТВЕННЫХ БОЛОТАХ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА

Приведена количественная оценка ежегодной аккумуляции углерода на естественных болотах различного генезиса, рассчитанная по среднему ежегодному приросту торфяной залежи, определенной радиоуглеродным методом по ^{14}C .

По литературным данным определены количественные показатели среднего процентного содержания углерода в торфах Беларуси. Они составили для низинного типа 58,9 %, переходного – 58,4 % и верхового – 56,1 % соответственно.

Содержание углерода в органической массе белорусских торфов изменяется от 46,3 до 62,5 %. Торфа верхового типа имеют наибольшую амплитуду изменения содержания углерода. Минимальное содержание наблюдалось у балтикум, максимальное у сосново-пушицевого торфа верхового типа. Среднее процентное содержание углерода у различных типов торфа увеличивается от моховой к травяной и далее к древесной группе.

Установлено, что ежегодная аккумуляция углерода у различных типов торфа уменьшается с увеличением степени разложения. Ежегодный прирост торфяного слоя больше для болот верхового типа – 0,51–1,22 мм, чем для низинного – 0,30–0,48 мм. Соответственно и ежегодное накопление углерода больше для образцов торфа верхового типа – 239–620 кг/га (среднее 376 кг/га), чем для низинного – 156–267 кг/га (среднее 189 кг/га). Балансовый сток CO_2 , из атмосферы в болотные экосистемы для образцов торфа верхового типа составил 876–2276 кг/га (среднее 1380 кг/га), для низинного – 571–979 кг/га (среднее 694 кг/га).

V. A. Rakovich

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF CARBON ACCUMULATION IN NATURAL MIRES OF VARIOUS GENESIS

A quantitative assessment of annual carbon accumulation in natural mires of various genesis has been done, calculated by an average increase of peat deposit, defined by radio-carbonic ^{14}C method.

By reference list data, qualitative indices of mean percent carbon content in Belarus peats were determined. They enlisted: for a fen type – 58,9, transitional – 58,4, and high one 56,1 % correspondingly.

Carbon content in organic mass of Belarussian peat varies from 46,3 to 62,5 %. High type peats have the largest variation amplitude of carbon content. The minimal content was noticed in balticum, the maximal one in pine-cotton peat of high type. Average percent carbon content in various peat types increases from the moss to herbal and further to wooden groups.

It has been found that annual carbon accumulation in various peat types decreases while decomposition degree increases. Annul peat layer growth is higher for high bogs type – 0,51–1,22 mm, than for a fen – 0,30–0,48 mm. Accordingly and annual carbon accumulation is more of samples of high type peat – 239–620 kg/ha (376 kg/ha in average), than for a fen one – 156–267 kg/ha (189 kg/ha in average). Balance CO_2 , sink from the atmosphere into mire ecosystems for samples of bog type peat was 876–2276 kg/ha (1380 kg/ha in average), for a fen one – 571–979 kg/ha (694 kg/ha in average).

В. А. Ракович

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЕЖЕГОДНОГО ПОСТУПЛЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ВОДУ ЕСТЕСТВЕННЫХ БОЛОТ

Оценено ежегодное поступление диоксида углерода в болотные воды торфяных залежей различных типов.

В естественных болотах по мере нарастания торфяных залежей происходит аккумуляция воды благодаря высокой водоудерживающей емкости торфа, равной 650–3000 % по отношению к сухой массе [4]. Как правило, естественная влажность разных генетических видов торфа варьирует от 88 до 98% [14], т.е. фактически болота представляют собой водоемы, заполненные полуразложившимися растительными остатками. Вместе с аккумуляцией торфа происходит аккумуляция энергии и биогенных химических элементов, входящих в состав растений-торфообразователей и питающих болота вод, а также вод, поступающих с атмосферными осадками.

Цель исследования – получение данных ежегодного поступления диоксида углерода в воду естественных болот различного типа для уточнения количественной оценки общего стока CO_2 в болотные экосистемы. Эти данные необходимы для ведения отчетности о поглощении CO_2 из атмосферного воздуха болотными экосистемами, подготовки бизнес-планов, инвестиционных проектов, предложений о реализации проектов совместного осуществления (PIN).

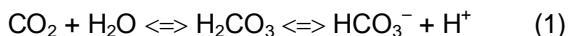
С использованием имеющихся литературных данных [2, 3, 6, 7, 15] по содержанию органического вещества, бикарбонат-ионов в болотной воде и ее бихроматной окисляемости была выполнена количественная оценка ежегодного поступления диоксида углерода в воду естественных болот различных типов.

Диоксид углерода, содержащийся в атмосфере, растворяется в болотной воде и находится в составе:

1. Растворенных неорганических соединений в виде растворенного свободного CO_2 .

2. Бикарбонат-ионов угольной кислоты.

Болотные воды имеют $\text{pH} = 2,6\text{--}7,4$ [8]. В них карбонат-ионы (CO_3^{2-}) не присутствуют, так как при их наличии pH воды должен быть больше 8,3–8,4 [13]. В болотной воде углекислый газ растворяется, образуя угольную кислоту (H_2CO_3), из которой образуется бикарбонат-ион при потере протона:



Эта реакция обратимая, и смещение равновесия зависит от pH воды, температуры и дав-

ления. При низких pH идет подавление ионообменных процессов [8].

Перевод HCO_3^- в CO_2 осуществляется согласно уравнению (1) по формуле:

$$m(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{HCO}_3^-) \times M_r(\text{CO}_2)}{M_r(\text{HCO}_3^-)} = \frac{m(\text{HCO}_3^-) \times 44}{61} \quad (2)$$

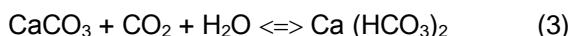
где M_r – относительная молекулярная масса (CO_2 , HCO_3^-); m – масса (CO_2 , HCO_3^-).

3. Растворенного органического вещества.

Органическое вещество (ОВ) в болотных водах представляет собой соединения углерода с другими элементами. В болото оно попадает в результате распада отмершей болотной растительности, животных организмов и поступлений с водосбора (в основном для низинных болот). Минерализованное и гумифицированное органическое вещество растворяется в болотных водах в виде фульвокислот, небольшого количества гуминовых кислот, связанных с металлами гумусовых веществ, а также в виде сахаров, аминокислот, фенолов, альдегидов и других органических соединений.

Концентрация органического вещества в растворе зависит не только от интенсивности разложения материала, но и от соотношения процессов минерализации и гумификации [12]. На процесс превращения растительного материала в торф влияют многие факторы, среди которых особая роль принадлежит химическому составу болотных вод [8].

В водах низинных болот, богатых кальцием, также возможно его перераспределение, при котором выводится диоксид углерода, растворенный в воде, и образуются карбонаты. Этую реакцию можно описать уравнением:



Растворенные соединения кальция повышают pH торфа.

Водообмен болот с прилегающими территориями происходит посредством поверхностного и грунтового стока. Поверхностный сток совершается в реки, озера и другие элементы гидрографической сети. Грунтовый сток происходит путем фильтрации торфяной залежи в вертикальном и горизонтальном направлениях.

В верховых болотах около 60 % годового стока приходится на апрель – период весеннего снеготаяния, около 75 % – на зимне-весенное полугодие (ноябрь – апрель) и 25 % – на летне-осенное полугодие (с мая по октябрь). Всего в расходной части баланса на долю стока приходится около 25 %, на долю испарения – 75 % болотной воды [1].

Углерод органического вещества определяют главным образом при проведении работ балансового характера. Для оценки общего содержания ОВ в природных водах широко используются методы определения окисляемости.

Величина окисляемости воды характеризуется содержанием органических и неорганических соединений. Количество кислорода (мг/л), эквивалентное расходу окислителя, характеризует величину окисляемости. В зависимости от применяемого окислителя различают перманганатную и бихроматную окисляемость. Бихроматная окисляемость (БО) обеспечивает практически полное окисление водного ОВ. По величине БО можно получить представление о содержании в воде органического углерода [11, 15].

Для низинных болот отбор воды [5] производился на различных торфяных месторождениях, различающихся геоморфологическими условиями: Воньки (пойменное), Хоревское (проточнодолинных пойм), Кандель-Яловец (древних террас), Выгонощанское (водораздельное крупных равнин), Рады-Гольшевка (водораздельное бессточных котловин). Залежи, из которых отбирались пробы воды, представлены осоковым торфом со степенью разложения 20–40 %.

В воде т.м. Воньки содержание ионов кальция составляет 33 мг/л, гидрокарбонатов – 145,8 мг/л; в воде т.м. Хоревское содержание Ca^{2+} – 22,6 мг/л; HCO_3^- – 145,2 мг/л; в воде т.м. Кандель-Яловец содержание ионов кальция и гидрокарбонатов – соответственно 12,6 и 23,2 мг/л. Вода т.м. Выгонощанское имеет максимальное содержание гумусовых веществ – 170 мг/л; бикарбонатов – 61,6 мг/л.

Среднее содержание ионов HCO_3^- для верховых болот составляет 13–25 мг/л и возрастает до 300 мг/л для низинных [9].

Содержание ОВ на естественном участке болота Хольче Полесской опытно-мелиоративной станции (ПОМС) составляет 168,7 мг/л. Среднее содержание органического вещества в почвенно-грунтовых водах ПОМС за период 1976–1979 гг. составило (по БО) 164,8 мг O_2/l . В водах торфяного месторождения низинного типа преобладающие ионы – кальций (15,6–134,0 мг/л) и гидрокарбонатный (до 210,0 мг/л) [7].

Проведенными в 1974–1978 гг. гидрохимическими исследованиями [6] установлено, что воды торфяного месторождения верхового типа Оршинский Мх отличаются высоким содержанием растворенных органических веществ (до

90 % величины плотного остатка). На неосушенной торфяной залежи (т.м. Оршинский Мх) состав гидрокарбонатов изменяется по сезонам года: содержание гидрокарбонатных ионов весной максимальное – 4,9–31,8 мг/л (среднее 18,9), летом уменьшается – 0,0–14,6 мг/л (среднее 10,5), осенью снова увеличивается в пределах 0,0–26,8 мг/л (среднее 11,2). Среднее содержание HCO_3^- за 1974–1978 гг. составило 13,5 мг/л. БО изменяется от 150 до 400 мг O_2/l в весенний период и от 160 до 490 мг O_2/l в летне-осенний (среднее за 1974–1978 гг. – 258 мг O_2/l). Показатель pH изменялся от 3,4 до 4,3 при среднем 3,8.

Расчет ежегодного поступления диоксида углерода в болотную воду торфяной залежи вычисляется по формулам (4), (5):

для низинного болота:

$$P_{\text{CO}_2\text{H}} = 10\,000 \times h \times (C_{\text{opr}} \times K_{\text{C-CO}_2} + \text{CO}_2 \text{ HCO}_3^- + \text{CO}_{2\text{cb}}) \times K_w, \quad (4)$$

где 10 000 – переводной коэффициент с m^3 в га; h – ежегодный вертикальный прирост торфяного слоя, м; C_{opr} – углерод органического вещества, растворенный в болотной воде, kg/m^3 , определяется по уравнению (6); $K_{\text{C-CO}_2}$ – коэффициент перевода углерода в углекислый газ, вычисляется по формуле (7), CO_2cb – свободный CO_2 не в ионной форме, kg/m^3 , определяется согласно nomogramme [13]; $\text{CO}_2 \text{ HCO}_3^-$ – CO_2 , преобразованный в бикарбонат-ионы угольной кислоты (kg/m^3), определяется согласно уравнению (2); K_w – коэффициент влажности, рассчитывается согласно уравнению (8);

для верхового болота:

$$P_{\text{CO}_2\text{B}} = 10\,000 \times h (C_{\text{opr}} K_{\text{C-CO}_2} + \text{CO}_2 \text{ HCO}_3^-) K_w. \quad (5)$$

На примере торфяника Оршинский Мх для верховых болот можно вычислить значение общего стока CO_2 в пересчете с углерода (C_{opr}) и количество углекислого газа, растворенного в болотной воде при образовании бикарбонат-ионов. В воде верховых болот свободный CO_2 не в ионной форме практически не растворяется, потому что pH верховых болот очень низкий (для данного примера pH = 3,8), и его можно не учитывать.

Содержание углерода органического вещества в болотной воде по бихроматной окисляемости определяется согласно [15] по формуле:

$$C_{\text{opr.}} = \text{BO} \times \frac{\mu_r(\text{C})}{\mu_r(\text{O}_2)} \quad \text{BO} \times \frac{12}{32} = \text{BO} \times 0,375, \quad (6)$$

где БО – бихроматная окисляемость болотной воды, $\text{kg O}_2/\text{m}^3$, определяется согласно [15].

Коэффициент перевода углерода в углекислый газ Кс- CO_2 вычисляется по формуле:

$$K_{\text{C-CO}_2} = \frac{M_r(\text{CO}_2)}{A_r(\text{C})} \cdot \frac{44}{12} \approx 3,67, \quad (7)$$

где M_r – относительная молекулярная масса; A_r – относительная атомная масса.

Коэффициент влажности рассчитывается по формуле:

$$K_w = \frac{W}{100}, \quad (8)$$

где W – влага торфа, %, определяется по ГОСТ 11305, ГОСТ 19723.

Определение общего содержания растворенных органических веществ в природных водах осуществляли по методике [11].

С использованием данных [2, 3, 6, 15] по органическому веществу и бихроматной окисляемости в болотных водах, отжатых из торfov, отобранных с неосущенных участков и естественных болот, нами построена таблица и вычислено содержание $\text{C}_{\text{орг}}$, CO_2 в пересчете с бикарбонат-ионов (HCO_3^-).

Из табл. 1 можно вычислить количество диоксида углерода в пересчете с $\text{C}_{\text{орг}}$ и количество углекислого газа, растворенного в болотной воде при образовании бикарбонат-ионов.

Кроме того, в воде низинных болот растворяется свободный CO_2 не в ионной форме. При $\text{pH} = 7,2$ и $\text{HCO}_3^- = 112,7 \text{ мг/л}$ для воды низинных болот содержание диоксида углерода можно вычислить по номограмме [13]. Его величина составила 26 мг/л.

Таблица 1. Содержание углерода органического вещества, диоксида углерода в пересчете с $\text{C}_{\text{орг}}$ и с HCO_3^- в болотных водах

Название торфяного месторождения	Среднее значение pH	БО, мг $\text{O}_2/\text{л}$	Органическое вещество, мг/л	$\text{C}_{\text{орг}}$, мг/л	CO_2 в пересчете с $\text{C}_{\text{орг}}$, мг/л	HCO_3^- , мг/л	CO_2 в пересчете с HCO_3^- , мг/л	Источник
Низинный тип торфяной залежи								
Воныки	7,7	–	58,4	29,2	107,2	145,8	104,9	[2]
Хоревское	7,0	–	43,2	21,6	79,3	145,2	104,5	[2]
Кандель-Яловец	6,7	–	50,4	25,2	92,5	23,2	16,7	[2]
Выгонощанскоe	6,9	–	176,2	88,1	323,3	61,6	44,3	[2]
Рады-Голышевка	6,9	–	153,8	76,9	282,2	151,2	108,8	[2]
Хольче (ПОМС) 1976–1979 гг.	7,5	164,8	–	61,8	226,8	210,0	151	[6]
Дикое Мелиоративная система Верховье Ясельды (1975–1979 гг.) (Хоревское)	7,4	–	–	27,9	102,4	52,2	37,6	[15]
Среднее по типу	7,2	–	–	47,2	173,2	112,7	81	
Верховой тип торфяной залежи								
Оршинский Мх (среднее за 1974–1978 гг.)	3,8	258	–	96,8	355,3	13,5	9,7	[3, 6]

В табл. 2 представлены рассчитанные средние значения стока диоксида углерода в болотную воду естественной торфяной залежи в зависимости от ее типа.

Таблица 2. Средние значения стока диоксида углерода в болотную воду естественной торфяной залежи

Тип торфяной залежи	Годовой сток диоксида углерода в болотные воды, т/га	Сток диоксида углерода в болотные воды, т/ м^3
Верховой	0,00252	0,000332
Низинный	0,00088	0,000251

Из таблицы видно, что сток диоксида углерода в болотные воды верховых торфяников выше, чем низинных.

Для низинных болот при среднем ежегодном вертикальном приросте торфяного слоя $h = 0,34 \text{ мм}$ [10] общий сток в болотные воды составил 0,88 кг $\text{CO}_2/\text{га}$. Для верховых болот при среднем ежегодном вертикальном приросте торфяного слоя $h = 0,74 \text{ мм}$ [10] общий сток в болотные воды составил 2,52 кг $\text{CO}_2/\text{га}$.

Сток диоксида углерода в воды естественного низинного болота составил 0,251 кг $\text{CO}_2/\text{м}^3$, верхового болота – 0,332 кг $\text{CO}_2/\text{м}^3$.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Ежегодный сток диоксида углерода в воды верховых болот выше, чем низинных.
2. Ежегодные средние показатели стока диоксида углерода в воды низинных болот со-

ставили 0,88 кг СО₂/га в год, верховых – 2,52 кг СО₂/га в год.

3. Средние показатели стока диоксида углерода в болотные воды низинного торфяника составили 0,251 кг СО₂/м³, верхового – 0,332 кг СО₂/м³.

Л и т е р а т у р а

1. Иванов К. Е. Гидрология болот. Л., 1953.
2. Крайко В. М. Состав торфяно-болотных вод и методы их очистки при освоении торфяных месторождений: Дис. ... канд. техн. наук. Мин., 1985.
3. Ларгин И. Ф., Пальмин И. А. Ненастьева Г. В., Зеленая О. А. Исследование химического состава и свойств вод стока с разрабатываемого торфяного месторождения верхового типа // Торф. промстность. 1976. № 11. С. 8–10.
4. Лиштван И. И., Базин Е. Г., Косов В. И. Физические свойства торфа и торфяных залежей. Мин., 1985.
5. Лиштван И. И., Быстрая А. В., Гращенко В. М. и др. Влияние геоморфологического фактора на химический состав торфяно-болотных вод // Весці АН БССР. Сер. хім. наук. 1983. № 1. С. 90–94.
6. Лиштван И. И., Быстрая А. В., Гращенко В. М. и др. Результаты изучения изменений качественных характеристик воды в процессе проведения осушительных мелиораций торфяных месторождений // Проблемы Полесья. 1981. № 7. С. 134–159.
7. Лиштван И. И., Быстрая А. В., Гращенко В. М. Вынос химических элементов с дренажным стоком на торфяных почвах // Физические основы торфяного производства. Калинин, 1982. С. 24–28.
8. Лиштван И. И., Король Н. Т. Основные свойства торфа и методы их определения. Мин., 1975.
9. Пичугин А. В. Торфяные месторождения. М., 1967.
10. Ракович В. А. Количественная оценка трансформации фитомассы в торф на болотах различного генезиса. // Природопользование. Мин., 2008. Вып. 14. С. 97–103.
11. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Л., 1997.
12. Скрынникова И. Н. Почвенные процессы в оккультуренных торфяных почвах. М., 1961.
13. Справочник гидролога / Под ред. М. Е. Альтовского. М., 1962.
14. Тюремнов С. Н. Торфяные месторождения. М., 1976.
15. Указания по изучению и определению выноса минеральных, органических веществ и ядохимикатов дренажными и грунтовыми водами с мелиорируемых земель / А. В. Быстрая, В. С. Брезгунов, О. В. Кадацкая и др. Мин., 1980.

V. A. Rakovich

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЕЖЕГОДНОГО ПОСТУПЛЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ВОДУ ЕСТЕСТВЕННЫХ БОЛОТ

Оценено ежегодное поглощение диоксида углерода болотными водами торфяных залежей различных типов. Показано, что ежегодный сток диоксида углерода в воды верховых болот выше, чем низинных.

Для низинных болот при среднем ежегодном вертикальном приросте торфяного слоя $h = 0,34$ мм общий сток в болотные воды составил 0,88 кг СО₂/га в год, для верховых болот при среднем ежегодном вертикальном приросте торфяного слоя $h = 0,74$ мм – 2,52 кг СО₂/га в год.

Установлено, что средние показатели стока диоксида углерода в болотные воды низинного торфяника составили 0,251 кг СО₂/м³, верхового – 0,332 кг СО₂/м³.

V. A. Rakovich

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF ANNUAL CARBON DIOXIDE INCOME INTO NATURAL MIRES WATER

An annual carbon dioxide absorption by mire waters of peat deposits of various types has been assessed. It has been shown that annual carbon dioxide sink into raised mires is higher than into fens.

For fens at average annual increase of peat layer $h = 0,34$ mm common fen water was 0,88 kg CO₂/ha per year. For high bogs at average annual vertical growth of peat layer $h = 0,74$ mm – 2,52 kg CO₂/ha per year.

It was found that mean indices of dioxide carbon sink into bog water of a fen was 0,251 kg CO₂/m³, a high one – 0,332 kg CO₂/m³.

Б. В. Курзо

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ САПРОПЕЛЯ НА ЗАПАДЕ ПОЛЕСЬЯ

Приведен сравнительный анализ особенностей накопления и вещественного состава сапропеля Брестской области Беларуси и Волынской области Украины. В силу сложившихся природных условий озера южной области отличаются большей заиленностью. По причине усиленного грунтового питания в сапропеле водоемов западной части Украины концентрируется больше микрэлементов, оксидов кальция и серы.

Западная часть Полесья характеризуется повышенной озерностью. Здесь расположено около 300 водоемов различной площади, сформировавших запасы озерных отложений. Поэтому в последней четверти прошлого века они активно изучались на сапропель, а на отдельных объектах производилась его добыча для использования в качестве удобрения. Целенаправленные геологоразведочные работы по поиску и оценке ресурсов озерного сапропеля в Полесье начаты в Беларуси в 1975 г. За прошедший период получены новые данные о запасах, стратиграфии, химическом и биологическом составе сапропеля более 660 озер, по фондовым материалам разведки торфяных месторождений подсчитаны запасы сапропеля на торфяных месторождениях в целом и на выработанных торфоучастках, выполнены детальные геологоразведочные работы на 70 перспективных для освоения месторождениях.

Изучение запасов сапропеля в Украине проводится с 1980 г. За это время разведано более 230 месторождений. Наибольшее количество месторождений с промышленными запасами озерных отложений выявлено в Волынской области – 191 [4]. Большой объем исследований по изучению озерных осадков в южных районах Беларуси и Волынской области Украины позволяет использовать полученные данные для анализа условий сапропеленакопления на смежных территориях западной части Полесья и установить местные особенности осадкообразования.

Брестская область расположена на юго-западе Беларуси и занимает площадь 32,3 тыс. км². Территория представляет собой однообразную равнину с отдельными слабоприподнятыми грядами, сменяющимися широкими понижениями, часто занятymi озерами. Местами встречаются приподнятые на 10–15 м стлаженные моренные холмы и песчаные грядово-буристые комплексы [3]. Средние многолетние данные показывают, что осадков здесь выпадает около 500 мм за год. Почвообразующими породами являются водно-ледниковые супеси, древнеаллювиальные пески, торф низинного типа и в меньшей степени донно-моренные суглинки. Основные почвы – дерново-

подзолистые заболоченные, торфяно-болотные, реже встречаются дерновые и дерново-карбонатные. Уклоны рек малы (0,05–0,2 %). Многие озера дренированы мелиоративными каналами, что увеличило их проточность.

Волынская область находится на крайнем северо-западе Украины и занимает площадь 20,2 тыс. км². Почти 75 % территории области лежит в пределах Полесской низменности, а ее заболоченность составляет 7 %. Еще 32 % занято лесом. Остальная часть области относится к лесостепному району. На севере области расположено наибольшее количество озер Украины.

Если сравнивать природные условия Брестской и Волынской областей, то необходимо отметить некоторые черты сходства – повышенную заболоченность многих водосборов озер, наличие крупных озер-разливов полесского типа, сильно заболоченных водоемов, незначительных по площади озер карстового происхождения, распространенных в области неглубокого залегания трещиноватых мергельно-меловых пород. Главным отличием природной обстановки двух областей можно назвать уменьшение радиационного индекса сухости при движении от северных районов Брестской области к югу Волынской. Если на широте 52°30' (центр Брестской области) возможность испарения приблизительно соответствует количеству выпавших осадков, то на юге Волынской области $K < 1$, что приводит к увеличению доли подземного питания в водном балансе озер. Последний тип питания является здесь для большинства озер основным.

Различия в природной обстановке соседних областей влияют на гидрохимические характеристики водной массы рек и озер. Согласно гидрохимической зональности поверхностных и грунтовых вод [1] на юг от лесной зоны в зоне лесостепей увеличивается общая минерализация и доля сульфатного иона в водном балансе. Хорошо иллюстрируют нарастание минерализации вод в разные периоды гидрологического года на рассматриваемой территории комплексные карты основных характеристик местного стока европейской части бывшего СССР [2]. Так, в период зимней межени, когда в питании озер увеличивается

доля грунтовых вод, средняя минерализация речной воды на территории Брестской области по-всеместно составляет менее 300 мг/л, снижаясь на заболоченных участках до 100–150 мг/л. На

территории Волынской области происходит постепенное увеличение минерализации от 300 мг/л (граница с Беларусью) до 500 мг/л и более южнее линии Владимир-Волынский – Луцк (рис. 1).



Рис. 1. Минерализация местного стока и общее количество солей, выносимых водотоками на территории Брестской и Волынской областей

Возрастание минерализации происходит в основном за счет увеличения концентрации ионов кальция и гидрокарбонатных ионов. Общее количество растворенных солей, выносимых водотоками в Брестской области, изменяется от 5 т/км² на востоке до 10–20 т/км² в центре и 20–30 т/км² на западе. В Волынской области на западной половине территории вынос растворимых солей с 1 км² составляет более 30 т. Отличия в гидрохимических характеристиках питающих озера грунтовых и поверхностных вод обуславливают различия в массо- и энергообмене между водо-

сборными пространствами, включая подземные водосборы, и озерами, что приводит к заметным изменениям в скорости накопления озерных осадков и вещественном составе сапропеля в пределах исследованных территорий.

Необходимо отметить сравнительно хорошую изученность озер Брестской области на сапропель – неизученными остались только самые малые по площади водоемы (табл. 1). На Волынщине, наоборот, вне исследований осталось несколько крупных озер, расположенных в заказниках.

Таблица 1. Изученность озер Брестской и Волынской областей на сапропель

Область	Количество учтенных озер			Площадь, га		
	всего	в т. ч. разведанных	не изучено	всего	в т. ч. разведанных	не изучено
Брестская	98	51	47	10105	9118	987
Волынская	196	191	5	13956	9514	4442

Волынская область отличается хорошей разведанностью ресурсов сапропеля по самой высокой категории А, что соответствует детальным работам (табл. 2). Запасы сапропеля, изученного по категории А на территории Волынской области, более чем в три раза больше, чем на территории Брестской области. Поисково-оценочные работы также в большем объеме проведены на Украине, где в районах Волынской области по категории С₂ изучено 115 озер, в которых на площади 4429 га выявлены запасы сапропеля более 27,8 млн т. На смежной белорусской территории по категории С₂ исследовано 38 озер на площади 8473 га и разведано около 16,4 млн т сапропеля.

По прогнозу в 47 неисследованных озерах Брестской области, отличающихся малой пло-

щадью, сосредоточено около 3 млн т озерных отложений, а в 5 крупных озерах заповедных территорий Волынской области – около 19 млн т. Соотношение разведанных запасов и прогнозных ресурсов сапропеля Брестской и Волынской областей наглядно иллюстрирует рис. 2.

Располагаясь в зоне более молодого рельефа, озера Брестской области имеют в целом увеличенную среднюю глубину воды. Озера Волынской области характеризуются повышенными продукционными возможностями по сравнению с озерами, расположенным севернее. Это является причиной накопления в них более мощных залежей сапропеля, средняя глубина которых составляет свыше 4 м (табл. 3). На рассматриваемой территории Беларуси средняя мощность сапропеля равна 3,4 м.

Таблица 2. Разведанные геологические запасы сапропеля

Область	Категория оценки запасов А				Категория оценки запасов С ₂			
	кол-во озер	площадь, га	объем, тыс. м ³	запас, тыс. т	кол-во озер	площадь, га	объем, тыс. м ³	запас, тыс. т
Брестская	13	649	42 363	12 562	38	8 473	74 892	16 462
Волынская	76	5 084		42 110	115	4 429		27 877

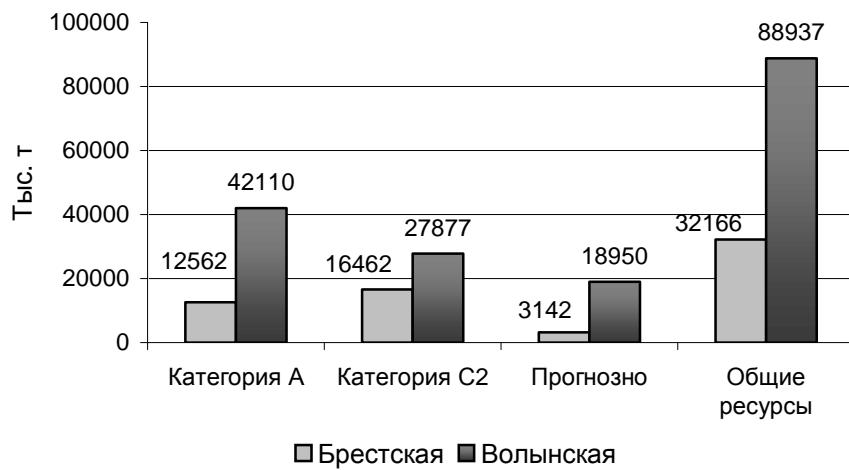


Рис. 2. Соотношение разведанных запасов и прогнозных ресурсов сапропеля Брестской и Волынской областей

Таблица 3. Средняя глубина воды, мощность сапропеля и распределение озер по степени заиленности

Область	Средняя глубина, м		Заиленность озер			
	вода	сапропель	очень малая, < 25 %	малая, 26–50 %	повышенная, 51–75 %	высокая, > 75 %
Брестская	2,5	3,4	7 14	14 28	15 29	15 29
Волынская	2,3	4,04	–	43 22	78 41	70 37

Примечание: в числителе – количество озер, в знаменателе – % от разведенных.

В Брестской области шестая часть озер имеет очень низкую заиленность котловин, которая составляет менее 25 % их объема. В эту группу входит большинство глубоких мезотрофных озер, а также озерные водоемы среди переходных болот, где биопродукционные процессы находятся на низком уровне. Следует подчеркнуть, что озера с повышенной и высокой заиленностью в Волынской области заметно преобладают.

Типологический состав донных отложений сравниваемых областей, отражая природную обстановку, имеет следующие закономерности формирования: приблизительно одинаковое накопление органического сапропеля, некоторое увеличение ресурсов кремнеземистого в Волынской области, заметное преобладание карбонатного и особенно смешанного сапропеля на укра-

инской территории (рис. 3), что доказывает усиление роли грунтового питания в водном балансе здешних озер.

Типологическая структура разведанных запасов сапропеля характеризуется средним валовым составом (табл. 4). В донных отложениях Волынской области по причине большего проявления хемогенной составляющей в осадочном процессе повышено среднее содержание оксидов кальция и серы, тогда как в сапропеле Брестской области фиксируется больше общего азота, оксида железа и связанного с ним оксида фосфора.

Большинство исследованных микроэлементов, за исключением кобальта и ванадия, имеет тенденцию к повышенному концентрированию в сапропеле Волынской области (табл. 5), отражая влияние усиленного грунтового питания.

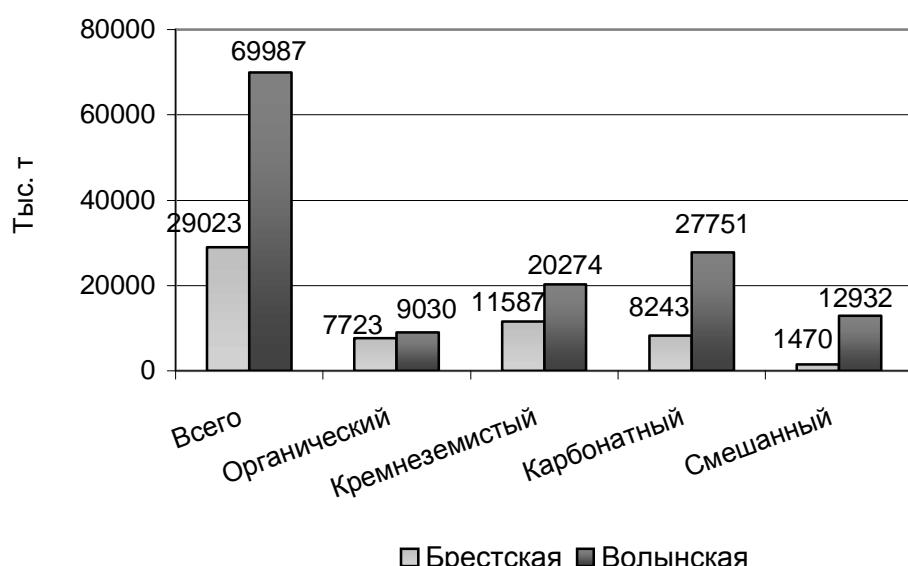


Рис. 3. Типологический состав озерного сапропеля

Таблица 4. Содержание некоторых типологических элементов в сапропеле, % сухого вещества

Область	Зольность	CaO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	P ₂ O ₅	N _{общ.}	pH, ед.
Брестская	8,3–80,3 41,6	0,5–28,4 7,4	0,5–18,5 4,9	0,1–3,1 1,03	0,1–2,3 0,7	1,3–4,0 2,5	5,1–7,9 6,6
Волынская	13–84,6 38,2	0,8–46,7 11,4	0,1–13,8 2,8	0,1–5,8 2,7	0,02–1,4 0,4	0,3–4,7 2,1	4,9–8,6 6,9

Примечание: в числителе – пределы изменения, в знаменателе – среднее.

Таблица 5. Содержание микроэлементов в сапропеле, мг/кг сухого вещества

Область	Co	Ni	Cr	V	Cu	Zn	Pb	Mo
Брестская	7,0	10,3	14,1	14,9	9,8	71,5	8,9	1,9
Волынская [1]	4,3	13,3	19,9	4,9	80,2	74,8	47,6	5,6

Выводы

Сравнительный анализ условий формирования и вещественного состава сапропеля Брестской и Волынской областей показал, что в последней озера отличаются повышенной трофностью вод. В их водном балансе по причине сухости климата усиlena доля грунтового питания более минерализованными и жесткими водами, нежели на севере в Брестской области. Поэтому в озерах южной части исследованного региона

увеличены средняя мощность сапропеля и заиленность котловин по сравнению с более северным. Запасы карбонатного и смешанного органо-карбонатного сапропеля в Волынской области соответственно в 3 и 8 раз больше, чем в Брестской, что связано с усиленной ролью подземного питания озер на юге. В связи с этим концентрации большинства микроэлементов в сапропеле Волынской области выше, чем в озерных осадках Брестской.

Л и т е р а т у р а

1. Алекин О. А. Основы гидрохимии. Л., 1970.
2. Атлас гидрохимических характеристик местного стока Европейской территории СССР. Л., 1972.
3. Киселев В. Н. Белорусское Полесье. Мин., 1987.
4. Справочник ресурсов сапропеля Украины. Т. 1. Волынская область / Гл. ред. С. Г. Храпкин. Киев, 1994.

B. V. Kurzo

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ САПРОПЕЛЯ НА ЗАПАДЕ ПОЛЕСЬЯ

Приведены результаты исследования химического состава и мощности отложений сапропеля на западе белорусского и украинского Полесья в пределах Брестской и Волынской областей. Анализ полученного материала показал, что озера Волынской области отличаются повышенной трофностью вод. В водном балансе этих озер по причине сухости климата усиlena доля грунтового питания более минерализованными и жесткими водами, нежели в Брестской области. Поэтому в озерах южной части исследованного региона увеличены средняя мощность сапропеля и заиленность котловин. По причине усиленной роли подземного питания озер на юге запасы карбонатного и смешанного органо-карбонатного сапропеля в Волынской области соответственно в 3 и 8 раз больше, чем в Брестской. Повышенный приток подземных вод в водоемы Волынской области способствует увеличению концентрации в сапропеле таких микроэлементов, как никель, хром, медь, цинк, свинец, молибден, по сравнению с озерными осадками юго-запада Беларуси.

B. V. Kurzo

FEATURES OF FORMATION OF SAPROPEL IN THE WEST OF POLESYE

Results of research of a chemical composition and power of deposition of sapropel in the west of the Belarus and the Ukrainian Polesye within the Brest and Volynsk areas are given. The analysis of the received material has shown, that lakes in southern area differ with raised nutrient content waters. In water balance of lakes of the Volynsk area, due to dryness of a climate, the share of a soil food of more mineralized and hard water, than in the north in the Brest area is enforced. Therefore in lakes of a southern part of the investigated region an average capacity of sapropel and silting of basins, in comparison with more northern one is increased. Due to the strengthened role of underground nutrition of lakes in the south stocks carbonate and mixed organic-carbonate sapropel in the Volynsk area accordingly in 3 and 8 times higher, than in Brest. The raised inflow of underground waters to reservoirs of the Volynsk area promotes concentration increase in sapropel of such microelements, as nickel, chrome, copper, zinc, lead, molybdenum, in comparison with lake deposits of the southwest of Belarus.

Л. А. Кравчук

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ РЕКРЕАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ЛАНДШАФТНОГО КОМПЛЕКСА В ГОРОДАХ БЕЛАРУСИ

В статье обсуждаются подходы к оценке рекреационного потенциала ландшафтного комплекса в городах. Выявлена его структура в Витебске, Гродно, Минске, Могилеве, показан вклад естественных и культурных ландшафтов. На основании сведений о площадях объектов, их значении, уровне благоустройства, ландшафтно-экологических особенностях, а также о допустимых рекреационных нагрузках на ландшафты выполнена оценка рекреационного потенциала, сформулированы основные направления его повышения.

Одна из наиболее значимых функций природных ландшафтов в городах – рекреационная, поэтому эффективное, экологически обоснованное использование ландшафтно-рекреационного комплекса (ЛРК) для целей рекреации является ведущей задачей природопользования в городах.

Определения рекреации многообразны. Так, например, согласно [9], «Рекреация (от лат. *recreatio* – восстановление) – деятельность человека, направленная на восстановление и упрочение здоровья, физических и духовных сил, трудоспособности. Реализуется в период кратковременного и долговременного отдыха». В более общем понимании к рекреации относится любая деятельность, направленная на восстановление сил человека, которая может осуществляться как на территории его постоянного проживания, так и за ее пределами, в соответствии со стандартами социокультурной системы [1, 2]. Иногда к рекреации относят только формы отдыха вне места проживания человека (экскурсии, туризм, оздоровительный отдых), однако мы придерживаемся более широкого понимания данного термина, относящегося к рекреации и формы кратковременного отдыха населения в местах проживания.

Понятие «потенциал» (от лат. «potentia» – сила, мощность, возможность) широко используется в научном познании и достаточно часто применяется в геоэкологии, ландшафтоведении и экономической географии. «Потенциал – источники, возможности, средства, запасы, которые могут быть приведены в действие, использованы для решения какой-либо задачи, достижения определенной цели; возможности отдельного лица, общества, государства в определенной области (например, экономический потенциал)» [9]. Вопросы оценки потенциала ландшафтов (природно-территориального комплекса) достаточно активно изучались в 70–90 гг. прошлого столетия. Данная проблема актуальна и в настоящее время, о чем свидетельствует значительное число научных исследований. При этом потенциал ландшафта определяется как характеристика меры выполнения ландшафтом социально-экономических функций, отражающих степень возможного его участия в удовлетворении разнообразных потребностей общества [2]. При

оценке общего потенциала ландшафта, как правило, исследователи выделяют частные потенциалы, причем отмечается, что важной характеристикой потенциала ландшафта является не только совокупность природных ресурсов, но и наличие условий их использования, возможности восстановления и устойчивости структурно-функциональной основы. Поэтому часто в определениях географов в понятие «потенциал ландшафта» уже включены аспекты устойчивости, где под устойчивостью (толерантностью) понимается способность переносить внешние, в том числе антропогенные, воздействия без существенного изменения структуры и функционирования [1–4].

Рекреационный потенциал одними авторами понимается как «...степень способности природной территории оказывать на человека положительное физическое, психическое и социально-психологическое воздействие» [6]. Другие характеризуют его как совокупность не только природных, но и культурно-исторических и социально-экономических предпосылок для организации рекреационной деятельности на определенной территории. При этом отмечается, что рекреационный потенциал территории определяется его рекреационной емкостью [1].

Под рекреационным потенциалом ландшафтного комплекса города мы понимаем количество отдыхающих, которое способны принять естественные и культурные ландшафты (ландшафтно-рекреационные территории – ЛРТ), доступные для рекреационного использования, без ущерба для их структуры и функционирования.

В связи с этим можно сделать вывод, что рекреационный потенциал ландшафтного комплекса города (района, пригорода и др.) детерминируется:

1) физико-географическими и ландшафтно-экологическими особенностями городской территории – наличием в городе (пригороде) лесных массивов, водных объектов, лугов, благоустроенных ландшафтно-рекреационных объектов – парков, скверов, бульваров, озелененных территорий общественных центров; уровнем загрязнения среды;

2) рекреационной емкостью природных и преобразованных (культурных) ландшафтов го-

рода, которая зависит от устойчивости (толерантности) растительных сообществ к рекреации, рельефа местности, уровня благоустройства ЛРТ и их площади;

3) рекреационным значением ЛРТ (приближенность к местам локализации рекреационного спроса, доступность для рекреационного использования – наличие транспортного и пешеходного сообщения, отсутствие преград для использования).

Необходимо отметить, что активность рекреационного использования ЛРТ определяется прежде всего их привлекательностью для отдыхающих, которая во многом зависит от наличия развлекательной и обслуживающей подсистем, ландшафтно-архитектурной и культурно-исторической ценности, наличия водных объектов, ландшафтного и биологического разнообразия территории, доступного расположения в структуре города. Рекреационная привлекательность взаимосвязана с рекреационными предпочтениями, которые во многом носят психологический субъективный характер, так как зависят от возраста рекреантов, уровня их культуры (эстетической, экологической и др.), ориентации на определенные социокультурные ценности и установки.

Подходы к оценке рекреационного потенциала лесных территорий, как правило, заключаются в ранжировании их по степени привлекательности, комфорtnости и устойчивости. Например, согласно [8], при оценке рекреационного потенциала лесов по 29 показателям рассчитываются: коэффициент привлекательности (по размеру территории, ее конфигурации, декоративности насаждений, размеру деревьев, живописности; при этом принимается во внимание нарушенность леса, его замусоренность), коэффициент комфорtnости (учитывает рельеф, микроклиматические условия, состояние дорожно-тропиночной сети, доступность, расстояние до водоемов, приближенность населенных пунктов, уровень шума, загрязнения среды), коэффициент устойчивости (учитывает структуру напочвенного яруса, особенности почвенного покрова, уклон местности и др.). На основании данных коэффициентов проводится определение класса рекреационной ценности лесов. Этот подход при достаточно подробном анализе дает качественную оценку пригодности территорий для рекреации, однако не в полной мере может оценить достаточность их для удовлетворения рекреационного спроса.

Важнейшим показателем, определяющим рекреационный потенциал ландшафтного комплекса городов с учетом его устойчивости, является *предельно допустимая рекреационная нагрузка на ландшафты* – количество отдыхающих, одновременное присутствие которых на единице площади ландшафтно-рекреационного объекта за единицу времени не приводит к разрушению структуры ландшафта или необратимому изменению его функций [7].

Ранее проведенные исследования рекреационных нагрузок на различные ландшафты Бе-

ларуси и трансформации их под воздействием отдыхающих позволили дифференцировать ландшафты по уровню предельно допустимых нагрузок [7]. Как выявлено, допустимые нагрузки зависят от типа растительных сообществ, их возраста, бонитета, рельефа местности, уровня благоустройства территории. При этом наиболее высокой устойчивостью к рекреации обладают высоко благоустроенные ЛРТ (парки, сады, скверы, бульвары), в зависимости от уровня благоустройства допустимая рекреационная нагрузка для них варьирует от 25 до 100 чел./га (рекреационная нагрузка на пляжи значительно выше – от 75–100 чел./га на травяные до 1000 – на песчаные). Для лесо-, лугопарков, где высока доля естественных сообществ в структуре территории, данные показатели существенно ниже и оцениваются соответственно в 8–15 и 10–50 чел./га. Меньшее число отдыхающих могут принять без необратимой трансформации естественные луговые сообщества (5–7 чел./га – суходольные луга, 8–25 – пойменные). В лесах, в зависимости от типа лесного биогеоценоза, его возраста и бонитета, допустимое число отдыхающих может изменяться от 1 до 10 человек на 1 га. В пределах одного типа леса допустимая рекреационная нагрузка детерминируется возрастом лесообразующих пород. Практически для всех лесов I–II класса возраста она варьирует в пределах 1–3 чел./га, III–IV класса – 3–6. Наиболее устойчивыми являются высоковозрастные и высоко-бонитетные леса. По степени устойчивости к рекреационным нагрузкам лесные сообщества V–VI класса возраста распределяются следующим образом: дубравы (8–10 чел./га), березняки (6–9), осинники (7–8), ольшаники (4–5), ельники (3–4 чел./га). Данные показатели рассчитаны для условий пятичасовой ежедневной рекреационной активности в течение года. В пределах лесной формации допустимая нагрузка изменяется в зависимости от структуры напочвенного покрова, формирующего определенный тип леса. При понижении бонитета насаждений допустимые рекреационные нагрузки снижаются в среднем на 20 % для каждого класса. При уклоне рельефа на 8° показатели допустимой нагрузки уменьшаются на 20 %, при уклоне 9–35° – на 50 % [7].

Рекреационную емкость ландшафтно-рекреационного объекта (PE_o) возможно оценить как сумму произведений допустимой рекреационной нагрузки на входящие в его состав конкретные типы растительных сообществ и их площади:

$$PE_o = \sum_i^n (P_{H_i} \cdot S_i), \quad (1)$$

где P_{H_i} – допустимая рекреационная нагрузка на конкретное растительное сообщество определенного типа, чел./га; S_i – площадь растительного сообщества соответствующего типа, га; n – количество растительных сообществ в структуре объекта.

При оценке рекреационного потенциала ландшафтно-рекреационного комплекса города

(административного района, пригородной зоны) следует учитывать не только рекреационную емкость слагающих ее ландшафтов (объектов), но и доступность для рекреационного использования, эстетическую привлекательность, расположение вне зон интенсивного загрязнения среды, степень дигрессии. Поэтому для оценки рекреационного потенциала конкретной территории необходимо знание ее структурно-функциональной организации (статус объектов озеленения, уровень их благоустройства, местоположение, ландшафтно-экологические особенности местности, наличие транспортных коммуникаций, связывающих с участками рекреационного спроса – жилыми кварталами, объектами оздоровления, отсутствие препятствий для рекреационного использования).

Приведенные выше положения позволяют рассчитать рекреационный потенциал ландшафтно-рекреационного комплекса города (РП_{ЛРК}) как сумму рекреационной емкости объектов, доступных для рекреационного использования:

$$РП_{ЛРК} = РЕ_п + РЕ_с + РЕ_{отоц} + РЕ_б + РЕ_л + РЕ_{лп} + РЕ_р, \quad (2)$$

где РЕ_п, РЕ_с, РЕ_б, РЕ_{отоц}, РЕ_л, РЕ_{лп}, РЕ_р – суммарная рекреационная емкость соответственно парков, скверов (включая сады, скверы водно-зеленых систем), озелененных территорий общественных центров, бульваров, лесов, лесо-, лугопарков, резервных озелененных территорий.

С использованием данного подхода была выполнена оценка рекреационного потенциала ландшафтного комплекса некоторых городов Беларуси (Витебска, Гродно, Минска, Могилева), которая включала следующие этапы:

1) Выявление структуры ландшафтного комплекса каждого города, которое состояло из определения видов ландшафтно-рекреационных объектов, их площади, местоположения, статуса.

2) Определение возможности для рекреационного использования ЛРТ (благоустройство, доступность, уровень загрязнения среды).

3) Определение рекреационной емкости конкретных ЛРТ (с использованием данных о структуре растительных сообществ, возрасте, бонитете основных лесообразующих пород, стадиях дигрессии, уровне благоустройства, рельфе и допустимых рекреационных нагрузках на различные виды ландшафтов согласно [7]).

4) Определение рекреационного потенциала ландшафтного комплекса города с учетом рекреационной емкости слагающих ЛРТ, доступных для рекреационного использования.

Поскольку во многих городах ряд жилых районов находится в непосредственной близости к лесам и озелененным территориям нелесного типа (пойменные и суходольные луга), расположенным за пределами городской черты, и городским населением такие участки активно используются в повседневной кратковременной рекреации, в ряде случаев в оценке рекреационного по-

тенциала учитывались также рекреационные территории ближайшего пригорода, прилегающие непосредственно к городским жилым районам. С другой стороны, в ряде городов лесные массивы, входящие в городскую черту, находятся на значительном удалении от мест локализации рекреационного спроса (например, леса Сосненского лесничества в г. Минске) и их рекреационный потенциал не может быть полностью реализован при существующей городской инфраструктуре. Необходимо также отметить, что в городских условиях определенную рекреационную роль играют внутридворовые, придомовые озелененные территории (насаждения ограниченного пользования). В данной работе расчеты проведены лишь для озелененных территорий общего пользования.

Структура ландшафтно-рекреационного комплекса в Витебске, Гродно, Минске и Могилеве, приведена на рис. 1–4. На диаграммах отражены также резервные озелененные территории, которые согласно генеральным планам городов могут быть использованы для организации рекреационных объектов.

Процедура расчета рекреационного потенциала ландшафтного комплекса в городах на примере г. Витебска приведена в табл. 1 и 2.

Полученные данные показывают, что рекреационный потенциал ЛРК в обследованных городах достаточно сильно варьирует и определяется структурой и уровнем организации ЛРТ. Из табл. 3 видно, что благоустроенные объекты ландшафтного комплекса в городах имеют большую рекреационную емкость. Как видно из рис. 1–4, мало трансформированные естественные ландшафты в структуре городов занимают значительные площади, однако они более уязвимы для рекреации и, соответственно, могут принять меньшее число отдыхающих без экологического ущерба для экосистем. Это отнюдь не снижает их рекреационную ценность для горожан поскольку оздоровительное воздействие как на человека, так и на городскую среду, естественное разнообразие их значительно выше, чем культурных ландшафтов.

Вопрос оптимальности существующей структуры ЛРК для удовлетворения современного рекреационного спроса горожан возможно решить с использованием коэффициентов единовременной посещаемости (повседневной, еженедельной, годовой), которые рассчитываются на основании структуры рекреационной активности населения в городах [5, 7]. Однако данные коэффициенты были разработаны в 70-х годах прошлого столетия и не отражают специфику современной рекреационной активности городского населения. В настоящее время в связи с изменившимися социально-экономическими условиями и рекреационными предпочтениями эта проблема нуждается в детальном изучении географов и социологов.

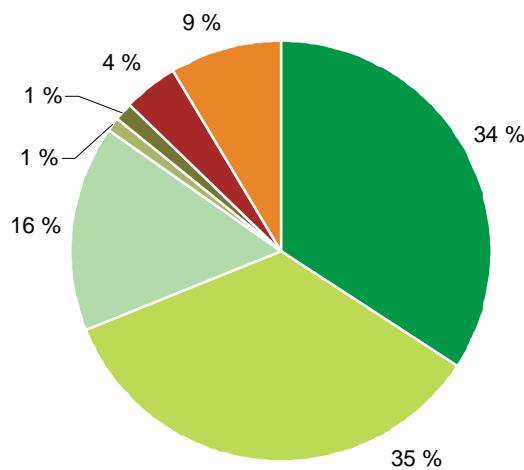


Рис. 1. Структура ландшафтно-рекреационного комплекса в г. Витебске
(см. условные обозначения к рис. 1–4)

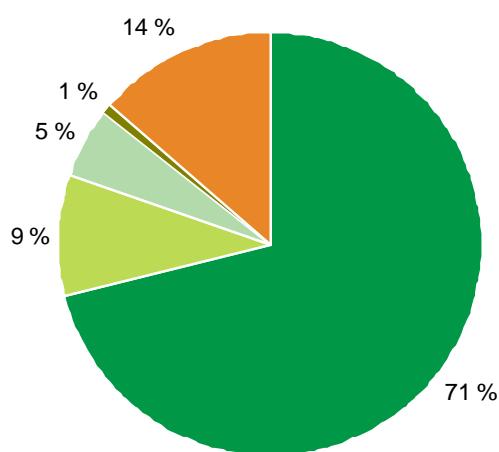


Рис. 2. Структура ландшафтно-рекреационного комплекса в г. Гродно

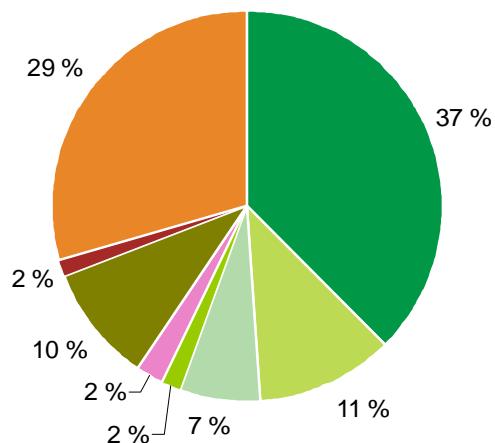


Рис. 3. Структура ландшафтно-рекреационного комплекса в г. Минске

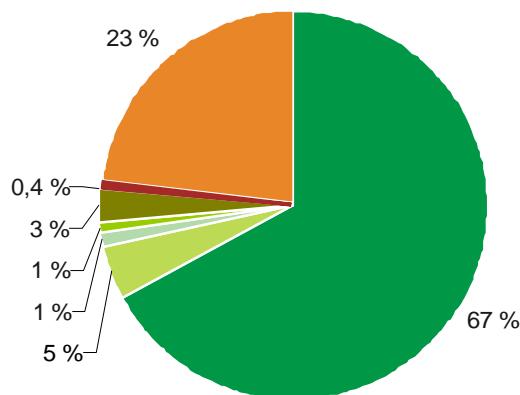


Рис. 4. Структура ландшафтно-рекреационного комплекса в г. Могилеве

█ леса, лесопарки █ парки	█ скверы █ сады	█ бульвары █ ВЗС	█ ОТОЦ █ РОТ
---	--	--	--

Условные обозначения к рис. 1–4:
 ВЗС – водно-зеленые системы, ОТОЦ – озелененные
 территории общественных центров, РОТ – резервные
 озелененные территории)

Таблица 1. Оценка рекреационного потенциала благоустроенных объектов* ландшафтного комплекса в г. Витебске

Наименование	Вид объекта	Уровень благоустройства	Площадь объекта, га	Допустимая нагрузка, чел./га	Рекреационная емкость, чел./день
<i>Парки:</i>					
им. М. Фрунзе	Парк	Высокий	12,1	50**	605
«Мазурин» (центральная часть)	- »»-	Средний	4,8	40	192
«Мазурин» (лесопарковая часть)	- »»-	Низкий	57,0	10**	570
им. 30-летия ВЛКСМ	- »»-	Низкий	4,6	25	115
Железнодорожников	- »»-	Низкий	2,5	25	63
им. 40-летия ВЛКСМ	- »»-	Средний	9,5	40	380
им. 1000-летия Витебска	- »»-	Низкий	13,8	25	345
<i>Бульвар Б. Хмельницкого</i>	Бульвар	Высокий	2,3	100	230
<i>Бульвар по ул. Кирова</i>	- »»-	Высокий	1,1	100	110
<i>Скверы:</i>					
у ресторана «Аврора»	Сквер	Высокий	0,5	100	50
по ул. Толстого у Ратуши	- »»-	Высокий	0,3	100	30
по ул. Маяковского	- »»-	Высокий	0,2	100	20
им. А. С. Пушкина	- »»-	Высокий	0,6	100	60
у памятника П. М. Машерову	- »»-	Высокий	0,2	100	20
на пл. Свободы	- »»-	Высокий	0,6	100	60
у памятника Воинам-интернационалистам	- »»-	Высокий	0,8	100	80
у кинотеатра «Беларусь»	- »»-	Высокий	0,7	100	70
на пл. Победы	- »»-	Высокий	4,9	100	490
на пл. 1000-летия Витебска	- »»-	Высокий	5,8	100	580
по ул. Калинина	- »»-	Высокий	7,4	100	740
по ул. Баумана	- »»-	Высокий	0,3	100	30
вблизи пл. В. И. Ленина	- »»-	Высокий	1,4	100	140
по ул. Короткевича	- »»-	Высокий	3,4	100	340
1812 года	- »»-	Высокий	1,4	100	140
по ул. Горовца	- »»-	Высокий	1,9	100	190
у Смоленского рынка	- »»-	Высокий	0,3	100	30
«Привокзальный»	- »»-	Высокий	0,7	100	70
по ул. Большевистской	- »»-	Средний	0,4	60	24
им. А. Гайдара	- »»-	Средний	0,3	60	18
по ул. Советской Армии	- »»-	Средний	0,1	60	6
им. М. Шагала (с Успенской горкой)	- »»-	Высокий	8,2	50**	410
по ул. Шмырева	- »»-	Средний	0,9	60	54
по ул. Космонавтов	- »»-	Средний	0,9	60	54
по ул. Буденного	- »»-	Средний	1,4	60	84
«Дружба»	- »»-	Высокий	1,1	100	110
по ул. Герцена	- »»-	Средний	0,9	60	54
по ул. Глинки	- »»-	Средний	0,6	60	36
по ул. М. Горького	- »»-	Высокий	0,4	100	40
у здания администрации Первомайского района	- »»-	Высокий	0,2	100	20
у ДК "Витебскдрев"	- »»-	Высокий	1,1	100	110
у Дворца Спорта	- »»-	Высокий	2,3	100	230
Озеленен. территор. у р. Зап. Двины (театр)	ВЗС	Высокий	1,5	100	150
<i>Озелененные территории общественных центров:</i>					
у КДЦ «КИМ»	ОТОЦ	Высокий	2,2	60	132
вблизи горисполкома	- »»-	Высокий	0,2	100	20
вблизи драмтеатра им. Я. Коласа	- »»-	Высокий	0,2	100	20
вблизи облисполкома	- »»-	Высокий	0,8	100	80
у гостиницы по ул. Правды	- »»-	Высокий	0,7	100	70
у здания администрации Октябрьского района	- »»-	Высокий			
			0,7	100	70
у гостиницы «Лучеса»	- »»-	Высокий	1,2	100	120
у кинотеатра «Бригантина»	- »»-	Высокий	0,4	100	40
у Гипроводхоза	- »»-	Высокий	0,2	100	20
у гостиницы «Витебск»	- »»-	Средний	0,9	60	54

Окончание табл. 1

Наименование	Вид объекта	Уровень благоустройства	Площадь объекта, га	Допустимая нагрузка, чел./га	Рекреационная емкость, чел./день
у здания Администрации Витебского района	- » »-	Высокий	0,1	100	10
вблизи универмага	- » »-	Высокий	0,2	100	20
у памятник Е. Лось	- » »-	Высокий	0,4	100	40
на Пролетарской площади	- » »-	Высокий	0,1	100	10
у Центрального спортивного комплекса	- » »-	Высокий	2,5	100	250
Рекреационный потенциал благоустроенных объектов					8106

*Доступных для рекреационного использования.

**С учетом рельефа территории (наличие крутых склонов)

Таблица 2. Оценка рекреационного потенциала лесов в пределах городской черты г. Витебска

Квартал леса	Выдел	Площадь выдела, га	Состав древостоя	Формация и тип леса	Класс возраста	Бонитет	Стадия деградации	Допустимая нагрузка, чел./га	Рекреационная емкость, чел.
82	6	0,7	10ОЛС	Сероольшаник кисличный	5	2	2	3	2
82	9	4	10ОЛС+С		5	2	2	3	12
			Ландшафтная поляна						
82	10	0,7	8ОЛС1ОЛЧ1С				1	7	5
82	16	1,1	8ОЛС1ОЛЧ1С		5	2	2	3	3
82	17	3,5	9ОЛС1ОЛЧ		5	2	2	3	11
82	11	0,4	9ОЛС1ОЛЧ+КЛ+Б+Е		3	2	1	1	1
82	13	1,1	10С+Д	Сосняк орляковый	3	1	2	2	2
82	15	1,1	9С1ОЛС		3	1	2	2	2
197	1	0,5	5Б3ОЛЧ1ОС1ОЛС	Березняк осоково-травяной	2	3	2	1	1
197	10	3,8	5Б2ОС1ОЛС2С+Е	Березняк черничный	5	1	1	6	23
197	2	1,7	6ОС1Б1ОЛС2Е	Осинник кисличный	5	1А	1	8	14
197	8	4,3	6ОС2ОЛС2Е+С+Б		5	1А	2	6	26
197	3	0,3	10С		3	1А	1	3	1
197	9	2,2	10С+Е	Сосняк мшистый	2	1	2	1	2
197	12	1,3	8С2Б		3	1	1	1	1
197	11	3,3	7С2Б1ОС		2	2	1	1	3
197	14	3	8С2Б+ОС		3	2	1	1	3
197	18	1,6	7С3Б		2	2	2	0,5	1
197	15	0,4	8С2Б		2	2	2	0,5	1
197	4	1,4	10С	Сосняк орляковый	2	1А	2	1	1
197	5	2,3	8С2Б+ОС+Е		4	1	2	2	5
197	7	2,7	6С4Б+Е		2	1	2	0,5	1
198	3	5,4	5Б2ОЛС2С1Д+Е	Березняк черничный	6	1	2	4	22
198	6	1,5	7Б2ОС1С+Е		5	1	2	5	8
198	9	1,3	5ОС2Б2ОЛС1С+Е	Осинник черничный	5	1	1	5	7
198	13	2,6	5ОЛС3Б2С	Сероольшаник таволговый	4	2	1	2	5
198	14	1,8	8С2ОЛС+Б		2	2	1	0,5	1
198	4	2	10С+Е	Сосняк мшистый	3	1	2	1	2
198	11	2,9	10С+ОС		3	1	1	1	3
198	10	2,9	10С+Б		3	2	2	0,5	1
198	12	7,7	7С3Б+ОС		2	2	2	0,5	4
198	2	1,8	8С2Б+ОС		3	1	1	3	5
198	7	5,5	8С2Б+Е	Сосняк черничный	3	1	2	2	11
198	1	0,9	5С1Е2Б2ОС+ОЛС		3	1	2	2	2
198	8	0,9	6ОЛЧ2Б1ОС1ОЛС+Е		5	1	1	2	2

С использованием данного подхода выполнена также оценка рекреационного потенциала ландшафтно-рекреационного комплекса Минска, Могилева и Гродно (табл. 3).

Таблица 3. Рекреационный потенциал ландшафтно-рекреационного комплекса в некоторых городах Беларуси

Город	Рекреационный потенциал, тыс. чел./день		
	Естественные ЛРТ (пригородные леса*)	Благоустроенные ЛРТ	Всего для города (с учетом близлежащих пригородных лесов)
Витебск	0,2 (2,6)	8,1	8,3 (10,7)
Гродно	0,6 (3,7)	5,7	6,3 (10,0)
Минск	8,6 (4,1)	116,8	125,4 (128,9)
Могилев	7,3 (3,2)	14,9	22,2 (25,4)

*Прилегающие к городской жилой застройке.

Учитывая особенности структуры ландшафтно-рекреационного комплекса в городах Беларуси, где доля относительно мало трансформированных естественных ландшафтов высока, можно сформулировать основные направления повышения (оптимизации) его рекреационного потенциала:

- формирование устойчивого ландшафтно-рекреационного комплекса, способного эффективно выполнять наряду с рекреацион-

ными, средоформирующие, средозащитные и природоохраные функции в условиях высоких антропогенных нагрузок с использованием ландшафтного планирования;

- организация сети рекреационных объектов соразмерной рекреационному спросу с учетом доступности, специфики рекреационной активности и перспектив развития города;
- развитие инфраструктуры рекреационных территорий, формирующей высокую рекреационную привлекательность и комфортность при минимизации воздействия на малоустойчивые ландшафты и максимальном сохранении их разнообразия;
- повышение доступности для населения (организация транспортных маршрутов, связывающих наиболее интересные объекты с местами повышенного рекреационного спроса; переходов от жилых массивов к ЛРТ, первоочередное благоустройство для рекреационных целей резервных озелененных территорий вблизи участков высокоплотной застройки).

При этом начальным этапом любого оптимизационного процесса должна служить предварительная объективная оценка сложившегося дефицита и потребности в рекреационных территориях в связи с перспективой развития городов и структурой рекреационного спроса современных горожан.

Л и т е р а т у р а

1. Кусков А. С., Голубева В. Л., Одинцова Т. Н. Рекреационная география. М., 2005.
2. Охрана ландшафтов: Словарь. М., 1982.
3. Потенциал геосистем и пути его реализации / Отв. ред. А. И. Щетников, В. В. Рюмин. Иркутск, 1989.
4. Природный комплекс большого города: ландшафтно-экологический анализ. М., 2000.
5. Проектирование территорий курортного назначения в условиях БССР. Нормативно-методические рекомендации. Мн., 1975.
6. Реймерс Н. Ф. Природопользование: Словарь-справочник. М., 1990.
7. Рекомендации по формированию рекреационных ландшафтов в условиях Белорусской ССР. Мн., 1984.
8. Рысин Л. П., Полякова Г. А. Влияние рекреационного лесопользования на растительность // Природные аспекты рекреационного использования леса. М., 1987. С. 4–26.
9. Советский энциклопедический словарь. М., 1980. С. 1058.

Л. А. Кравчук

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ РЕКРЕАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ЛАНДШАФТНОГО КОМПЛЕКСА В ГОРОДАХ БЕЛАРУСИ

Для целей экологически обоснованного рекреационного природопользования выявлена структура ландшафтно-рекреационного комплекса в некоторых городах Беларуси (Витебске, Гродно, Минске, Могилеве), показана доля естественных и культурных ландшафтов в его составе. Предложены подходы к оценке рекреационного потенциала, которые заключаются в расчетах рекреационной емкости территории ландшафтного комплекса, определении их благоустройства и доступности для рекреационного использования. Предложен алгоритм расчета рекреационного потенциала с учетом сведений о структуре естественных и культурных рекреаци-

онных территорий, а также данных о допустимых рекреационных нагрузках на различные ландшафты. Выполнена оценка рекреационного потенциала природного комплекса Витебска, Гродно, Минска, Могилева. Выявлено, что при более высоком участии естественных мало трансформированных ландшафтов в структуре ландшафтного комплекса их роль в обеспечении рекреационных потребностей горожан ниже, чем у культурных ландшафтов, что связано с более низкой устойчивостью к рекреационным нагрузкам. Сформулированы основные направления оптимизации рекреационного потенциала городских ландшафтов, а именно: формирование устойчивого ландшафтно-рекреационного комплекса, способного эффективно выполнять наряду с рекреационными, средоформирующие, средозащитные и природоохранные функции в условиях высоких антропогенных нагрузок; организация сети объектов соразмерной рекреационному спросу с учетом специфики рекреационной активности, перспектив развития города и доступности для использования; развитие инфраструктуры рекреационных территорий с минимизацией воздействия на малоустойчивые ландшафты и максимальным сохранением их разнообразия.

L. A. Kravchuk

APPROACHES TO THE ASSESSMENT OF RECREATIONAL POTENTIAL OF THE LANDSCAPE COMPLEX IN BELARUS CITIES

For the purposes of ecologically substantiated recreational nature management a structure of landscape-recreational complex in some cities of Belarus has been revealed (Vitebsk, Grodno, Minsk, Mogilev), and the share of natural and cultural landscapes in its structure has been shown. The approaches to the assessment of recreational potential have been proposed, which have calculations of recreational capacity of landscape complex territories, definition of their public services and amenities provision and accessibility for recreation use. The algorithm of recreation potential calculation has been proposed, with regard to data on permissible recreation loads on various landscapes. With the use of the proposed approaches an assessment of recreation potential of natural complex of Vitebsk, Grodno, Minsk, Mogilev has been carried out. It has been revealed that at higher share of natural little-transformed landscapes in the structure of a landscape complex their role in the provision of recreational demands of citizens is lower, than at cultural landscapes, what is due to lower resistance to recreational loads. Main trends of the optimization of recreation potential of cities landscapes have been formulated to form a stable landscape-recreational complex able of effective carrying out, along with recreational, environment-forming, environment-protective and nature protective functions in the conditions of high anthropogenic loads; arrangement in the net of objects a commensurable to recreational demand with regard to the specificity of recreation activity, a city development perspective and availability for use; development of infrastructure of recreation territories with minimization of effect on unstable landscape, their maximal diversity preservation.

Е. А. Сидорович, Н. М. Арабей, А. П. Яковлев, Г. И. Булавко

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ПРОДУКТИВНОСТИ НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ ЕЛОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ ВОКРУГ МИНСКА

Сравнительный анализ биопродукционного процесса в еловых фитоценозах, произрастающих вокруг Минска, выявил различную степень активизации процесса накопления фитомассы во всех структурных компонентах древостоя. Определена степень жизнеспособности еловых насаждений и показаны причины ее ослабления.

Еловые леса, составляющие около 10 % лесопокрытой площади Беларуси [8], являются важным объектом народнохозяйственного значения. Максимальное их использование требует знания запасов сырья в этих насаждениях для плановой организации его потребления. До недавнего времени ценной считалась только стволовая древесина, а такие части дерева, как сучья, хвоя, кора, попадали в отходы. Сейчас многие предприятия заинтересованы в производстве продукции из этих лесосечных остатков – это хвойно-витаминная мука, древесноволокнистые плиты и др.

В то же время в последние 2–3 десятилетия в республике отмечается заметное увеличение площадей усыхания еловых фитоценозов. Причины, вызывающие такое явление, трактуются разными исследователями неоднозначно. Это и климатические (температурный и водный режимы), и биологические (фитопатологические и энтомологические), и антропогенные (промышленное загрязнение, мелиорация, рекреация) факторы.

В связи с этим нами предпринята попытка определить надземную продуктивность и состояние еловых насаждений, произрастающих в окрестностях Минска, который в определенной степени воздействует на рост и развитие любого фитоценоза, в том числе елового.

Для реализации поставленной задачи на территории Минского лесспаркхоза и Минского лесхоза было заложено 14 пробных площадей (ПП). Это ельники кисличные, мшистые, черничные и орляковые, которые главным образом и формируют (около 90 %) типологическую структуру данной ассоциации [7]. Расположение ПП и их удаленность от центра Минска показаны на карте-схеме.

Закладку ПП осуществляли на основе общепринятых в республике методических принципов [1]. Размер их определялся минимальным числом деревьев, необходимым для получения статистически достоверных результатов, однако с таким расчетом, чтобы на пробе было не менее 200 деревьев преобладающей породы. Перечет древостоя выполняли по 2-сантиметровым ступеням толщины с диаметром дерева не менее 6 см.

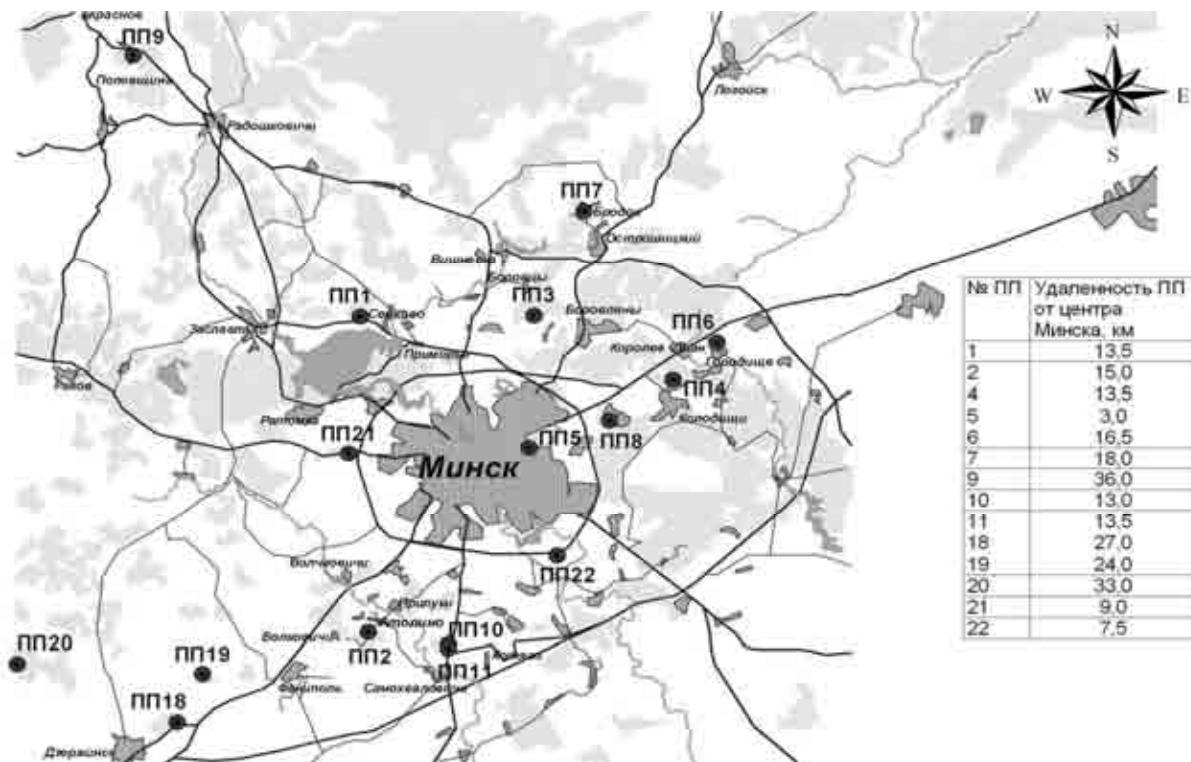
Замер высот проводили по ступеням толщины (по 2–3 дерева на каждую ступень) высотомером Макарова с последующим построением кривой высот.

Средний возраст древостоя определяли путем подсчета числа годичных колец на кернах, отобранных возрастным буравом у корневой шейки дерева, который вычислялся как среднедарифметическая величина с точностью до 5 лет. На основании проведенного перечета определяли основные таксационные показатели древостоя (средние диаметр и высоту, сумму площадей сечений, запас древостоя, класс бонитета, полноту), используя «Лесотаксационный справочник» [3].

Распределение по категориям состояния деревьев проводили по результатам подсчета количества деревьев, имеющих ту или иную степень изреженности кроны (вплоть до 100 %), с расчетом их процентных соотношений. Затем рассчитывали индексы санитарного состояния по А. Д. Карпенко [2] для общей оценки жизнеспособности насаждения.

Характеристика подроста и подлеска осуществлялась на основе их сплошного перечета в пределах учетных площадок 5×5 м, закладываемых на ПП в количестве 5 шт. (четыре по углам пробной площади и одна посередине). Определяли количество каждого из видов подроста и подлеска в тыс. шт./га и их средние высоты.

Учет фитомассы еловых древостояев выполняли по методике Л. Е. Родина и соавт. [5] путем валки модельных деревьев. После рубки средних модельных деревьев охвоенные ветви собирали и взвешивали. Из общего количества ветвей отбиралась $\frac{1}{10}$ их часть для последующей операции по определению биомассы конкретных фракционных составляющих. Обрывали всю хвою с разделением на многолетнюю и однолетнюю. Ветви сортировали на крупные (более 1 см в диаметре), мелкие и однолетние побеги. Все фракции взвешивали, полученные величины веса среднего модельного дерева умножали на количество стволов на пробной площади (без учета сухостоя), а затем на 1 га.



Карта-схема расположения пробных площадей

Известно, что основная часть фитомассы древостоя приходится на стволовую древесину, определение которой в полевых условиях – довольно трудоемкий процесс. Учитывая это обстоятельство, нами задействован метод определения запасов стволовой древесины по следующей методике. Модельное дерево раскряжевывалось на чурки с интервалом по высоте 2 м, где отбирались выпилы для последующего определения массы стволовой древесины и коры по следующей методике:

1. Масса фракции (древесины или коры) переводится на 1 см толщины спила: $m_{\text{фракции}}(\text{кг})/\text{толщина спила (см)}.$

2. Аппроксимация значений полиномом 2-й или 3-й степени:

$$m = f(h),$$

где h – высота взятия спила, см; m – масса соответствующей фракции на 1 см толщины спила, кг, причем $m_{\text{дерева}} = 0$. (Реализуется в Statistica 6.0);

3. От полученной функции берется интеграл

$$\int^h f(h)dh,$$

где h – высота дерева, м, который и дает суммарную массу древесины и коры всего дерева (MathCAD).

Из таксационной характеристики еловых насаждений (табл. 1) видно, что они представлены I и I^a классами бонитета. Помимо главенст-

вующей породы в составе древостоя отмечены сосна обыкновенная, дуб черешчатый, береза повислая и осина обыкновенная.

Средний состав древостоя по всем типам ельников выглядит следующим образом: 8–10 Е до 2С1ДБОc. Из общего количества пробных площадей 50 % – чистые еловые древостои с единичной примесью вышеуказанных лиственных пород. Они обладают значительными (порядка 420–600 м³/га) запасами стволовой древесины, что соответствует среднестатистическим показателям для данных еловых древостоев Беларуси [4]. Основными показателями, определяющими биопродукционный потенциал древостоя, являются его возраст, диаметр и высота.

Распределение деревьев по категориям санитарного состояния свидетельствует (табл. 2), что количество здоровых экземпляров колеблется от 57 % (ПП 10) до 90 % (ПП 3), а ослабленных – от 4 % (ПП 2) до 28 % (ПП 5). Остальные экземплярыели обыкновенной в относительно равных пропорциях соответствовали последующим градациям их санитарного состояния, за исключением некоторых ельников кисличных и черничных, где сухостой составлял 10–16 % от общего количества деревьев (ПП 2, 9, 10, 18, 20). Полученные данные легли в основу определения общего санитарного состояния конкретных еловых насаждений. Согласно расчету

Таблица 1. Таксационная характеристика еловых насаждений, произрастающих на территории Минского леспаркхоза и лесхоза

№№ ПП	Местонахождение объектов	Тип леса	Состав древостоя	Воз- раст, лет	Бони- тет	Пол- нота	Средние		Сумма площадей сечения, м ² /га	Запас, м ³ /га	Количество деревьев, шт./га
							D, см	H, м			
1	Ждановичское л-во, кв.12	Е. кисличный	8Е1Б1С+Д.Ос	55	I ^a	0,97	27,0	25,0	36,70	428,7	620
2	Минское л-во, кв.77	Е. кисличный	9Е1Д+С	60	I ^a	1,20	30,0	28,0	48,73	630,0	665
4	Колодищанское л-во, кв.62	Е. мшистый	9Е1С	70	I	1,18	27,0	25,0	44,68	512,6	730
5	ЦБС НАН Беларусь	Е. мшистый	10Еед.Кл	75	I	0,90	27,0	26,0	34,05	421,2	660
6	Колодищанское л-во, кв.30	Е. мшистый	10Е+С	75	I	1,13	28,0	26,0	40,81	613,0	870
7	Острошицкое л-во, кв.13	Е. мшистый	9Е1С	80	I	1,00	30,0	27,0	40,52	525,0	710
9	Молодечненский лесхоз Красненское л-во	Е. кисличный	10Е+С.Б.ед.Д	60	I ^a	1,07	30,0	28,0	40,59	472,9	825
10	Кайковское л-во, кв.165	Е. черничный	9Е1Ос.ед.Б	60	I	1,00	25,0	22,0	34,77	364,0	740
11	Кайковское л-во, кв.165	Е. орляковый	10Е	60	I	1,19	26,0	22,0	41,58	433,2	690
18	Станьковское л-во, кв.16	Е. черничный	10Е+С	70	I	1,10	25,0	25,0	48,04	497,0	1165
19	Путчинское л-во, кв.70	Е. кисличный	10Еед.С.Б.	60	Ia	1,00	26,0	25,0	44,28	476,4	850
20	Дзержинское л-во, кв.53	Е. кисличный	9Е1Б+Ос	50	Ia	1,07	24,0	23,0	44,12	453,5	1160
21	Минское л-во, кв.43	Е. кисличный	9Е1Ос.ед.Д	80	I	1,00	29,0	27,0	47,24	566,0	835
22	Городское л-во, кв.75	Е. мшистый	10Е+Ос.ед.С.Б	70	I	1,02	26,0	25,0	44,09	474,6	855

Таблица 2. Распределение деревьев по категориям санитарного состояния в еловых насаждениях Минского леспаркхоза и лесхоза

№№ ПП	Тип леса	Количество деревьев, шт./га	Категория состояния древостоя									
			здоровые		ослабленные		сильно ослабленные		отмирающие		сухостой	
			шт./га	%	шт./га	%	шт./га	%	шт./га	%	шт./га	%
1	Е.кисличный	620	475	76,7	85	13,7	15	2,4	30	4,8	15	2,4
2	Е.кисличный	655	520	78,2	30	4,5	15	2,2	35	5,3	65	9,8
4	Е.мшистый	730	580	79,5	120	15,4	30	4,1	—	—	—	—
5	Е.мшистый	660	405	61,4	185	28,0	40	6,1	10	1,5	20	3,0
6	Е.мшистый	850	750	88,2	63	7,4	6	0,7	25	3,0	6	0,7
7	Е.мшистый	710	630	88,7	60	8,5	10	1,4	—	—	10	1,4
9	Е.кисличный	825	620	75,2	40	4,8	20	2,4	20	2,4	125	15,2
10	Е.черничный	740	425	57,5	170	23,0	35	4,7	15	2,0	95	12,8
11	Е.орляковый	690	575	83,4	40	5,8	50	7,2	25	3,6	—	—
18	Е.черничный	1165	730	62,7	194	16,6	45	3,9	6	0,5	190	16,3
19	Е.кисличный	850	730	85,9	95	11,2	20	2,3	—	—	5	0,6
20	Е.кисличный	1160	810	69,8	140	12,1	50	4,3	25	2,2	135	11,6
21	Е.кисличный	835	625	74,8	95	11,4	75	9,0	—	—	40	4,8
22	Е.мшистый	855	520	60,8	190	22,2	85	9,9	6	0,7	55	6,4

величины индекса жизнеспособность исследуемых фитоценозов можно считать удовлетворительной (табл. 3). Из 14 ПП половина относится к категории «здоровых» (индекс состояния варьирует в пределах 1,18–1,43). Остальные квалифицируются как «ослабленные». Предполагаемая причина ослабления – поражение деревьев корневой губкой, раневыми гнилями и грибными заболеваниями.

Известно, что любые растительные комплексы, в том числе еловые, формирующиеся вблизи крупных городов и промышленных центров, испытывают определенное антропогенное воздействие, влияющее на их рост и развитие. Принято считать, что это влияние по мере удаления от границ источников загрязнения уменьшается, и состояние растительных объектов не претерпевает существенных изменений в ходе биопродукционного процесса. В то же время лесохозяйственная деятельность и рекреация (как один из компонентов антропогенного воздействия) оказывают определенное воздействие не только на функциональное состояние древесного яруса, но и на развитие конкретного фитоценоза в целом. Анализ современного состояния исследованных еловых насаждений показал, что на удалении 30–40 км от Минска некоторые из них

(ПП 9, 18, 20) квалифицируются как «ослабленные» (индекс состояния 1,7–1,9), в то время как вблизи города (7–12 км) аналогичные древостои попадают в категорию « здоровые » (ПП 1, 4, 8, 21). На наш взгляд, это противоречие обусловлено лесохозяйственными мероприятиями, проводимыми в лесничествах. Дело в том, что последние находятся в местах, примыкающих к зонам активного отдыха населения. Это обстоятельство накладывает определенную ответственность на работников лесного хозяйства в поддержании надлежащего порядка в данных лесах. Проводимые здесь своевременные санитарные рубки (удаление сухостоя и сильно ослабленных деревьев) ведут к тому, что многие таксационные показатели в значительной степени изменяются и в итоге древостой представляется как « здоровый », хотя, если бы не вмешательство человека, квалификация его санитарного состояния была бы, по-видимому, иной. Оценивая в общем состояние исследуемых еловых насаждений, можно сказать, что они достигли стадии спелости, о чем свидетельствуют высокий средний диаметр, большой запас древесины, а также пораженность деревьев древоразрушающими факторами.

Таблица 3. Характеристика современного состояния еловых насаждений, произрастающих на территории Минского леспаркхоза и лесхоза (на основании расчета величин индексов по А. Д. Карпенко)

№№ ПП	Тип леса	Возраст, лет	Величина индекса	Состояние насаждения	Предполагаемая причина ослабления
1	Е. кисличный	55	1,43	Здоровое	Насаждение в прошлом ослабленное, пройденное выборочными санрубками
2	Е. кисличный	60	1,64	Ослабленное	Поражение окаймленным трутовиком, раневые гнили
4	Е. мшистый	70	1,25	Здоровое	–
5	Е. мшистый	75	1,57	Ослабленное	Поражение корневой губкой и осенним опенком
6	Е. мшистый	75	1,21	Здоровое	–
7	Е. мшистый	80	1,18	Здоровое	–
9	Е. кисличный	60	1,74	Ослабленное	Поражение окаймленным трутовиком, раневые гнили
10	Е. черничный	60	1,89	Ослабленное	Поражение корневой губкой
11	Е. орляковый	60	1,31	Здоровое	–
18	Е. черничный	70	1,90	Ослабленное	Поражение окаймленным трутовиком, корневой губкой
19	Е. кисличный	60	1,18	Здоровое	–
20	Е. кисличный	50	1,74	Ослабленное	Поражение корневой губкой, раневые гнили
21	Е. кисличный	80	1,49	Здоровое	–
22	Е. мшистый	70	1,66	Ослабленное	Поражение корневой губкой и осенним опенком

Высокая полнота древостоев отрицательно сказывается на естественном возобновлении ели. Согласно перечету подроста только на 4 ПП (2, 10, 11, 19) возобновление ели можно считать

вполне удовлетворительным (от 2 до 5 тыс. шт./га при средней высоте 0,7–1,0 м). На остальных пробных площадях оно или отсутствует, или представлено незначительным количеством эк-

земпляров. Главной причиной ослабления подроста является рекреационное воздействие (затаптывание всходов посетителями леса), а в насаждениях с высокой полнотой сомкнутости крон, несмотря на высокую теневыносливость ели, – угнетение верхними ярусами древостоя. В результате естественное возобновление или затруднено, или полностью отсутствует. В ельниках с высокой продуктивностью жизнеспособное возобновление другими породами, как правило, находится в угнетенном состоянии. Единично представлены дуб черешчатый, клен остролистный, иногда береза повислая и граб обыкновенный.

Подлесок данных ельников формируется в основном за счет рябины обыкновенной, крушины ломкой, лещины обыкновенной и бузины красной. Помимо этих видов растений в небольших количествах встречаются жимолость обыкновенная, бересклет бородавчатый и барбарис обыкновенный. Состояние подлеска удовлетворительное.

Определение биологической продуктивности лесных фитоценозов становится обязательным в лесоводственных исследованиях с целью получения достоверных данных, необходимых при планировании рационального использования лесных ресурсов в народном хозяйстве. Весовые оценки не только стволовой древесины, но и других фракций древостоя дают возможность выявить потенциальную их продуктивность, т.е. наибольшую фитомассу, которая может быть получена в данных экологических условиях.

В связи с этим данные перечета являются количественной базой для определения запасов фитомассы любого древостоя. Это особенно важно в условиях интенсивного ведения лесного хозяйства, где в результате проведения лесохозяйственных мероприятий многие таксационные показатели насаждения в значительной степени изменяются, что в итоге отражается на величине его естественного производственного потенциала. Вполне понятно, что небольшой размер ПП (0,16–0,20 га) не позволяет считать полученные в результате исследований данные о запасе фитомассы древостоя абсолютно достоверными, но для математического моделирования эти сведения могут быть использованы.

Для определения общей фитомассы древостоя, представляющего различные типы еловых насаждений, были задействованы модельные деревья, отвечающие среднетаксационным показателям непосредственно для каждого типа леса. В результате проделанной работы определены суммарная величина сырорастущей надземной фитомассы дерева, и его отдельные фракционные элементы (табл. 4). Полученные данные свидетельствуют о том, что общее накопление биопродукции определяется диаметром, высотой и возрастом дерева. В этом плане показателен пример ельников кисличных (ПП 1 и

ПП 21), где суммарная весовая величина сырорастущей надземной фитомассы модельных деревьев различается на 377 кг (470 кг против 847 кг), или почти на 50 %. Распределение фитомассы по фракционному составу показало, что основная ее часть (71,8 %) приходится на стволовую древесину, а доля коры, ветвей крупных и мелких, хвои многолетней и однолетней, побегов однолетних составляет в среднем соответственно 7,5; 7,1; 3,6; 8,2; 1,5 и 0,3 %. Исключение – модельные деревья на ПП 7 и 9, где фитомасса некоторых фракций (ветви крупные и мелкие, хвоя многолетняя) превышала указанные средние процентные величины.

Полученные весовые показатели отдельных компонентов модельных деревьев послужили основой для перерасчета их сырорастущей фитомассы на стандартную единицу площади (1 га) путем умножения на количество произрастающих здесь елей (без учета сухостойных деревьев). Накопление биомассы определенными структурными частями еловых древостоев на эту единицу площади вполне коррелирует с данными модельных деревьев, увеличивая их биомассу в абсолютных показателях (табл. 5) в зависимости от количества деревьев на 1 га.

Определение продуктивности еловых древостоев в пересчете на воздушно-сухую массу показало следующее. Различные фракционные части дерева имели неодинаковый процент потери влаги. На первом месте стоит хвоя однолетняя (усушка составляет в среднем 62 %), затем по мере убывания этого показателя следуют хвоя многолетняя (59 %), побеги однолетние (57 %), ветви мелкие (53 %), ветви крупные (48 %) и стволовая древесина (37 %). Итоговые данные о запасах воздушно-сухой массы (кг/га) еловых древостоев приведены в табл. 6.

Таким образом, в результате потери влаги общая фитомасса древостоя уменьшилась в среднем на 36,4 %. В конечном итоге абсолютные весовые величины надземной продукции в различных типах еловых насаждений колеблются от 150 т/га (ПП 1) до 410 т/га (ПП 21). Значительная амплитуда колебания данных значений обусловлена таксационными показателями, среди которых не последнее место занимают возраст древостоя и количество елей на единице площади. Отметим также, что минимальная потеря влаги стволовой древесиной по сравнению с другими фракциями позволила увеличить ее участие в формировании воздушно-сухой фитомассы в среднем на 4 %. В то же время доля остальных элементов уменьшилась. Максимальные потери (более 3 %) зафиксированы в хвое многолетней. Полученные данные по надземной фитомассе в различных типах еловых фитоценозов вполне коррелируют с таковыми, полученными нами ранее в пределах Налибокской пущи [6].

Таблица 4. Фракционный состав сырорастущей надземной фитомассы модельных деревьев в еловых насаждениях Минского леспаркхоза и лесхоза

№ ПП	Тип леса	Диаметр дерева, см	Высота дерева, м	Фракции						Итого	
				СТВОЛ		ветви		хвоя			
				всего	в т.ч. кора	крупные	мелкие	многолет- няя	однолет- няя		
1	Е. кисличный	27	25	388,5 82,4	33,9 8,7	29,4 6,2	11,5 2,4	34,4 7,3	6,0 1,3	1,3 0,3 471,1 100	
2	Е. кисличный	30	28	431,0 80,0	34,2 7,9	37,4 7,0	12,9 2,4	45,9 8,5	9,8 1,8	1,8 0,3 538,8 100	
4	Е. мшистый	27	25	396,3 78,6	31,1 7,8	37,9 7,5	14,4 2,9	46,0 9,1	7,5 1,5	1,9 0,4 504,0 100	
5	Е. мшистый	27	26	578,4 82,2	45,2 7,8	48,5 6,9	26,6 3,8	38,8 5,5	9,6 1,4	1,7 0,2 703,6 100	
6	Е. мшистый	28	26	505,3 78,7	34,2 6,8	35,0 5,5	25,4 3,9	59,8 9,3	13,9 2,2	2,3 0,4 641,7 100	
7	Е. мшистый	30	27	514,6 75,6	34,1 6,6	71,5 10,5	37,6 5,5	46,4 6,8	8,7 1,3	2,0 0,3 680,8 100	
9	Е. кисличный	30	28	511,9 71,1	40,3 7,9	89,6 12,5	43,0 5,9	61,6 8,6	10,9 1,5	2,5 0,4 719,5 100	
10	Е. черничный	25	22	385,1 78,4	30,3 7,8	31,6 6,4	14,4 2,9	50,2 10,2	8,4 1,7	1,9 0,4 491,6 100	
11	Е. орляковый	26	22	533,3 86,2	37,7 7,1	23,7 3,8	11,4 1,8	42,6 6,9	6,5 1,1	1,4 0,2 618,9 100	
18	Е. черничный	25	25	499,1 76,3	31,8 6,4	50,4 7,7	31,3 4,8	58,6 9,0	12,3 1,9	1,9 0,3 653,6 100	
19	Е. кисличный	26	25	421,4 86,1	31,6 7,5	20,4 4,2	12,9 2,6	28,2 5,8	5,4 1,1	1,1 0,2 489,4 100	
20	Е. кисличный	24	23	336,7 69,5	26,1 7,7	47,6 9,8	22,3 4,6	66,1 13,6	10,2 2,1	2,0 0,4 484,9 100	
21	Е. кисличный	29	27	690,1 81,5	57,0 8,2	50,2 5,9	35,2 4,2	62,1 7,3	8,0 0,9	1,4 0,2 847,0 100	
22	Е.мшистый	26	25	538,4 84,3	41,2 7,6	32,1 5,0	19,2 3,0	42,7 6,7	5,7 0,9	0,9 0,1 639,0 100	

Примечание: В числителе – продуктивность, кг, в знаменателе – %.

Таблица 5. Фракционный состав сырорастущей надземной фитомассы еловых древостоев Минского леспаркхоза и лесхоза

№ ПП	Тип леса	Фракции						Итого	
		ствол		ветви		хвоя			
		всего	в т.ч. кора	крупные	мелкие	многолетняя	однолетняя		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Е. кисличный	196 204 82,4	17 142 8,7	14 847 6,2	5 807 2,4	17 372 7,3	3 030 1,3	656 0,3	
2	Е. кисличный	221 945 80,0	17 594 7,9	19 261 7,0	6 643 2,4	23 638 8,5	5 047 1,8	927 0,3	
4	Е. мшистый	267 502 78,6	20 992 7,8	25 582 7,5	9 720 2,9	31 050 9,1	5 062 1,5	1 282 0,4	
5	Е. мшистый	361 578 82,2	28 230 7,8	30 312 6,9	16 624 3,8	24 250 5,5	6 000 1,4	1 062 0,2	
6	Е. мшистый	407 254 78,7	27 543 6,8	28 210 5,5	20 472 3,9	48 199 9,3	11 203 2,2	1 854 0,4	
7	Е. мшистый	344 807 75,6	22 871 6,6	47 905 10,5	25 192 5,5	31 088 6,8	5 829 1,3	1 340 0,3	
9	Е. мшистый	319 947 71,1	25 198 7,9	56 000 12,5	26 875 5,9	38 500 8,6	6 812 1,5	1 562 0,4	
10	Е. черничный	225 294 78,4	17 752 7,8	18 486 6,4	8 424 2,9	29 367 10,2	4 914 1,7	1 111 0,4	
11	Е. орляковый	367 967 86,2	26 019 7,1	16 353 3,8	7 866 1,8	29 394 6,9	4 485 1,1	966 0,2	
18	Е. черничный	464 218 76,3	29 605 6,4	46 872 7,7	29 109 4,8	54 498 9,0	11 439 1,9	1 767 0,3	
19	Е. кисличный	347 704 86,1	26 082 7,5	16 830 4,2	10 642 2,6	23 265 5,8	4 455 1,1	907 0,2	
20	Е. кисличный	303 023 69,5	23 487 7,7	42 840 9,8	20 070 4,6	59 490 13,6	9 180 2,1	1 800 0,4	
21	Е. кисличный	500 311 81,5	41 323 8,2	36 395 5,9	25 520 4,2	45 022 7,3	5 800 0,9	1 015 0,2	
22	Е. мшистый	411 359 84,3	31 504 7,6	24 524 5,0	14 669 3,0	32 623 6,7	4 355 0,9	688 0,1	
								488 218 100	

Примечание: Здесь и в табл. 6: в числителе – продуктивность, кг/га, в знаменателе - %.

Таблица 6. Фракционный состав воздушно-сухой надземной фитомассы еловых древостоев Минского леспаркхоза и лесхоза

№ ПП	Тип леса	Фракции						Итого	
		ствол		ветви		хвоя			
		всего	в т.ч. кора	крупные	мелкие	многолетняя	однолетняя		
1	Е. кисличный	131 653 87,0	14 948 11,3	8 613 5,7	2 729 1,8	6 949 4,6	1 121 0,7	289 0,2	151 354 100
2	Е. кисличный	149 813 87,0	15 553 10,4	9 823 5,7	2 791 1,6	7 801 4,5	1 666 1,0	380 0,2	172 274 100
4	Е. мшистый	174 679 85,8	18 809 10,1	13 303 6,5	3 694 1,8	9 936 4,9	1 569 0,8	474 0,2	203 655 100
5	Е. мшистый	254 125 87,5	25 125 9,9	15 762 5,4	7 814 2,7	9 943 3,4	2 280 0,8	468 0,2	290 392 100
6	Е. мшистый	285 485 85,8	25 147 8,8	14 951 4,5	9 417 2,8	18 316 5,5	3 809 1,2	760 0,2	332 738 100
7	Е. мшистый	237 917 80,5	20 904 8,7	25 869 8,8	13 932 4,7	14 611 4,9	2 448 0,9	670 0,2	295 447 100
9	Е. мшистый	212 125 77,8	22 250 10,5	29 120 10,7	12 631 4,6	15 785 5,8	2 589 0,9	578 0,2	272 828 100
10	Е. черничный	151 398 84,5	15 853 10,5	9 057 5,0	3 960 2,2	12 334 6,9	1 917 1,1	500 0,3	179 166 100
11	Е. орляковый	255 369 90,8	23 391 9,1	8 177 2,9	3 540 1,3	12 052 4,3	1 749 0,6	386 0,1	281 273 100
18	Е. черничный	331 452 83,5	26 970 8,1	24 472 6,2	13 972 3,5	22 344 5,6	4 063 1,0	760 0,2	397 063 100
19	Е. кисличный	238 177 90,3	23 265 9,8	8 752 3,3	5 215 2,0	9 306 3,5	1 838 0,7	390 0,1	263 678 100
20	Е. кисличный	208 350 78,0	20 880 10,0	21 420 8,0	9 232 3,5	23 796 8,9	3 490 1,3	810 0,3	267 098 100
21	Е. кисличный	358 223 87,2	36 612 10,2	18 562 4,5	11 994 2,9	19 360 4,7	2 146 0,6	426 0,1	410 711 100
22	Е. мшистый	282 604 89,0	28 039 9,9	12 753 4,0	6 895 2,2	13 376 4,2	1 655 0,5	317 0,1	317 600 100

Л и т е р а т у р а

1. Захаров В. К. Лесная таксация. М., 1961.
2. Карпенко А. Д. Оценка состояния древостоев, находящихся под воздействием промышленных эмиссий // Экология и защита леса. Л., 1981. С. 39–43.
3. Лесотаксационный справочник / Под общ. ред. В. К. Захарова. Мн., 1959.
4. Моисеенко Ф. П. Ход роста и товарности полных еловых насаждений БССР // Ботаника (исследования). Мн., 1963. Вып. 1. С. 57–62.
5. Родин Л. Е., Ремезов Н. П., Базилевич Н. И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л., 1969.
6. Эколого-фитоценотические исследования лесной растительности Налибокской пущи / А. В. Бойко и др.: Под общ. ред. Л. П. Смоляка. Мн., 1983.
7. Юркевич И. Д., Гельтман В. С. География, типология и районирование лесной растительности. Мн., 1965.
8. Юркевич И. Д., Голод Д. С., Адерихо В. С. Растительность Белоруссии, ее картографирование, охрана и использование. Мн., 1979.

Центральный ботанический сад НАН Беларуси

E. A. Сидорович, Н. М. Арабей, А. П. Яковлев, Г. И. Булавко

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ПРОДУКТИВНОСТИ НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ ЕЛОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ ВОКРУГ МИНСКА

Приведены результаты исследования состояния и надземной фитомассы еловых древостоев в различных типах леса данной ассоциации, произрастающих вокруг Минска. Даны таксационная характеристика 14 еловых насаждений и оценка их санитарного состояния. Определена общая надземная воздушно-сухая фитомасса древостоя, которая в зависимости от возраста, высоты, диаметра дерева и типа леса варьирует от 150 до 410 т/га. Наибольшей продуктивностью характеризуются ельники кисличные, наименьшей – ельники орляковые. Распределение фитомассы по фракционным частям свидетельствует, что основная часть (в среднем 75,5 %) приходится на стволовую древесину, а доля коры, ветвей крупных и мелких, хвои многолетней и однолетней, побегов однолетних составляет в среднем соответственно 9,8; 5,8; 2,7; 5,1; 0,9 и 0,2 %. Определена степень жизнеспособности еловых насаждений и показаны причины ее ослабления. Здоровые насаждения имеют индексы состояния, не превышающие 1,40, а ослабленные – 1,64–1,90.

E. A. Sidorovich, N. M. Arabei, A. P. Yakovlev, G. I. Bulavko

ASSESSMENT OF THE STATE AND PRODUCTIVITY OF THE ABOVE-GROUND PHYTOMASS OF SPRUCE TREE STANDS, GROWING AROUND MINSK

Investigation results of the state and above-ground phytomass of spruce tree stands in various wood types of the given association growing around Minsk city are given. The taxation characteristics of 14 spruce plantations and their sanitary state has been given. Total above-ground air-dry phytomass of the tree stand has been determined, which depending on the age, height, tree diameter and wood type varies from 150 t/ha to 410 t/ha. Phytomass distribution on fraction parts proves that basic part (75,5 % on an average) accounts for trunk timber, and the bark, big and small branches, needles perennial and one-year, one-year sprouts share comprises 9,8 %; 5,8; 2,7; 5,1; 0,9 and 0,2 % on an average correspondingly. The viability degree of spruce plantations has been determined and the reasons of their weakening have been shown. Healthy plantations have state indices not exceeding 1,40, whilst the weakened – 1,64–1,90.

В. В. Коляда, Ю. А. Шубская

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ АГРОЦЕНОЗОВ БЕЛАРУСИ В УСЛОВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

Представлены результаты анализа изменений состава и структуры посевных площадей, сроков проведения полевых работ и вегетации растений, динамики урожайности и валовых сборов сельскохозяйственных культур на территории Беларуси, которые произошли под воздействием или при участии наблюдающихся изменений климата.

В условиях современных изменений климата большой теоретический и практический интерес приобретают оценки их последствий для агроценозов Беларуси. Речь идет о выявлении тех структурно-функциональных изменений, которые произошли в них под воздействием или при участии изменившихся погодно-климатических условий и фиксируются по независимым данным, которые предоставляет в первую очередь статистический учет. В работе предпринята попытка оценить эти изменения с использованием данных Национального статистического комитета Республики Беларусь.

Проблема оценки наблюдающихся структурно-функциональных изменений связана с их многофакторностью. Как известно, конец 80-х – начало 90-х годов XX в. отмечены эпохальными событиями, которые во многом определили современный характер землепользования и сельского хозяйства Беларуси. К ним относятся прежде всего авария на Чернобыльской АЭС, распад СССР и объявление государственного суверенитета Республики Беларусь. В этом ряду событий находится и современное глобальное потепление.

Чернобыльская катастрофа 26 апреля 1986 г. вызвала широкомасштабное радиоактивное загрязнение земель, размеры которого изначально оценивались в 23 % территории Беларуси. Следствием аварии стали миграция населения, отчуждение и вывод из оборота обширных территорий, существенные ограничения при использовании загрязненных земель [2].

В результате распада СССР на постсоветском пространстве в числе 15 новых независимых государств появилась Республика Беларусь. Разрыв традиционных экономических связей и необходимость переориентации экономики на местные ресурсы вызвали фундаментальные изменения в земельных отношениях, привели к появлению новой категории землепользования – крестьянских (фермерских) хозяйств, потребовали существенной коррекции структуры сельскохозяйственного производства для обеспечения продовольственной безопасности страны.

Свой отпечаток на структуру и особенности ведения сельского хозяйства Беларуси наложило

потепление климата. Считается, что оно проявилось здесь, начиная с экстремально теплой зимы 1988/89 года. Поэтому при оценках изменения климатических и агроклиматических показателей за начало современного периода потепления часто принимаются эти годы [5, 11, 12].

Индикаторами структурно-функциональных изменений агроценозов выступают состав и структура посевных площадей, сроки проведения полевых работ и развития сельскохозяйственных культур, характер динамики урожайности и др. Выявление среди перечисленных событий (групп факторов) климатообусловленных изменений по каждому индикатору приобретает свою специфику.

В постсоветский период (с 1993 г.) в статистических публикациях появился новый вид зерновой культуры – тритикале. В этом пшенично-ржаном гибриде нашли удачное сочетание экологическая пластиность ржи с урожайностью и качеством пшеницы. Сегодня тритикале, главным образом озимая, является важнейшей фуражной и продовольственной культурой Беларуси, а в Гродненской области она стала ведущей зерновой культурой [2].

После 1986 г. в южных районах Беларуси начали увеличиваться площади озимого ячменя, посевы которого характерны для стран с мягкими зимами. Максимум (16,2 тыс. га) здесь пришелся на 1993 г., после чего по климатическим причинам произошло резкое сокращение посевов. Считается, что по мере создания холодостойких сортов посевы этой весьма перспективной для Беларуси культуры будут расширяться. Показательным здесь является опыт западноевропейских стран. Например, в ФРГ площади озимого ячменя за 27 лет (1950–1976 гг.) выросли более чем в 6 раз [3].

В настоящее время быстро восстанавливают свое полностью утраченное к началу 80-х годов XX в. традиционное присутствие в посевах южных регионов Беларуси такая ценная крупяная культура, как просо. Просо – весьма засухоустойчивая культура. Данное качество, а также способность меньше других зерновых культур накапливать радионуклиды, прежде всего стронций-90, делают его весьма перспективной для

юга Беларуси продовольственной и кормовой культурой [4].

В последние годы на полях страны резко выросли посевы кукурузы на зерно, которая по продуктивности превосходит другие зерновые культуры. Кукуруза играет стабилизирующую роль в производстве зернофуражка при засухе на ранних фазах вегетации (май–июнь), когда урожайность других культур заметно снижается. Ее достоинствами являются отсутствие полегания, возможность длительной уборки без потерь, низкое накопление радионуклидов. Вместе с тем кукурузное зерно бедно протеином, незаменимыми аминокислотами, минеральными веществами и витаминами и при скармливании эф-

ективно лишь в смеси с другими культурами [13].

Решение проблемы растительного белка связывают, прежде всего, с возделыванием зернобобовых культур. Среди них особое место отводится сое, которая необычайно богата белками и жирами и служит прекрасным дополнением к зерну при приготовлении полноценных кормов [14].

В условиях потепления на полях Беларуси появились либо расширили свое участие в посевах диплоидная рожь, пайза, чумиза, суданская трава, сорго-суданковые гибриды, амарант, галега восточная и другие культуры [6].

Определенные изменения произошли и в структуре посевных площадей Беларуси.

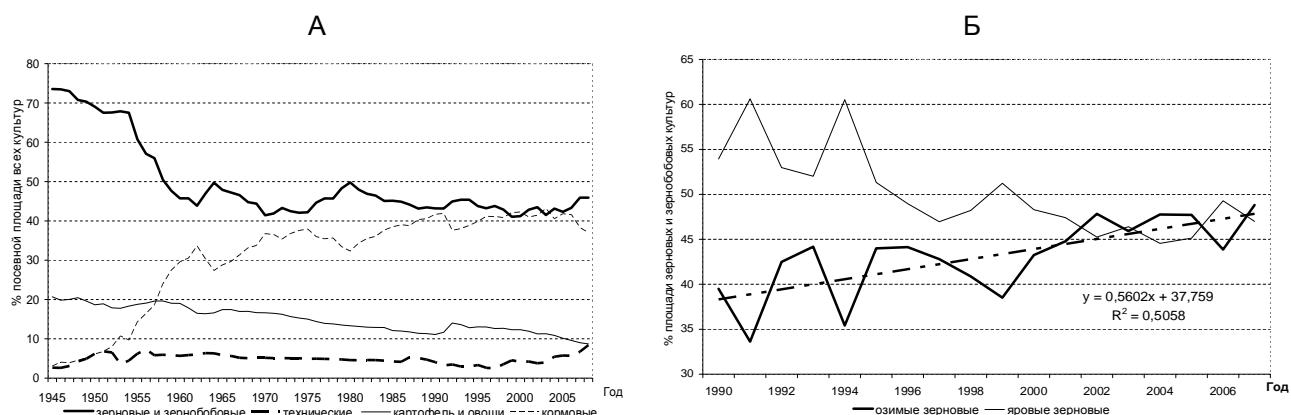


Рис. 1. Динамика структуры посевных площадей (А) во всех категориях хозяйств и (Б) в сельскохозяйственных и других организациях Беларуси

Для современного периода характерны довольно стабильные, близкие к паритетным соотношения между важнейшими группами зерновых и зернобобовых и кормовых культур. Некоторое снижение роли технических культур в начале периода завершилось подъемом, в результате которого их площади впервые за послевоенный период сравнялись с посадками картофеля и овощей (рис. 1 А).

Возрастание роли технических культур произошло за счет сахарной свеклы и особенно рапса при снижении значения льна-долгунца. Снижение его участия в структуре посевных площадей отражает системный кризис, переживаемый в современных условиях белорусским льноводством. Рост площадей сахарной свеклы и рапса был продиктован прежде всего необходимостью обеспечения перерабатывающей промышленности собственным сырьем. В отдельные годы расширение площадей сахарной свеклы было обусловлено возможностями увеличения экспорта сахара. Перспективы расширения посевов рапса связаны со становлением в Беларуси производства топлива из возобновляемых источников, что способствует сокращению ан-

трогенных выбросов в атмосферу парниковых газов, т. е. устранению самих причин потепления климата [7].

В современный период за счет хозяйств населения заметно выросли площади, занятые овощами. В самом начале периода произошло резкое увеличение в посевах доли картофеля, после чего началось медленное, но неуклонное ее снижение. Пик подъема пришелся на наиболее трудные годы кризиса и был вызван резким расширением площадей картофеля в хозяйствах населения в условиях их сокращения в общественном секторе. Как известно, динамика площадей картофеля является хорошим индикатором обострения продовольственных проблем, а данная культура признается в качестве эффективного средства их решения на международном уровне.

В группе кормовых культур до минимума снизили участие в посевах корнеплоды, а многолетние травы утратили быльную роль в результате расширения площадей однолетних трав и кукурузы на силос и зеленый корм.

Наиболее детальная информация о структуре посевных площадей имеется по видам зер-

новых и зернобобовых культур. В начале периода во всех без исключения регионах Беларуси доминировали яровой ячмень и озимая рожь. В Витебской и Могилевской областях особенно выделялся овес; заметным участием в посевах отличались зернобобовые и пшеница. В настоящее время ситуация качественно изменилась: появилось сразу четыре вида (ржь, ячмень, пшеница

и тритикале), сопоставимых по своей роли в посевах. Сохранили заметное участие в посевах овес и зернобобовые культуры. Существенно возросло, особенно в Гомельской, Брестской и Гродненской областях, значение кукурузы на зерно. Снизила, но сохраняет свое присутствие в посевах гречиха, появилось и укрепляет свои позиции просо (табл. 1).

Таблица 1. Структура посевных площадей зерновых и зернобобовых культур по административным областям Беларуси в 1990 (1) и 2007(2) гг., %

Культура	Административные области												Республика Беларусь	
	Витебская		Минская		Гродненская		Могилевская		Брестская		Гомельская			
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Рожь	28,2	27,6	33,0	20,2	33,7	13,3	37,2	24,4	37,1	22,8	42,0	33,1	34,8	23,2
Пшеница	8,7	21,8	5,4	14,2	3,1	19,8	4,6	15,9	4,2	16,2	3,6	10,7	5,1	16,1
Тритикале	—	4,8	—	17,3	—	27,1	—	14,6	—	22,5	—	13,2	—	16,9
Ячмень	39,9	31,6	43,7	32,3	41,0	24,9	35,8	26,8	38,1	18,9	32,2	15,3	38,9	25,6
Овес	17,6	8,9	10,0	6,9	11,4	5,0	18,3	11,3	9,6	7,0	15,6	14,3	13,7	8,7
Гречиха	0,0	0,1	1,4	0,7	1,4	0,5	0,1	0,4	1,2	0,3	0,0	0,4	0,7	0,4
Просо	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,4	0,1	0,3	0,1	0,8	0,0	1,0	0,0	0,5
Кукуруза	0,0	0,7	0,2	4,5	0,0	5,7	0,3	2,9	0,6	5,7	0,9	6,8	0,3	4,5
Зернобобовые	5,6	4,1	6,3	3,5	9,4	3,4	3,7	3,4	9,2	5,9	5,7	5,2	6,6	4,2
в т. ч. горох	3,9	0,3	4,4	0,6	5,6	0,3	2,7	0,5	4,3	0,6	3,1	0,5	4,0	0,5
вика	1,4	1,1	1,2	0,6	1,9	0,3	0,3	0,2	3,9	1,0	1,8	1,5	1,7	0,8

В результате видовое разнообразие посевов этой группы культур значительно возросло. Если в начале периода ячмень и рожь охватывали 73,6 % их площади, а вместе с овсом – 87,3 %, то в конце периода эти культуры занимали соответственно 48,8 и 57,5 % зернового клина. Еще более радикально изменилась ситуация в некоторых регионах. Например, в Гродненской области доля серых хлебов в посевах снизилась до 43,2 %, а по ячменю и озимой ржи – до 38,2 %. При этом повсеместно выросло значение пшеницы, тритикале и кукурузы. В Гродненской области их доля в зерновом клине вплотную приблизилась к 50 %.

Площади зернобобовых культур за рассматриваемый период повсеместно сократились ввиду относительно низкой их урожайности. Определенную роль также сыграло исключение этих культур из посевов на загрязненных землях в связи с высокими уровнями накопления радионуклидов. Существенные изменения произошли в видовом составе зернобобовых культур, на что указывают косвенные данные. Если в 1990 г. их основу составляли горох и вика (87 %), то в 2007 г. эти культуры занимали только 30,6 % посевов. Наряду с присутствовавшим ранее кормовым люпином широкое распространение получил люпин узколистный. Расширяются посевы сои, площади которой планируется довести к 2010 г.

до 45 тыс. га (около 13 % всех зернобобовых культур) [10].

Увеличение биологического разнообразия посевов сельскохозяйственных культур соответствует стратегии адаптивной интенсификации земледелия и способствует повышению устойчивости урожаев в условиях современных изменений климата [6].

Низкое плодородие почв длительное время не позволяло возделывать на территории Беларуси высокопродуктивные культуры, поэтому среди зерновых преобладали рожь и овес. Традиционными были ячмень и гречиха, ограниченно высевалась озимая и яровая пшеница. Вытеснению из посевов традиционных культур способствовало повышение плодородия почв, а также произошедшие геополитические изменения. К началу 1990-х годов в результате проведения агрохимических мероприятий во всех областях Беларуси появились значительные площади земель с оптимальными свойствами почв для возделывания пшеницы, а суворенное развитие потребовало увеличения сборов собственного высококачественного пшеничного зерна [3].

В период с 1990 по 2007 г. в зерновом клине Беларуси за счет снижения доли яровых возросла роль озимых культур (рис. 1 Б). Их преимуществом является наличие осеннего периода вегетации, который используется растениями для укоренения и кущения. Тем самым обеспе-

чиваются опережающее развитие озимых культур, лучшее использование весенних запасов влаги и питательных веществ, что в итоге способствует более высоким и стабильным урожаям. Озимые посевы в условиях потепления климата рассматриваются в качестве средства снижения последствий засухи и нарастающего дефицита влаги в вегетационный период [6].

Надежным индикатором климатических изменений являются сдвиги в сроках проведения полевых работ и фаз вегетации сельскохозяйст-

венных культур. Эти данные хотя и фиксируются в рамках агрометеорологических наблюдений, но по своему содержанию близки к статистическим. Величины сдвигов оценивались нами по материалам Белорусского гидрометеоцентра за 1986–2005 и 1951–1990 гг. как разность между средними значениями дат для важнейших сельскохозяйственных культур Беларуси при сопоставимой спелости сортов. Результаты полученных оценок представлены на рис. 2 и 3.

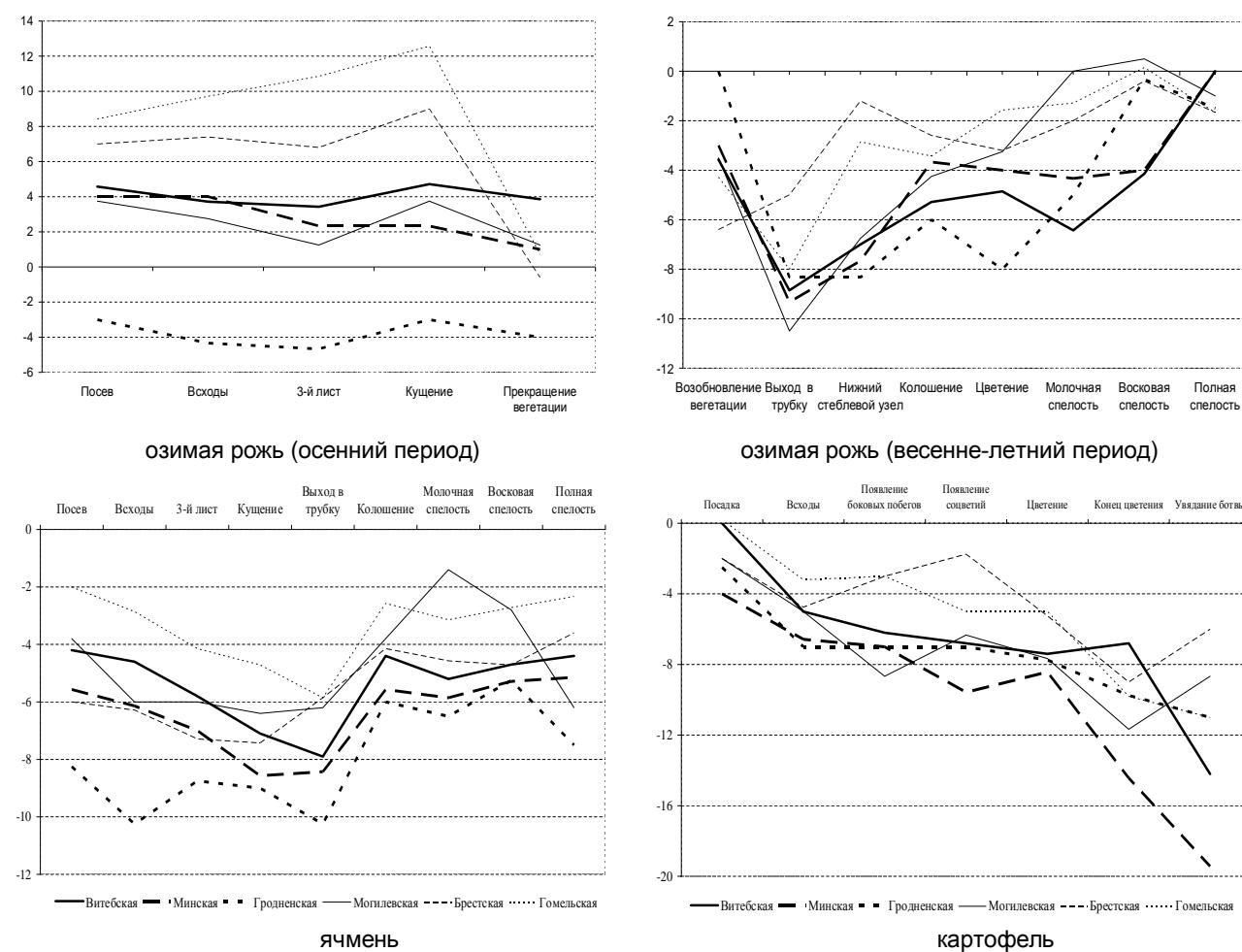


Рис. 2. Изменение фаз развития сельскохозяйственных культур по областям Беларуси за 1986–2005 гг. по сравнению с 1951–1990 гг., дни

Из рис. 2 видно, что сроки посева и всех фаз вегетации культивируемых среднеспелых и среднепоздних сортов озимой ржи в осенний период в большинстве областей Беларуси стали более поздними (положительные значения), а в Гродненской области они оказались более ранними (отрицательные значения). Максимальными положительными сдвигами характеризуются южные области (Гомельская и Брестская), где посев, всходы, 3-й лист и кущение наблюдались на

7–12 дней позже. В то же время сроки прекращения вегетации озимой ржи в южных регионах Беларуси практически не изменились. В остальных областях и прежде всего в северной Витебской области сдвиги по фазам менее значительны и более стабильны.

Изменения в сроках развития озимой ржи в период весенне-летней вегетации во всех регионах Беларуси направлены в сторону более ранних дат. Максимальные их величины во всех ре-

гионах характерны для выхода в трубку, а минимальные – для фаз спелости. Среди областей наибольшие изменения сроков возобновления вегетации наблюдаются в Брестской области, а наименьшие – в Гродненской. В целом минимальные сдвиги при прохождении фаз вегетации данной культурой присущи южным областям, к которым в фазе цветения присоединяется восточная Могилевская область. Максимальными сдвигами характеризуются западный, северный и центральный регионы (Гродненская, Витебская и Минская области).

Сроки развития среднеспелых сортов ярового ячменя по административным областям Беларуси от посева до полной спелости во всех регионах страны стали более ранними (рис. 2). Максимальными величинами изменений сроков развития во все фазы характеризуется западный регион (Гродненская область), а минимальными – юго-восточный и восточный регионы (Гомельская и Могилевская области).

Тенденция к нарастанию величины сдвигов от посадки до увядания ботвы в сторону более ранних сроков, которые по административным областям Беларуси составляют от 2 до 13 дней, отмечается у картофеля. Причем минимальные сдвиги характерны для южных регионов страны (Гомельская и Брестская области), а максимальные приурочены к ее центральному региону – Минской области. В фазе увядания ботвы величина сдвига здесь достигает 19 дней (рис. 2).

Ограниченные рамки статьи не позволили проиллюстрировать сдвиги в сроках развития других культур. Имевшиеся в нашем распоряжении сопоставимые данные для льна-долгунца лишь по четырем метеостанциям Беларуси говорят о сдвигах к более ранним срокам в его развитии в современный период. Величины сдвигов возрастают к концу вегетации (фаза ранней желтой спелости) и имеют заметные различия между северо-востоком и юго-западом страны.

Сроки развития кукурузы на силос и зеленый корм на территории Беларуси в современный период также стали более ранними. Однако в отличие от озимой ржи, ярового ячменя или льна, величины их сдвигов выражаются двузначными числами, а в сравнении с картофелем остаются довольно стабильными, изменяясь в пределах от 11 до 14 дней по фазам вегетации.

Территориальная структура изменений сроков для начальных и финальных фаз развития озимой ржи, ярового ячменя и картофеля под влиянием потепления представлена на рис. 3.

На изолинейных картограммах более темные тона характеризуют большие величины сдвигов. Лишь в осенний период вегетации ози-

мой ржи эти сдвиги носят положительный (более поздний) характер, а в весенне-летний период ее вегетации, а также у ярового ячменя и картофеля – отрицательный (более ранний).

В качестве индикатора изменений климата в земледелии наиболее широко используется динамика урожайности. Интересные результаты здесь дало выравнивание по линейным трендам рядов урожайности для административных областей, выраженных в % от средних значений для страны в целом за соответствующие годы. Начальный параметр тренда a характеризует исходный уровень относительной урожайности культуры, знак и значение параметра b – направленность и среднюю скорость его изменения за рассматриваемый период, а коэффициент детерминации R^2 – статистическую значимость линейного тренда [9] (табл. 2).

Из табл. 2 следует, что в начале рассматриваемого периода максимальной урожайностью культур характеризовались Гродненская и Брестская области, минимальной – Витебская и Могилевская области. Минская и Гомельская области, у которых урожайность в основном превышала средний уровень по Беларуси, занимали промежуточное положение. В течение периода в Брестской и Гомельской областях относительная урожайность всех рассматриваемых культур снижалась, в Минской области в основном снижалась, а в Витебской, Гродненской и Могилевской областях росла. Результатом этих разнонаправленных тенденций стал значительный отрыв по уровню урожайности Гродненской области, а также выравнивание уровней среди остальных областей. С учетом преобладающих легких почв в южных областях и почв тяжелого гранулометрического состава в прочих регионах Беларуси эти тенденции мы склонны объяснять природно-климатическими причинами.

При оценках влияния погодно-климатических условий на земледелие обычно предварительно проводят фильтрацию рядов урожайности, в ходе которой из них удаляют регулярную компоненту – тренд. Отклонения фактической урожайности от тренда отражают динамику погодно-климатических условий. Ряд отклонений (аномалий) урожайности является основой для расчета показателей колеблемости. Абсолютным показателем служит среднее квадратическое отклонение от тренда $S_y(t)$, а относительным – коэффициент колеблемости $V(t)$, %. Он представляет собой выраженное в процентах отношение абсолютной колеблемости к средней хронологической ряду (\bar{Y}) [1].

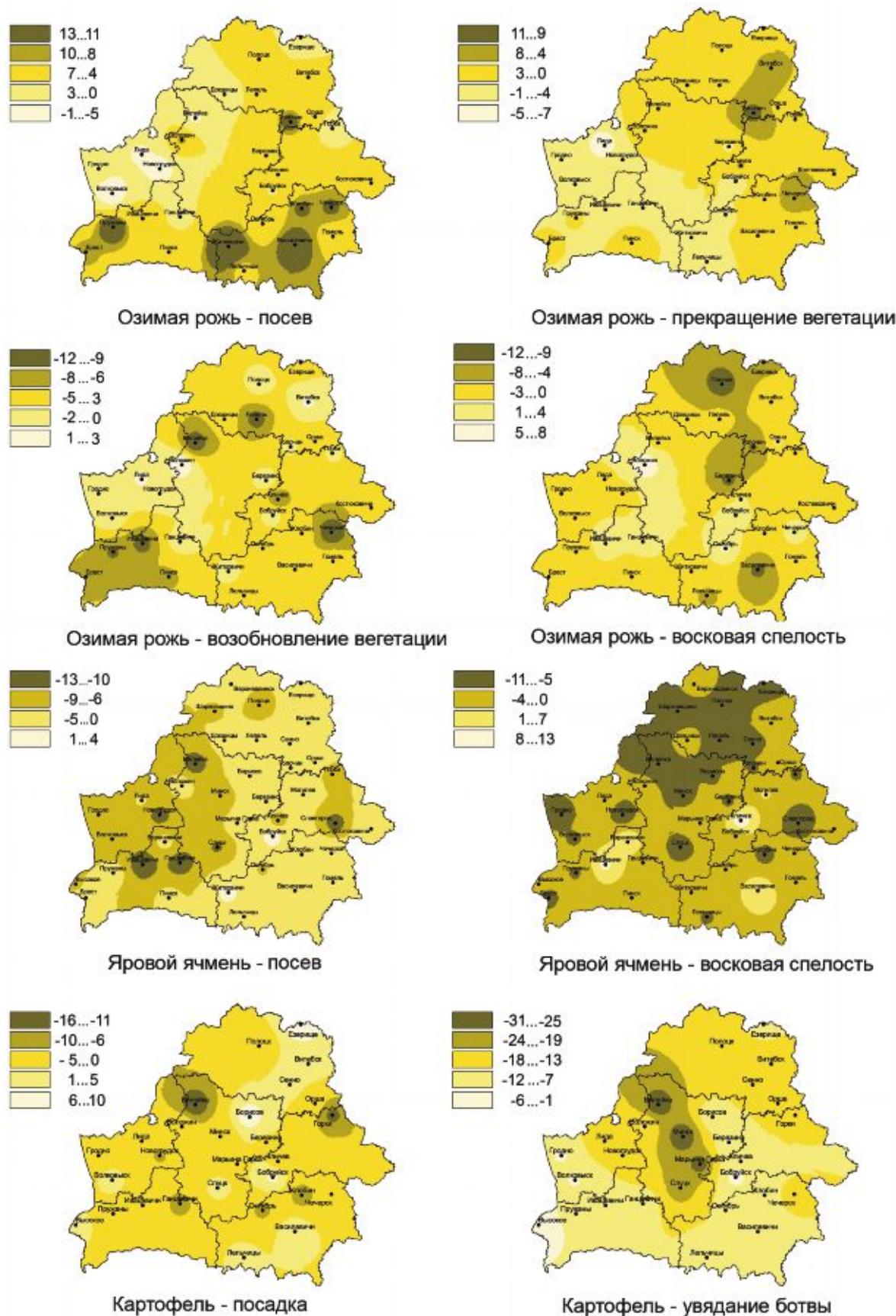


Рис. 3. Изменение сроков развития озимой ржи, ярового ячменя и картофеля на территории Беларуси в отдельные фазы вегетации, дни

При оценке климатической изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур во всех категориях хозяйств Беларуси за 1990–2007 гг. фильтрация осуществлялась в основном по полиномам II степени. Для рядов тритикале и

гречихи оказалось достаточно линейной функции, а для льноволокна более надежные аппроксимации дал полином III степени. Показатели колеблемости урожайности культур для двух временных интервалов представлены в табл. 3.

Таблица 2. Параметры линейных трендов рядов урожайности сельскохозяйственных культур в разрезе областей (в % от средней урожайности по Беларуси) за 1990–2007 гг.

Область	$\hat{y}_t = a+b t$	R^2	$\hat{y}_t = a+b t$	R^2	$\hat{y}_t = a+b t$	R^2
Зерновые и зернобобовые		Озимая рожь			Озимая пшеница	
Витебская	71,6+0,71 t	0,26	67,6+1,63 t	0,48	69,5+0,15 t	0,01
Минская	105,5–0,57 t	0,31	108,3–0,71 t	0,42	113,0–0,34 t	0,42
Гродненская	116,6+1,29 t	0,35	115,3+0,70 t	0,17	134,8+0,02 t	0,00
Могилевская	90,7+0,51 t	0,11	93,1+0,56 t	0,14	82,3+1,02 t	0,34
Брестская	117,0–1,05 t	0,48	114,0–0,35 t	0,05	122,8–1,25 t	0,41
Гомельская	101,5–1,01 t	0,43	99,1–0,67 t	0,25	111,6–1,70 t	0,46
Тритикале (1993–2007 гг.)		Ячмень			Овес	
Витебская	73,3+0,22 t	0,01	70,0+0,65 t	0,16	70,4+1,35 t	0,43
Минская	86,9+0,63 t	0,07	105,1–0,50 t	0,22	108,3–0,71 t	0,49
Гродненская	115,8+0,92 t	0,26	124,8+0,53 t	0,05	124,8+0,04 t	0,00
Могилевская	71,7+1,73 t	0,46	84,4+0,94 t	0,24	90,9+1,17 t	0,39
Брестская	99,4–0,91 t	0,24	118,2–1,26 t	0,44	126,8–1,74 t	0,48
Гомельская	76,6–0,14 t	0,02	100,2–0,71 t	0,18	104,6–0,30 t	0,03
Льноволокно		Картофель			Кукуруза на силос	
Витебская	79,6+0,19 t	0,03	78,9+0,25 t	0,02	78,0+0,38 t	0,04
Минская	108,4–0,29 t	0,03	94,0+0,59 t	0,16	94,9–0,04 t	0,00
Гродненская	109,5+0,90 t	0,07	125,4+0,32 t	0,03	118,5+0,48 t	0,05
Могилевская	105,0+0,39 t	0,02	90,6+1,29 t	0,33	79,3+1,14 t	0,23
Брестская	118,4–0,19 t	0,01	110,8–0,78 t	0,11	117,2–0,85 t	0,17
Гомельская	132,2–2,46 t	0,24	99,6–0,80 t	0,13	103,6–0,70 t	0,12

Таблица 3. Показатели колеблемости урожайности сельскохозяйственных культур во всех категориях хозяйств Республики Беларусь за 1990–2007 гг. и 1998–2007 гг.

Культура	1990–2007 гг.			1998–2007 гг.		
	\bar{Y} , ц/га	$S_y(t)$, ц/га	$V(t)\%$	\bar{Y} , ц/га	$S_y(t)$, ц/га	$V(t)\%$
Зерновые и зернобобовые в целом	23,5	2,9	12,5	23,0	3,6	15,3
пшеница озимая	26,1	2,9	11,0	26,8	3,7	13,8
пшеница яровая	24,4	4,3	17,8	25,2	5,0	19,9
тритикале (с 1993 г.)	28,3	3,4	11,9	28,9	3,8	13,3
ржь озимая	22,1	2,5	11,4	20,0	2,8	13,9
ячмень яровой	24,7	3,6	14,8	24,3	4,4	18,2
овес	21,9	3,8	17,2	21,5	4,2	19,4
гречиха	7,2	2,5	35,2	7,6	2,5	32,9
зернобобовые культуры	16,9	3,4	20,2	17,1	4,4	25,6
кукуруза на зерно	28,4	6,3	22,4	33,6	4,3	12,9
Картофель	144	17,1	11,9	155	14,7	9,5
Сахарная свекла (фабричная)	275	37,8	13,8	298	29,1	9,8
Льноволокно	5,1	1,3	26,0	4,9	1,7	33,9
Рапс – семена	8,7	1,5	17,4	8,6	1,2	13,4
Кормовые корнеплоды	302	48,4	16,0	279	45,4	16,3
Кукуруза на силос и зеленый корм	186	34,8	18,7	186	38,9	21,0

Как видно из табл. 3, среди зерновых и зернобобовых культур средняя урожайность за последнее десятилетие существенно выросла только у кукурузы на зерно. У большинства культур отмечается лишь тенденция к ее повышению, а у озимой ржи, ярового ячменя и овса – к понижению. Однако высокая доля этих культур в посевах обусловила общее снижение урожайности зерновых и зернобобовых культур. Также снизилась урожайность льноволокна и кормовых корнеплодов, не изменилась у рапса на семена и кукурузы на силос, возросла у картофеля и сахарной свеклы.

Абсолютные колебания урожайности у большинства зерновых и зернобобовых культур и по группе в целом за последние 10 лет увеличились. Исключение составили гречиха, у которой колебания остались неизменными, и кукуруза на зерно, у которой они заметно снизились. Абсолютная колеблемость урожая картофеля, сахарной свеклы, кормовых корнеплодов и рапса также снизилась, а льноволокна и кукурузы на силос и зеленый корм, напротив, выросла.

Относительные колебания урожайности практически по всем видам зерновых и зернобобовых культур и их группе за последние 10 лет несколько выросли. Существенное снижение наблюдалось лишь у кукурузы на зерно, а несущественное – у гречихи. Среди прочих культур коэффициент колеблемости снижался у картофеля, сахарной свеклы и рапса, а у остальных возрастал, причем наиболее заметно для льноволокна.

Результаты фильтрации рядов урожайности с привлечением сведений о размерах посев-

ных площадей этих же культур позволяют на основе индексного метода дать комплексную оценку факторов динамики агросистем [8]. Результаты такой оценки для группы зерновых и зернобобовых культур во всех категориях хозяйств Беларуси представлены на рис. 4, в табл. 4.

При оценке результатов индексного анализа следует иметь в виду, что значения факторов по годам складываются за период в целом, поэтому колебания, например, в отрицательной области значений приводят к итоговому снижению валового сбора по данному фактору, а колебания в области положительных значений – к его увеличению. Из рис. 4 видно, что роль агротехники стала положительной лишь с началом нового столетия, и это происходило на фоне возрастающего сокращения площадей и непрерывного улучшения структуры посевов. Погодные условия выступают основным фактором изменчивости валовых сборов зерна, размах колебаний которых за рассматриваемый период составил более 2 млн. т, а их вклад в целом был отрицательным.

Из табл. 4 следует, что за рассматриваемый период валовой сбор зерна в Беларуси вырос на 152,8 тыс. т. Основным источником его роста было улучшение структуры посевных площадей, а решающую роль (в порядке убывания) сыграли тритикале, кукуруза, яровая и озимая пшеница. Отрицательный итоговый вклад агротехники определили озимая рожь и яровой ячмень. Эти же культуры, а также овес характеризуются максимальным сокращением посевных площадей. Вклад погодных условий был в целом отрицательным, причем основную роль здесь сыграл яровой ячмень.

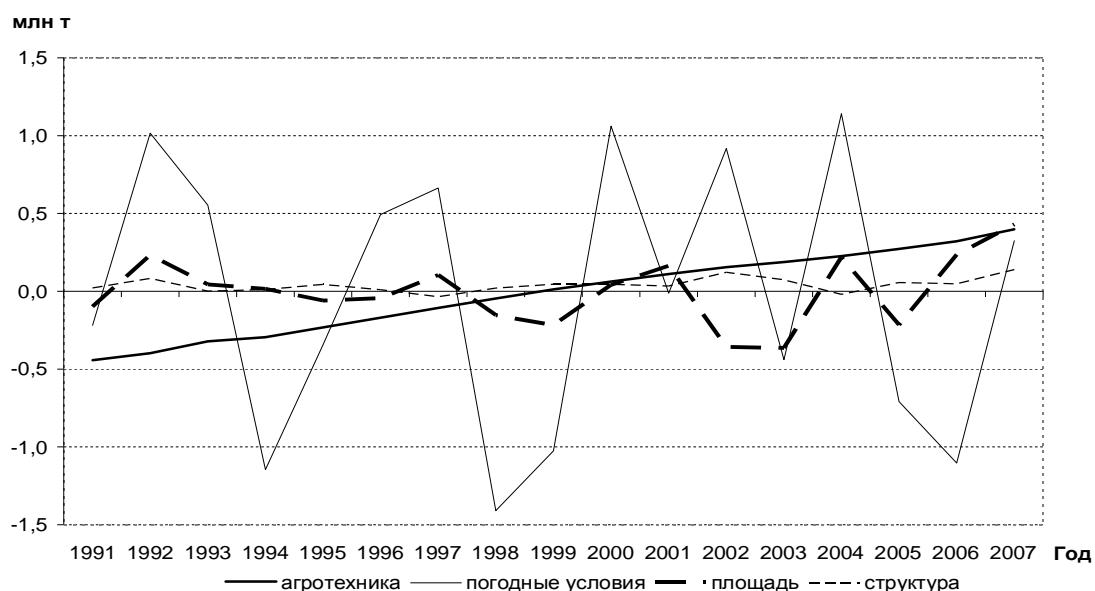


Рис. 4. Динамика факторов изменения валовых сборов зерна во всех категориях хозяйств Беларуси за 1991–2007 гг.

Таблица 4. Вклад факторов в изменение валовых сборов зерна во всех категориях хозяйств Республики Беларусь за 1991–2007 гг. и 1998–2007 гг., тыс. т

Культура	Фактор			
	агротехника	погодные условия	посевная площадь*	все
1991–2007 гг.				
Пшеница озимая	165,8	-7,7	331,4	489,5
Рожь озимая	-743,7	46,8	-649,5	-1346,4
Тритикале	143,3	-17,5	1115,7	1241,6
Пшеница яровая	170,1	-58,4	414,5	526,1
Ячмень яровой	-172,2	-214,7	-610,6	-997,4
Овес	29,9	35,6	-291,9	-226,3
Гречиха	4,4	0,3	-3,1	1,6
Зернобобовые	75,5	-56,2	-68,8	-49,5
Кукуруза	66,6	31,0	416,0	513,6
Все	-260,2	-240,6	653,6 (-99,2; 752,7)	152,8
1998–2007 гг.				
Пшеница озимая	243,9	-34,0	156,7	366,6
Рожь озимая	187,0	-138,0	-531,8	-482,8
Тритикале	111,4	-4,9	949,7	1056,2
Пшеница яровая	167,6	-94,4	213,1	286,3
Ячмень яровой	637,5	-679,2	-407,8	-449,5
Овес	188,9	-200,9	-229,8	-241,8
Гречиха	2,4	-0,6	-3,9	-2,1
Зернобобовые	86,3	-143,8	-232,4	-289,9
Кукуруза	71,3	33,5	427,1	531,9
Все	1696,2	-1262,1	340,8 (-283,2; 624,1)	774,9

* Оценка вклада посевной площади для зерновых и зернобобовых культур в целом представляет собой алгебраическую сумму вкладов размера и структуры посевов (значения в скобках).

За последние 10 лет приросты валовых сборов зерна увеличились примерно в пять раз. Их определили все те же культуры, с той лишь разницей, что озимая и яровая пшеница по своей значимости поменялись местами. Ведущим фактором стала агротехника, где положительный

вклад внесли все культуры. Вместе с тем значительно возросла отрицательная роль погодных условий, где положительное значение сохранила лишь кукуруза. Определяющую роль в положительном вкладе фактора посевных площадей сыграло улучшение структуры посевов.

Л и т е р а т у р а

1. Афанасьев В. Н., Юзбашев М. М. Анализ временных рядов и прогнозирование. М., 2001.
2. Всемирный банк. Создание основ для устойчивого развития: Выборочный анализ системы управления и охраны окружающей среды в Республике Беларусь. Октябрь. Мин., 2002.
3. Голуб И. А. Научные основы формирования высоких урожаев озимых зерновых культур в Беларуси. Мин., 1996.
4. Жданович В. П., Подоляк А. Г. Прoso для Беларуси – важная культура // Бел. сел. хоз-во. 2004. № 10. С. 16–18.
5. Изменения климата Беларуси и их последствия / В. Ф. Логинов, Г. И. Сачок, В. С. Микуцкий и др.: Под общ. ред. В. Ф. Логинова. Мин., 2003.
6. Кадыров М. А. Стратегия экономически целесообразной адаптивной интенсификации системы земледелия Беларуси. Мин., 2004.
7. Кацер Д. Перспективы производства и использования топлива из возобновляемых источников энергии в Республике Беларусь и зарубежных странах // Аграрная экономика. 2007. № 11. С. 36–39.
8. Коляда В. В. Индексный метод комплексной оценки факторов динамики агросистем // Природные ресурсы. 2007. № 2. С. 84–92.
9. Коляда В. В. Применение аналитических зависимостей для исследования динамики урожайности зерновых культур Беларуси // Природопользование. Мин., 2005. Вып. 11. С. 58–65.
10. Купцов Н. С., Борис И. И. Зернобобовые культуры и их значение в сельскохозяйственном производстве Беларуси // Бел. сел. хоз-во. 2008. № 1. С. 16–25.
11. Логинов В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия. Мин., 2008.

12. Мельник В. И. Влияние изменения климата на агроклиматические ресурсы и продуктивность основных сельскохозяйственных культур Беларусь: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Мин., 2004.
13. Надточав Н. Ф. Кукуруза на полях Беларусь. Мин., 2008.
14. Павловский В. К., Давыденко О. Г., Розенцвейг В. Е и др. Соя в хозяйствах Беларусь – дополнительный источник растительного белка // Бел. сел. хоз.-во. 2008. № 4. С. 25–30.

В. В. Коляда, Ю. А. Шубская

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ АГРОЦЕНОЗОВ БЕЛАРУСИ В УСЛОВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

Представлены оценки современных структурно-функциональных изменений агроценозов Беларусь, которые произошли под воздействием или при участии погодно-климатических условий и фиксируются по независимым от них статистическим данным.

Климатообусловленные изменения состава и структуры посевных площадей в современный период, характеризующийся резким увеличением биологического разнообразия агроценозов Беларусь, проявляются прежде всего в распространении более теплолюбивых и засухоустойчивых видов (кукуруза, просо и др.), а также в расширении посевов озимых зерновых культур.

С природно-климатическими причинами, очевидно, связаны тенденции к снижению урожайности в южных регионах Беларусь с их легкими почвами, а также рост урожайности в северном, восточном и западном регионах с почвами более тяжелого механического состава.

Показатели колеблемости урожайности, индицирующие динамику погодно-климатических условий, указывают на тенденцию к их увеличению в Беларусь за последние 10 лет у зерновых и зернобобовых культур. Исключением стала кукуруза на зерно, у которой абсолютная и относительная колеблемость резко снизились.

Индексным методом с учетом других факторов оценен вклад погодно-климатических условий в динамику валовых сборов зерна. Их увеличение определили тритикале, кукуруза, озимая и яровая пшеница. Факторами роста валовых сборов стали подъем агротехники и улучшение структуры посевов. Помимо сокращения размеров посевных площадей, приросты валовых сборов зерна резко снижали погодные условия, где положительным вкладом характеризуется лишь кукуруза.

V. V. Kalyada, Yu. A. Shubskaya

STRUCTURAL-FUNCTIONAL CHANGES OF BELARUS AGROCOENOSES IN CLIMATE WARMING CONDITIONS

Valuations of modern structural-functional changes of agrocoenosis of Belarus have been presented, which originated from the impact or the effect of weather-climatic conditions and are registered by not depending on us statistical data.

Climate-conditioned changes of the composition and structure of sowing areas by now are characterized by a sharp increase of biological diversity of agrocoenosis of Belarus, seen first of all in the distribution of more warm-loving and drought-resistant sorts (corn, millet, etc.) as well as in the expansion of winter crops sowings.

Evidently, natural-climatic reasons are linked with tendencies of yield fall in southern Belarus regions of light soils, as well as yield growth in northern, eastern and western regions of more mechanical composition soils.

The yield deviation capacity values, initiating dynamics of weather-climatic conditions, show the tendency of their rise in Belarus for the last 10 years for cereals and cereal-bean crops. As exclusion a grain corn is.

By index method with regard to other factors a share of weather-climatic conditions in gross grain collection dynamics has been estimated. The increase was determined by triticale, corn, winter and spring wheat. The factors of growth of gross collections became an agro-technique rise and improvement of sowings structure. Besides the sowing area sizes reduction, the gross grain rise collections sharply decreased due to weather conditions, and a corn share only is positively characterized.

Г. А. Камышенко

РАСЧЕТ УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР БЕЛАРУСИ

Представлены результаты расчета урожайности озимых ржи и пшеницы по выявленным зависимостям от технологических и климатических факторов с использованием методов математической статистики. Расчеты произведены по двум вариантам относительно климатической составляющей в качестве предиктора: по отклонениям температуры воздуха и атмосферных осадков месяцев, оказывающим наиболее значимое влияние на урожайность культуры, а также по сезонным отклонениям климатических показателей от многолетних норм. Для озимых зерновых культур Беларуси построены адекватные модели изменчивости урожайности. Результаты исследования актуальны для решения прогнозных задач.

Урожайность сельскохозяйственных культур в высокой степени зависит от погодно-климатических явлений, сельскохозяйственные работы носят сезонный характер, а аграрное производство в целом рассредоточено на огромных площадях, что затрудняет проведение защитных мероприятий. В связи с изменчивостью погодно-климатических условий необходимо выполнение агрометеорологических прогнозов урожайности и валового сбора сельскохозяйственных культур, которым отводится важная роль в системе оперативного агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства. Особую актуальность таким исследованиям придает современное глобальное изменение климата, которое ставит сельское хозяйство Беларуси в еще большую зависимость от погодно-климатических условий.

Цель исследования – разработка моделей урожайности озимых зерновых культур методами математической статистики.

Построение адекватных моделей урожайности сельскохозяйственных культур является предпосылкой для решения соответствующих прогнозных задач. Методы прогнозирования – это совокупность приемов мышления, позволяющих на основе анализа прошлых (ретроспективных) внешних и внутренних связей, присущих объекту, а также их изменений в рамках рассматриваемого явления вынести суждение определенной достоверности относительно будущего развития объекта. Из данного определения следует, что для создания адекватной прогнозной модели урожайности культуры необходимо исследовать ретроспективный ряд наблюдений, выявить наиболее значимые связи продуктивности культуры с воздействующими на нее природными и агротехническими факторами. Анализ и статистическое описание динамики какого-либо существенного колеблющегося показателя начинаются с выявления формы его тренда. Следующий шаг – статистическая оценка надежности построенного тренда.

Трендом называют конкретное, в форме определенной монотонной кривой, описание тенденции развития, отражающее закономерности развития изучаемого процесса. Тенденция – объективно существующее свойство процесса, которое лишь приближенно отражается и описывается трендом определенного вида [1].

В исследовании использованы статистические данные Министерства статистики и анализа Республики Беларусь, Департамента по гидрометеорологии.

На рис. 1 представлены графики динамики изменчивости урожайности с посевных площадей озимых ржи и пшеницы в Беларуси за период 1960–2007 гг. с полиномиальными трендами 2-й степени, отражающими тенденцию изменения продуктивности культур. Надежность построенных трендов подтверждается достаточно высокими значениями коэффициентов детерминации (R^2), которые в обоих случаях близки к 70 %. Динамика рядов данных по урожайности исследуемых культур носит колебательный характер. Четко прослеживается сходство изменчивости продуктивности озимых зерновых культур, спады сменяются подъемами. Трендовые составляющие графиков урожайности культур связаны с агротехникой, отклонения от трендов обусловлены проявлениями климатических факторов. На рис. 2 представлены диаграммы климатообусловленных отклонений урожайности культур от агротехнических трендов, по которым легко выделить временные интервалы колебаний продуктивности.

Ордината начала тренда графика урожайности озимой ржи (рис. 1 а) уступает по значению первой точке графика, но реально продуктивность исследуемой культуры в начале исследуемого интервала на протяжении 11 лет стабильно низкая, поэтому первым выделенным по колебаниям урожайности интервалом является временной отрезок с 1960 по 1970 г. Самая высокая урожайность озимой ржи приходится на период с 1987 по 1993 г. (табл. 1). Этот же временной ин-

тервал характеризуется повышенным уровнем урожайности озимой пшеницы, но самая высокая

за весь исследуемый период урожайность этой культуры наблюдалась с 2004 по 2007 г.

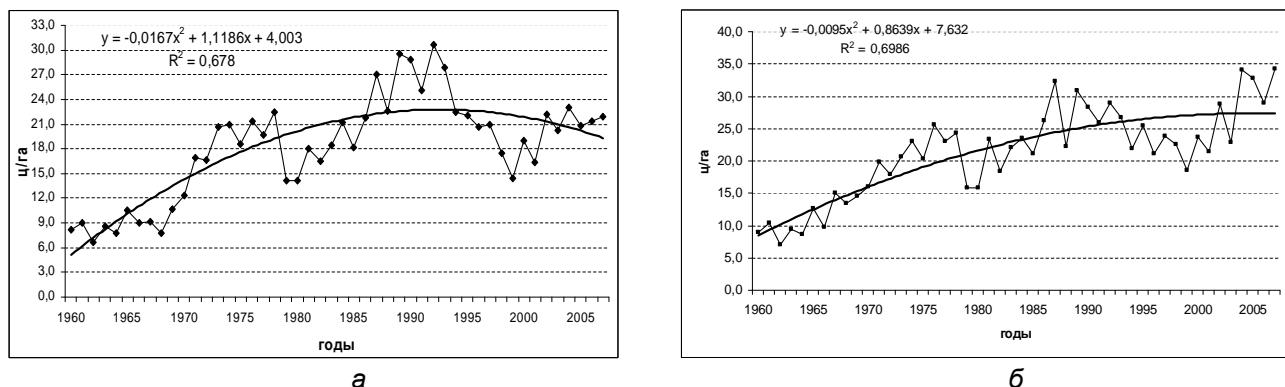


Рис. 1. Динамика изменчивости урожайности озимых ржи (а) и пшеницы (б) за период 1960–2007 гг. с полиномиальным трендом

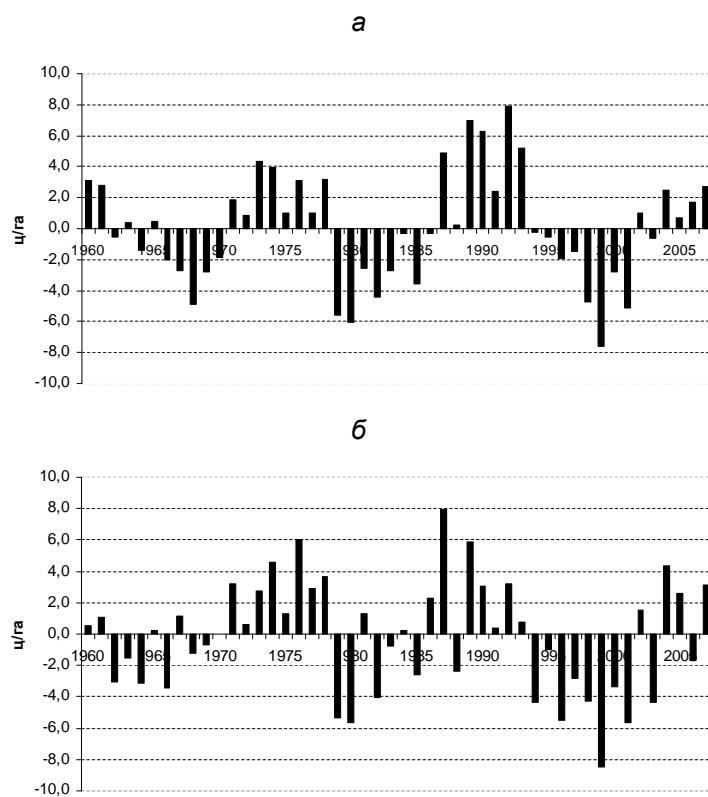


Рис. 2. Климатообусловленное отклонение урожайности озимых ржи (а) и пшеницы (б) от трендов (1960–2007 гг.)

Уровень урожайности сельскохозяйственных культур зависит от множества факторов – агротехнических (внесенные под посевы удобрения, качество семян, обеспеченность техникой и др.), почвенных, погодно-климатических. В работе [7] представлены результаты выполненной ранее комплексной оценки вкладов климатиче-

ских, почвенных и антропогенных (хозяйственных) факторов в обеспечение современного уровня урожайности основных сельскохозяйственных культур в территориальном (по данным 2001–2003 гг., административные районы) и временным (по данным 1960–2003 гг., административные области) аспектах, показавшие, что кли-

матический фактор слабее проявляется в территориальной схеме анализа (28 %) и что его роль более существенна в рядах урожайности комплекса культур во временной схеме анализа данных (36 %). В частности, для озимых зерновых культур климатический фактор в среднем по стране обеспечивает 24 % изменчивости урожайности.

Связь урожайности исследуемых культур с гидротермическим коэффициентом (ГТК) четко не проявляется – во всех выделенных временных интервалах $\text{ГТК} \approx 1,5$. На рис. 3 представлены модели регрессионной зависимости урожайности озимых ржи и пшеницы от значений ГТК.

Таблица 1. Значения урожайности озимых ржи и пшеницы (ц/га с посевной площади) по выделенным временными интервалам по Беларуси

Интервал, годы	Продолжительность, лет	Среднее значение урожайности культуры для интервала	
		озимой ржи	озимой пшеницы
1960–1970	11	9,1	11,4
1971–1978	8	19,7	21,8
1979–1986	8	17,8	20,8
1987–1993	7	27,4	27,9
1994–2003	10	19,6	23,0
2004–2007	4	21,8	32,5
Среднее значение по Беларуси	8	19,2	22,9

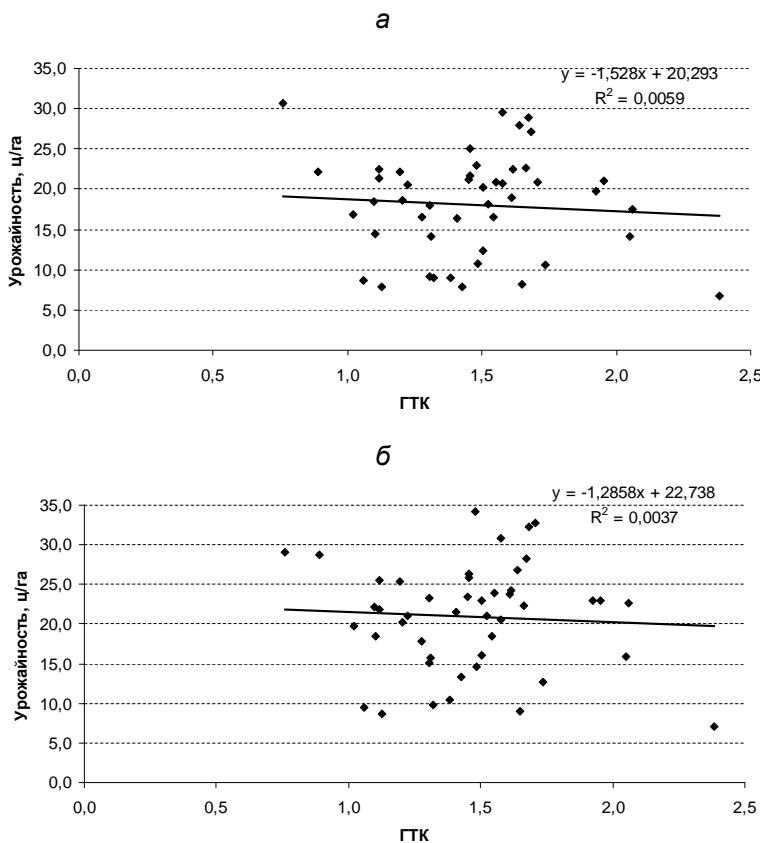


Рис. 3. Регрессионные модели зависимости урожайности озимых ржи (а) и пшеницы (б) от ГТК (1960–2007 гг.)

При низких значениях ГТК (до 1,0), проявившихся в засушливые 1992 и 2002 годы, урожайность озимых культур оказалась выше среднего значения по стране: озимой ржи – 30,6 и 22,3 ц/га соответственно, озимой пшеницы – 29,0 и 28,7 ц/га. Озимая рожь обладает высокой засухоустойчивостью, однако 1999 год с ГТК, равным 1,1 (82 засушливых дня), оказался низкоурожайным – оказались весенние заморозки [7]. При аномально высоких значениях ГТК (выше 2,0) урожайность озимых культур пониженная.

Так как ГТК рассчитывается для теплых месяцев с температурой выше 10 °С, можно сделать вывод о слабой зависимости урожайности исследуемых культур от погодных условий вегетационного периода, что не позволяет по данному показателю построить адекватную прогнозную модель урожайности зерновых культур.

Рассмотрим расчет урожайности озимых ржи и пшеницы по зависимостям от технологических и климатических факторов с использованием методов математической статистики (корреляционного, регрессионного и факторного анализов).

Расчет будем производить по формуле:

$$Y(t) = Y_{tp}(t) + \Delta Y, \quad (1)$$

где $Y(t)$ – расчетная урожайность культуры в календарном году; $Y_{tp}(t)$ – трендовая составляющая урожайности культуры в календарном году; ΔY – отклонение рассчитанной урожайности от трендовой составляющей.

Трендовая составляющая урожайности определяется агротехническими факторами и отражает в целом достаточно устойчивую тенденцию. Отклонения от тренда обусловлены, как правило, изменяющимися погодно-климатическими условиями, экстремальными климатическими явлениями. Однако это утверждение не совсем корректно, так как чрезмерные антропогенные нагрузки, резкое снижение уровня агротехники также находят отражение в трендовой составляющей урожайности культуры.

Тренды продуктивности исследуемых культур на интервале с 1960 по 2007 г. описаны полиномиальными функциями 2-й степени (рис. 1) с достаточно высокими коэффициентами детерминации. Для урожайности озимой ржи трендовая составляющая имеет вид:

$$Y_{tp}(t) = -0,0167 \times t^2 + 1,1186 \times t + 4,003, \quad (2)$$

где t – год по порядку, начало – 1960 г.

Агроклиматические исследования свидетельствуют, что урожайность озимой ржи зависит от температуры января–марта. Для этой культуры характерны высокая зимостойкость, относительно низкая требовательность к почве и высокая приспособляемость к условиям произрастания. Она хорошо переносит даже в бесснежные зимы морозы до –20 °С. Для озимой ржи весьма

важным является обеспечение влагой осенью (в фазу кущения). При недостатке влаги растения уходят в зиму недостаточно раскустившимися [3, 8].

Статистический анализ корреляционной матрицы зависимости урожайности озимой ржи, возделываемой в Беларуси, от месячных суммарных осадков и атмосферных температур позволил выявить влияние на продуктивность исследуемой культуры атмосферных осадков сентября и ноября предыдущего года, а также температур не только января–марта, но и июня.

При анализе зависимости отклонений от тренда урожайности озимой ржи от отклонений от многолетних климатических норм месячных суммарных осадков и атмосферных температур методом множественной регрессии была получена связь, которая описывается полиномом 1-й степени:

$$\Delta Y = -0,032 \times \Delta T_1 + 0,418 \times \Delta T_2 - 0,009 \times \Delta T_3 - 0,928 \times \Delta T_6 + 0,015 \times \Delta O_9 + 0,018 \times \Delta O_{11} - 0,127, \quad (3)$$

где ΔT_i – отклонение месячных значений температуры от многолетней нормы, i – порядковый номер месяца; ΔO_i – отклонение суммарных месячных осадков от многолетней нормы, i – порядковый номер месяца.

Подставив результаты, полученные по уравнениям (2) и (3), в уравнение (1), получим рассчитанную урожайность.

Экспериментальное графическое представление расчетной урожайности озимой ржи показало, что осадки сентября и ноября в целом незначительно сказываются на построении графика. График, построенный по модели без учета осадков, почти совпал с таковым, учитывающим дополнительно отклонения атмосферных осадков. Графическое представление рассчитанной урожайности озимой ржи (рис. 4) выполним по следующей регрессионной модели (обозначения представлены выше):

$$\Delta Y = -0,027 \times \Delta T_1 + 0,399 \times \Delta T_2 - 0,012 \times \Delta T_3 - 0,836 \times \Delta T_6 - 0,215 \quad (4)$$

Расчетный уровень значимости, равный 0,02 (при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$), свидетельствует об адекватности (точности) построенной модели. Коэффициент корреляции фактической урожайности озимой ржи с рассчитанной равен 0,86.

О хорошей сходимости фактической и рассчитанной урожайности свидетельствуют также материалы табл. 2. Ошибкой до 15 % охвачено почти 60 % лет.

Можно сделать вывод, что полученная модель адекватно отражает реальную картину урожайности озимой ржи в Беларуси.

Так как при прогнозировании урожая сельскохозяйственных культур в современных

условиях исследователи опираются на возрастающую роль агрометеорологических факторов, а развитие и продуктивность культур существенным образом зависят от их сезонных значений [6], нами при решении прогнозных задач дополнительно использованы регрессионные зависимости урожайности культуры от суммарного количества осадков и средней температуры воздуха в различные сезоны года. Трендовая составляющая остается без изменения и описывается

для озимой ржи формулой (2). Отклонения значений урожайности от агротехнического тренда представим в виде функции, предикторами которой являются отклонения от климатических норм сезонных осадков и температур воздуха. При расчете средних зимних температур декабрьское значение берется по предыдущему году, таким же образом рассчитываются осенние суммарные осадки.

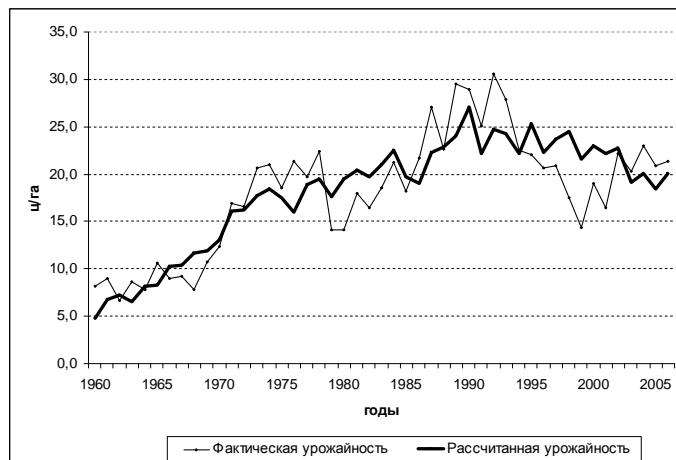


Рис. 4. Фактическая и рассчитанная динамика урожайности озимой ржи в Беларуси (вариант 1)

Таблица 2. Ошибки расчета урожайности озимой ржи в Беларуси (вариант 1)

Показатель	Отклонения урожайности, %					
	0–5	5–10	10–15	15–20	20–35	35–55
Количество лет, %	27,66	17,02	14,89	10,64	19,15	10,64
Наращающий итог, %	27,66	44,68	59,57	70,21	89,36	100,0

Для озимой ржи в Беларуси нами получена следующая зависимость урожайности от отмеченных природных факторов:

$$\Delta Y = 0,67 \times \Delta T_3 + 0,005 \times \Delta T_B - 0,88 \times \Delta T_L - 0,34 \times \Delta T_O - 0,05 \times \Delta O_3 - 0,02 \times \Delta O_B - 0,02 \times \Delta O_L - 0,01 \times \Delta O_O + 6,65 \quad (5)$$

где ΔT_3 , ΔT_B , ΔT_L и ΔT_O – отклонения температуры воздуха в зимний, весенний, летний и осенний сезоны от многолетней нормы; ΔO_3 , ΔO_B , ΔO_L и ΔO_O – отклонения суммарных атмосферных осадков в зимний, весенний, летний и осенний сезоны от многолетней нормы.

Из выражения (5) следует, что на урожайность озимой ржи наибольшее влияние оказывает температурный режим зимнего и летнего сезонов. Высокие температуры в летний сезон будут отрицательно влиять на урожайность исследуемой культуры. Графическое представление фактической и рассчитанной урожайности озимой ржи представлено на рис. 5.

Расчетный уровень значимости для варианта 2 также равен 0,02 (при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$), что свидетельствует об адекватности построенной модели. Коэффициент корреляционной зависимости фактической урожайности озимой ржи от рассчитанной по варианту 2 равен 0,89, что незначительно превышает аналогичный показатель для варианта 1. Ошибки расчета урожайности озимой ржи по варианту 2 приведены в табл. 3.

Из сравнения табл. 2 и 3 можно сделать вывод, что оба варианта прогноза равнозначны и обеспечивают достаточную степень достоверности полученных результатов: ошибка в 5 % охватывает в обоих случаях по 28 % лет от исследуемого временного интервала, в 10 % ошибки попало в первом варианте 45 % лет, во втором – более 50 %. Однако в результате визуального анализа графиков (рис. 4, 5) предпочтение следует отдать расчету урожайности озимой ржи по

варианту 1, т. е. по отклонениям температуры воздуха месяцев, оказывающих наиболее значимое влияние на урожайность культуры.

Прогнозируемая урожайность несколько отличается от фактической, что обусловлено необходимостью введения в расчеты случайной составляющей [5].

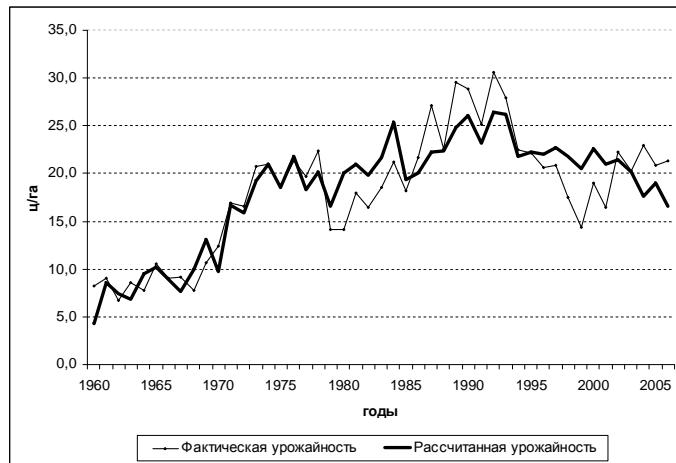


Рис. 5. Фактическая и рассчитанная динамика урожайности озимой ржи в Беларуси (вариант 2)

Таблица 3. Ошибки расчета урожайности озимой ржи в Беларуси (вариант 2)

Показатель	Отклонения урожайности, %					
	0–5	5–10	10–15	15–20	20–35	35–50
Количество лет, %	27,66	23,40	4,26	19,15	19,15	6,38
Нарастающий итог, %	27,66	51,06	55,32	74,47	93,62	100,0

Произведем аналогичные расчеты урожайности озимой пшеницы. Трендовая составляющая для этой культуры имеет вид:

$$Y_{tp}(t) = -0,0095t^2 + 0,8639t + 7,632, \quad (6)$$

где t – год по порядку, начало – 1960 г.

Тренд с высокой степенью достоверности ($R^2 = 0,7$) описывает динамику изменчивости для урожайности озимой пшеницы.

Рассчитывать продуктивность культуры будем также по двум вариантам, аналогичным представленным выше для озимой ржи.

Озимая пшеница выращивается в основном на юге Беларуси, выдерживает низкие температуры, заморозки. Корреляционный анализ подтверждает выводы агроклиматических наблюдений [8], свидетельствующих о зависимости урожайности озимой пшеницы от температуры февраля–марта. Кроме того, статистический анализ позволил выявить корреляционную связь между урожайностью озимой пшеницы и температурами декабря (предыдущего года) и января, т.е. отмечается зависимость продуктивности от зимних температур и температур первого весеннего месяца. Корреляционная связь урожайности исследуемой культуры с атмосферными осадка-

ми прослеживается только для ноября (предыдущего года).

Аналогично представленным выше расчетам (для отклонений урожайности озимой ржи) методом множественной регрессии получим зависимость отклонений урожайности озимой пшеницы от отклонений от многолетних норм зимних температур и марта месяца, а также осадков ноября (предыдущего года), описываемую полиномом 1-й степени:

$$\Delta Y = -0,239 \times \Delta T_1 + 0,214 \times \Delta T_2 + 0,056 \times \Delta T_3 + 0,430 \times \Delta T_{12} + 0,012 \times \Delta O_{11} - 0,049, \quad (7)$$

где ΔT_i – отклонение месячных значений температуры от многолетней нормы, i – порядковый номер месяца; ΔO_{11} – отклонение суммарных осадков в ноябре от многолетней нормы.

Из формулы (7) следует, что наибольшее влияние на колебания урожайности озимой пшеницы оказывают декабрьские температуры.

На рис. 6 представлены графики фактической и рассчитанной урожайности озимой пшеницы, полученные математико-статистическими методами.

Значение уровня значимости построенной модели превышает заданный уровень значимо-

сти, равный 0,05, что свидетельствует о недостаточной адекватности модели, однако коэффициент корреляционной зависимости между факти-

ческой и рассчитанной урожайностью озимой пшеницы достаточно высок – 0,86.

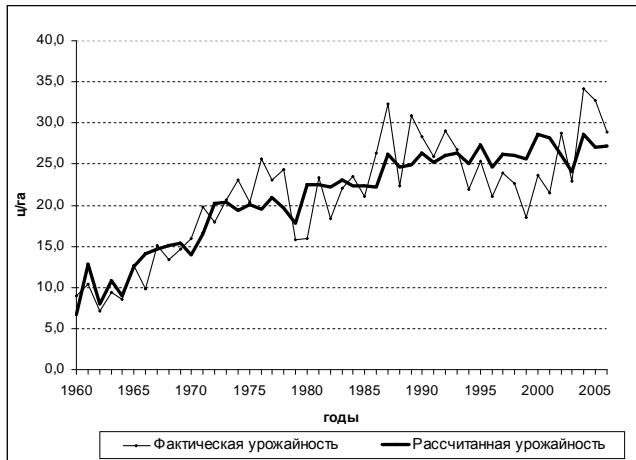


Рис. 6. Фактическая и рассчитанная динамика урожайности озимой пшеницы в Беларуси (вариант 1)

По варианту 2 (по отклонениям от нормы сезонных температур и атмосферных осадков) модель урожайности озимой пшеницы имеет вид (обозначения приведены выше):

$$\Delta U = 0,45 \times \Delta T_3 - 0,27 \times \Delta T_B - 1,04 \times \Delta T_L + 0,10 \times \Delta T_O - 0,01 \times \Delta O_3 - 0,02 \times \Delta O_B - 0,01 \times \Delta O_L - 0,01 \times \Delta O_O - 0,42 \quad (8)$$

Из выражения (8) следует, что отклонения урожайности озимой пшеницы в Беларуси зависят

от отклонений температурных режимов зимнего и летнего сезонов. Повышенные весенние и летние температуры отрицательно влияют на урожайность озимой пшеницы. Отклонения сезонных осадков не оказывают какого-либо значимого влияния на отклонения урожайности исследуемой культуры. График рассчитанной по варианту 2 урожайности озимой пшеницы представлен на рис. 7.



Рис. 7. Фактическая и рассчитанная динамика урожайности озимой пшеницы в Беларуси (вариант 2)

Ошибки расчетов урожайности озимой пшеницы по вариантам 1 и 2 приведены в табл. 4. Данные таблицы свидетельствуют о достаточной степени достоверности полученных результатов по двум вариантам. По варианту 2 ошибкой

до 15 % охвачено почти 62 % лет, по варианту 1 этот показатель несколько ниже и составляет примерно 57 %. Однако ошибкой до 20 % по варианту 1 охвачено значительно больше лет, чем по варианту 2, что, по сути, может свидетельст-

вовать о предпочтительности расчетов по отклонениям от многолетних норм температуры воздуха и атмосферных осадков месяцев, оказы-вающих доминирующее влияние на продуктивность исследуемой культуры (вариант 1).

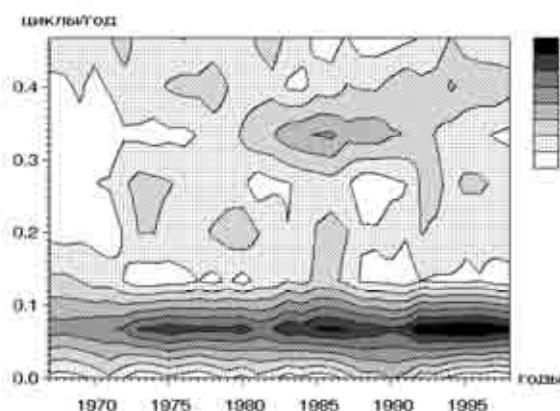
Результаты выполненного спектрально-временного анализа (СВАН) урожайности озимых зерновых культур представлены на рис. 8. На графиках просматривается сходство изолиний [2].

С 70-х годов XX в. выделяется низкочастотный цикл с периодом 12–14 лет. Кроме доминирующего цикла на СВАН-диаграммах урожайности озимых ржи и пшеницы, начиная с начала 80-х годов, выделяются 2–3-летние циклы. Выделенная таким образом цикличность также может быть использована при прогнозировании урожайности зерновых культур, хотя эта задача представляется достаточно сложной.

Таблица 4. Ошибки расчетов урожайности озимой пшеницы в Беларуси (варианты 1 и 2)

Показатель	Отклонения урожайности, %					
	0–5	5–10	10–15	15–20	20–35	35–50
По варианту 1						
Количество лет, %	23,40	17,02	17,02	23,40	12,77	6,38
Наращающий итог, %	23,40	40,43	57,45	80,85	93,62	100,00
По варианту 2						
Количество лет, %	21,28	19,15	21,28	10,64	23,40	4,26
Наращающий итог, %	21,28	40,43	61,70	72,34	95,74	100,00

Озимая рожь



Озимая пшеница

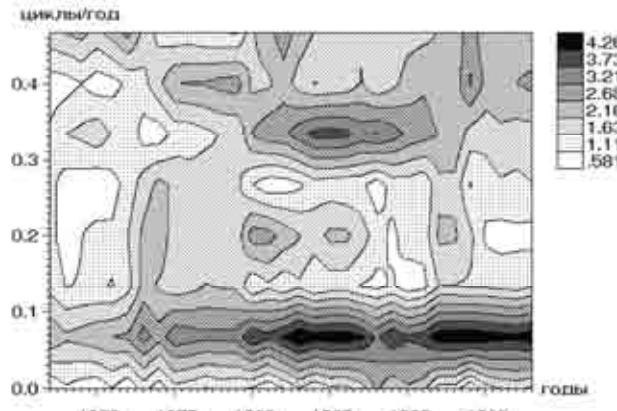


Рис. 8. СВАН-диаграммы озимых зерновых культур

Результаты выполненного статистического исследования являются предпосылкой для прогнозирования урожайности зерновых культур Беларуси на основе полученных статистических моделей. Однако для решения прогнозных задач необходимо, опираясь на возможные климатические сценарии, уточнить случайную составляющую.

Для повышения точности расчетной урожайности культур применяют схему построения прогноза урожайности [4] на основе приемов экстраполяции. Суть подхода заключается в выделении из исходного временного ряда выборочных цепочек, состоящих из взаимосвязанных уровней (взаимосвязь уровней определяется на основе расчета коэффициентов автокорреляции), аппроксимации полученных цепочек, обратного синтеза полученных уравнений в единую модель выравнивания временного ряда и по-

строения на ее основе прогноза урожайности. При этом временные цепочки должны иметь достаточную длину для проведения содержательного анализа.

Таким образом, нами проанализирована зависимость урожайности озимых зерновых культур Беларуси от основных климатических факторов – температуры воздуха и атмосферных осадков, рассчитаны значения урожайности исследуемых культур на временных интервалах спадов и подъемов продуктивности. Получены количественные характеристики влияния погодно-климатической составляющей на изменчивость продуктивности культур, что позволило методами математической статистики построить адекватные модели урожайности озимых зерновых культур как основу для решения прогнозных задач.

Л и т е р а т у р а

1. Афанасьев В. Н., Юзбашев М. М. Анализ временных рядов и прогнозирование. М., 2001.
2. Камышенко Г. А. Спектрально-временной анализ урожайности зерновых культур // Природопользование. Минск, 2006. Вып. 12. С. 79–87.
3. Лихацевич А. П., Мееровский А. С., Вахонин Н. К. Мелиорация земель в Беларусь. Минск, 2001.
4. Личко К. П., Шумская Е. В. О некоторых возможностях использования теории детерминированного хаоса в анализе и прогнозировании урожайности сельскохозяйственных культур // Изв. ТСХА. 2006. № 4. С. 142–152.
5. Логинов В. Ф., Волчек А. А., Волчек А. Н. Оценка влияния климатических факторов на динамику урожайности основных сельскохозяйственных культур в Брестской области // Природные ресурсы. 2006. № 3. С. 5–22.
6. Налоева Р. Х. Прогнозирование и планирование урожайности сельскохозяйственных культур с учетом агрометеорологических факторов. Нальчик, 2006.
7. Сачок Г. И., Камышенко Г. А. Факторы и модели изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур Беларусь / Под ред. В. Ф. Логинова. Минск, 2006.
8. Шпаар Д., Гриб С., Дрегер Д. и др. Зерновые культуры. Минск, 2000.

Г. А. Камышенко

РАСЧЕТ УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР БЕЛАРУСИ

Проанализирована зависимость урожайности озимых зерновых культур Беларусь от основных климатических факторов – температуры воздуха и атмосферных осадков, рассчитаны значения урожайности исследуемых культур на временных интервалах спадов и подъемов продуктивности. Получены количественные характеристики влияния погодно-климатической составляющей на изменчивость урожайности, что позволило методами математической статистики построить адекватные модели продуктивности озимых зерновых культур.

Расчеты произведены по двум вариантам относительно климатической составляющей в качестве предиктора: по отклонениям температуры воздуха и атмосферных осадков месяцев, оказывающих наиболее значимое влияние на урожайность культуры (вариант 1), а также по сезонным отклонениям климатических показателей от многолетней нормы (вариант 2). Выбраны наиболее приемлемые варианты в качестве основы для решения прогнозных задач.

G. A. Kamysheenko

CALCULATION OF YIELD OF WINTER CEREAL CROPS OF BELARUS

The dependence of the yield of winter cereal crops of Belarus from main climatic factors – air temperature and precipitation has been analyzed, the values of the yield of the studied crops on time intervals of falls and rises of productivity has been calculated. Quantitative characteristics of the impact of weather-climatic component on the yield variability has been obtained, allowing to make by methods of mathematical statistics an adequate productivity models of winter cereal crops.

The calculations have been done by two variants with reference to climatic component as a predictor: by air temperature deviations and atmospheric precipitation of months, mostly affecting the crops yield (variant 1), as well as by seasonable deviations of climatic indices from many-year norm (variant 2). Most accessible versions as a basis to solve prognosis tasks have been chosen.

Ю. А. Бровка

НЕДОБОРЫ УРОЖАЕВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР И ИХ КЛИМАТИЧЕСКАЯ ОБУСЛОВЛЕННОСТЬ

За 44-летний период (1960–2003 гг.) установлены значительные снижения урожайности основных сельскохозяйственных культур в регионах Беларуси вследствие неблагоприятных погодно-климатических условий. Приведены результаты оценки средней величины недоборов урожаев культур, выявлены особенности их территориального и межгодового распределения.

Урожайность сельскохозяйственных культур является показателем, характеризующим продуктивность агроценозов, и в значительной степени определяется погодными условиями. Для оценки колебаний урожайности культур по годам под влиянием погодных условий выполнено исследование временных рядов: анализ основной тенденции (тренда) и случайной составляющей динамики урожайности. Изучению этих вопросов посвящены работы Е. С. Улановой, Ю. Л. Раунера, И. В. Свисюка, М. В. Николаева, А. И. Страшной, А. Н. Полевого, А. Н. Витченко, В. И. Мельника, П. А. Ковриго и др. [1–9].

Согласно подходам В. А. Жукова, А. Н. Полевого, Е. С. Улановой, изложенным в работах [2, 9], проведено выравнивание (аппроксимация) 44-летних рядов урожайности сельскохозяйственных культур на уровне административных областей Беларуси. Рассмотрено изменение урожайности основных продовольственных, технических и кормовых культур с 1960 по 2003 г.: озимых ржи и пшеницы, ярового ячменя, овса, картофеля, льна-долгунца, сахарной свеклы, кукурузы на силос и зеленый корм.

Анализ отклонений урожайности культур от тренда, связанного с уровнем агротехники, позволяет выделить годы с крупными отрицательными аномалиями, обусловленными климатическими факторами (заморозками в период вегетации, засухами, избыточным увлажнением и т. д.). Межгодовое распределение отклонений урожайности культур показано на примере Брестской и Витебской областей (рис. 1).

Повторяемость лет с пониженной урожайностью культур колеблется от 20,5 % в Витебской области до 31,8–34,1 % в Гродненской и Могилевской областях. В южных областях этот показатель составляет 29,5 %, в Минской области – 25,0 %. Минимальное количество лет с недоборами урожаев трех и более культур отмечено в северном регионе Беларуси, максимальное – в центральном и западном регионах (Минская и Гродненская области). Почти во всех областях самые значительные спады урожайности сельскохозяйственных культур наблюдались в 1979 – начале 1980-х гг. и в 1999 г.

Сопоставив межгодовое распределение значительных отрицательных отклонений урожайности культур, с одной стороны, степени увлажнения территории (гидротермический коэффициент – ГТК), аномалий температуры воздуха и количества осадков в месяцы вегетационного периода, наличия в данные годы заморозков и засух – с другой стороны, мы выявили причинно-следственную связь между колебаниями урожайности культур и погодно-климатическими условиями.

В Брестской области существенные снижения урожайности всех или большинства рассматриваемых культур отмечены в 1979, 1980, 1982 и 1999 гг. В мае–июне 1979 г. зафиксирована засуха на большей части территории, а в июле средняя температура воздуха была на 3,6 °C ниже нормы. Для 1980 г. характерны майские заморозки, температурная аномалия в этот месяц составила -4,4 °C. Наблюдалось избыточное увлажнение в июле: количество осадков превышало многолетнюю норму на 82 мм, ГТК = 3,2. Заморозки, в т. ч. нанесшие ущерб сельскому хозяйству, отмечались в мае–июне 1982 г. и в мае 1999 г. Особенность 1999 г. – температурная аномалия в июне 3,7 °C и продолжительная, с небольшими перерывами засуха с мая по август.

Значительные недоборы урожаев отдельных культур в юго-западном регионе страны установлены в 1968, 1975, 1983, 1985, 1995 гг. (зерновые культуры), в 1962, 1992, 1994 гг. (пропашные культуры), в 2001 г. (лен-долгунец). Май 1962 г. отличался избыточным увлажнением (ГТК = 2,9) и заморозками. Для 1968 г. характерны июльские заморозки, засуха в июне; для 1975, 1983, 1985 гг. – засушливый август (ГТК = 0,5–0,7), для 1983 г. – также июньские заморозки, нанесшие ущерб сельскому хозяйству. В 1985 г. отмечался влажный июнь (ГТК = 2,4).

В 1992, 1994 и 1995 гг. преимущественно в летние месяцы складывались засушливые условия (ГТК = 0,5–0,7; в июле 1994 г. ГТК = 0,1), на большей части Брестской области были засухи. В 1992 г. зафиксированы положительная температурная аномалия в августе (3,7 °C), заморозки и избыточное количество атмосферной влаги в сентябре (сумма осадков на 64 мм выше нормы, ГТК = 3,3).

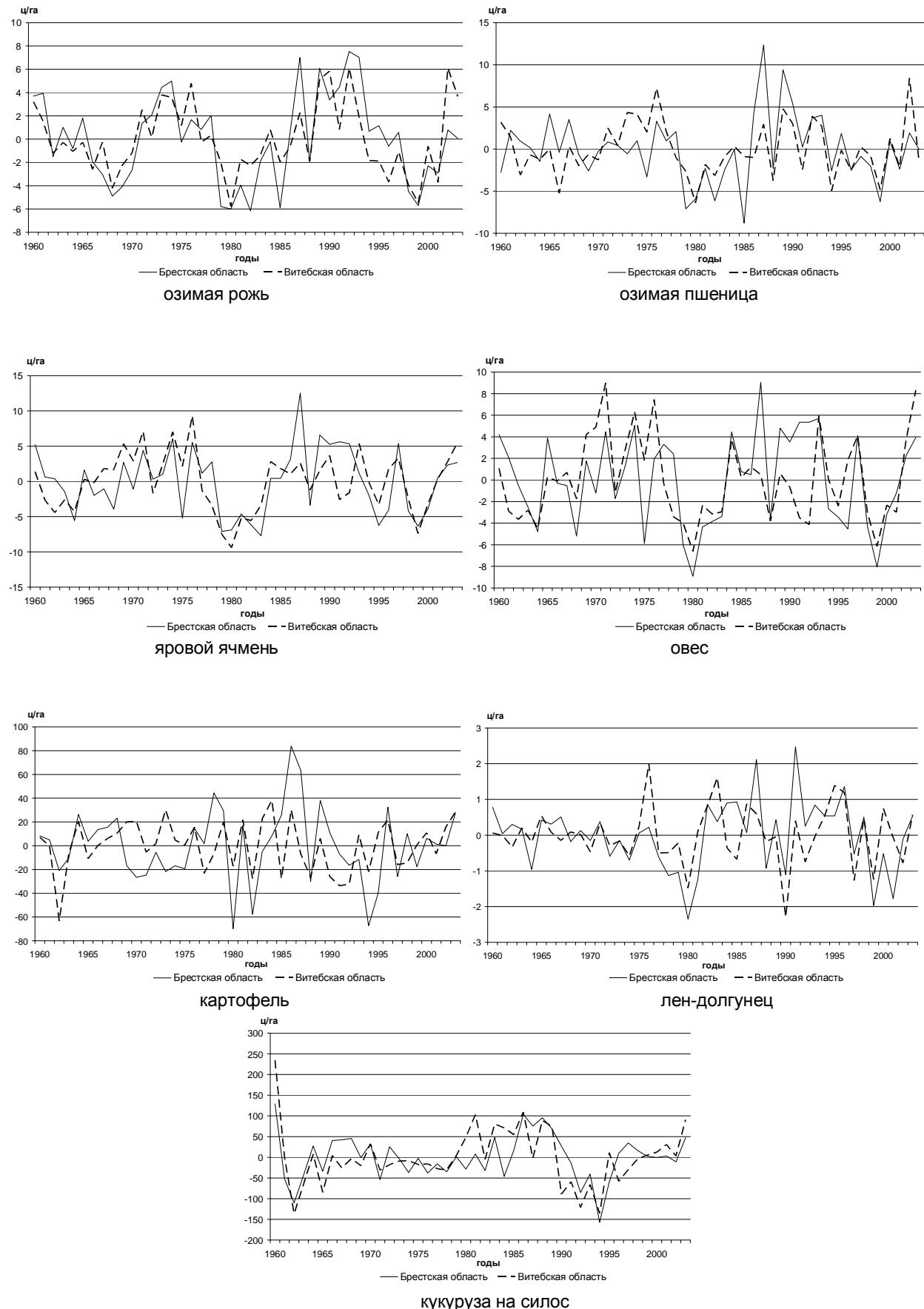


Рис. 1. Отклонения урожайности сельскохозяйственных культур от тренда на территории Брестской и Витебской областей за период 1960–2003 гг.

В мае 1994–1995 гг. наблюдались заморозки, в июле 1994 г. – отрицательные аномалии суммы осадков (-79 мм). Наличие опасных для растений заморозков в мае–июне, жаркий и влажный июль (отклонения температуры воздуха и количества осадков от нормы составили соответственно 3,7 °С и 59 мм) отмечены в 2001 г.

В Витебской области значительные недоборы урожаев, главным образом зерновых культур, выявлены в 1980 и 1999 г. Для этих лет характерны майские заморозки, в мае–августе 1999 г. – продолжительная засуха (за май, июль ГТК составил 0,6). Крупные отрицательные температурные аномалии наблюдались в мае 1980 г. (-4,7 °С), положительные – в июне и июле 1999 г. (соответственно 4,7 и 3,0 °С).

В северном регионе Беларуси установлены существенные отклонения от тренда урожайности картофеля, кукурузы на силос, реже льна-долгунца в 1962, 1965, 1990, 1992, 1994 гг., а урожайности некоторых зерновых – в 1966, 1979 и 1994 гг. Почти во все годы наблюдались заморозки в мае, реже в другие месяцы. Значительные отклонения среднемесечной температуры воздуха от нормы наблюдались в мае 1965 г. (-4,0 °С), в июле 1979 г. (-3,4 °С). Для 1962 и 1990 гг. выявлены положительные (76 и 60 мм), а для 1994 г. – отрицательные аномалии суммы осадков в июле (-80 мм). Засухи отмечены в мае–июне 1979 г., в июле–августе 1992 г. и в летние месяцы 1994 г.

Для Витебской области некоторые годы с недоборами урожаев характеризовались избыточным или недостаточным увлажнением в месяцы вегетационного периода. В мае–июле 1962 г., мае 1965 г., сентябре 1992 г. гидротермический коэффициент составлял от 2,6 до 3,6. Переувлажнением территории (ГТК = 3,1–4,2) отличались также июль и сентябрь 1990 г. Засушливые явления прослеживались в июне 1979 г., мае 1990 г. и в летние месяцы 1992 г. (ГТК = 0,6–0,7). Значительный недостаток влаги (ГТК = 0,2) зафиксирован в июле 1994 г.

Существенные недоборы урожаев большинства культур (прежде всего зерновых) в Гомельской области наблюдались в 1979–1980 и 1999 гг. Для 1979 г. была характерна засуха в мае–июне (ГТК = 0,4–0,5), температурный фон в июле на 3,1 °С ниже климатической нормы. В 1980 г. выявлены неблагоприятные погодные условия на начальном этапе вегетации растений: холодный (аномалия температуры воздуха -4,5 °С) с заморозками май и избыточно влажный июнь (ГТК = 2,7). В 1999 г. отмечались опасные майские заморозки и длительная засуха; средняя температура воздуха в июне и июле превышала многолетнее значение соответственно на 4,5 и 3,0 °С; ГТК в июне составлял 0,7.

В юго-восточном регионе страны отрицательные отклонения от тренда урожайности не-

скольких культур выявлены в 1981 и 1983 гг., одной–двух культур – в 1962, 1968, 1982, 1992, 1994–1996 и 2003 гг. Для 1962 г. были характерны майские заморозки, избыточно влажный июль (ГТК = 2,8), для 1968 г. – засуха в июне, засушливый август (ГТК = 0,6), июльские заморозки, для 1981 г. – засуха в мае–июне. В 1982 г. наблюдались заморозки в мае–июне, сентябре (в т. ч. вызвавшие повреждение или гибель культур) и засушливый сентябрь. В 1983 г. прослеживались температурная аномалия в мае (3,1 °С), опасные июньские заморозки, недостаточное увлажнение в августе (ГТК = 0,3). Для 1992, 1994–1996 и 2003 гг. отмечены заморозки в мае, иногда в июне, а также засуха в весенне-летний период. В июле 1992 и 1994 гг. и августе 1992 г. гидротермический коэффициент снижался до 0,4–0,5. В августе 1992 г. температура воздуха на 3,8 °С превышала норму. В июле 1994 г. наблюдалась аномалия количества осадков -66 мм, в мае 1996 и 2003 гг. – температурная аномалия 3,3–3,4 °С.

В Гродненской области значительные снижения урожайности зерновых культур, реже картофеля и льна-долгунца установлены в 1979–1980 и 1999 гг. Период 1994–1996 гг. отличался существенными отклонениями от линии тренда урожайности яровых зерновых и пропашных культур. Выделенные годы характеризовались неблагоприятными погодно-климатическими условиями.

В 1979 г. с середины мая до конца июня наблюдалась засуха; средняя температура воздуха в июне превышала норму на 3,1 °С, а гидротермический коэффициент составлял 0,4. В июле зафиксирована отрицательная температурная аномалия (-3,8 °С). Для 1980 г. были характерны холодный с заморозками май (температурный фон ниже среднего многолетнего значения на 4,7 °С) и избыточно влажный июль (аномалия количества осадков 94 мм, ГТК = 3,5). В 1994–1996 гг. и 1999 г. отмечены засухи продолжительностью 35–82 дня, майские, а также сентябрьские заморозки (в т. ч. опасные для растений). Наиболее засушливые условия наблюдались в июле 1994 г. (ГТК = 0,1), когда аномалии температуры воздуха и суммы осадков составили 2,9 °С и -79 мм, и августе 1996 г. (ГТК = 0,4). Июнь 1999 г. отличался повышенной температурой воздуха (отклонение от нормы 3,5 °С), июль – недостаточным увлажнением (ГТК = 0,6).

Недоборы урожаев одной–двух зерновых или пропашных культур в западном регионе установлены для 1962, 1964, 1968, 1971, 1975, 1981, 1985 и 1992 гг. В 1960-е гг. получили распространение майские заморозки, реже июньские (1962 г.) и июльские (1968 г.). Избыточное увлажнение наблюдалось в мае 1962 г. (ГТК = 3,6), засушливые условия – в июне 1964 г. (ГТК = 0,4, температурная аномалия 3,5 °С), июле 1964, 1968 гг. (ГТК = 0,7), засуха – в июне 1968 г.

(юг Гродненской области). Для 1971 г. были характерны засуха в мае и летние месяцы, низкие гидротермические коэффициенты в мае, июле и августе (0,2–0,5), аномалия суммы осадков (61 мм) и переувлажнение в июне ($\Gamma\text{TK} = 3,0$).

В 1975 г. отмечались повышенная температура воздуха в мае (аномалия 2,4 °C) и сухой август ($\Gamma\text{TK} = 0,4$). В 1985 г. выявлены майские заморозки, избыточное увлажнение в июне ($\Gamma\text{TK} = 3,4$) и засушливые условия в августе ($\Gamma\text{TK} = 0,7$). Отличительная особенность 1992 г. – 60-дневная засуха, недостаточное увлажнение в летние месяцы ($\Gamma\text{TK} = 0,6$) и за весь период вегетации ($\Gamma\text{TK} = 0,7$), жаркий август с температурной аномалией 3,2 °C, влажный сентябрь (количество осадков превышало норму на 62 мм, $\Gamma\text{TK} = 3,4$).

В Минской области значительные отрицательные отклонения урожайности большинства культур от тренда установлены в 1979–1980, 1982 и 1999 гг., пропашных культур – в 1992 и 1994 гг. Это связано главным образом с погодно-климатическими условиями в данные годы. Для 1979 г. была характерна засуха с середины мая до конца июня; температурная аномалия в июне составляла 2,9 °C, гидротермический коэффициент – 0,5. Также отмечались прохладный июль (средняя температура воздуха ниже нормы на 3,6 °C) и избыточно влажный август (отклонение количества осадков 63 мм, $\Gamma\text{TK} = 2,7$). В 1980 г. наблюдались холодный с заморозками май (аномалия температурного фона -4,7 °C) и влажный июль ($\Gamma\text{TK} = 2,5$), в 1982 г. – заморозки в мае, июне (повреждение растений), сентябрь и переувлажнение территории в июне ($\Gamma\text{TK} = 3,1$).

Для центрального региона Беларуси в 1994 г. зафиксированы майские заморозки, засуха в летние месяцы, в 1992 г. – также засушливость в течение всего вегетационного периода и сентябрьские заморозки. В июле 1992 г. выявлена аномалия суммы осадков -67 мм и $\Gamma\text{TK} = 0,3$, в августе – отклонение средней температуры воздуха на 3,6 °C и $\Gamma\text{TK} = 0,5$. Июль 1994 г. характеризовался низким значением ΓTK (0,1) и количеством осадков на 80 мм меньше климатической нормы. В 1999 г. наблюдались продолжительная засуха (май–август), сентябрьские и опасные майские заморозки; установлены значительные температурные аномалии в июне и июле (соответственно 4,9 и 3,3 °C), засушливые май, июль и сентябрь ($\Gamma\text{TK} = 0,7$).

Существенные недоборы урожаев отдельных культур в Минской области отмечены в 1962, 1964, 1968, 1995 и 1998 гг. Для 1962 г. характерны заморозки в мае–июне, избыточное увлажнение в мае и августе ($\Gamma\text{TK} = 2,7–2,8$); для 1964 г. – засуха в мае–июне (температурный фон июня на 3,7 °C выше среднего многолетнего значения), майские заморозки. В 1968 г. наблюдались июньская засуха (восток Минской области) и заморозки в июле, в 1995 г. – 35-дневная засуха с перерывами (конец

мая–конец августа), заморозки в мае (опасные для растений) и сентябре. В 1998 г. отмечались майские заморозки и влажный июнь ($\Gamma\text{TK} = 2,6$).

Значительные отрицательные аномалии урожайности зерновых культур и льна-долгунца в Могилевской области выявлены в 1979–1980 и 1999 гг. В 1979 г. зафиксирована засуха в мае–июне, в эти месяцы ΓTK составлял соответственно 0,6 и 0,4. Также установлены отрицательные отклонения от нормы количества осадков в июне (-59 мм) и средней температуры воздуха в июле (-3,3 °C), т. е. засушливый первый летний месяц и прохладный второй. В 1980 г. наблюдался холодный с заморозками май (температурная аномалия -4,9 °C), в 1999 г. – продолжительная засуха, жаркий июнь (температура воздуха на 4,4 °C выше многолетней нормы), опасные майские заморозки.

Существенные снижения урожайности отдельных культур в восточном регионе зафиксированы в 1962, 1992 гг. (картофель, кукуруза), 1964, 1975, 1998 гг. (овес), 1982, 1983, 1991, 1994 гг. (некоторые зерновые), 1990, 1997 и 2002 гг. (лен-долгунец). Для 1962 г. были характерны заморозки в мае и сентябре, положительные аномалии количества осадков в июле (88 мм) и августе (65 мм), избыточное увлажнение в мае ($\Gamma\text{TK} = 2,5$), июле, августе (ΓTK составляет 3,7 и 2,9) и в вегетационный период ($\Gamma\text{TK} = 2,8$). В 1964 г. отмечены майские заморозки, значительные отклонения от нормы среднемесячной температуры воздуха (3,8 °C) и засушливые явления ($\Gamma\text{TK} = 0,6$) в июне. Недостаточное увлажнение ($\Gamma\text{TK} = 0,7$) и температурные аномалии 3,3 °C выявлены в мае 1975 г., заморозки – в мае–июне 1982 г. В 1983 г. температура воздуха в мае превышала норму на 3,0 °C, наблюдался засушливый август с аномалией суммы осадков -62 мм и $\Gamma\text{TK} = 0,3$.

В 1990-е гг. и 2002 г. имели место майские заморозки, в т. ч. вызвавшие повреждение или гибель культур, иногда – заморозки в сентябре. Кроме того, в 1990 г. зафиксирован влажный июль (отклонение количества осадков 63 мм, $\Gamma\text{TK} = 3,0$), в 1991 г. – избыточное увлажнение в мае ($\Gamma\text{TK} = 2,6$). Для июля–августа 1992 г. была характерна засуха ($\Gamma\text{TK} = 0,4–0,6$); температурный фон в августе был на 2,9 °C выше среднего многолетнего значения, а сумма осадков в июле – на 61 мм ниже климатической нормы. Недостаточным увлажнением ($\Gamma\text{TK} = 0,7$) отличались май 1992 г., а также вегетационный период в целом. В июле 1994 г. наблюдались засушливые условия ($\Gamma\text{TK} = 0,3$) и отрицательная аномалия количества осадков (-68 мм), в июле и августе 1998 г. – переувлажнение территории ($\Gamma\text{TK} = 2,5–2,7$). Для 2002 г. отмечены длительная засуха с мая по сентябрь, жаркий июль с температурой воздуха на 3,7 °C выше нормы и очень засушливый август ($\Gamma\text{TK} = 0,3$).

Таким образом, значительные недоборы урожаев в регионах Беларуси могут быть объяснены влиянием неблагоприятных климатических условий, наблюдавшихся в выделенные годы или ранее. Заморозки, недостаточное количество атмосферных осадков, засушливые периоды и засухи, аномально высокие или низкие среднемесячные температуры воздуха, избыточное количество осадков и, как следствие, переувлажнение территории определяют отрицательные отклонения урожайности культур от линии тренда.

Для областей Беларуси в годы с недоборами урожаев культур выявлено сочетание различных типов неблагоприятных погодно-климатических условий. В Брестской области для 1962 и 1979–1980 гг. в основном характерны избыточное увлажнение и пониженная температура воздуха в месяцы вегетационного периода; с 1990-х гг. преобладали засухи и засушливые условия. В Витебской области чаще наблюдались избыточное увлажнение, пониженная температура воздуха в отдельные месяцы, заморозки; это относится прежде всего к 1960-м гг. Снижения урожайности с 1992 г. в значительной степени определялись недостаточным увлажнением в летние месяцы, аномально высокими температурами воздуха и, как следствие, засухами. Для Гомельской области наиболее частые причины недоборов урожаев культур (особенно в 1990-е гг.) – засушливые месяцы, засухи, а также заморозки в первой половине вегетационного периода. Исключение составили 1962 и 1980 гг., в которые наблюдались избыточное увлажнение в некоторые месяцы и пониженная температура воздуха. В Гродненской области отрицательные отклонения урожайности культур связаны с различными типами неблагоприятных погодно-климатических условий: как правило, отмечалось чередование избыточно влажных и засушливых месяцев. Значительное переувлажнение территории и отрицательные температурные аномалии выявлены в 1962 г. и первой половине 1980-х гг. С середины 1960-х до конца 1970-х гг. чаще наблюдались засушливые периоды и засухи, в 1990-е гг. – также заморозки. В Минской области существенные снижения урожайности культур в 1960–1980-е гг. и 1998 г. связаны преимущественно с заморозками и избыточным увлажнением территории в месяцы вегетационного периода, реже с пониженной температурой воздуха. В первой половине 1990-х гг. и 1999 г. основными причинами потерь урожаев являлись продолжительные засухи, аномально засушливые условия в отдельные месяцы и заморозки. В Могилевской области в большинстве лет со значительными недоборами урожаев культур отме-

тились засушливые периоды, засухи и заморозки. Выделены годы с избыточным увлажнением в различные месяцы, которое нередко сочеталось с отрицательными температурными аномалиями: 1962, 1980, 1990–1991, 1998 гг.

Выполнена количественная оценка потерь урожаев, выраженных в относительных (%) и абсолютных (ц/га) единицах, результаты которой представлены на рис. 2, 3. Выявлены территориально-временные особенности распределения значительных недоборов урожаев за 44-летний период.

Средняя величина существенных снижений урожайности озимой пшеницы изменяется от 24,5–26,4 % в Брестской и Гродненской областях до 35,4 % в Витебской области. Недоборы урожаев озимой ржи возрастают с юго-запада и запада (27,1–29,7 %) к юго-востоку, востоку и северу страны (33,4–34,4 %). Значительные отрицательные отклонения от тренда урожайности ярового ячменя составляют в среднем 43,4–47,6 % на севере и востоке Беларуси и уменьшаются до 25,4 % в юго-западной ее части. Во всех регионах страны осредненная величина потерь урожаев овса за счет неблагоприятных погодно-климатических условий колеблется в пределах 32,2–39,8 %; рост показателя отмечается в восточном и северном направлениях.

Наибольшее отрицательное отклонение урожайности картофеля от линии тренда выявлено в Витебской области (75 %). Осредненная величина потерь урожаев культуры уменьшается на западе и юго-востоке страны до 31,2–32,6 % и возрастает в Могилевской области до 47,8 %. Для сахарной свеклы данный показатель составляет 25,2–26,6 % на западе и юго-западе Беларуси и 32,8 % в центральной ее части (Минская область). Средняя величина значительных недоборов урожаев льна-долгунца изменяется от 36,4 % в Брестской до 50,0 % в Витебской области. Наименьшие осредненные потери урожайности кукурузы на силос отмечены в западном регионе и в южных областях (53–57 %), самые значительные – в центральном и восточном регионах (67,6–69,2 %).

Средняя величина существенных недоборов урожаев, выраженная в абсолютных единицах, для озимой ржи изменяется по областям в пределах 5,7–6,4 ц/га, для озимой пшеницы – от 5,4 ц/га (Витебская область) до 7,8 ц/га (Минская область). Осредненные потери урожаев ярового ячменя на большей части Беларуси составляют 7,6–8,9 ц/га, в Брестской области – 6,8 ц/га. Для овса наблюдаются снижения урожайности в среднем на 6,4–6,8 ц/га, в южных областях – на 7,2–7,8 ц/га.

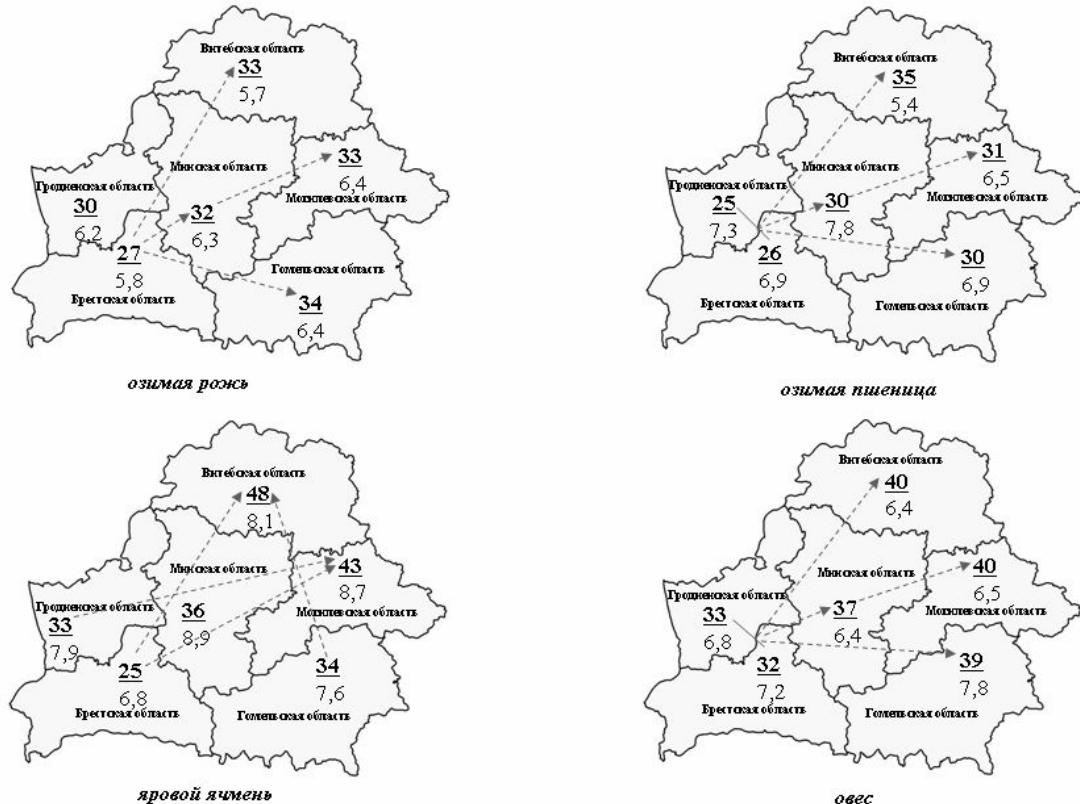


Рис. 2. Наибольшие снижения (отклонения от тренда) урожайности зерновых культур

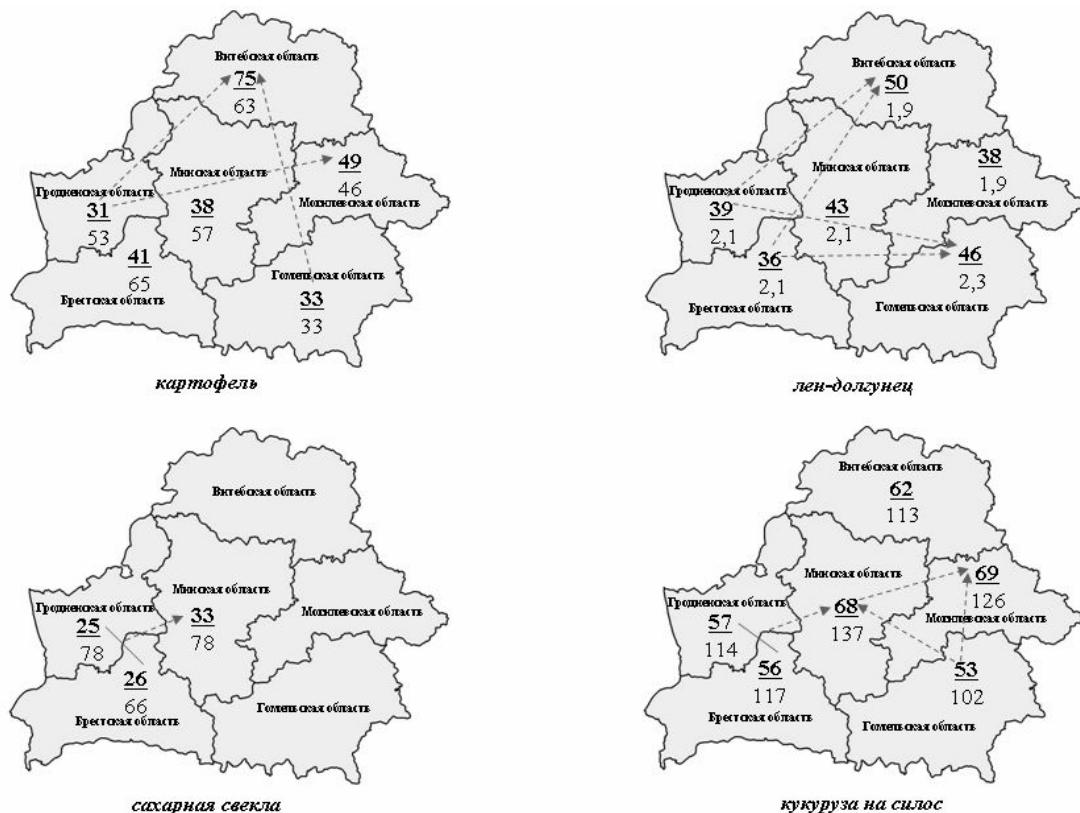


Рис. 3. Наибольшие снижения (отклонения от тренда) урожайности картофеля, технических и кормовых культур с 1960 по 2003 г. (в числителе дроби – %, в знаменателе – ц/га)

Наибольшая средняя величина недоборов урожаев картофеля выявлена в Витебской и Брестской областях (63,0–65,0 ц/га), кукурузы на силос – в центральном регионе (173,3 ц/га). Наименьший показатель для этих культур отмечен на юго-востоке страны – соответственно 32,6 ц/га и 102,0 ц/га. Значительные отклонения урожайности льна-долгунца изменяются по областям в среднем от 1,9 до 2,3 ц/га, сахарной свеклы – от 65,7 ц/га (юго-западный регион) до 78,3 ц/га (Минская и Гродненская области).

Проведенные исследования позволили оценить недоборы урожаев сельскохозяйственных культур на территории Беларуси за период 1960–2003 гг. Для всех областей выделены годы с пониженной урожайностью различных культур: 1962, 1979–1980, 1992, 1994, 1999 гг. Выявлены региональные особенности межгодового распределения потерь урожаев культур, которые объясняются влиянием различных типов неблагоприятных погодно-климатических условий. С

1990-х гг. наиболее частыми причинами отрицательных отклонений урожайности культур от тренда являлись засухи, засушливые месяцы, а также заморозки в первой половине вегетационного периода.

Средняя величина значительных снижений (отклонений от тренда) урожайности зерновых культур на территории Беларуси составляет для озимой ржи 32 % (6,1 ц/га), озимой пшеницы – 30 % (6,8 ц/га), ярового ячменя и овса – 37 % (8,0 и 6,9 ц/га). Существенные недоборы урожаев картофеля и льна-долгунца оцениваются в среднем в 42–44 % (соответственно 43,2 и 2,1 ц/га), сахарной свеклы – 28 % (74,1 ц/га), кукурузы на силос – 61 % (118,3 ц/га). Как правило, относительная величина климатообусловленных потерь урожаев культур возрастает в северном и восточном направлениях (Витебская, Могилевская, Гомельская области) и сокращается к западу и юго-западу (Гродненская и Брестская области).

Л и т е р а т у р а

1. **Витченко А. Н.** Теоретические и прикладные основы оценки агроэкологического потенциала ландшафтов Беларуси: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Мин., 1996.
2. **Жуков В. А., Полевой А. Н., Витченко А. Н., Даниэлов С. А.** Математические методы оценки климатических ресурсов / Под ред. В. А. Жукова. Л., 1989.
3. **Мельник В. И.** Влияние изменения климата на агроклиматические ресурсы и продуктивность основных сельскохозяйственных культур Беларуси: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Мин., 2004.
4. **Мельник В. И., Ковриго П. А.** Оценка агроклиматического потенциала возделывания ранних яровых культур на территории Беларуси // Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия, Биология, География. 1998. № 3. С. 57–60.
5. **Николаев М. В.** Климатический фактор изменчивости урожайности яровой пшеницы в зернопроизводящей зоне СНГ // Бюл. ВИР. 1992. Вып. 217. С. 49–55.
6. **Николаев М. В.** Современный климат и изменчивость урожаев. Зерновые регионы умеренного пояса. СПб., 1994.
7. **Раунер Ю. Л.** Климат и урожайность зерновых культур. М., 1981.
8. **Свисюк И. В., Русеева З. М., Федотова Л. В.** Погода и урожай зерновых культур. СПб., 1992.
9. **Уланова Е. С.** Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы. Л., 1986.

Ю. А. Бровка

НЕДОБОРЫ УРОЖАЕВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР И ИХ КЛИМАТИЧЕСКАЯ ОБУСЛОВЛЕННОСТЬ

Представлены результаты оценки величины климатообусловленных потерь урожаев сельскохозяйственных культур за 1960–2003 гг. Самые значительные снижения (отклонения от тренда) урожайности большинства культур установлены в Беларуси в конце 1970-х–начале 1980-х гг. и в 1999 г. Относительная величина недоборов урожаев культур, как правило, возрастает в северном и восточном направлениях и сокращается к западу и юго-западу. На территории страны существенные недоборы урожаев составляют для озимых зерновых в среднем 30–32 %, яровых зерновых культур – 37 %, картофеля и льна-долгунца – 42–44 %, сахарной свеклы – 28 %, кукурузы на силос – 61 %.

Выполнен сравнительный анализ временной приуроченности значительных снижений урожайности культур и климатических аномалий. Для регионов страны характерно сочетание различных типов неблагоприятных погодно-климатических условий в вегетационный период, выявленных в годы с недоборами урожаев культур. В Гродненской и Брестской областях в такие годы

нередко отмечается чередование влажных и засушливых месяцев. В Гомельской и Могилевской областях наиболее частыми причинами значительных недоборов урожаев культур являются засушливые месяцы, засухи, а также заморозки в первой половине вегетационного периода, в Витебской и Минской областях – избыточное увлажнение, пониженная температура воздуха и заморозки. С 1990-х гг. на всей территории Беларуси недоборы урожаев культур определяются главным образом продолжительными засухами, аномально засушливыми условиями в некоторые месяцы и заморозками.

Yu. A. Brovka

SHORTAGES OF AGRICULTURAL CROPS YIELD AND THEIR CLIMATE DEPENDENCE

The assessment results of climate depending yield losses of agricultural crops for 1960–2003 are presented. Most significant falls (deviations from a trend) of greater crops yield have been determined in Belarus in the end of 1970's–start of 1980's and in 1999. Relative value of crops yield lacks as a rule increases in northern and eastern directions and reduces to the west and south-west. In the territory of the state great yields deficiency are found for winter cereals on an average as 30–32 %, spring cereals – 37 %, potato and flax – 42–44 %, sugar beet – 28 %, silage corn – 61 %.

A comparative analysis of time dependence of considerable lowering of crops yield and climatic anomalies has been done. Regions of the country are characterized with combination of various types of unfavorable weather-climatic conditions in vegetation period revealed in years of crops shortages. In Grodno and Brest regions in these years humid and dry months go one by one. In Gomel and Mogilyov regions most frequent reasons of great crops shortages are arid months, droughts, also light frosts in the first half of vegetation period; in Vitebsk and Minsk regions excessive moisture, low air temperature and light frosts. Since 1990's crops yield lacks over the whole Belarus territory are determined mainly by long droughts, abnormally droughty conditions and light frosts in some months.

В. Е. Тышкевич

**ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ УЩЕРБА
АГРОЦЕНОЗАМ СО СТОРОНЫ ДИКИХ КОПЫТНЫХ (ARTIODACTYLA)
С ПОМОЩЬЮ БИОТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ И
РАСЧЕТ ЗАТРАТ НА ИХ ПРОВЕДЕНИЕ**

В охотниччьем хозяйстве «Белый Бор» Слуцкого района Минской области с наиболее высокой для Беларуси плотностью населения диких копытных и минимальной лесистостью территории проведена апробация биотехнических мероприятий, позволяющих минимизировать ущерб агроценозам со стороны диких копытных. Впервые для условий Беларуси выполнен расчет расходов на проведение подкормки и профилактики ущерба агроценозам со стороны диких копытных.

Охотничье хозяйство – отрасль природопользования, цель которого состоит в рациональном использовании, воспроизводстве и охране животных как возобновляемого природного ресурса [1–4, 7, 9, 11]. Социально-экономические отношения в этой сфере развиваются вместе с перспективными направлениями сохранения и приумножения ресурсного природного потенциала. При создании ряда условий, таких как оптимальная структура популяций диких животных, необходимые видам кормовые и защитные условия, охрана и мониторинг, численность дичи достигает оптимального уровня (продуктивности).

По аналогии с развитыми странами Республика Беларусь восстанавливает охотничье

хозяйство и популяции диких копытных [1–4, 8–11, 15, 17–22, 26–29]. При высокой степени сельскохозяйственной освоенности угодий достижение оптимальной численности копытных недопустимо без комплекса мероприятий, способных существенно снизить ущерб агроценозам. В Европе противоречия между сельским и охотничьим хозяйствами устранили, используя для отпугивания копытных от полей электрические ограды и репелленты (табл. 1) [30]. В Беларуси практикуется отстрел копытных, но их немногочисленность требует уменьшения ущерба полям более щадящими методами, например с помощью отвлекающей подкормки животных (биотехники) [22].

Таблица 1. Предупреждение и профилактика потрав дикими копытными в странах с интенсивным сельским и охотничьим хозяйствами (Зап. Европа, Скандинавия)

Вид копытного и повреждаемые им сельскохозяйственные культуры и др.	Подкормка	Изгороди стационарные и электрические	Репелленты – вкусовые и запаховые	Смена структуры агроценозов	Селекция сортов не пригодных как корма	Отстрел, отпугивание (беспокойство)
Дикий кабан: зернобобовые; корнеплоды и овощные культуры; сенокосы-пастища – луга (беспозвоночные); фруктарники-сады (плоды);	+	+	+	+	+	+
Благородный олень: зернобобовые, крестоцветные, корнеплоды фруктарники-сады (побеги-плоды)	+	+	+	+	+	+
Косуля: зернобобовые, крестоцветные; фруктарники-сады (побеги-плоды)	+	+	+	+	+	+
Лось: зернобобовые, крестоцветные, овощные культуры; фруктарники-сады (побеги-плоды)		+	+	+		+

Примечание: отстрел животных проводится в традиционные сроки охоты.

Для разработки и аprobации биологических методов снижения ущерба (БМСУ) агроценозам выбрано охотхозяйство-модель «Белый Бор» в Слуцком районе (табл. 2), внедрившее передовые методы наращивания численности копытных с наиболее высокой в Беларуси их плотностью [8, 11, 15–23]. После рекультивации заброшенных сенокосов в нем ежегодно создаются плантации рапса, ржи, кукурузы, люпина, клевера, овса и ячменя.

При поедании семян (горох, кукуруза) кабаном осуществлялся пересев (ремонт) просом. Отвлекающую подкормку проводили на кормовых полях, выкладывая сочные корма и фуражные смеси.

Охотничьи хозяйства Европы более 30 лет культивируют плантации кормовых растений для дичи со стандартами кормления, напоминающими таковые у сельскохозяйственных животных [27–28]. Хозяйственно целесообразная численность дичи определяется ее обеспеченностью кормами или площадью земли, пригодной для создания плантаций кормов с учетом урожайности культур. Это делается с целью поддержания высокой численности ценных видов, прежде всего благородного оленя, а также для подкормки дичи непосредственно в лесных угодьях.

В условиях Беларуси отсутствие кормовых полей выработало у копытных стратегию поиска кормов, ориентированную на зернобобовые и озимые культуры (табл. 3).

Таблица 2. Состояние популяций копытных охотхозяйства «Белый Бор»

Вид	Площадь обитания, тыс. га	Населенность угодий, особей / план добычи, особей / плотность населения на 1 тыс. га, особей			
		2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.
Лось	5,2	11 / - / 2,1	19 / - / 3,46	30 / 3 / 5,76	55 / 10 / 9,8
Косуля	5,2	9 / - / 1,7	22 / - / 3,84	51 / 3 / 9,8	70 / 10 / 19,23
Кабан	5,2	9 / - / 1,7	58 / 30 / 11,1	206 / 150 / 39,6	370 / 300 / 80,0
Олень	5,2	-	17 / - / 3,26	30 / - / 5,76	40 / 2 / 7,69
<i>Итого</i>	<i>5,2</i>	<i>29 / - / 5,6</i>	<i>113 / 30 / 21,7</i>	<i>317 / 156 / 60,9</i>	<i>535 / 322 / 102,8</i>

Таблица 3. Традиционная для Беларуси обеспеченность копытных кормами

Вид, численность	Период потребления кормов				
	01.01–01.05	02.06–01.07	02.07–01.10	02.10–01.11	02.11–31.12
Благородный олень, не встречался	Озимые и силос*; побеги деревьев, кора**, кустарники и кустарнички	Сложноцветные и злаки в лесах; всходы кукурузы*	Сложноцветные в лесах; кукуруза и овес*	Озимые и силос*; побеги деревьев, кора**, кустарники и кустарнички	
Косуля	Озимые*; побеги, кустарнички	Сложноцветные и злаки в лесах	Сложноцветные в лесах; кукуруза и овес*	Озимые*; побеги деревьев, кустарники и кустарнички	
Лось	Озимые*; побеги деревьев, кора**, кустарники и кустарнички	Сложноцветные и злаки в лесах	Сложноцветные в лесах	Озимые*; побеги деревьев, кора**, кустарники и кустарнички	
Дикий кабан	Зерноотходы; силос*	Сложноцветные; кукуруза*, горох*	Кукуруза*, горох*, овес*, пшеница*, ячмень*, рожь*	Кукуруза*, картофель*, силос*	Зерноотходы; силос*

*Агроценозы и силосные ямы; **сваленные бобром деревья.

Значительные площади посевов и низкая населенность угодий копытными оказывали лишь незначительное негативное воздействие на агроценозы, но при смене культур происходят миграции копытных [4, 5, 7, 12–14, 16, 22–25, 27].

Исключение составляют весенние потравы, когда истощенные зимней бескорницеей и лишенные кормов кабаны выкапывают кукурузу, картофель и другие культуры, но отвлекающую подкормку охотхозяйства проводят только при остатке зимней подкормки.

В нашей стране основной способ защиты от потрав – отстрел копытных, редко учитывающий их социабельность. Например, изъятие

взрослых самок кабана приводит к рассредоточению их потомства. Лишившись вожака, молодые копытные, без характерного для взрослых особей жизненного опыта (осторожности), начинают посещать поля практически круглосуточно и впоследствии обитают в высокостебельных зерновых, и тогда потравы становятся стихийными [3–5, 17–19, 22–25, 26–28].

Биологические причины потрав культур кабаном в весенний период напрямую связаны с упитанностью животных. Потребность в корме у упитанных особей существенно ниже, сокращено и определяющее ущерб агроценозу время их пастбища [3, 4, 7]. Организация полноценной под-

кормки кабана в осенне-зимне-весенний период зачастую избавляет от претензий со стороны землепользователей. Во время весенних потрав высеваемой кукурузы на выкапывание кабаном 1 кг корма (суточная потребность) необходимо 3,5–4, яровых – 8–10 часов пастьбы (чаще потери семян). Истощенные зимовкой кабаны потребляют в 2–2,5 раза больше корма, затрачивая на потравы кукурузы до 8 часов при усвоении съеденного в пределах 30–40 % и до 70 % у взрослых животных. В летний период потребность в корме у кабанов наиболее низкая. При наступлении жары пастищная активность сокращается и вновь возрастает при наступлении осенних заморозков, что связано с интенсивным набором массы (накоплением жировых запасов). Накануне зимнего периода продолжительность пастьбы кабанов может равняться темному времени су-

ток. Отличается и воздействие на агроценозы у кабанов разного возраста и пола. Молодые животные в связи с ростом организма нуждаются в большем количестве корма в сравнении с взрослыми, а взрослые (кормящие) самки потребляют больше корма по сравнению с самцами.

Первоочередной задачей в мае-июне, является предотвращение потрав кукурузы, вики и картофеля до появления их всходов (значительная масса делает их потребление энергетически наиболее выгодным). Предотвратить потравы возможно, предлагая животным аналогичные по объему и качеству корма [11]. С этой целью в лесных урочищах охотхозяйства построены кормушки-хранилища, куда начиная с января, закладывались зерно, сочные корма и силос, которые потребляют кабан и олень (табл.4).

Таблица 4. Обеспеченность кормами и проведение отвлекающей подкормки охотничьих животных

Периоды выкладки кормов	Сочные	Концентрированные – зерносмеси, фураж	Зерноотходы	Силос
Январь–апрель *	+	+	+	+
Май–июнь	+	+		
Июль–август			+	
Сентябрь–октябрь	+	+	+	
Ноябрь–декабрь *	+	+	+	+

*Периоды проведения нормативной подкормки животных.

Конструкция кормушек не позволяет кабанам быстро насытиться, и они собирают лишь просыпавшийся из них корм. Посещение кормушек становится регулярным, и возле них, концентрируются большинство кабанов. Некоторые особенности этологии вида, в частности высокая стадность при наличии большого объема корма, способствовали минимизации суточной активности. При наличии подкормки кабаны постоянно находились поблизости и даже изгоняли из мест выкладки корма малочисленные группы и одиночных кабанов (подсвинков).

К началу посевной кормушки заполнялись мельничным отсевом (аналог комбикорма), потребление которого энергетически наиболее выгодно для кабана (100 %-ная усваиваемость), а для возможности кормления поросят убирались борта-ограждения. Водящие молодняк самки (стада) в мае-июне и частично в июле регулярно посещали места подкормки и находились в непосредственной близости от них.

Данное мероприятие решило ряд задач: снизило потравы кукурузы, вики и картофеля (на стадии всходов они малопригодны как корма); сократило переходы копытных (снизив отлов молодняка хищниками) и уменьшило вытаптывание озимых в стадии колошения; исключило отравление копытных проправленными семенами.

Массовое посещение лесов населением в июле вынуждает часть копытных покинуть их и заселить агроценозы. Некоторый ущерб начина-

ет оказывать вытаптывание, но из-за рассредоточенности кабана на семье он несуществен.

В июле зерновые прекратили налив из-за засухи, их потребление стало энергетически невыгодным для копытных (мало влаги), и они со средоточились на кормовых полях (табл. 5).

Севообороты гороха и ячменя посещаются столь интенсивно, что к августу выедается весь горох, к сентябрю – кукуруза, к октябрю – просо, к ноябрю – ячмень. Для части копытных, не посещавшей кормовые поля и находившей корм за пределами леса, проводилась отвлекающая подкормка.

Задача мероприятия – сокращение времени пастьбы животных на полях кукурузы. Одномоментно начался отстрел кабанов с целью заставить их выходить на поля как можно реже (позволял на 1–2 суток избавиться от посещения), но отсутствие посевов в смежных угодьях, притягивая новых кабанов, ведет к уже массовым выходам животных на поля, и тогда план отстрела увеличивают в 3 раза. Уборка кукурузы с потерями и мелкая вспашка (укрыла только початки) продолжают привлекать кабанов (поля, запаханные глубоко, не посещали). Разрывая послеурбочные остатки кукурузы на полях озимой ржи, они изреживают посевы. Минимизировать потравы озимых, связанные с выкапыванием початков кукурузы, удалось лишь частично, начав в октябре подкормку кабана сочными кормами. Корма (корнеплоды) выкладывались по 300–400 кг. Их

потребление кабанами помогло отвлечь от потрав ржи – животные обнаружили подкормку и регулярно посещали ее, запасы кормов пополня-

лись по мере их потребления, и повреждения озимой ржи прекратились.

Таблица 5. Обеспеченность копытных кормами в результате проведенных биотехнических мероприятий

Вид	Период				
	01.01–01.05	02.06–01.07	02.07–01.10	02.10–01.11	02.11–31.12
Дикий кабан	Сочные и концентрированные корма, кормовые поля с зерновыми	Бобовые – кормовые поля, подкормка зерном, сложноцветные	Бобовые, горох, кукуруза, овес, ячмень, просо, рожь – кормовые поля	Бобовые, ячмень, просо – кормовые поля, сочные корма	Ячмень и люпин – кормовые поля концентрированные и сочные корма
Благородный олень	Озимые, концентрированные и сочные корма, подрубка осины	Бобовые, всходы проса и кукурузы – кормовые поля; сложноцветные, злаки	Бобовые, кукуруза, овес, просо – кормовые поля; сложноцветные, злаки	Бобовые, озимые: рапс и рожь – кормовые поля; сочные корма	Озимые, концентрированные и сочные корма, подрубка осины
Косуля					
Лось	Озимые – кормовые поля, подрубка осины	Бобовые – кормовые поля; сложноцветные и злаки	Бобовые – кормовые поля; сложноцветные и злаки	Бобовые, озимые – кормовые поля; подрубка осины	Озимые – кормовые поля, подрубка осины

Заключение

Для предотвращения потрав агроценозов копытными наиболее эффективна отвлекающая подкормка (привлечение на специальные плантации). Предотвратить посещение копытными полей кукурузы, убранных с потерями, сложнее. Глубокая вспашка почвы и уборка полей без потерь способны исключить или сократить до минимума потравы. Отстрел кабана полностью исключить потравы не может, поэтому, задолго до нормативных сроков требуется подкормка животных сочными кормами. Низкий бонитет почв модельного охотхозяйства не позволил нам, в связи с необходимостью снижения общих затрат на биотехнику применять озимую пшеницу – используемую для подкормки дичи в Европе.

Обоснованность затрат на создание кормовых полей следует рассматривать исходя из необходимости формирования специализации охотничьего хозяйства (численности животных). По нормативам Минсельхозпрода 2006–2007 гг. затраты на создание 1 га полей сельскохозяйственных культур составляли 645,7 тыс. руб. и выше.

Охотничьи хозяйства по заданию «Создание кормовых полей» Госпрограммы развития охотничьего хозяйства [1] в 2006 г. поселяли 4076 га полей, затратив по данным Минлесхоза 63788 руб. на 1 га, что на порядок ниже нормативов [10]. Наиболее распространены (в охотхозяйствах) овес с плюшкой и рожь. При минимальной урожайности в 10 ц с 1 га, суммарная урожайность составила 4076 т (полностью покрывает потребности нормативной подкормки копытных в случае оприходования кормов), что говорит о недостоверности приведенных данных. За-

регистрированные в 2006 г. потравы зерновых превысили 100 тыс. га, а ущерб посевам, например в Браславском районе превысил 1,7 млрд руб., что также выглядит абсурдно.

Малоразвитость логистики охотхозяйственной деятельности заставляет проводить расчеты исходя из фактических затрат. В связи с этим на основании ранее выполненных работ [10, 11], мы оценили затраты по методикам Минсельхозпрода с учетом стоимости мероприятий в 2006–2007 гг. (табл. 6, 7).

Изучая предпочтаемость культур дикими животными, мы установили, что возделывание культур для нужд охотничьего хозяйства невозможно без уничтожения сорняков, а при передаче заброшенных земель – без рекультивации. Усиливающиеся засухи позволяют гарантировать продуктивность кормовых растений в случае использования озимых или многолетников. Корнеплоды целесообразно выращивать только при высокой урожайности. Наименее затратно создание посевов большой площади с использованием высокопродуктивной техники.

Важная закономерность, связанная с выполнением работ по обоснованию ведения специализированного, ориентированного на копытных охотничьего хозяйства, заключается в необходимости проведения биотехнических мероприятий, ориентированных на биологию конкретных видов. Потравы сельскохозяйственных культур землепользователей дикими копытными можно минимизировать созданием кормовых полей с высокопродуктивными культурами и проведением отвлекающей подкормки.

Таблица 6. Экономическая оправданность создания плантаций кормовых растений охотхозяйствами и их использование животными

Культура, используемая животными	Охотничьи животные, использующие кормовые культуры				
	лось	благородный олень, косуля, зайцы (русак и белка)	дикий кабан	глухарь, тетерев, куропатка	гуси, утки речные
Озимая рожь, пшеница, тритикале	Зеленая масса до 01.05, зерно, его потери – всходы	Зеленая масса до 15.05, зерно, его потери – всходы	Зеленая масса до 01.05, зерно, его потери – всходы	Зерно его потери – всходы	Зеленая масса до 15.05, зерно, его потери – всходы
Озимый рапс	Зеленая масса	Зеленая масса	Зеленая масса, корни	Зеленая масса	Зеленая масса
Ячмень	Потери зерна – всходы	Зерно и его потери – всходы	Зерно и его потери	Зерно его потери – всходы	Зерно и его потери – всходы
Овес	Зеленая масса, потери – всходы	Зеленая масса, зерно, потери – всходы	Метелки, потери зерна	Метелки, потери зерна	Зеленая масса, зерно, потери – всходы
Прoso	Зеленая масса, метелки в стад. налива	Зеленая масса, метелки, потери зерна	Зеленая масса, метелки, потери зерна	Метелки, потери зерна	Зеленая масса, метелки, потери зерна
Кукуруза	Зеленая масса до выхода в трубку	Зеленая масса, початки, силос	Потравы, початки, потери, силос	Потравы семян, початки, потери	Потравы семян, початки, потери
Топинамбур	Зеленая масса	Зеленая масса – клубни	Зеленая масса – клубни	Зеленая масса – клубни	Зеленая масса – клубни
Морковь	Зеленая масса, корнеплоды	Зеленая масса, корнеплоды	Зеленая масса, корнеплоды	Корнеплоды	Корнеплоды
Свекла, турнепс	Корнеплоды	Корнеплоды	Корнеплоды	Корнеплоды	Корнеплоды
Горох, пельюшка, вика	Зеленая масса, потери – всходы	Зеленая масса, горох, потери – всходы	Зеленая масса, горох, потери – всходы	Горох, потери – всходы	Зеленая масса, горох, потери – всходы
Люпин кормовой	Зеленая масса	Зеленая масса, горох	Горох, клубеньки	Горох	Горох
Картофель		Клубни, потравы	Клубни, потравы	Клубни, потери	Клубни, потери
Клевер-люцерна, многолетние травы	Зеленая масса	Зеленая масса	Зеленая масса	Зеленая масса	Зеленая масса

Затраты на отвлекающую подкормку и профилактику потрав в целом вписались в рамки нормативных затрат на создание кормовых полей [11], некоторое превышение затрат связано прежде всего с необходимостью рекультивации неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения.

Отстрел определенного количества животных вместо проведения отвлекающей подкормки не всегда приводит к уменьшению посещаемости ими полей. Изъятие взрослых самок, являющихся вожаками стадных или семейных скоплений

копытных, ведет к заметному усилению потрав сельскохозяйственных культур оставшимися без вожаков животными по причине их рассредоточения.

При оценке качества местообитаний для копытных оптимальную их численность можно устанавливать по европейским стандартам, исходя из площади земель сельскохозяйственного назначения, пригодных для выращивания культур, или исходя из урожайности культур, выращиваемых в качестве кормов для животных.

Таблица 7. Себестоимость биотехнических мероприятий (тыс. руб) и эффективность их применения

Культура	Затраты на создание 1 га плантации	Урожайность 1 га в ц – степень утилизации животными, %	Необходимо га плантаций и корма на одну условную особь, т/ сезон			
			льсь	олень	кабан	косуля
Озимый рапс	400 ¹ 600 ²	Зеленая масса 10 ¹ –20 ц ² – 90 %	2 га ¹ –1 га ² до 2 т	1,7 га ¹ –1,2 га ² до 1,7 т	0,2 га ¹ –0,1 га ² до 0,1 т	0,6 га ¹ –0,3 га ² до 0,6 т
Озимая рожь	400 ¹ 600 ²	Зеленая масса 4 ¹ –5 ц ² – 80 % Зерно 10 ¹ –15 ц ² – 50 %	5 га ¹ –4 га ² до 2 т –	4,25 га ¹ –3,4 га ² до 1,7 т 2,0 га ¹ –1,3 га ² до 2 т	– 1,0 га ¹ –1,5 га ² до 1 т	1,5 га ¹ –1,2 га ² до 0,6 т 0,4 га ¹ –0,3 га ² до 0,4 т
Озимая пшеница, тритикале	500 ¹ 700 ²	Зеленая масса 5 ¹ –6 ц ² – 80 % Зерно 15 ¹ –20 ц ² – 80 %	4 га ¹ –3,3 га ² до 2 т	3,4 га ¹ –2,8 га ² до 1,7 т 1,3 га ¹ –1,0 га ² до 2 т	– 0,7 га ¹ –0,5 га ² до 1 т	1,2 га ¹ –1,0 га ² до 0,6 т 0,3 га ¹ –0,2 га ² до 0,4 т
Горох, вика	500 ¹ 700 ²	Зеленая масса 4 ¹ –5 ц ² – 80 % Горох 15 ¹ –20 ц ² – 90 %	Только зеленая масса –	4,25 га ¹ –3,4 га ² до 1,7 т 1,3 га ¹ –1,0 га ² до 2 т	– 0,7 га ¹ –0,5 га ² до 1 т	1,5 га ¹ –1,2 га ² до 0,6 т 0,3 га ¹ –0,2 га ² до 0,4 т
Ячмень	400 ¹ 600 ²	Зерно 15 ¹ –20 ц ² – 70 %	–	1,3 га ¹ –1,0 га ² до 2 т	0,7 га ¹ –0,5 га ² до 1 т	0,3 га ¹ –0,2 га ² до 0,4 т
Овес	400 ¹ 600 ²	Зерно 10 ¹ –15 ц ² – 80 %	–	2,0 га ¹ –1,3 га ² до 2 т	1 га ¹ –1,5 га ² до 1 т	0,4 га ¹ –0,3 га ² до 0,4 т
Просо	400 ¹ 600 ²	Зеленая масса 40 ¹ –50 ц ² – 50 % Зерно 15 ¹ –20 ц ² – 80 %	Зеленая масса –	0,4 га ¹ –0,3 га ² до 1,7 т 2,0 га ¹ –1,3 га ² до 2 т	Использует редко 1,0 га ¹ –1,5 га ² до 1 т	0,15 га ¹ –0,1 га ² до 0,6 т 0,3 га ¹ –0,2 га ² до 0,4 т
Кукуруза	700 ¹ 900 ²	Зерно 50 ¹ –60 ² ц – 90 %	Использует редко	0,4 га ¹ –0,3 га ² до 2 т	0,2 га ¹ –0,16 га ² до 1 т	0,1 га ¹ –0,07 га ² до 0,4 т
Кормовая капуста	700 ¹ 900 ²	Зеленая масса 100 ¹ –120 ² ц – 90 %	0,3 га ¹ –0,25 га ² до 3 т	0,17 га ¹ –0,14 га ² до 1,7 т	0,1 га ¹ –0,08 га ² до 1 т	0,04 га ¹ –0,03 га ² до 0,4 т
Морковь, свекла	1000 ¹ 1200 ²	Корнеплоды 120 ¹ –150 ц ² – 90 %	Использует редко	0,14 га ¹ –0,11 га ² до 1,7 т	0,08 га ¹ –0,07 га ² до 1 т	0,05 га ¹ –0,04 га ² до 0,6 т
Картофель	800 ¹ 1000 ²	Клубни 100 ¹ –120 ² ц – 90 %	Использует редко	0,17 га ¹ –0,14 га ² до 1,7 т	0,1 га ¹ –0,08 га ² до 1 т	0,04 га ¹ –0,03 га ² до 0,4 т
Топинамбур	1000 ¹ 1200 ²	Зеленая масса 40 ¹ –50 ц – 50 % Клубни 80 ¹ –100 ² ц – 90 %	Использует редко –	0,43 га ¹ –0,34 га ² до 1,7 т 0,17 га ¹ –0,14 га ² до 1,7 т	Использует редко 0,1 га ¹ –0,08 га ² до 1 т	0,15 га ¹ –0,12 га ² до 0,6 т 0,04 га ¹ –0,03 га ² до 0,4 т
Клевер, люцерна	700 ¹ 900 ²	Зеленая масса 90 ¹ –100 ц ² – 80 %	0,44 га ¹ –0,4 га ² до 4 т	0,33 га ¹ –0,3 га ² до 3 т	0,03 га ¹ –0,03 га ² до 0,3 т	0,11 га ¹ –0,1 га ² до 1 т

Без проведения борьбы с сорняками. ²При проведении борьбы с сорняками.

Самодостаточное развитие охотничьего хозяйства Беларуси в связи с необходимостью уменьшения потрав сельскохозяйственных культур и снижения зависимости животных от структуры севооборотов возможно в случае выделения земель, пригодных для выращивания кормовых растений для диких животных. Выделение охотничьям хозяйствам таких земель, позволит существенно сократить потравы сельскохозяйственных культур. Методически правильным будет постепенное вовлечение земель в севооборот и

последующее залужение бобовыми (многолетними) культурами.

Рекомендованные нами и выполненные охотничьим хозяйством мероприятия входят в перечень заданий госпрограммы развития охотничьего хозяйства и уже прошли апробацию без использования бюджетного финансирования. В процессе разработки задания проведены все необходимые расчеты по обоснованности возделывания определенных сельскохозяйственных культур, потребляемых животными (производственная логистика).

Идеальная пастбищная биотехния – использование чередующихся по срокам вегетации кормовых растений. При этом потребность в подкормке возникает лишь в случае выпадения снега или полной утилизации растений на плантации. К примеру, кормовые поля озимой ржи привлекают оленей и зайцев с октября по апрель (6–7 мес), а последующее поедание зерна ржи кабаном, оленем и косулей в июле-августе продлевает использование посевов еще на 1,5–2 мес. Следовательно, создание плантаций ржи позволяет кормить копытных 7,5–9 мес в году. Озимый рапс используется только оленями и зайцами с сентября по май (7 мес), но в связи с большим объемом зеленой массы наиболее привлекателен для лося и оленя, и площади под его возделывание могут занимать на 50 % меньше, чем рожь. Бобовые культуры способны обеспечивать животных кормами с мая по ноябрь 3–4 года, но требуют прокашивания. Следовательно, биотехни-

ей можно искусственно культивировать наиболее хозяйственно ценные виды животных или, наоборот, с помощью комплексного использования кормовых растений минимизировать затраты на подкормку (создание кормовых полей).

При наличии земель сельскохозяйственного назначения охотхозяйства способны сами обеспечить себя зелеными кормами и зернобобовыми культурами для проведения подкормки и при этом минимизировать потравы сельскохозяйственных культур у землепользователей, занятых ведением сельского хозяйства.

Предлагаемые нами как нормативы (га) площади для каждой из использующихся сельскохозяйственных культур гарантируют сохранение продуктивности аgroценозов вплоть до полной утилизации выращенных кормов дикими копытными и предупреждают их преждевременную гибель в случае т.н. «затравливания» животными.

Л и т е р а т у р а

1. Государственная программа развития охотниччьего хозяйства на 2006–2015 гг. Мн., 2005.
2. **Данилкин А. А.** Олени (Cervidae). М., 1999.
3. **Данилкин А. А.** Свиньи (Suidae). М., 2002.
4. **Данилкин А. А.** Дикие копытные в охотниччьем хозяйстве. М., 2006.
5. **Дунин В. Ф., Воронецкий Н. Н., Тышкевич В. Е.** Лось и косуля. Мозырь, 1999.
6. Инструкция по разработке проектов организации и ведения охотничьих хозяйств (охотовустройство) в Республике Беларусь. Мн., 2000.
7. **Козло П. Г.** Дикий кабан. Мн., 1975.
8. Проведение аэровизуальных учетов диких копытных животных, оценка их численности и пространственного распространения в Минской области: Метод. рекомендации / В. Е. Тышкевич, Е. К. Востоков, С. К. Крайко и др. Мн., 2005.
9. Разработка норматива плотности населения диких копытных животных применительно к типам и категориям охотничьих угодий: Метод. рекомендации / В. Е. Тышкевич, А. А. Данилкин, Е. К. Востоков, С. К. Крайко и др. Мн., 2005.
10. Разработка и утверждение нормативов затрат на ведение охотничьего хозяйства в расчете на единицу площади арендемых охотугодий: Метод. рекомендации / В. Е. Тышкевич, А. Д. Якушко, В. И. Квакин и др. Мн., 2006.
11. Разработка научно обоснованных методов ведения охотничьего хозяйства, соответствующих имеющейся структуре и площади охотугодий: Метод. рекомендации / В. Е. Тышкевич. Мн., 2007.
12. **Саблина Т. Б.** Значение питания в динамике численности популяций некоторых видов копытных // Вопросы экологии. 1962. Т. 6. С. 123–124.
13. **Тышкевич В. Е.** Эколо-этологические адаптации косули (*Capreolus capreolus L.*) Полесского заповедника // Вестн НАН Беларуси. 1999, № 1. С. 109–122.
14. **Тышкевич В. Е.** Трофическое влияние и потребность в древесно-веточных кормах косули (*Capreolus capreolus L.*) в осенне-зимний период // Сб. тр. Ин-та леса НАН Беларуси. Гомель, 1999. Т. 1. С. 182–185.
15. **Тышкевич В. Е.** Наиболее перспективные направления развития охотничьего хозяйства Беларуси в XXI веке // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства. Киров, 2002. С. 94–97.
16. **Тышкевич В. Е.** Миграции и сроки смены стаций благородным оленем в регионе Восточная Европа – Беларусь // Лесное и охотничье хозяйство. 2004. № 2. С. 30–33.
17. **Тышкевич В. Е.** Лесные охотничьи угодья как среда обитания парнокопытных и зайцеобразных // Лесное и охотничье хозяйство. 2005. № 1. С. 45–51.
18. **Тышкевич В. Е.** Современные подходы к проектированию и ведению охотничьего хозяйства в полевых и водно-болотных угодьях // Лесное и охотничье хозяйство. 2006. № 1. С. 38–41.
19. **Тышкевич В. Е.** Перспективы и направления интенсификации охотничьего хозяйства Беларуси на примере управления и эксплуатации популяций диких копытных животных в 2004–2005 гг. // Лесное и охотничье хозяйство. 2006. № 6. С. 28–32.
20. **Тышкевич В. Е., Квакин В. И.** Современные проблемы охотов устройства в Беларуси // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства. Киров, 2007. С. 440–441.

21. Тышкевич В. Е., Квакин В. И. Краткая охотэкономическая характеристика состояния охотничьего хозяйства в Республике Беларусь // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства. Киров, 2007. С. 442–443.
22. Тышкевич В. Е. Факторы, определяющие состояние популяционных группировок благородного оленя в регионах реакклиматизации // Лесное и охотничье хозяйство. 2007. № 7 С. 17–25.
23. Тышкевич В. Е. Метод естественного формирования популяций оленя (*Cervus elaphus L.*) в смежных охотугодьях // Лесное и охотничье хозяйство. 2008. № 10. С. 26–32.
24. Тышкевич В. Е. Проблемы создания новых популяций европейского благородного оленя (*Cervus elaphus L.*) и пути их решения // Биологическое разнообразие Белорусского Поозерья: современное состояние, проблемы использования и охраны. Витебск, 2008. С. 175–177.
25. Тышкевич В. Е. Важнейшие охотничьи ресурсы заказников «Козьянский», «Налибокский» и «Острова Дулебы»: оценка состояния, методы восстановления и перспективы использования // Природопользование. Мин., 2008. Вып. 14. С. 148–157.
26. Тышкевич В. Е. Показатели населенности охотничьих угодий дикими копытными (*Artiodactyla*) требуемые для восстановления популяций и интенсификации охотничьего хозяйства Беларуси // Природопользование. Мин., 2009. Вып. 15. С. 158–169.
27. Тышкевич В. Е., Шимчук А. А., Кудин А. Н., Бабинок В. В. Перспективы развития мясо-тrophейного оленеводства в Беларуси // Повышение эффективности мелиорации и сельскохозяйственного использования мелиорированных земель. Мин., 2009. С. 177–181.
28. Тышкевич В. Е., Кудин А. А. О возможностях развития оленеводства в Беларуси как направления охотничьего хозяйства и альтернативного животноводства // Современные проблемы биологии и экологии. Запорожье, 2009. С. 11–115.
29. Указ Президента Республики Беларусь № 580 «О некоторых мерах по повышению эффективности ведения охотничьего хозяйства и рыбохозяйственной деятельности, совершенствованию государственного управления ими». 2005.
30. Gasparik J., Hell P., Sabados K. Ochrana kultury kukurice electrickym oplotenim proti skodam spobojenym raticovou zverou // Folia Venator. 1993. № 23. S. 89–98.

V. E. Тышкевич

**ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ УЩЕРБА
АГРОЦЕНОЗАМ СО СТОРОНЫ ДИКИХ КОПЫТНЫХ (ARTIODACTYLA) С ПОМОЩЬЮ
БИОТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ И РАСЧЕТ ЗАТРАТ НА ИХ ПРОВЕДЕНИЕ**

В охотничьем хозяйстве («Белый Бор» Слуцкого района) с самой высокой для Беларуси населенностью дикими копытными и минимальной лесистостью территории проведена апробация биотехнических мероприятий, позволяющих минимизировать ущерб агроценозам со стороны диких копытных. В этой ситуации наибольшую эффективность показала отвлекающая подкормка. Самодостаточное развитие охотничьего хозяйства Беларуси возможно при выделении земель, пригодных для выращивания кормов диким животным. Методически верным является создание севооборотов чередующихся с высевом бобовых (в т. ч. многолетних) кормовых культур. Впервые для условий Беларуси проведен расчет расходов на проведение подкормки и профилактики ущерба агроценозам со стороны диких копытных.

V. E. Tyskovich

**EXPERIMENTAL STUDIES OF THE REDUCTION OF DAMAGE CAUSED TO
AGROCOENOSIS BY THE WILD UNGULATES (ARTIODACTYLA) BY MEANS
OF BIOTECHNICAL MEASURES AND THEIR COST ESTIMATING**

In the game-husbandry of «Bely Bor» in Slutsk District Minsk Region which has the highest population density of the ungulates in Belarus and less wooded territory some biotechnical measures were apporobated which allow minimizing damage caused to fields by the wild ungulates. In this situation the repulsive feeding appeared to be the most effective. Self-sufficient development of game-keeping in Belarus is possible only if enough territory for growing forage for wild animals is provided. From the systematic point of view it would be reasonable to arrange rotation of crops along with sowing of leguminous plants (incl. perennial). For the first time in Belarus costs of feeding and precautions of field damage caused by the ungulates were calculated.

Л. С. Лис

АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИЙ АДМИНИСТРАТИВНЫХ РАЙОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Приведены результаты расчета показателей экологического состояния представительных административных районов территории республики, выполнен анализ полученных данных и проведено ранжирование исследуемых территориальных объектов по уровням состояния.

Проблема оценки экологического состояния территориальных единиц помимо методологических аспектов имеет важное практическое значение при анализе способов природопользования различных ведомств, при планировании мероприятий по охране окружающей среды территорий различного уровня. Предложенные в настоящее время методы оценки [1–3, 6–8] характеризуются широким набором используемых показателей, во многих случаях достаточно сложны в информационном обеспечении и реализации, зачастую предоставляют недостаточно объективные и качественные результаты. В связи с этим в данной проблеме важно развитие таких подходов, которые сделали бы возможным получение комплексных количественных показателей, отражающих многообразие взаимосвязей и взаимодействий в оцениваемом природно-территориальном комплексе.

Нами предложена методика [4], в которой оценка экологического состояния территориальных единиц выполняется по двум основным комплексным количественным показателям, представляющим собой характеристики природно-экологического потенциала (ПЭП) и суммарные ареалы хозяйственной освоенности (ХО) оцениваемой территории.

Природно-экологический потенциал характеризуется интегральным индексом ($I_{\text{ПЭП}}$), представленным суммарной площадью природных комплексов (охраняемые территории, лесные и болотные массивы, поверхностные водные объекты, естественные луга). Объединение этих элементов в единую систему обосновано их феноменальной способностью выполнять средоформирующие биосферные функции. Суммирование площадей природных образований производится с учетом коэффициента их биосферной значимости (K_i), который отражает уровень эффективности выполнения биосферных функций. Потеря исходной эффективности различными категориями этих образований определяется в первую очередь степенью их современной техногенной трансформации и конкретными условиями местообитания, а количественная оценка производится с помощью балльной системы по

определяющим характеристикам и параметрам конкретных образований или их выделов.

Хозяйственная освоенность характеризуется количественным индексом ($I_{\text{ХО}}$), представленным суммарной площадью зон воздействия техногенных нагрузок – промышленной, сельскохозяйственной, транспортной и демографической. Установление этих зон осуществляется по ряду индивидуальных показателей, характеризующих отмеченные нагрузки, на основании балльных оценок степени их воздействия на природную среду. Предложенные показатели – индексы $I_{\text{ПЭП}}$ и $I_{\text{ХО}}$ – даны в относительном виде и представляют собой долю скорректированной площади природных образований (в первом случае) и долю площади загрязненных зон (во втором) в общей территории оцениваемой единицы. В качестве дополнительных показателей оценки использованы параметры структурной организации территории, характеризующие степень взаимодействия и взаимовлияния выделенных «полярных» зон – природных комплексов и зон хозяйственной освоенности. Это коэффициент экологической раздробленности, представляющий собой усредненную площадь таких зон и определяемый с использованием картографических материалов раздельно по природным образованиям ($K_{\text{разд}}^{\text{пр}}$) и загрязненным зонам ($K_{\text{разд}}^{\text{загр}}$), а также мера экологической сопряженности (разнесенности в пространстве) этих зон (m_{sc}).

В качестве оцениваемой территориальной единицы нами выбран административный район как объект, наиболее приближенный к решению практических задач и реализации мероприятий по охране окружающей среды. Для расширения масштабов практической проверки предложенной методики комплексной оценки экологического состояния нами сформирована представительная выборка территориальных объектов. Для получения представительности природного разнообразия объектов в выборку включены административные районы из различных регионов республики [5]. Представительность в выборке техногенных нагрузок обеспечивается выбором как максимальных по определяющим их показателям, так и минимальных значений.

В результате для анализа сформированы три выборки районов (по 3 в каждой области), относящиеся к различным регионам Беларуси: Городокский, Верхнедвинский и Полоцкий районы Витебской области, Логойский, Вилейский и Молодечненский районы Минской области, Брестский, Каменецкий и Пружанский районы Брестской области. В проводимый анализ не включены объекты Юго-Восточного региона из-за радиоактивного загрязнения этих территорий, что обеспечивает однозначно негативные их оценки. Такая задача имеет самостоятельное значение и здесь не рассматривается.

Расчет системы показателей оценки состояния по всей выборке выполнен в соответствии с разработанной методикой с привлечением всех использованных показателей. При этом определялись, как правило, их усредненные значения для всей территории районов. Определение показателей структурной организации территориальных объектов выполнено путем камеральной обработки физико-географических карт и карт землепользования масштаба 1:200 000 с выделением зон ПЭП и ареалов хозяйственной освоенности с максимальным обобщением территориальных выделов.

В табл. 1 приводятся расчетные и итоговые показатели экологического состояния выбранных административных районов.

Индекс природно-экологического потенциала. В табл. 1 приведены значения коэффициента биосферной значимости и весовые коэффициенты по отдельным природным комплексам, которые суммарно определяют значение $I_{\text{ПЭП}}$:

$$I_{\text{ПЭП}} = \sum (F_{\text{мл}(i)} K_i) / F_{\text{общ}}, \quad i = 1, 5,$$

где $F_{\text{общ}}$ – площадь оцениваемой территории; $F_{\text{мл}(i)}$ – площадь малоизмененных природных комплексов; K_i – коэффициент биосферной значимости этих комплексов.

Прежде всего определим, насколько значимы полученные в расчетах различия в уровнях анализируемого показателя.

Вся выборка значений $I_{\text{ПЭП}}$ близка к нормальному распределению (рис. 1) и имеет общие статистические показатели: математическое ожидание $\bar{M} = 0,425$, коэффициент вариации $v = 19,2\%$, среднеквадратичное отклонение $\sigma = \pm 0,081$. Полученные значения свидетельствуют о существенных различиях анализируемого показателя, как для исследуемых областей, так и для объектов всей выборки.

Определим, чем обусловлены выявленные различия. Основными параметрами, формирующими комплексный показатель $I_{\text{ПЭП}}$, являются площади природных комплексов, в первую очередь, как следует из приведенных в табл. 1 их долей в значении $I_{\text{ПЭП}}$, площади лесных и охраняемых массивов и (в меньшей степени) лугов и

болотных экосистем. Важная роль принадлежит также показателям, формирующими коэффициент биосферной значимости природных комплексов, которые определяются набором характеристик этих объектов. Для лесных массивов это породный и возрастной состав, преобладающий тип лесных почв, уровень главных рубок. Для болотных экосистем такими показателями являются степень осушения и использования таких территорий, для луговых – соотношение улучшенных и естественных лугов и нагрузка от животноводства.

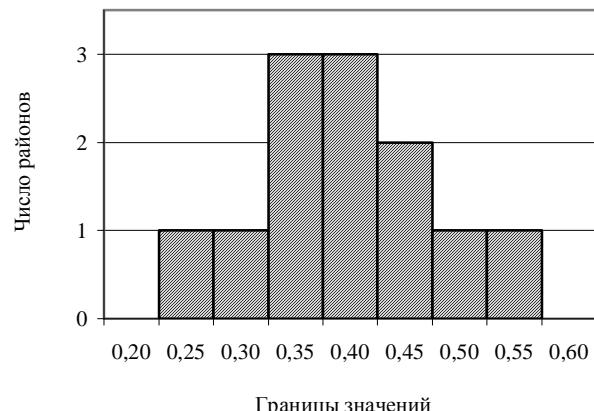


Рис. 1. Распределение индекса природно-экологического потенциала для выборки административных районов территории Беларуси

Различия значений $I_{\text{ПЭП}}$ внутри регионов достигают в среднем величины порядка 20 %. Анализ составляющих показателя $I_{\text{ПЭП}}$ свидетельствует, что отмеченные различия обусловлены как различиями площадей природных комплексов, так и коэффициентом их биосферной значимости. На рис. 2 представлены значения этого коэффициента по отдельным категориям природных комплексов и обобщенный по всем элементам ПЭП. Наибольшие вариации данного показателя отмечены по поверхностным водным объектам и болотным экосистемам, что обусловлено в первом случае значительными уровнями загрязнения вод (Полоцкий и Городокский районы) и высокой степенью осушения болот (Брестский и Каменецкий районы).

Обобщенный коэффициент биосферной значимости, рассчитанный как средневзвешенный по имеющимся площадям природных комплексов в каждом районе, в значительной степени сгладил существующие различия. Это позволило выделить объекты с малыми потерями биосферной значимости (Брестский, Пружанский, Городокский) и с низкими его значениями: Верхнедвинский (0,556) и Полоцкий (0,537).

По оценке значений $I_{\text{ПЭП}}$ нами выполнено предварительное ранжирование территориальных объектов по всей выборке.

К числу благополучных по природному потенциалу территорий следует отнести Пружанский, Городокский и Вилейский районы, где значение $I_{\text{пэп}} \geq 0,5$. Здесь высока доля слабонарушенных природных территорий, что обеспечивает устойчивое функционирование природных процессов. Значительная часть оцененных административных районов отнесена нами к условно благополучным, где значение $I_{\text{пэп}}$ находится в диапазоне 0,4–0,5. И, наконец, для двух исследуемых районов выборки (Верхнедвинский, Каменецкий) отмечены значения $I_{\text{пэп}} \leq 0,35$, что свидетельствует о высокой уязвимости природного резерва этих территорий.

Индекс хозяйственной освоенности ($I_{\text{хо}}$). Если для комплексного показателя $I_{\text{пэп}}$ его составляющие имеют различные весовые коэффициенты, определяемые их долями в значении комплексного показателя, то в формировании $I_{\text{хо}}$ рассматриваемые нагрузки приняты равнозначными. Общая выборка в разрезе видов нагрузки (табл. 2) имеет различные уровни варьирования: от аномально высоких по промышленной нагрузке до средних по сельскохозяйственной. Это объясняется различным уровнем промышленного развития отдельных территорий республики в первом случае и жизненной необходимостью равномерного распределения сельскохозяйственного производства республики во втором.

Общий анализ полученных результатов показывает, что основной вклад в формирование показателя $I_{\text{хо}}$ вносит сельскохозяйственная нагрузка; достаточно значимы также транспортная и промышленная нагрузки, причем их высокие значения, естественно, приурочены к зонам интенсивных транспортных перевозок и регионам с развитым промышленным производством. По промышленной нагрузке аномально высоким уровнем отличается Полоцкий район из-за влияния ОАО «Нафттан» (максимальное значение выбросов, высокая их токсичность).

Достаточно высокий уровень сельскохозяйственной нагрузки отмечается во многих районах. Это объясняется высокой долей сельскохозяйственных угодий, высокими дозами внесения минеральных удобрений и пестицидов (районы Брестской области, Молодечненский), высокой долей эродированных земель (Молодечненский), наличием значительного количества сельскохозяйственных животных (Каменецкий, Пружанский, Вилейский районы).

Высокой транспортной нагрузкой выделяется Брестский район, имеющий максимальную интенсивность движения. Среди достаточно нагруженных следует отметить Полоцкий, Логойский, Вилейский и Молодечненский районы, од-

нако уровень транспортной нагрузки здесь наполовину меньше, чем в Брестском.

Распределение демографической нагрузки по территориальным объектам выборки отличается относительной равномерностью. Максимальные величины этого показателя зафиксированы в Молодечненском, Городокском и Каменецком районах, для которых характерно максимальное количество сельских населенных пунктов.

Таким образом, итоговый показатель хозяйственной нагрузки демонстрирует значительную степень разнообразия в разрезе рассматриваемых районов. Наибольшая общая хозяйственная нагрузка на территориальные комплексы получена для Брестского, Полоцкого и Молодечненского районов, каждый из которых характеризуется одним из видов максимальной нагрузки и значительным уровнем остальных. К выделенной группе примыкает Каменецкий район, имеющий наибольшую сельскохозяйственную нагрузку. Выделяются по общей нагрузке Пружанский и Вилейский районы, где среднее значение $I_{\text{хо}} = 0,360$, а различия находятся в пределах ошибки расчета. Это районы со средней степенью напряженности хозяйственных нагрузок. И, наконец, низкой степенью напряженности отличаются районы, у которых значения $I_{\text{хо}}$ менее 0,3: Городокский, Верхнедвинский, Логойский, характеризующиеся незначительным уровнем промышленной и демографической нагрузки.

В разработанной методике оценки экологического состояния нами не рассматривается радиоактивное загрязнение. Несомненно, последствия аварии на Чернобыльской АЭС перечеркивают другие оценки состояния на подвергшихся загрязнению территориях.

Выполненный предварительный анализ основных комплексных показателей системы оценки экологического состояния природно-территориального комплекса позволил произвести раздельное ранжирование выбранных административных районов по благополучию природного фона – сохранности в малоизмененном состоянии природных образований, выполняющих важнейшие биосферные функции, и по напряженности хозяйственных нагрузок, имеющих место на оцениваемой территории. Совместная оценка этих показателей позволит более адекватно оценить уровни экологического состояния в конкретном территориальном пространстве и избавиться от возникающей неопределенности, когда по одному из комплексных показателей конкретная территориальная единица относится к классу наилучших, а по другому – к наихудшим.

Таблица 1. Итоговые показатели экологического состояния для представительных административных районов территории Беларуси

Район	Коэффициенты биосферной значимости природных образований (левый столбец) и их доли в значении $I_{\text{пэп}}$ (правый)					$I_{\text{пэп}}$	Доля хозяйственных нагрузок в значении $I_{\text{хo}}$				$I_{\text{хo}}$				
	$K_{\text{лес+охр}}$	$K_{\text{сен+пас}}$	$K_{\text{в.о.}}$	$K_{\text{бол}}$	$K_{\text{общ}}$		промышленная	сельскохозяйственная	транспортная	демографическая					
Брестский	0,76	0,59	0,73	0,05	0,80	0,04	0,29	0,02	0,79	0,42	0,044	0,547	0,304	0,105	0,513
Каменецкий	0,76	0,59	0,76	0,33	0,62	0,03	0,33	0,05	0,62	0,39	0,037	0,752	0,071	0,139	0,483
Пружанский	0,76	0,62	0,85	0,26	0,63	0,02	0,42	0,10	0,72	0,54	0,053	0,719	0,096	0,130	0,357
Городокский	0,69	0,72	0,57	0,08	0,47	0,03	0,85	0,17	0,72	0,55	0,066	0,574	0,185	0,143	0,221
Верхнедвинский	0,58	0,69	0,61	0,14	0,60	0,09	0,48	0,09	0,56	0,37	0,053	0,659	0,168	0,118	0,244
Полоцкий	0,58	0,72	0,87	0,08	0,40	0,06	0,84	0,17	0,54	0,44	0,659	0,173	0,108	0,060	0,546
Логойский	0,70	0,79	0,62	0,12	0,76	0,01	0,39	0,07	0,69	0,48	0,046	0,580	0,230	0,143	0,302
Вилейский	0,70	0,59	0,91	0,17	0,87	0,08	0,59	0,16	0,72	0,50	0,089	0,609	0,191	0,113	0,357
Молодечненский	0,71	0,59	0,81	0,24	0,68	0,02	0,43	0,15	0,66	0,40	0,099	0,620	0,130	0,150	0,587

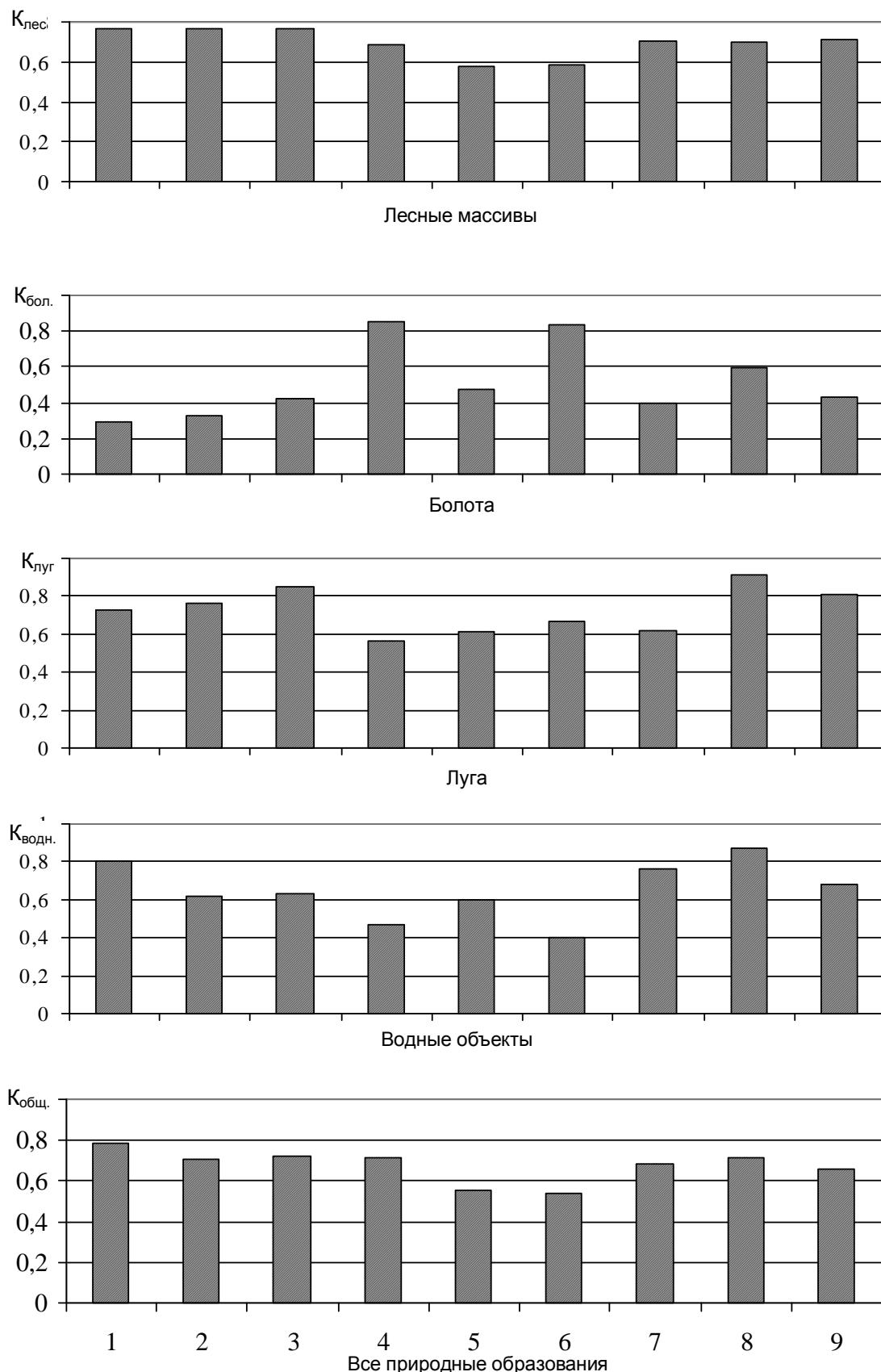


Рис. 2. Коэффициенты биосферной значимости природных образований (лесные массивы, болота, луга, водные объекты) и обобщенный коэффициент для представительных районов. Цифрами обозначены районы: 1 – Брестский, 2 – Каменецкий, 3 – Пружанский, 4 – Гродокский, 5 – Верхнедвинский, 6 – Полоцкий, 7 – Логойский, 8 – Вилейский, 9 – Молодечненский

Результаты расчета предложенных показателей для исследуемых (оцениваемых) административных районов, приведенные в обобщенном виде в табл. 2. Они характеризуют, как это показано выше экологическое состояние по отдельным сторонам оценки. Для выполнения совместной оценки территориальных единиц по всем предлагаемым показателям используем четыре качественных ранга экологического состояния: напряженное (неудовлетворительное), ниже нормы, нормальное, благоприятное (хорошее), которые, по нашему мнению, на первом этапе могут характеризовать это состояние.

В связи с этим полученные в каждом из рассчитанных показателей пределы изменения разнесем по выбранным рангам качественной оценки, применив линейный принцип для границ каждого уровня (табл. 3).

Обобщенная оценка i -го исследуемого объекта будет представлена множеством $O_i = \{O_i(f_k, I_n), (\text{при } f \in [1,4]; I \in [1,5])\}$, где f_k – оценка по рангам экологического состояния, принятых выше; I_n – оценка по показателям системы оценок.

Раскроем множество по первой из оценок:

$$O_i(I) = \begin{cases} O_1, \text{ при } I_1 < f_{1(i)} \leq I_2; \\ O_2, \text{ при } I_2 < f_{2(i)} \leq I_3; \\ O_3, \text{ при } I_3 < f_{3(i)} \leq I_4; \\ O_4, \text{ при } I_4 \leq f_{4(i)} \leq I_5, \end{cases}$$

здесь $I_1, I_2 \dots I_5$ – пределы оценок, разбитые на интервалы $I_1-I_2, I_2-I_3, \dots, I_4-I_5$ (табл. 3).

В качестве обобщенного критерия оценки используем линейную взвешенную функцию меры:

$$H = \alpha_K \varphi_K(O_i), (K \in 1,5),$$

где α_K – весовой коэффициент показателя системы оценки, определяющий его значимость в построении всей системы оценки.

Из всего набора альтернатив множества для получения обобщенной оценки введем количественную логическую функцию меры (φ_k):

$$\varphi_K(O_i) = \begin{cases} -3, \text{ если } O_i = O_1 \\ -1, \text{ если } O_i = O_2 \\ +1, \text{ если } O_i = O_3 \\ +3, \text{ если } O_i = O_4. \end{cases}$$

Таблица 2. Показатели комплексной оценки экологического состояния представительных административных районов

Район	Показатель системы комплексной оценки					
	И _{пэп}	И _{хо}	K _{разд} ^{прир}	K _{разд} ^{загр}	т _{эс}	H _i
Брестский	0,417	0,513	4,1	3,2	8,8	-0,7
Каменецкий	0,387	0,483	2,3	2,8	5,9	-0,7
Пружанский	0,571	0,275	4,2	2,9	7,8	1,4
Городокский	0,551	0,221	1,8	0,7	9,7	1,7
Верхнедвинский	0,365	0,244	3,1	2,1	11,2	1,0
Полоцкий	0,439	0,546	1,7	1,2	10,8	-0,8
Логойский	0,478	0,302	3,8	1,0	7,4	0,8
Вилейский	0,497	0,357	2,3	1,2	10,2	0,7
Молодечненский	0,398	0,587	3,9	3,2	7,5	-1,1

Таблица 3. Распределение количественных оценок экологического состояния представительных административных районов по рангам качественной оценки

Показатель системы количественной оценки	Уровни качественного определения состояния				Весовой коэффициент
	неудовлетворительное (напряженное)	ниже нормы	нормальное	хорошее (благоприятное)	
И _{пэп}	< 0,3	0,3–0,4	0,4–0,5	> 0,5	0,3
И _{хо}	< 0,5	0,4–0,5	0,3–0,4	< 0,3	0,3
K _{разд} ^{ненар}	< 2	2–3	3–5	> 5	0,15
K _{разд} ^{загр}	> 5	3–5	1–3	< 1	0,15
т _{эс}	< 5	5–10	10–15	> 15	0,10

Согласно обоснованным ранее методическим принципам формирования показателей экологического состояния [4] основному звену – индексам $I_{\text{пэп}}$ и $I_{\text{хо}}$ придаем весовой коэффициент по 0,3, дополнительным показателям ($K_{\text{разд}}^{\text{пр}}$, $K_{\text{разд}}^{\text{загр}}$, $m_{\text{ЭС}}$) – соответственно 0,15; 0,15 и 0,10 (использован принцип нормирования – $\sum_{k=1}^5 \alpha_k = 1$).

После выполнения нормирования весовых коэффициентов обобщенный критерий H_i оценивания примет значения введенной логической функции меры с установленными пределами:

для O_1 – экологическое состояние неудовлетворительное (напряженное): $-3 \leq H_1 < -1$;
 для O_2 – экологическое состояние ниже нормы: $-1 \leq H_2 < 0$;
 для O_3 – экологическое состояние нормальное: $0 < H_3 \leq +1$;
 для O_4 – экологическое состояние хорошее (благоприятное): $+1 < H_4 \leq +3$.

На таких принципах произведен расчет обобщенного критерия оценки экологического состояния для ключевых административных районов РБ, результаты которого приводятся в табл. 2 и наглядно представлены на рис. 3.

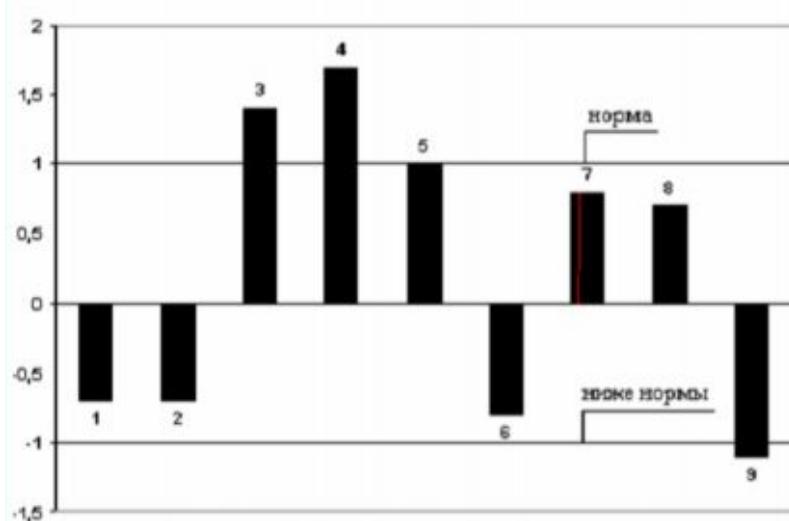


Рис. 3. Диаграмма распределения представительных административных районов по уровню экологического состояния (обозначения районов см. рис. 2)

Анализ полученных результатов позволяет сделать общий вывод, что экологическое состояние основной массы районов располагается в пределах значений обобщенного критерия $+1 \div -1$, т. е. в пределах оценок «нормальное – ниже нормы». В качестве экстремальных значений выделяются пять из обследованных районов: в сторону благоприятного состояния – Пружанский, Городокский и Верхнедвинский, в сторону напряженного – Молодечненский и Полоцкий.

Результаты выполненного анализа позволяют наметить определенные практические решения по нормализации уровней отдельных составляющих техногенных нагрузок.

Брестский и Каменецкий районы по обобщенному показателю находятся близко к порогу состояния «ниже нормы», что свидетельствует о необходимости очень взвешенных решений при дальнейшем развитии их экономической сферы. Это особенно касается сельскохозяйственного производства и транспортной нагрузки. К этой группе примыкает Полоцкий район, отличающийся аномально высокой промышленной нагрузкой при сравнительно низких значениях сохранности природного потенциала. Перешагнувший порог

«ниже нормы» Молодечненский район имеет низкое значение природно-экологического потенциала и достаточно высокие показатели хозяйственной освоенности по всем видам нагрузки. Такое положение обосновывает необходимость перехода в экономической деятельности на ресурсосберегающие и биосферно-совместимые технологии.

Предложенная система количественной оценки территорий локального уровня, реализованная для конкретных территориальных объектов, предоставляет в распоряжение органов исполнительной власти информацию для обоснованного принятия определенных управлеченческих решений. Общие оценки состояния и анализ предметных составляющих показателей основного звена формируют представления о состоянии природной среды территориальных единиц, о практических уровнях негативного воздействия определенных хозяйственных нагрузок, об имеющихся резервах в решении задач охраны окружающей среды. С помощью такой информации могут быть решены задачи по стабилизации определенных уровней состояния, по планированию природоохранных мероприятий и оценке

эффективности их реализации. К важнейшим задачам, которые могут решаться с помощью предложенной системы оценки, относится управление состоянием окружающей среды, определяющим принципом которого является условие компенсации увеличения нагрузок при планиро-

вании новых видов хозяйственной деятельности адекватным повышением природного резерва территории за счет увеличения площадей природных комплексов и перехода на новые экологобезопасные технологии в хозяйственной деятельности.

Л и т е р а т у р а

1. Дербинова М. П. Сораковикова Н. В. Экономико-географическая характеристика экологического района // Региональный экологический мониторинг. М., 1983. С. 15–23.
2. Заиканов В. Г., Минакова Т. Б. Методические основы геоэкологической оценки урбанизированных территорий // Геоэкология. 1995. № 5. С. 63–70.
3. Исаченко А. Г. Экологический потенциал ландшафта // Изв. ВГО. 1991. Т. 123, вып. 4. С. 305–316.
4. Лис Л. С. Оценка экологического состояния природно-территориальных комплексов (локальный уровень). Мин., 2004.
5. Марцинкевич Г. И., Счастная И. И. Общее ландшафтovedение: Практикум. Мин., 2003.
6. Ребенок Л. В., Заикин Р. Н. ТERRITORIALNAЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПРИРОДНОГО КОМПЛЕКСА / Информ. бюлл. Белорус. комитета по программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (МАБ). Мин., 1990. № 1. С. 7–23.
7. Рунова Т. Г. Оценка изменений природных ресурсов и окружающей среды в регионе // Перспективы и достижения. Вып. 50. Природные ресурсы и окружающая среда. М., 1986. № 15. С. 3–14.
8. Состояние природной среды Беларусь. Экологический бюллетень / Под общ. ред. В. Ф. Логинова. Мин., 2006–2008.
9. Справочно-статистические материалы по состоянию окружающей среды и природоохранной деятельности в Республике Беларусь / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Мин., 2006–2008.

Л. С. Лис

АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИЙ АДМИНИСТРАТИВНЫХ РАЙОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Приведена трактовка комплексных показателей, представляющих разработанную систему оценки экологического состояния территорий. Обоснован выбор представительных административных районов республики, для которых на основании информационной базы рассчитаны параметры: индекс природного потенциала ($I_{\text{пэп}}$), индекс хозяйственной освоенности ($I_{\text{хс}}$), коэффициент раздробленности природных и техногенных зон ($K_{\text{разд}}^{\text{пр}}$), ($K_{\text{разд}}^{\text{техн}}$), коэффициент экологической сопряженности (C_{ec}).

Выполнены анализ полученных значений показателей по отдельным аспектам оценки. Предложена процедура свертывания рассчитанных показателей в обобщенную оценку – линейную функцию меры. Произведено распределение исследуемых районов по 4-балльной шкале, предложены практические мероприятия по нормализации уровней отдельных составляющих техногенных нагрузок в ряде районов с неблагополучным экологическим состоянием.

L. S. Lis

ANALYSIS OF ECOLOGICAL STATE OF TERRITORIES OF ADMINISTRATIVE REGIONS WITH THE USE OF COMPLEX INDEXES

The definition of complex indexes, presenting a developed assessment system of territories ecological state is provided. The choice of representing administrative republic's regions has been substantiated, for which on the basis of information base the parameters have been calculated: nature potential index (I_{np}), economic development coefficient (C_{ed}), natural and technogenic zones disunity coefficient ($C_{\text{dis}}^{\text{nat}}, C_{\text{nat}}^{\text{tech}}$), ecological conjugation coefficient (C_{ec}).

The analysis of the obtained values indexes on separate assessment aspects has been done. The procedure of calculated indices into generalized evaluation has been proposed to roll up – measure linear function. The distribution of the regions studied on 4-point scale has been done, practical measure to normalize levels of some constituents of technogenic loads in a number of regions of bad ecological state have been proposed.

В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, В. С. Микуцкий, Н. Н. Шешко, Ю. А. Шубская

ПОЛУГОДОВАЯ ОКЕАНИЧЕСКАЯ МОДУЛЯЦИЯ ВЕЛИЧИНЫ ТРЕНДОВ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПЕРИОД ПОСЛЕДНЕГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

Рассмотрены тренды температуры на станции Минск для каждого суток года за период с 1966 по 2008 г.. Выявлено, что величины трендов температуры испытывают квазипериодические полугодовые изменения в годовом ходе. Показано, что величина трендов температуры модулируется адвекцией тепла течениями системы Гольфстрим.

До недавнего времени изучение изменений климата и их причин осуществлялось в основном с использованием температур, осадков, давления и других характеристик месячного и годового разрешения. Между тем, уже первые работы с использованием метеорологических характеристик с суточным разрешением, максимальных и минимальных температур, амплитуд суточного хода позволили выявить некоторые «тонкие» свойства изменений климата и продвинуться в понимании причин изменений климата [4, 5, 15–17].

В статье использован новый подход к изучению трендов температуры, а именно, проведен анализ величины трендов суточной, ночной и дневной температур за период с 1966 по 2008 г. Использованы 8-срочные данные наблюдений на станции Минск, расположенной в центре Беларуси. Ночную и дневную температуру определяли как результат осреднения в 0, 3, 6 часов и, соответственно, в 12, 15 и 18 часов.

Значения линейных трендов суточной, ночной и дневной температуры для каждого из 365 суток за период с 1966 по 2008 г. приведены на рис. 1.

Из рис. 1 следует, что величина линейного тренда температуры для каждого суток года испытывает в течение года существенные изменения. Даже визуально в течение года просматривается наличие двух максимумов величины линейных трендов: главный максимум, особенно выраженный в середине января, и вторичный максимум во второй половине июля и середине августа. Минимумы величин трендов особенно заметны в первой половине мая и в ноябре. Это свидетельствует о том, что в изменении величин трендов температуры, вычисленных для каждого суток года, прослеживаются квазиполугодовые колебания, т. е. величина трендов температуры в годовом ходе модулируется внешним или внутренним фактором, имеющим полугодовую составляющую.

Для более четкого выделения полугодового цикла суточных трендов проведена фильтрация высокочастотных колебаний рядов суточных трендов среднесуточной, дневной и ночной температур. Ширина окна скользящего сглаживания

определенена по результатам спектрального анализа рядов и выбрана равной 49 дням.

Периодограмма и спектрограмма величин суточных трендов температуры представлена на рис. 2.

Действительно, периодограммы отмечают наличие существенных периодических компонент ~35–50 суток (рис. 2 а). Соответствующий спектр, полученный из периодограммы с помощью сглаживающего окна Хемминга, рис. 2 б.

Сглаженные (отфильтрованные) по 49 точкам значения величин трендов температуры приведены на рис. 3.

Рис. 3 подтверждает наличие в изменении величин трендов температуры в годовом ходе двух разных по величине максимумов, приходящихся на вторую половину января – начало февраля и конец июля – начало августа, а также двух минимумов: в конце мая и конце октября – первой половине ноября.

Двугорбая кривая в годовом ходе заметна в изменении разностей величин трендов ночных и дневных температур: ночью величины трендов температуры больше, чем днем в зимние и летние сезоны, а днем – наоборот, величины трендов температуры выше в весенние и осенние сезоны.

Установленный характер изменения величин трендов температуры в годовом ходе свидетельствует о том, что объяснение повышения температуры за счет роста содержания парниковых газов в последние десятилетия имеет более сложный характер и требует дальнейшего обоснования.

Основные причины более мощных положительных трендов температуры зимой по сравнению с трендами летом могут быть связаны с более ярким проявлением парникового эффекта зимой и ночью, когда термодинамические условия (частое инверсионное распределение температуры по высоте) способствуют подавлению вертикальной конвекции и большему повышению температуры в нижней атмосфере (менее 1 км). Летом активная вертикальная конвекция «размазывает» потепление в более толстом слое и делает его менее заметным. Собственно поэтому летний пик величины трендов меньше зимнего.

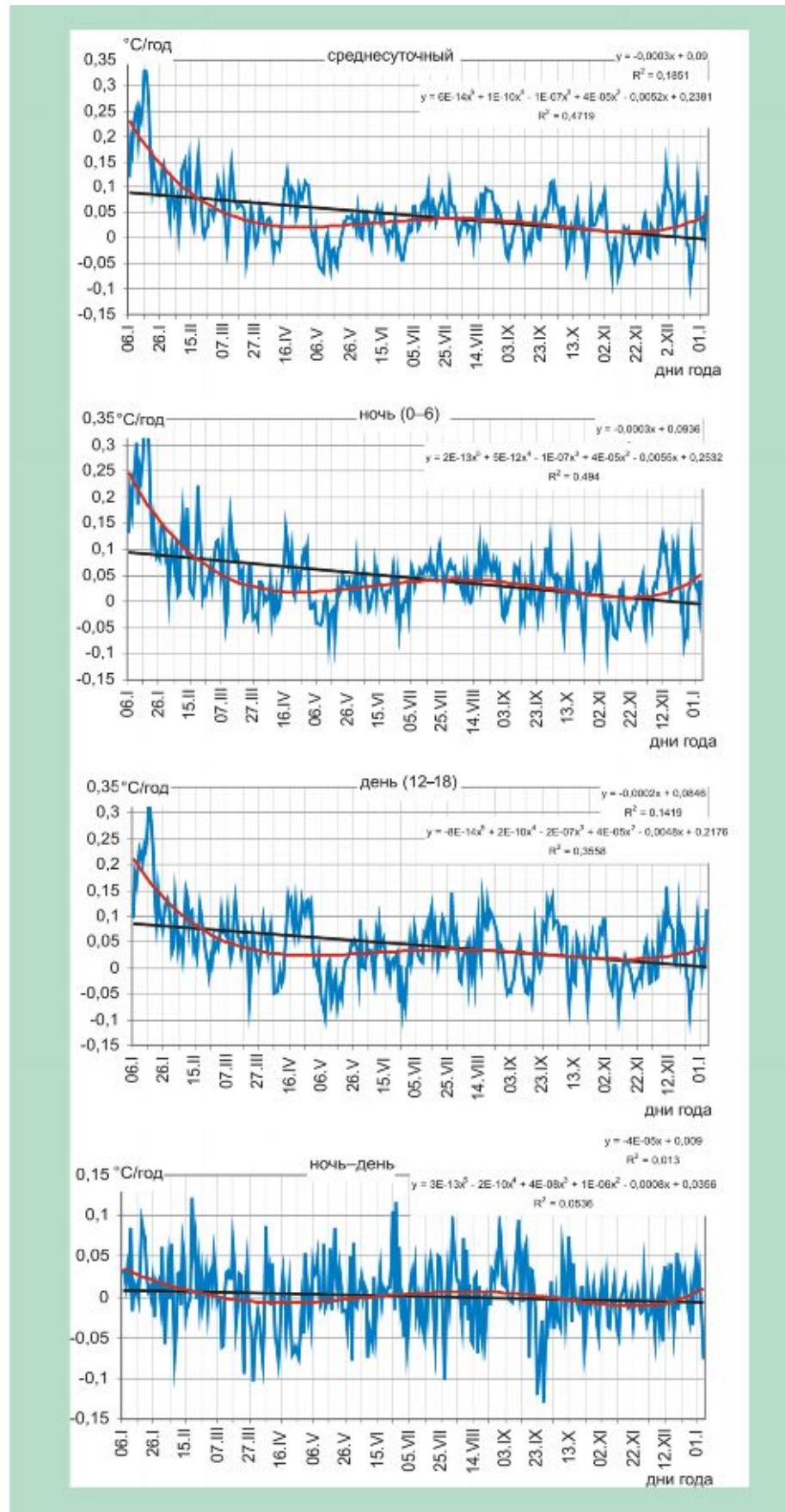


Рис. 1. Значения линейных трендов температуры для каждого суток и разности ночных и дневных трендов для периода с 1966 по 2005 г. (в °С/ год)

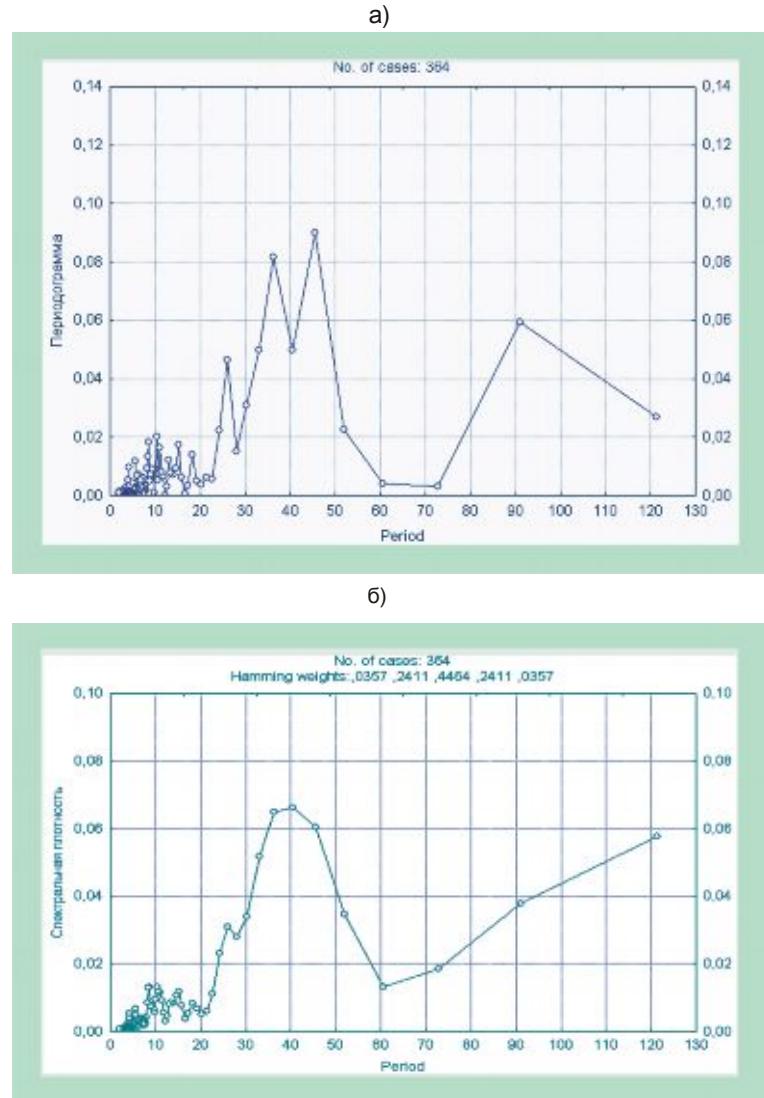


Рис. 2. Периодограмма (а) и спектrogramма (б) величин суточных трендов температуры

Вторым фактором, способным уменьшить величину потепления летом, являются аэрозоли естественного (вулканического) и антропогенного происхождения. Демпфирующее значение аэрозолей, естественно, должно быть больше летом, когда радиационные факторы климата становятся доминирующими. В холодное время года роль циркуляционных факторов климата существенно увеличивается, а роль аэрозольной составляющей изменения климата становится минимальной. Такой аэрозольный эффект в изменении разности температур «большой город – пригород» подробно рассмотрен нами в работах [4, 5].

Прямой и, особенно, косвенный (через образование дополнительной облачности) эффект аэрозолей имеет значительную неопределенность [7, 14]. Показано, что в холодное время отепляющий эффект облачности определяет около 50 % общей изменчивости температуры на станциях России [12]. В теплое время года охла-

ждающий эффект облачности определяется около 25 % общей изменчивости температуры. В апреле и октябре доля объясненной вариации за счет облачности минимальна и составляет менее 5 %. В апреле осуществляется переход от отепляющего к охлаждающему эффекту, а в октябре, соответственно, – наоборот. Заметим, что вблизи указанных переходов и наблюдаются минимальные значения величины трендов температуры в Беларуси.

Парниковый эффект облачности так же, как и эффект парниковых газов, больше в холодное время года в высоких широтах, т.е. при условиях, когда радиационный эффект слабый положительный или даже отрицательный.

При большой инсоляции относительно слабый парниковый эффект облачности в теплый период перекрывается отражательной способностью облачности, а это приводит к снижению температуры в нижней атмосфере.



Рис. 3. Сглаженные (отфильтрованные) по 49 точкам значения величин трендов температуры и разностей трендов ночной и дневной температур

Известно, что изменчивость температуры в холодное время года существенно выше, чем в теплое. В этой связи представляется полезным провести нормировку величин трендов суточных средних, ночной и дневной температур. С учетом этого, нормировка температуры (среднесуточной, ночной или дневной) проводилась делением значений суточного тренда на среднеквадратическое отклонение температуры данных суток следующим образом:

$$\bar{b} = \frac{b \cdot N}{\sigma_t}$$

где b – тренд температуры данных суток (град/год), σ_t – среднее квадратическое отклонение температуры данных суток (град), N – длина ряда, равная 43 (год). Таким образом получены безразмерные нормализованные величины трендов, представленные на рис. 4, а на рис. 5 представлены сглаженные (отфильтрованные) величины трендов температуры.

Из рис. 4 и 5 следует, что нормализованные значения величины трендов становятся соизмеримыми зимой и летом. Полугодовое колебание в изменении нормализованных величин тренда еще более выражено, а разность ночных и дневных величин трендов температуры становится положительной в мае–сентябре, т.е. в теплый период года. Этот результат можно объяснить более ярким проявлением аэрозольного демпфирования потепления климата, связанного с ростом содержания парниковых газов, именно днем, когда ослабление радиации за счет аэрозолей естественного и антропогенного происхождения максимально. Ранее подобный эффект обнаружен нами при исследовании разностей температуры «большой город – пригород (сельская местность)» [4, 5].

Наиболее интересным результатом настоящего исследования является обнаружение полугодового колебания в изменении величин трендов температуры для каждого суток года, ночной и дневной температур. Следует отметить, что многие авторы неоднократно указывали на существование полугодовой вариации в изменении атмосферных и океанических процессов [1, 2, 8, 10, 11]. Природу полугодовой вариации связывали с полугодовым приливом в океане, геомагнитной активностью, полугодовыми вариациями прямой солнечной радиации, приходящей на верхнюю границу атмосферы, тепловыми различиями между континентами и океанами в различные сезоны года. Известно, что в переходный сезон, когда температурные различия между материками и океанами сглаживаются, значения меридиональной составляющей циркуляции значительно уменьшаются, а летом вновь возрастают. Годовой максимум повторяемости зональных процессов наблюдается зимой, поскольку в это время наблюдаются большие контрасты температуры между холодной Арктикой и теплым югом Европы и Средней Азии. После апреля, в связи с быстрым нагреванием материка, происходит выравнивание температуры между

Атлантикой и Европой с Западной Сибирью. Это сопровождается увеличением меридиональных и уменьшением зональных процессов.

Однако тепловые различия между континентами и океанами Северного полушария, формирующие горизонтальный перенос в атмосфере, не являются единственным фактором формирования аномалий температуры. Не меньшее значение имеют притоки тепла за счет радиационных процессов и конденсации водяного пара в атмосфере. Так, повышение температуры приземного слоя среди зимы в восточных регионах Европейской территории России вызывается в основном образованием облачного покрова, а не притоком более теплого воздуха.

В Северной Атлантике формируется огромный «клип» теплых океанических и воздушных масс, внедряющихся далеко на север в холодную арктическую область. Этот «клип» нарушает термическую зональность и приводит к нарушению западного переноса. Такого рода «клип» обнаруживается в изгибе изотерм у поверхности моря и в образованном гребне в термическом поле тропосферы [2].

Маловозмущенный западный перенос имеет место при отрицательной аномалии температуры поверхности океана в Северной Антарктике ($\phi > 60^\circ$ с.ш.) и положительной аномалии температуры в южных районах. Такое распределение температуры обеспечивает ее увеличение вдоль меридиана. В эти годы происходит интенсивный перенос теплого атлантического воздуха на восток, что обусловливает положительную аномалию температуры в высоких и умеренных широтах Европы и Западной Сибири. Собственно, при таких условиях большую интенсивность имеет Североатлантическое колебание.

Когда температура выше нормы, в северных районах Атлантики над океаном сильно развит гребень. По его восточной периферии происходит заток холодных масс воздуха на территорию Европы и Европейскую часть России. Описанные выше условия циркуляции атмосферы формируются в результате крупномасштабного взаимодействия атмосферы и Атлантического океана, главной особенностью которого является наличие теплого течения Гольфстрим, влияние же последнего на климат Европы весьма значительно [3, 9, 13]. Полугодовые составляющие значительны в изменении полей давления над Северной Атлантикой, а также в изменении широты, долготы и интенсивности Исландского центра действия. По материалам наблюдений кораблей погоды в Северной Атлантике получено, что отношение амплитуды полугодовой волны к годовой составляет 0,23, причем минимальное значение этого отношения (0,15) наблюдается в районе корабля погоды К ($\phi = 53^\circ$ с.ш., $\lambda = 41^\circ$ з.д.). Фазы полугодовых колебаний одинаковы во всех районах: максимумы – в феврале и августе, минимумы – в мае и ноябре [10]. Для скорости течений системы Гольфстрим обнаружена достаточно четкая полугодовая цикличность максимальных скоростей в январе и июле [11].

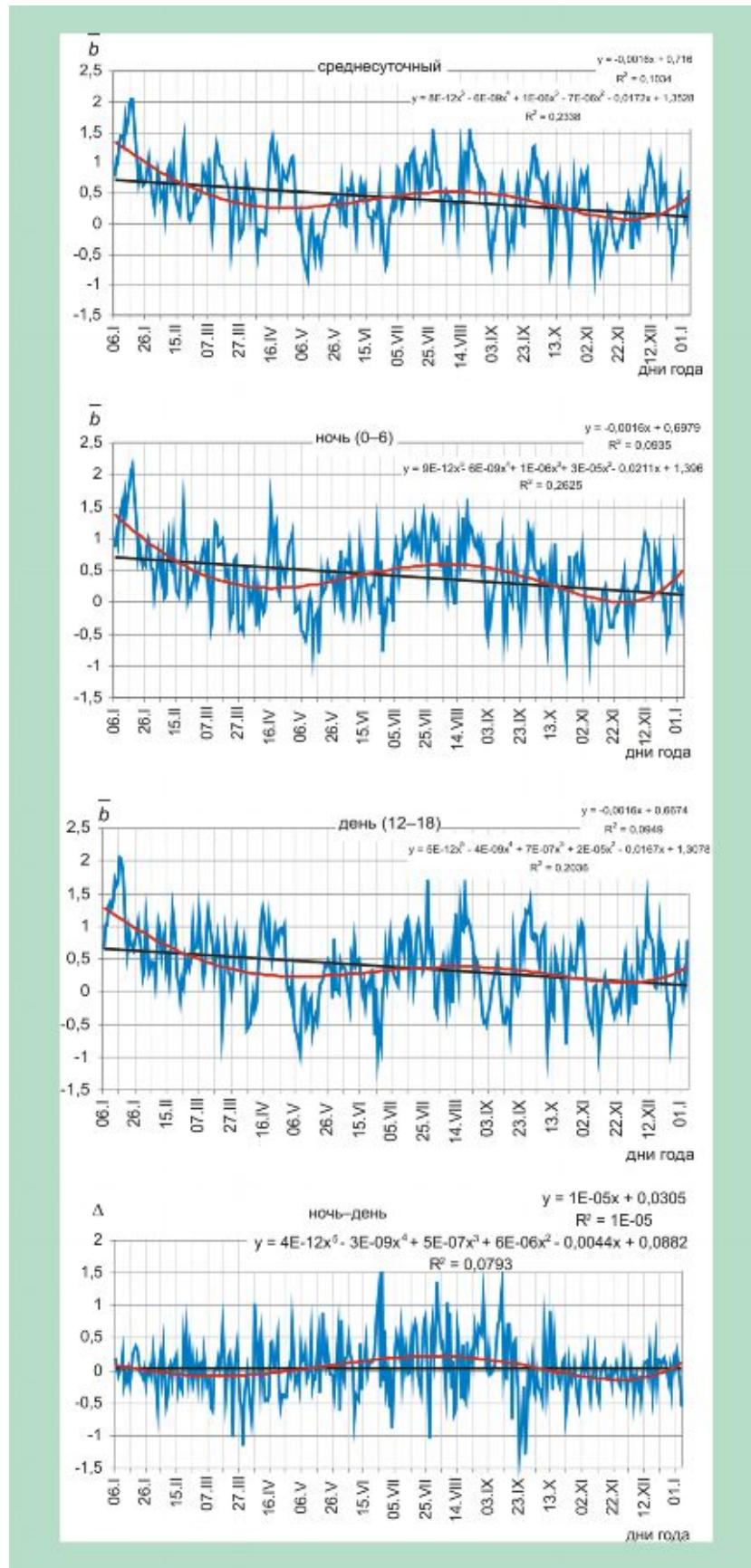


Рис. 4. Нормализованные величины трендов температуры и разности ночных и дневных трендов для периода с 1966 по 2008 г.

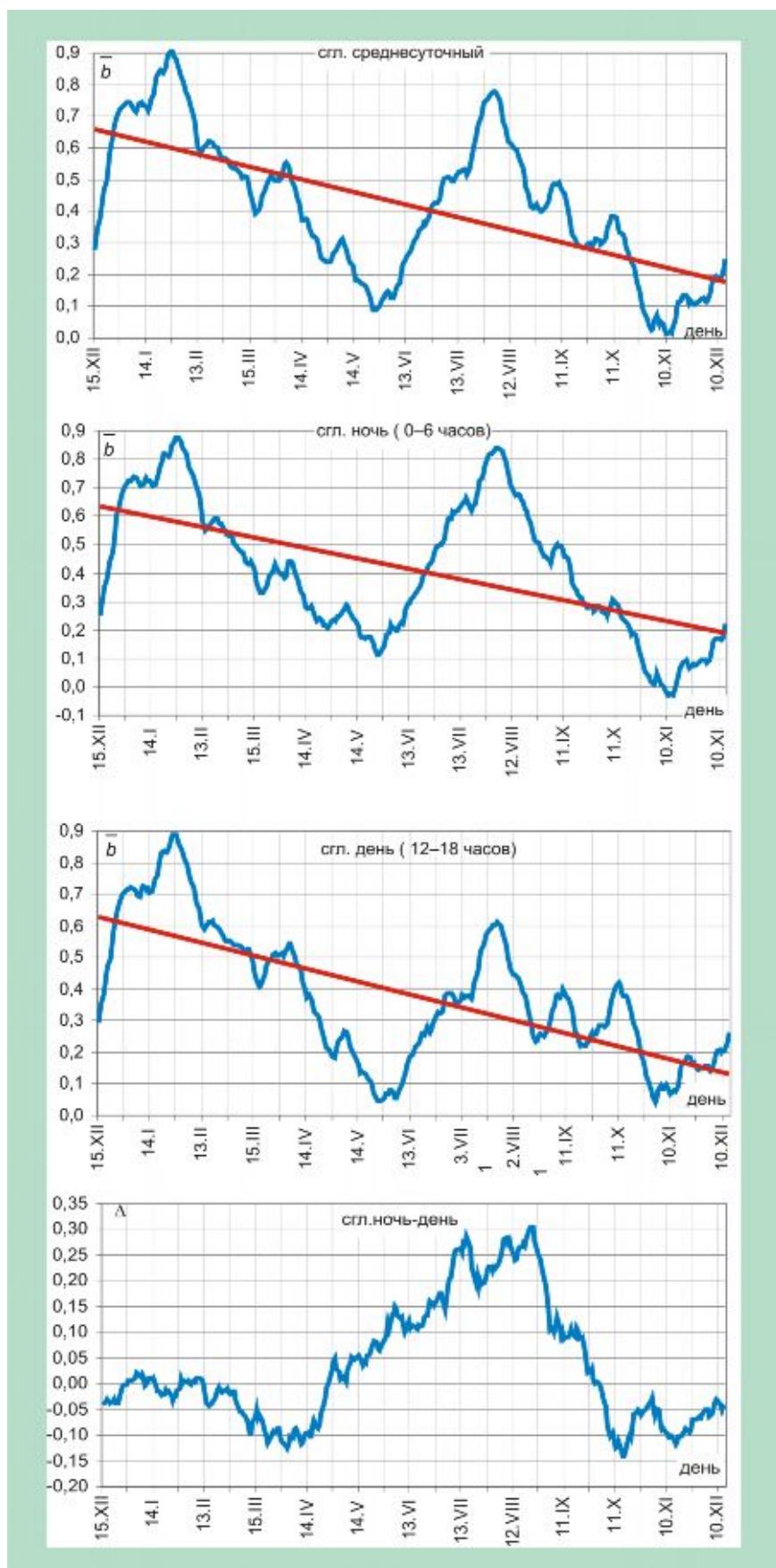


Рис. 5 Сглаженные (отфильтрованные) по 49 точкам нормализованные значения величин трендов температуры и разностей трендов ночных и дневных температур

В другой работе показано, что в Гольфстриме прослеживаются полугодовые колебания расходов воды и тепла. Максимальные значения расходов воды и тепла в годовом ходе приходятся на январь, апрель и август, а минимальные – на март, май и октябрь [10]. Максимальные значения расходов воды и тепла в годовом ходе занимают больший временной период в декабре–январе и июле–августе. В апреле положительный пик расходов воды и тепла занимает около одного месяца. Если сравнить особенности изменения величины трендов температуры в годовом ходе со значениями расходов воды и тепла Гольфстримом, то можно увидеть, что величина трендов температуры модулируется величиной расходов воды и тепла Гольфстримом. При 49-дневной фильтрации апрельский максимум величины трендов температуры в силу его малой продолжительности существенно уменьшается и заметен лишь как небольшая по величине флюктуация на ветви спада величины трендов температуры от января к маю.

Е. И. Серяковым выявлены аналогичные колебания в адвекции тепла течениями для незамерзающей части Баренцева моря. Адвекция тепла на Кольском меридиане может служить показателем теплового и динамического состояния водных масс в системе Гольфстрим – Североат-

лантическое течение. С использованием данных по изменению адвекции тепла течениями на разрезе «Кольский меридиан» ($\lambda = 33^\circ$ в.д.) на северных широтах $72,5^\circ$, $73,5^\circ$ и $74,5^\circ$ [10] нами получен средний годовой ход адвекции тепла течениями через указанные широтные круги на Кольском меридиане. Годовой ход адвекции тепла течениями [1] и средние сглаженные величины трендов температуры для разных месяцев года представлен на рис. 6. На этом же рисунке приведены значения величин трендов температуры каждые сутки, ночью и днем.

Из рис. 6 следует определенное согласие приведенных кривых. Это означает, что крупномасштабное взаимодействие с атмосферой Атлантического океана и его наиболее яркого фено-мена – течения Гольфстрим модулирует полугодовое колебание в изменении величин тренда температуры в различные периоды года. Наибольшая величина адвекции тепла течениями, наблюдаемая в январе–феврале, а также в июле–сентябре обеспечивает больший по величине положительный тренд температуры (потепление) в указанные месяцы года и, наоборот, самая низкая адвекция тепла течениями в мае и ноябре отвечает самым малым положительным или отрицательным трендам температуры в эти месяцы.

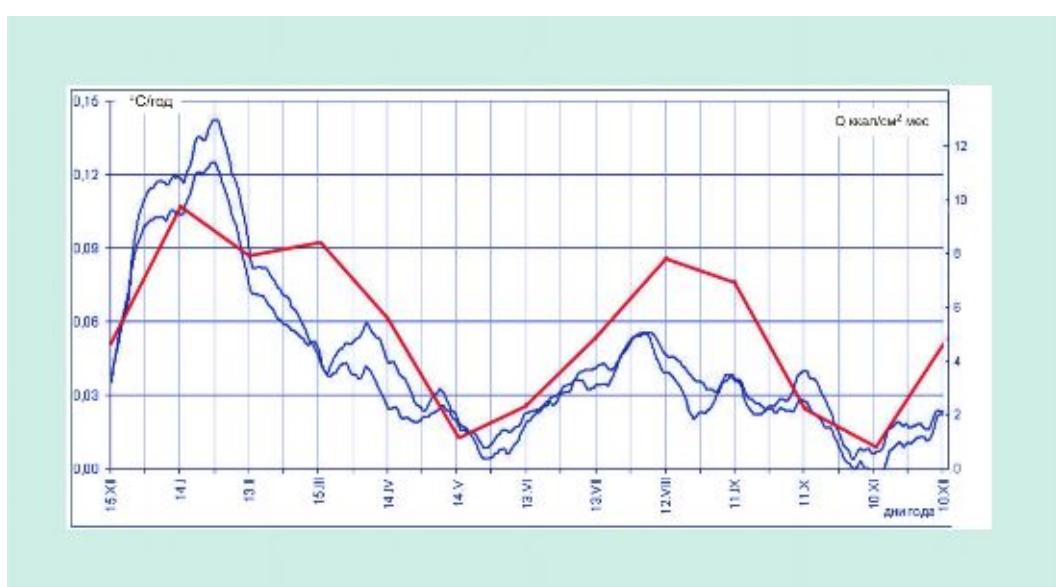


Рис. 6. Значения среднесуточных трендов температуры и адвекции тепла течениями на Кольском меридиане

Роль Атлантического океана в формировании климата Европы многократно установлена и не вызывает сомнений, а следовательно, его можно считать модулятором полугодовых вариаций величин трендов в изменении климата Европы. Многолетние изменения величины трендов температуры за период с 1966 по 2008 г. могут быть, в свою очередь, связаны с колебаниями

газового и аэрозольного состава атмосферы и другими внешними и внутренними факторами. Однако, приведенные результаты показывают, что только ростом содержания парниковых газов в атмосфере нельзя объяснить современное потепление климата в Беларуси в различные периоды года.

Л и т е р а т у р а

1. Бышев В. И. О годовых и полугодовых колебаниях некоторых характеристик приводного слоя атмосферы // Изв. АН СССР. Сер. Физика атмосферы и океана. 1968. Т. 4, № 5. С. 540–547.
2. Кац А. Л. Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы. Л., 1960.
3. Лаппо С. С., Соков А. В., Терещенков В. П., Добролюбов С. А. Океан и колебания климата // Российская наука: выстоять и возвратиться. М., 1997.
4. Логинов В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия. Мн., 2008.
5. Логинов В. Ф., Микуцкий В. С. Оценка антропогенного сигнала в климате городов // Изв. Рус. геогр. о-ва. 2000. № 1. С. 23–31.
6. Максимов И. В. Географические силы и воды океана. Л., 1970.
7. Марчук Г. И., Кондратьев К. Я., Козодоров В. В. и др. Облака и климат. Л., 1986.
8. Молодых В. А., Логинов В. Ф. Возможные причины полугодовых колебаний температуры воздуха // Тр. Главной геофиз. обсерватории им. А. И. Воейкова. Л., 1984. Вып. 471. С. 86–93.
9. Николаев Ю. В. Роль крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы в формировании аномалий погоды. Л., 1981.
10. Серяков Е. И. Долгосрочные прогнозы тепловых процессов в Северной Атлантике. Л., 1979.
11. Смирнов Н. П. Сезонные вариации в деятельности системы Гольфстрим // Проблемы Арктики и Антарктики. Л., 1966. Вып. 22. С. 43–51.
12. Шерстюков Б. Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата // ГУ «ВНИИГМИ—МЦД». Обнинск, 2008.
13. Шулейкин В. В. Физика моря. М., 1968.
14. Climate change 2001. IPCC, WMO/UNEP. Cambridge Univ. press, 2001.
15. Bradzil R., Maghu K., Budikova M. Temporal and spatial in maxima and minima of air temperature in the Czech republic in period of 1951–1900 // Contemporary climatology. Ed. Bradzil R and Kolar V. Brno, 1994. P. 93–102.
16. Hansen J., Sato M., Ruedy R. Long-term change of the diurnal temperature cycle: Implication about mechanisms of global climate change. Atm. Res., 1995, 37. P. 175–209.
17. Karl T. R. et. al. 1993: Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature // Bull. Amer. Met. Soc. № 74. P. 1007–1023.

В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, В. С. Микуцкий, Н. Н. Шешко, Ю. А. Шубская

ПОЛУГОДОВАЯ ОКЕАНИЧЕСКАЯ МОДУЛЯЦИЯ ВЕЛИЧИНЫ ТРЕНДОВ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПЕРИОД ПОСЛЕДНЕГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

Проанализированы величины линейных трендов температуры Минска для каждого суток года за период с 1966 по 2008 г.. Выявлено, что в годовом ходе наибольшие величины трендов приходятся на середину января, а также на конец июля–августа, а в мае и ноябре величины трендов температуры слабые положительные или даже отрицательные. Максимальные величины трендов температуры совпадают с максимальной адвекцией тепла течениями системы Гольфстрим. Слабая адвекция тепла течениями отвечает слабым положительным и даже отрицательным значениям величин трендов температуры. Это означает, что величина трендов температуры в годовом ходе модулируется адвекцией тепла течениями системы Гольфстрим, которая содержит полугодовую составляющую и определяется естественными факторами, а следовательно причина современного потепления климата не может быть связана только с ростом парниковых газов в атмосфере.

V. F. Loginov, A. A. Voltchek, V. S. Mikutskij, N. N. Sheshko, J. A. Shubskaya

SEMI-ANNUAL OCEANIC MODULATION OF TEMPERATURE TRENDS DURING THE LAST WARMING OF CLIMATE

Linear trends of daily temperature in Minsk have been analyzed for the period of 1966–2008. Maximal trends were revealed for the middle of January and the end of July and August. Temperature trends of May and November are lightly positive or negative. Maximal temperature trends coincide the maximal warm advection by Gulf Stream flow. Low warm advection by flow corresponds to the lightly positive and negative temperature trends. This implies the modulation of temperature trends in annual scale by Gulf Stream flow warm advection. This warm advection complies with semi-annual cycle and determined by natural factors. Therefore, the reason of current warming of climate can not be related only to the growth of greenhouse gases in the atmosphere.

II. БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 662.642.2:662.732

**И. И. Лиштван, П. Л. Фалюшин, Р. Ф. Братишко,
В. Н. Кожурин, Е. В. Ануфриева**

БУРЫЕ УГЛИ КАК СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГОРЮЧИХ ГАЗОВ

Приведены результаты испытаний технологии слоевой газификации бурых углей Бриневского месторождения и дана оценка их пригодности как местного вида топлива для термохимической переработки с получением горючих газов.

Производство искусственных горючих газов на основе твердых видов топлива было широко распространено в СССР и других странах до 60-х–70-х годов прошлого века. Когда были открыты крупные месторождения нефти и природного газа, не выдержала конкуренции как наземная, так и подземная газификация твердого топлива. Однако в последние годы снова возник интерес к получению газообразных и жидких энергоносителей из твердых топлив и растительной биомассы, особенно в странах, где нет собственных запасов углеводородного сырья.

Среди местных видов топлива в республике потенциальными возможностями в качестве сырья для термохимической переработки обладают бурые угли, энергопотенциал которых составляет 0,8–1,0 млн т условного топлива. В Беларуси их запасы достигают 1,5 млрд т: разведанные (балансовые экономически целесообразные) ~ 160 млн т; в перспективе ~ 250 млн т; детально разведанные к настоящему времени – 100 млн т. Наиболее перспективными для промышленного освоения являются месторождения бурых углей в неогеновых отложениях Припятской впадины, расположенные в западной части Гомельской области, – Житковичское, Бриневское и Тонежское. Средняя мощность пластов составляет 3–4 м, максимальная – 19,9 м, вскрыши – от 21 до 81 м. Ряд более мелких месторождений обнаружен в других областях республики [5].

Бурые угли Бриневского месторождения представляют собой твердые горючие ископаемые гумусовой природы невысокой степени углефикации (переходная форма от торфа к каменному углю), имеют рыхлую структуру с включениями остатков древесины и по степени метаморфизма относятся к категории землистых бурых углей марки Б 1. Они механически непрочны и не подлежат перевозкам на дальние расстояния, при хранении выветриваются и самовозго-

ряются. Влажность углей колеблется в пределах 38–68 %, зольность – 6–35 %, истинный удельный вес в зависимости от количества влаги и минеральных примесей – 1,10–1,35 г/см³. По выходу летучих соединений (54–62 %), содержанию в горючей массе углерода (54–65 %), водорода (5,6–6,0 %) и серы (0,6–1,5 %), низшей рабочей теплоте сгорания (1 020–2 057 ккал/кг) бурые угли являются перспективным топливом для прямого сжигания и сырьем для термохимической переработки методом газификации [3].

Особенности условий газификации и сжигания натурального твердого топлива требуют при организации технологического процесса тщательного учета не только химического состава и технических характеристик, но и разнообразных свойств используемого топлива [1, 7]. К числу основных свойств твердого топлива, определяющих его пригодность для газификации, следует отнести спекаемость, шлакообразующую способность, механическую и термическую прочность, гранулометрический состав, зольность, содержание влаги, серы и реакционную способность.

Под спекаемостью углей и их смесей (шихты) понимают способность зерен топлива при нагревании переходить в пластическое состояние и сращиваться при размягчении с образованием углеродистой массы той или иной прочности.

Некоторые угли (преимущественно каменные) при нагревании без доступа воздуха при 350–450 °C переходят в пластическое состояние благодаря образованию жидких продуктов. При 520 °C пластическая масса начинает затвердевать, а к 600 °C процесс спекания завершается.

Спекаемость зависит от содержания в топливе летучих веществ и их состава, характеризующегося показателем $(C^\Gamma + H^\Gamma)/O^\Gamma$, который отражает соотношение количества углеводородных и кислородсодержащих соединений в летучих

продуктах. Чем выше этот показатель, тем интенсивнее спекается топливо. К неспекающимся топливам относятся торф, бурые угли, антрациты, тощие и длиннопламенные каменные угли. Спекаемость – нежелательное явление для газификации топлив в плотном слое.

Шлакообразующая способность топлива – это способность его минеральной части превращаться в прочную спекшуюся или оплавленную массу (шлак) под воздействием высоких температур, что приводит к нарушению режима горения и газификации. Это свойство топлива характеризуют плавкостью золы, устанавливаемой в лабораторных условиях определением интервалов перехода золы из твердого состояния в жидкое. На образование шлаков влияют химический состав минеральной части топлив и форма ее нахождения в топливе. С повышением содержания в золе оксидов $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ растет температура плавления золы и снижается ее шлакообразующая способность. Наличие в золе значительного количества оксидов железа, кальция и магния приводит к понижению температуры ее плавления. Для землистых бурых углей температура начала деформации находится в пределах 1000–1100 °С, жидкотекущего состояния – 1130–1250 °С. При выборе технологии газификации необходимо учитывать шлакообразующую способность твердого топлива.

Механическая и термическая прочность топлива обуславливает сохранение его зернового состава при газификации, что необходимо для обеспечения равномерности процесса, снижения потерь с уносом и сохранения требуемой производительности газогенератора.

Механическая прочность топлива имеет значение преимущественно при его добыче и транспортировке, однако она существенно влияет и на процесс газификации. Для механически непрочных топлив необходима газификация с соответствующей аэродинамической организацией (кипящий слой, пылевидный поток).

На эффективность слоевой газификации топлива значительно влияет его термическая прочность – свойство твердого топлива сохранять кусковатость при попадании в зоны высоких температур. Бурые угли, как правило, имеют низкую термическую прочность, что получило подтверждение при их газификации.

Влажность и зольность используемого для газификации топлива должны быть минимальными. С повышением влажности угля (торфа) с 20 до 50 % коэффициент полезного действия процесса снижается с 75 до 60 % [1]. При повышенной зольности топлива необходимо обеспечивать правильное удаление золы и шлаков из газогенератора.

При любой организации процесса газификации (пылевидный поток, кипящий или стационарный слой и др.) существенное воздействие на

конечный результат и условия работы газогенераторов оказывает гранулометрический состав топлива. Для газогенераторов с плотным слоем топлива соотношение между максимальным и минимальным размерами частиц не должно быть больше 2:1. При этом нижний предел определяется механической прочностью топлива. Для бурых углей, имеющих низкую механическую прочность, минимальный размер частиц составляет ~25 мм. Для газогенераторов с псевдоожженным слоем применяют частицы размером от 1 до 10 мм. Наилучшие показатели газообразования и равномерность процесса могут быть обеспечены прежде всего при однородном зерновом составе топлива.

На интенсивность процесса газификации заметное влияние оказывает реакционная способность кокса используемого твердого топлива. Коксы торфа и бурых углей обладают высокой реакционной способностью в реакции взаимодействия углерода с диоксидом углерода и парами воды. Реакция интенсифицируется катализаторами, в качестве которых могут выступать минеральные и органоминеральные компоненты топлива.

Горючий газ, получаемый при безостаточной слоевой газификации натурального твердого топлива с высоким выходом летучих соединений, можно рассматривать как смесь газов газификации дутьем разного состава нелетучей части топлива и газов его термического разложения. В зависимости от условий осуществления процессов газификации углеродистого остатка и термического разложения органической массы, а также от количественного соотношения продуктов этих процессов могут быть получены газы разной теплоты сгорания.

В зависимости от способа ведения процесса, состава применяемого дутья, параметров технологического режима и конструкции газогенератора при газификации одного и того же вида топлива возможно получение газов, различных по своей тепловой ценности. Так, при использовании только воздушного или паровоздушного дутья получается газ с низкой теплотой сгорания, обусловленной высоким (до 40–50 % объемных) содержанием балласта – азота. Его в основном применяют для сжигания в топках промышленных печей.

Газы со средней теплотой сгорания получают в процессах паровой или парокислородной газификации твердых топлив под давлением 2–2,5 МПа. По составу они представляют собой смеси оксидов углерода и водорода с небольшими количествами метана и других углеводородов (% объемные): 30–35 CO_2 , 10–13 CO , 38–40 H_2 , 10–12 CH_4 , 0,5–1,5 C_nH_{2n} . Повысить теплоту сгорания такого газа можно или повышением давления, или применением парового дутья и предварительно нагрева до 900–1100 °С твердого

теплоносителя, например золы, оставшейся после сжигания части топлива в выносной топке. В результате получается газ, состоящий в основном из CO и H₂ в соотношении, близком 1:1.

Использование парокислородного дутья позволило отказаться от периодических процессов газификации твердого топлива при получении синтез-газа. Темпера тура сгорания получаемого в этом случае газа составляла 2600–2800 ккал/нм³ [1]. Кроме того, парокислородное дутье дает возможность регулировать соотношение компонентов в синтез-газе (CO:H₂) при получении из него высококалорийного жидкого топлива.

К более простым схемам газогенераторных процессов относятся прямой и обращенный процессы газификации [6]. Их разновидностями можно считать двухзонную схему для газификации высокозольных топлив и схему газогенератора Пинча, где процессы генерации протекают в тонком слое, а сжигание газа реализуется в жаровом канале без его охлаждения и очистки. Наряду с этими схемами газификации твердого топлива все шире используют процессы в кипящем слое и в потоке теплоносителя [2].

В слоевых газогенераторах типа Пинча летучие продукты (газ, пары смолы и воды), образовавшиеся в зоне полуоксования, не отводятся в верхнюю часть аппарата, а проходят зону восстановления, где подвергаются пиролизу с образованием дополнительного количества горючих газов, смешиваются с газами колосниковой решетки и поступают в жаровой канал на сжигание с небольшим избытком воздуха. При этом температура может достигать 1200–1300 °C, что на 100–300 °C выше температуры горения топлива на колосниковой решетке. В этом заключается существенное отличие газогенераторного процесса от прямого горения топлива в обычной слоевой топке. Кoeffициент полезного действия достигает 90 %, до минимума снижаются выбросы экологически вредных веществ в атмосферу. В газогенераторах мощностью до 500 кВт используют в основном мелкозернистое топливо размером до 100 мм, свыше 500 кВт – крупнокусковое топливо. Производительность газогенераторов составляет 100–150 кг/м²·ч на естественной тяге и 150–300 кг/м²·ч – на искусственной.

Газогенераторы типа Пинча широко распространены в Беларуси, они работают на торфе, древесных отходах, соломе для получения тепловой энергии.

Цель исследования – испытание технологии слоевой газификации бурых углей Бриневского месторождения.

Испытания проведены на серийно выпускаемом промышленном образце газогенератора мощностью 70 кВт (УГВ-Т-70) в комплекте с горизонтальным шnekовым пиролизером непрерывного действия, обогреваемым дымовыми газами от газогенератора. Установка разработана сот-

рудниками ГНУ «Институт проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси» (ныне Институт природопользования НАН Беларуси), изготовлена и смонтирована на промышленной площадке в отдельном помещении РУП «Экспериментальная база «Свислочь» НАН Беларуси» и предназначена для термохимической переработки твердых горючих ископаемых методами скоростного пиролиза в подвижном слое, газификации и сжигания с получением твердых, газообразных и жидких энергоносителей.

Задача испытаний – определить параметры, характеризующие процесс газификации землистого бурого угля, – производительность установки по углю (расход сырья), температуру на колосниковой решетке, температуру горения газа в жаровом канале, температуру отходящих дымовых газов, разрежение в системе; определить состав и теплоту сгорания образующегося горючего газа, температуру и состав дымовых газов, содержание горючих веществ в зольном остатке.

Сырье для проведения испытаний – бурый уголь Бриневского месторождения с массовой долей влаги 20,0 % (после подсушки), зольностью 20,5 % и размером частиц 5–50 мм. Температура плавления золы – 1 130–1 250 °C.

Выход битумов – 4,6 %, летучих веществ – 59,0 %, гуминовых веществ – 58,9 %. Содержание основных горючих элементов – углерода и водорода в составе горючей массы углей – 65,7 и 5,8 % соответственно, серы – 0,8%; низшая рабочая теплота сгорания углей составляет 3800 ккал/кг.

На установке используется воздушное дутье, газификация происходит в слое топлива на колосниковой решетке с шириной щелей 14 мм и длиной 160 мм.

Промышленный газогенератор УГВ-Т-70 (принципиальная схема приведена на рисунке) представляет собой металлический корпус с внутренней футеровкой, внутри которого на кронштейнах установлен сводчатый рассекатель слоя топлива, снабженный в верхней части вертикальной пластиной для интенсификации процесса газогенерации за счет увеличения поверхности контакта слоя топлива с рассекателем, а также для устранения зависания топлива между внутренними стенками и рассекателем [4].

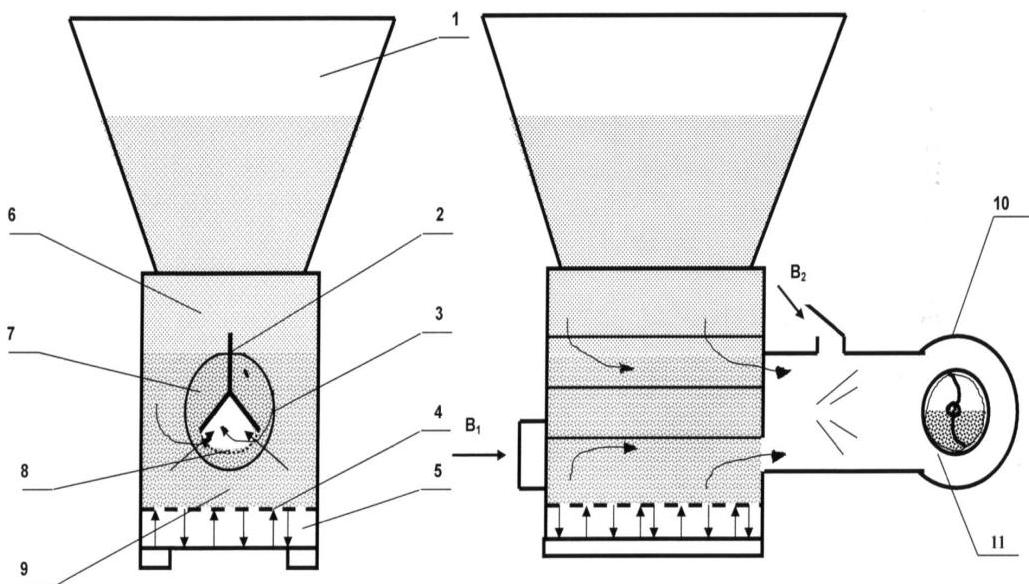
Установленная под рассекателем колосниковая решетка снабжена кулачковым механизмом с рычагом для ее подъема-опускания на фиксированную величину, что позволяет регулировать в некоторых пределах производительность газогенератора за счет изменения высоты слоя топлива, находящегося над колосниковой решеткой.

В корпусе спереди имеется топочная дверца для розжига газогенератора и очистки колос-

никовой решетки. В нижней части газогенератора, под колосниковой решеткой, размещена камера для золы (зольник) с дверцей для ее удаления и устройство для подачи и регулирования первичного воздуха для сжигания бурого угля.

Под рассекателем в корпусе находится отверстие для отвода газа, соединенное с жаро-

вым каналом, предназначенным для сжигания генераторного газа. Жаровой канал снаружи покрыт слоем теплоизоляционного материала и снабжен поворотной крышкой-клапаном для подачи и регулирования поступления вторичного воздуха.



Принципиальная схема газогенератора: 1 – бункер; 2 – рассекатель топлива; 3 – жаровой канал; 4 – колосниковая решетка; 5 – зольник; 6 – зона сушки; 7 – зона полукоксования (CO_2 , CO , CH_4 , C_nH_m , пары воды и смолы); 8 – зона восстановления ($C+CO_2 \rightarrow 2CO - Q$; $C+H_2O \rightarrow CO+H_2 - Q$); 9 – зона горения кокса ($C+O_2 \rightarrow CO_2+Q$); 10 – теплообменник; 11 – пиролизер (B_1 – первичный воздух; B_2 – вторичный воздух)

На корпусе газогенератора установлен бункер для топлива.

Газогенератор работает следующим образом. Через топочную дверцу производят розжиг газогенератора, используя для этого различные горючие материалы (щепу, дрова и другие), которые укладывают на колосниковую решетку. После загорания растопочного материала на решетке топочную дверцу плотно закрывают. Через загрузочный люк бункер заполняют бурым углем, и люк плотно закрывают. Под колосниковую решетку под действием тяги подают первичный воздух через устройство, которым регулируют его количество. Воздух проходит через слой растопочного материала и бурого угля, обеспечивая их интенсивное горение, с образованием диоксида углерода ($C + O_2 \rightarrow CO_2$). В этой зоне выделяется значительное количество тепла, и температура достигает $900\text{--}1000^{\circ}\text{C}$.

Продукты горения и пары воды проходят через слой кокса. Здесь, в зоне восстановления, при соприкосновении с раскаленной поверхностью негорючий диоксид углерода превращается в горючий оксид углерода ($CO_2 + C \rightarrow 2 CO$), а в результате разложения паров воды получа-

ются водород иmonoоксид углерода ($H_2O + C \rightarrow CO + H_2$).

Пространство над зоной горения называется зоной сухой перегонки. Над ней находится зона подсушки, где бурый уголь подвергается предварительному подсушиванию.

Зоны горения и восстановления вместе образуют активную зону газификации, или активный слой топлива. Продукты сухой перегонки (пары смолы, воды, кислоты), проходя через раскаленный кокс, подвергаются крекинг-процессу с выделением горючих газов, в основном CH_4 . Из активной зоны газ без охлаждения поступает в жаровой канал на сжигание с небольшим избытком вторичного воздуха.

Для топлив с высоким выходом летучих веществ процессы, протекающие в зоне полукоксования, позволяют получать горючие газы, обогащенные непредельными и предельными углеводородами с высокой теплотой сгорания.

Образующиеся при сжигании генераторного газа дымовые газы идут на обогрев смонтированного в комплекте с газогенератором пиролизера и подогрев сырья. Отдав тепло, они через дымовую трубу выбрасываются в атмосферу.

По мере сгорания столб бурого угля под действием силы тяжести из бункера постепенно спускается вниз, на колосниковую решетку. Для предотвращения горения угля в бункере необходимо, чтобы его слой был не менее 20–25 см. Этот слой является аэродинамическим затвором, препятствующим поступлению газов в бункер при открытом люке и воздуха из бункера в зону горения. После его выгорания через определенный промежуток времени загружают следующую партию сырья.

Производительность газогенератора регулируют изменением количества бурого угля, участвующего в процессе, путем подъема-опускания колосниковой решетки и изменением подачи первичного воздуха за счет разрежения, создаваемого работой дымососа.

Благодаря реализации двухстадийного процесса сжигания газогенератор позволяет перерабатывать бурый уголь и другие виды местных топлив с высокой тепловой эффективностью и снижать количество вредных выбросов по сравнению с существующими устройствами по их прямому сжиганию. При горении топлива на колосниковой решетке с избытком воздуха газогенератор выполняет функции обычного топочного устройства.

Работа на установке включает розжиг газогенератора, загрузку бункера бурым углем, регулирование положения колосниковой решетки по высоте, регулирование подачи первичного и вторичного воздуха, удаление золы и шлака из газогенератора, очистку колосниковой решетки.

На протяжении всего рабочего цикла установки (от загрузки сырья до полной его переработки) обеспечивают контроль работоспособности отдельных ее систем, а также контроль температуры в жаровом канале как основного режимного параметра процессов газификации бурого угля. Отбор генераторного газа для анализа производят до факела горения, дымовых газов – после факела горения. В ходе испытаний переработано 280 кг бурого угля.

Подготовлено сырье в соответствии с требованиями разработанного технологического регламента – бурый уголь высушен на воздухе до влажности 20 % и измельчен до частиц размером 5–50 мм. Высота активного слоя над колосниковой решеткой составляла около 60 мм.

Перед проведением испытаний бурый уголь охарактеризован по следующим показателям: массовая доля влаги, зольность, гранулометрический состав, содержание битумов, гуминовых и летучих веществ, элементный состав, низшая рабочая теплота сгорания (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика исходного бурого угля Бриневского месторождения

Влажность, %	Зольность, %	Размер частиц, мм	Содержание, % на органическую массу			Элементный состав, % на орг. массу	Теплота сгорания Q^p_H , ккал/кг
			битумы	гуминовые вещества	летучие вещества		
20,0	20,5	5–50	4,6	58,9	59,0	C–65,7 H–5,8 O–28,8 N–0,8 S–0,8	3 800

В ходе испытаний установлено:

– все системы установки – подготовка и подача сырья, вывод газогенератора на рабочий режим по температуре в жаровом канале, вывод твердых продуктов работают в заданном режиме;

– горение топлива устойчивое, температура в жаровом канале при горении газа превышает 900 °C, дым светлый, зависания топлива в бункере нет, КПД газификации – 77 %;

– конструкция установки обеспечивает соблюдение технологических параметров процесса и получение показателей, приведенных в табл. 2.

Генераторный газ, отобранный из камеры газификации, состоит в основном из метана и монооксида углерода, имеет теплоту сгорания 875 ккал/м³. Высокое содержание метана свидетельствует о том, что его образование явилось

результатом пиролиза угля в зоне полукоксования при температуре 300–500 °C, а также взаимодействия парогазовой смеси с раскаленным коксом в зоне восстановления при 600–800 °C.

Следует отметить одно из специфических свойств бурого угля Бриневского месторождения – частицы угля при движении к колосниковой решетке теряют термическую прочность и разрушаются, несколько увеличивая при данных размерах щелей колосниковой решетки содержание горючих веществ в зольном остатке. В дальнейшем для целей слоевой газификации бурых углей необходимо выбирать газогенератор с меньшими размерами щелей колосниковой решетки, а также использовать уголь в виде брикета.

Таблица 2. Результаты определения показателей для характеристики процесса газификации бурых углей

Показатель	Полученное значение
Производительность установки по углю (расход сырья), кг/ч	30
Температура на колосниковой решетке, °С	830–900
Температура в жаровом канале при горении газа, °С	900–1000
Температура отходящих дымовых газов, °С	150
Разрежение в системе, мм вод. ст.	10
Состав генераторного газа, % объемные	CO ₂ – 3,08 C _n H _m – 0 CO – 2,64 H ₂ – 0,44 CH ₄ – 9,20 O ₂ – 0,30 N ₂ – 84,32
Теплота сгорания генераторного газа, ккал/нм ³	875
Содержание горючих веществ в зольном остатке, % сухой массы	16,0
Состав дымовых газов, % объемные	CO ₂ – 18,00 C _n H _m – 0 CO – 0,10 H ₂ – 0,05 CH ₄ – 0,55 O ₂ – 0,30 N ₂ – 78,10
Коэффициент полезного действия газификации, %	77

Таким образом, бурые угли Бриневского месторождения по своим качественным показателям пригодны для слоевой газификации. Для паровоздушной газификации с целью получения синтез-газа методом Лурги под давлением целесообразно использовать уголь в виде брикета.

Для газификации пылевидного топлива пригоден метод Копперс–Тотцека, позволяющий проводить процесс в потоке и получать синтез-газ с высоким содержанием CO и H₂.

Л и т е р а т у р а

1. Альтшулер В. С. Новые процессы газификации твердого топлива. М., 1976.
2. Бородуля В. А., Виноградов Л. М. Сжигание твердого топлива в псевдоожиженном слое / Под ред. В. А. Попова. Мн., 1980.
3. Лиштван И. И., Фалюшин П. Л., Братишко Р. Ф., Смолячкова Е. А. Технологические характеристики бурых углей Бриневского месторождения // Природопользование. 2008. Вып. 14. С. 167–173.
4. Лиштван И. И., Нашкевич И. С., Терентьев А. А., Фалюшин П. Л. и др. Газогенератор для твердого топлива. Патент 1732 РБ. 1997.
5. Полезные ископаемые Беларуси: к 75-летию БелНИГРИ / Редкол.: П. З. Хомич и др. Мн., 2002.
6. Фалюшин П. Л., Куликов И. С., Боян Н. И., Ловкис В. Б. Использование газогенераторов для сжигания горючих органических отходов // Торф в решении проблем энергетики, сельского хозяйства и экологии: Материалы междунар. науч. конф. Мн., 2006. С. 74–76.
7. Химическая технология твердых горючих ископаемых / Под ред. Г. Н. Макарова и Г. Д. Харламповича. М., 1986.

**И. И. Лиштван, П. Л. Фалюшин, Р. Ф. Братишко,
В. Н. Кожурин, Е. В. Ануфриева**

БУРЫЕ УГЛИ КАК СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГОРЮЧИХ ГАЗОВ

Среди местных видов топлива в республике потенциальными возможностями в качестве сырья для термохимической переработки обладают бурые угли, запасы которых достигают 1,5 млрд т. Бурые угли Бриневского месторождения по степени метаморфизма относятся к категории землистых бурых углей марки Б 1.

Изучен химический состав углей и основные свойства, определяющие их пригодность для газификации, – спекаемость, шлакообразующая способность, механическая и термическая прочность, гранулометрический состав, зольность, содержание влаги, серы и реакционная способность.

Проведены испытания газификации углей на серийно выпускаемом промышленном образце газогенератора мощностью 70 кВт (УГВ-Т-70) в комплекте с горизонтальным шнековым пиролизером непрерывного действия, обогреваемым дымовыми газами от газогенератора. Определены параметры, характеризующие процесс газификации землистого бурого угля, – производительность установки по углю (расход сырья), температура на колосниковой решетке, температура горения газа в жаровом канале, температура отходящих дымовых газов, разрежение в системе; состав и теплота сгорания образующегося горючего газа; температура и состав дымовых газов; содержание горючих веществ в зольном остатке.

Показано, что бурые угли Бриневского месторождения по своим качественным показателям пригодны для слоевой газификации. Полученный генераторный газ состоит в основном из метана иmonoоксида углерода и имеет теплоту сгорания 875 ккал/м³.

*I. I. Lishtvan, P. L. Falushin, R. F. Bratishko,
V. N. Kozhurin, E. V. Anufrieva*

BROWN COAL AS RAW MATERIAL FOR FUEL GASES PRODUCTION

Among local fuel types in the republic potential abilities as a raw material for thermal-chemical processing have brown coals, reserves of which rich 1,5 bln t. The Brinevskoye brown coal deposit as for metamorphism refer to the category of B 1 brown coals sort.

Chemical composition and main features of coals have been studied, determining their matching for gasification – caking quality, slag forming, mechanical and thermal firmness, granular-metric composition, ash content, moisture, sulfur content and reaction ability.

Coal gasification tests at a serially produced gas generator of 70 Kwt power (UGV-T-70) in a set with horizontal screw pyrolyser of permanent action, heated by smoke gases from gas generator have been conducted. Parameters characterizing gasification process of brown coal – installation productivity for coal (raw consumption), temperature grid, gas combustion temperature in heat canal, off-coming gases temperature, discharge in the system; composition and combustion heat of the formed fuel gas; temperature and composition of smoke gases, fuel matters content in ash remnant have been determined.

It has been shown that the Brinevskoye brown coals by their qualitative feature fit layer-by-layer gasification. The obtained generator gas mainly includes methane and carbon monoxide and has 875 kcal/m³ combustion heat.

**П. Л. Фалюшин, В. М. Крайко, С. И. Коврик, Е. В. Ануфриева,
В. Н. Кожурин, Е. А. Смолячкова**

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПИРОЛИЗА СЛАНЦЕВ НА ВЫХОД И СОСТАВ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ

Приведены результаты экспериментальных работ по низко- и среднескоростному пиролизу горючих сланцев с получением жидкого и газообразных продуктов. Показано, что установка по среднескоростному пиролизу со шнековой подачей сырья позволяет получать стабильный состав горючих газов в температурном интервале 600–800 °C. В зависимости от условий процесса возможно получение высококалорийного или синтез-газа.

Горючие сланцы по своей природе являются сложным технологическим сырьем. Химический потенциал органического вещества сланцев может быть использован практически только за счет их термической переработки – полной деструкции керогена и превращения его преимущественно в газообразные и жидкие продукты.

Анализ фактического материала [1–3] показал, что горючие сланцы Туровского месторождения по своим показателям относятся к низкокалорийному твердому топливу, непосредственное использование которого в качестве энергетического сырья неэффективно. В связи с этим проводятся исследования с целью доизучения горючих сланцев для их применения в качестве сырья для топливно-энергетической и химической промышленности по новым технологиям.

Изучены свойства, химический состав и теплотехнические характеристики горючих сланцев, отобранных на разной глубине западной части Туровского месторождения, а также технологической пробы [3]. Установлено, что зольность горючего сланца технологической пробы составляет 79,6%; влажность – 3,9%; содержание диоксида углерода карбонатов – 2,3%; выход летучих соединений – 16,6%; условная органическая масса – 18,1%; содержание серы – 2,7%; теплота сгорания – 5750 кДж/кг. Содержание углерода и водорода в составе сухого вещества исследованных сланцев колеблется в пределах 9,0–11,4 и 3,3–4,5% соответственно. Общие потери массы (до 900 °C) термического разложения горючего сланца составляют 24,2%, причем основная часть потерь (10,0%) приходится на интервал температур наиболее интенсивного разложения органического вещества (250–550 °C). Согласно данным термического анализа и полуоксования, в температурном интервале 370–570 °C выделяется 7,8–9,5% сланцевой смолы, 3,7–5,1% горючих газов и 82,6–93,0% полуокса на сухое вещество.

Термическое разложение горючих сланцев проведено на лабораторных установках по низкоскоростному (скорость нагрева 5–8 °C/мин) пиролизу в плотном стационарном слое и средне-

скоростному (скорость нагрева 30–40 °C/мин) пиролизу в подвижном слое с горизонтальной шнековой подачей сырья.

Пиролиз горючих сланцев в плотном слое происходит в камере, представляющей собой герметически закрывающуюся кварцевую трубку, имеющую внутри перекрытие из мелкой нержавеющей сетки, на которую насыпают слой исследуемого сланца. Внешний обогрев реакционной камеры осуществляют через ее стенку с помощью электрической трубчатой печи. Интенсивность обогрева регулируют автотрансформатором. Продукты пиролиза в виде парогазовой смеси (смола, газ и пирогенетическая вода), выделяющиеся в процессе термического разложения горючего сланца, конденсируются в нижней части пиролизера и поступают в приемник, который помещают в сосуд со льдом. На пути движения газообразных продуктов установлен фильтр-поглотитель для очистки газа от смолистых соединений и выносимых из зоны реакции мелких частиц образующегося коксозольного остатка. Очищенный газ поступает в газометр. Твердый продукт (полуокс, кокс) остается на сетке пиролизера.

В результате исследования низкоскоростного пиролиза образцов горючих сланцев до конечной температуры процесса 550 °C получены следующие данные (средние из серии опытов в % на сухое вещество): выход смолы – 8,8–10,9 (47,7–57,4% на ОВ); пирогенетической воды – 1,4–2,4; полуокса – 82,3–85,0; газа – 2,6–7,5 (табл. 1).

Повышение конечной температуры пиролиза горючих сланцев технологической пробы до 700 и 800 °C приводит к снижению выхода смолы. Результаты полуоксования горючих сланцев на установке по низкоскоростному пиролизу в плотном слое показывают, как и отмечалось ранее [1], что основная часть смолы выделяется в большинстве случаев до температуры 550 °C, а та часть органического вещества, которая разлагается выше этой температуры, превращается в кокс, газ и пирогенетическую воду.

Исследовали состав суммарного газа, выделяющегося при низкоскоростном пиролизе горючих сланцев до конечных температур 550, 700 и 800 °C (табл. 2). Полученные результаты показывают, что с повышением температуры процесса в составе газа растет содержание водорода иmonoоксида углерода. Содержание диоксида углерода, непредельных углеводородов и метана при 800 °C снижается.

Таблица 1. Выход продуктов пиролиза горючих сланцев на установке по низкоскоростному пиролизу в плотном слое

№ пробы	Интервал отбора проб, м	Температура, °C	Выход продуктов пиролиза на сухое вещество, %				Условная органическая масса, %	Выход смолы на условную органическую массу, %
			полукокс	смола	пирогенетическая вода	газ		
1	62,0–62,3	550	84,9	10,1	2,4	2,6	18,8	52,9
3	62,5–63,0	550	85,0	9,2	1,6	4,2	19,4	47,7
5	63,4–63,8	550	82,6	10,9	1,6	4,9	18,9	57,4
Технологическая	54,2–55,9	550	84,4	9,5	1,8	4,4	18,1	55,9
	62,2–63,7	700	83,9	8,1	3,4	4,6	18,1	47,6
		800	83,9	7,8	3,4	4,9	18,1	45,9

Таблица 2. Состав газа низкоскоростного пиролиза в плотном слое технологической пробы горючих сланцев при разной температуре процесса

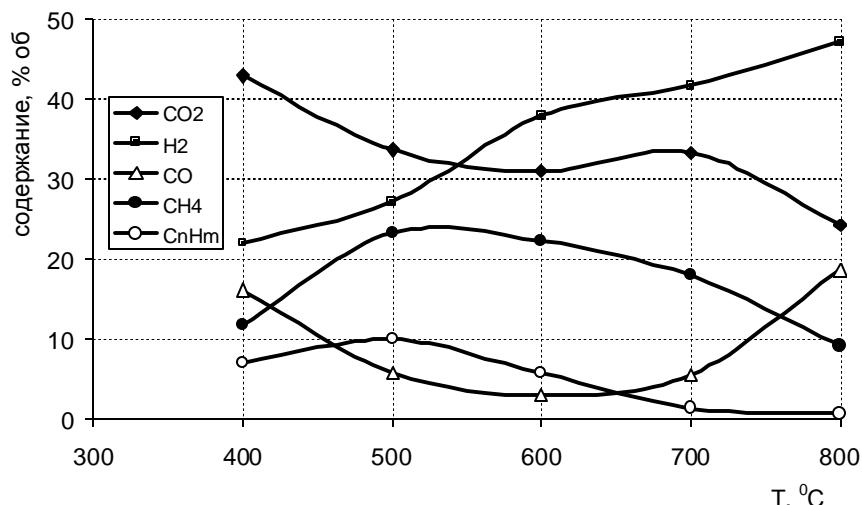
Temperatura, °C	Содержание компонентов газа, % объемные					Плотность, г/см ³	Теплота сгорания, кДж/нм ³
	CO ₂	C _n H _m	CO	H ₂	CH ₄		
550	42,8	7,7	5,0	23,2	21,3	1,1955	15 200
700	42,8	5,2	4,7	28,6	18,8	1,1405	13 360
800	30,0	4,2	10,8	38,0	17,0	0,9454	13 980

Анализ газообразных продуктов постадийного термического разложения сланца показал, что среди горючих компонентов газа при 800 °C преобладают CO, CH₄ и H₂ (рисунок). Обращает на себя внимание тот факт, что основное количество monoоксида углерода и водорода выделяется в интервале температур 700–800 °C, что обусловлено деструкцией термически устойчивых фрагментов органического вещества сланца и реакциями конденсации, приведшими к образованию ароматических структур.

Как видно из рисунка, количество диоксида углерода в интервале температур 400–600 °C снижается, затем растет в области температур 600–700 °C, что связано с распадом карбонатов, и снова падает при 800 °C, так как происходит взаимодействие диоксида углерода с углеродом коксозольного остатка с образованием monoоксида углерода [4]. Содержание непредельных углеводородов с ростом температуры снижается, а водорода – растет. Суммарное содержание monoоксида углерода и водорода (синтез-газ) при 700–800 °C достигает 72 %.

Для улучшения качественного состава и увеличения доли газовой составляющей в про-

дуктах термического разложения проведена серия опытов по среднескоростному пиролизу образцов горючих сланцев на установке с подвижным слоем в горизонтально расположенным реакторе с регулируемой шnekовой подачей топлива, предназначеннной для пиролиза твердых горючих ископаемых с получением жидких, твердых и газообразных продуктов. Установка состоит из реактора, представляющего собой горизонтально расположенную трубку из нержавеющей стали со встроенной герметичной системой подачи топлива. Внутри реактора помещается шnek для обеспечения движения материала в реакционную зону и последующего вывода образовавшегося кокса в приемник. Шnek посредством гибкого вала соединен с мотор-редуктором, обеспечивающим регулируемую скорость вращения. Нагрев реактора внешний, электрический, посредством трубчатой печи. Образуемые газы пиролиза попадают в устройство охлаждения, предназначенное для отделения жидкой фракции, затем собираются в газометр для последующего анализа их качественного и количественного составов.



Зависимость состава газа от температуры термического разложения горючего сланца технологической пробы на установке по низкоскоростному пиролизу

Среднескоростной пиролиз горючих сланцев проводили до конечной температуры 700 и 800 °С. Выход продуктов представлен в табл. 3. Из нее следует, что при увеличении температуры пиролиза растет выход газа и уменьшается выход твердых и жидких продуктов.

Таблица 3. Выход продуктов термической переработки горючих сланцев при пиролизе в подвижном слое

Проба	Темпера- туря, °C	Выход продуктов пиролиза на сухое вещество, %		
		кокс	смола + пирогене- тическая вода	газ
1	700	87,7	3,0	9,3
	800	86,7	2,8	10,5
3	700	88,8	2,7	8,5
	800	85,5	2,5	12,0
5	700	89,2	2,8	8,0
	800	87,0	2,5	10,5
Техноло- гическая	500	93,0	3,5	3,5
	700	88,6	2,7	8,7
	800	87,8	2,0	10,2

Сравнение выхода продуктов термического разложения сланца технологической пробы в зависимости от условий пиролиза показывает, что при температуре 500 °С в результате низкоскоростного пиролиза выход смолы в 1,7 раза выше, чем в процессе среднескоростного пиролиза. Несколько ниже и выход газа. С увеличением же температуры пиролиза до 700–800 °С выход газа на установке среднескоростного пиролиза растет более чем в 2 раза, достигая 10–12 % объемн., что составляет около 100 м³/т.

Установлено, что с повышением температуры пиролиза в составе газа снижается содержание диоксида углерода и углеводородов, растет концентрацияmonoоксида углерода и водорода, суммарное содержание которых достигает 70 % (табл. 4). Повышенное содержание CO и H₂ в пиролизном газе, образующемся при термическом разложении горючего сланца в пиролизере шнекового типа, объясняется тем, что парогазовая смесь при движении контактирует с коксозальным остатком и подвергается дополнительному пиролизу с образованием горючих газов. Максимальная теплота сгорания пиролизного газа достигла 23 640 кДж/нм³ за счет повышенного содержания углеводородов, образующихся при крекинге смолы.

Таблица 4. Состав газа при пиролизе горючего сланца в подвижном слое

Проба	T, °C	Содержание, % объемные					D, кг/м ³	Теплота сгорания, кДж/нм ³
		CO ₂	C _n H _m	CO	H ₂	CH ₄		
1	700	12,6	11,7	40,5	25,4	9,8	0,9896	19 660
	800	7,2	3,8	20,6	52,1	16,4	0,6198	16 250
3	700	15,4	13,1	35,9	28,1	7,5	0,6308	13 100
	800	10,4	5,0	31,1	41,1	12,5	0,8300	15 090
5	700	27,0	16,0	9,3	26,1	21,6	0,6517	21 000
	800	20,0	8,6	17,4	35,8	18,1	0,7139	17 530
Техноло- гическая	500	19,8	14,9	20,3	24,8	20,2	1,0344	21 110
	700	12,0	12,3	21,0	33,0	21,7	0,8060	21 120
	800	10,6	9,9	17,3	37,4	24,8	0,7918	22 210

Для сравнения методов низкоскоростного пиролиза в плотном слое и пиролиза в подвижном слое произвели расчеты энергетического баланса процесса пиролиза (табл. 5). Из таблицы видно, что при низкоскоростном пиролизе 1 кг горючего сланца до температуры 700 °С можно получить 83,9 % кокса, 4,6 % газа, 8,1 % смолы и 3,4 % пирогенетической воды. Энергия исходного горючего сланца (5,75 МДж) распределяется следующим образом: 1,93 МДж (33,6 %) приходится на кокс; 0,54 МДж (9,4 %) – на газ;

3,24 МДж (56,3 %) – на смолу; остаток 0,04 МДж – на растворившуюся в пирогенетической воде смолу. При пиролизе 1 кг горючего сланца технологической пробы в подвижном слое до температуры 700 °С получается 88,6 % кокса, 8,7 % газа, 1,9 % смолы и 0,5 % пирогенетической воды. Распределение энергии горючего сланца следующее: 2,66 МДж (46,3 %) приходится на кокс; 2,28 МДж (39,7 %) – на газ; 0,76 МДж (13,2 %) – на смолу и 0,05 МДж – на растворенную в пирогенетической воде смолу.

Таблица 5. Энергетический баланс процесса пиролиза горючего сланца технологической пробы

Параметр	Горючий сланец	Продукт пиролиза			
		кокс	газ	смола	вода
Низкоскоростной пиролиз в плотном слое					
Выход продуктов пиролиза, %	–	83,9	4,6	8,1	3,4
Теплота сгорания Q_h , МДж/кг	5,75	2,30	11,71	40,00	0
Энергетическая ценность, МДж	5,75	1,93	0,54	3,24	-0,04
Энергетическая ценность, %	–	33,6	9,4	56,3	0,7
Пиролиз в подвижном слое					
Выход продуктов пиролиза, %	–	88,60	8,7	1,9	0,5
Теплота сгорания Q_h , МДж/кг	5,75	3,0	26,21	40,00	0
Энергетическая ценность, МДж	5,75	2,66	2,28	0,76	-0,05
Энергетическая ценность, %	–	46,3	39,7	13,2	0,8

Следовательно, при пиролизе горючего сланца в стационарном слое (при скорости нагрева 8 °С/мин) наибольшая энергетическая продуктивность достигается за счет получения сланцевой смолы. В то же время среднескоростной (30–40 °С/мин) пиролиз в подвижном слое дает возможность получать большую энергетическую продуктивность за счет газовой составляющей.

Таким образом, исследования по низкоскоростному пиролизу горючих сланцев в стационарном слое при 550 °С продемонстрировали высокий выход смолы («сланцевой нефти»), достигающий 10,9 %, из пробы, отобранный на глубине 63,4 м. Показано влияние условий пиролиза сланцев на выход и состав горючих газов.

Установлено, что в составе пиролизного газа в процессе как низкоскоростного, так и среднескоростного пиролиза с повышением темпе-

туры снижается содержание диоксида углерода и непредельных углеводородов, растет концентрацияmonoоксида углерода и водорода, суммарное содержание которых достигает 72 % при температуре 800 °С. В целом в пиролизном газе содержится довольно большое количество углеводородных компонентов (C_nH_m и CH_4), что наряду с присутствием водорода говорит о технологической его ценности.

Установка по среднескоростному пиролизу сланцев со шnekовой подачей сырья позволяет получать стабильный состав горючих газов в температурном интервале 600–800 °С с выходом около 120 м³ на 1 т сухого сланца. В зависимости от условий процесса (температуры пиролиза) возможно получение высококалорийного газа с выходом до 30 м³/т, $Q = 22120$ кДж/м³ или синтез-газа (до 80 м³/т, $Q = 15\ 090$ кДж/м³).

Л и т е р а т у р а

- Горький Ю. И., Лукьянова З. К., Макеева Г. П., Юркевич Е. А. Особенности состава и свойств органической и минеральной частей горючих сланцев Туровского месторождения БССР // Химия твердого топлива. 1983. № 6. С. 17–21.

2. Проблемы комплексного использования горючих сланцев Белорусской ССР / Ю. И. Горький, К. Лукьянова, Г. П. Стельмах, И. А. Яременко. Мин., 1983.
3. Фалюшин П. Л., Крайко В. М., Коврик С. И. и др. Качественные показатели горючих сланцев Туровского месторождения // Природопользование. Мин., 2008. Вып. 14. С. 174–178.
4. Фалюшин П. Л., Ануфриева Е. В., Крайко В. М., Кожурин В. Н. Реакционная способность горючих сланцев в термохимических процессах // Природопользование. Мин., 2007. Вып. 13. С. 119–124.

**П. Л. Фалюшин, В. М. Крайко, С. И. Коврик,
Е. В. Ануфриева, В. Н. Кожурин, Е. А. Смолячкова**

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПИРОЛИЗА СЛАНЦЕВ НА ВЫХОД И СОСТАВ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ

Приведены результаты исследований термического разложения горючих сланцев Туровского месторождения Беларуси (технологическая пробы 2007 г.) на лабораторных установках по низкоскоростному (скорость нагрева 5–8 °C/мин) пиролизу в плотном стационарном слое и среднескоростному (скорость нагрева 30–40 °C/мин) пиролизу в подвижном слое с горизонтальной шнековой подачей сырья. Максимальный выход смолы (10,9 %) отмечен при пиролизе в стационарном слое при 550 °C.

Показано, что с повышением температуры процесса пиролиза в составе газа растет содержание водорода иmonoоксида углерода и снижается содержание диоксида углерода, непредельных углеводородов и метана. Установка по среднескоростному пиролизу со шнековой подачей сырья позволяет получать стабильный состав горючих газов в температурном интервале 600–800 °C с выходом до 120 м³/т сухого сланца и теплотой сгорания 21–22 МДж/нм³.

**P. L. Falushin, V. M. Kraiko, S. I. Kovrik,
E. V. Anufrieva, V. N. Kozhurin, E. A. Smolyachkova**

IMPACT OF SHALES PYROLYSIS ON FUEL GASES OUTCOME AND COMPOSITION

Investigation results of thermal decomposition of fuel shales of Turovskoye deposit of Belarus (technological test 2007) on lab installations for low-rate (heating rate 5–8 °C/min) pyrolysis in a dense stationary layer and average-rate (heating rate 30–40 °C/min) pyrolysis in a mobile layer of horizontal screw raw material supply are provided. Maximal tar outcome (10,9 %) was marked under pyrolysis in stationary layer at 550 °C.

It has been shown that increasing the temperature of the pyrolysis in gas composition the content of hydrogen and carbon monoxide rises and carbon dioxide, non-limited hydrocarbons and methane one falls. An average-rate pyrolysis installation of screw raw material supply allows to obtain a stable fuel gases composition in temperature interval 600–800 °C with till 120 m³/t dry shale outcome and combustion heat 21–22 MDj/nm³.

Г. П. Бровка, С. Н. Иванов, И. И. Ивашкевич, И. Н. Дорожок

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ИНФОРМАЦИОННО-МODEЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА В ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ С НЕОДНОРОДНЫМ РЕЛЬЕФОМ НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ КРАСНОСЛОБОДСКОГО РУДНИКА ПО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»

Изложены физико-математические принципы создания информационно-моделирующей системы тепло-массообмена в природных территориальных комплексах с неоднородным рельефом на примере Краснослободского рудника ПО «Беларуськалий», включающие дифференциальные уравнения переноса тепла, влаги и водорастворимых соединений в поверхностном слое и 1-м водоносном горизонте, а также неортогональную сетку, адаптированную к рельефу местности, на которой строится расчетная схема для компьютерного моделирования процессов переноса.

Для оценки последствий распространения минеральных водорастворимых загрязнений в окружающей среде на подрабатываемой территории Краснослободского рудника необходимо использовать методы прогноза, базирующиеся на физико-математических моделях переноса водорастворимых соединений в почвах и грунтах. Эти модели должны учитывать конвективный и диффузионный механизмы переноса, сорбцию водорастворимых соединений почвенным комплексом, влияние метеорологических и гидрологических факторов, рельеф местности и неоднородность состава пород. Большое многообразие факторов и нелинейности математических моделей позволяют реализовать такие модели только с помощью современных компьютерных средств путем разработки соответствующего программного обеспечения.

Природно-территориальный комплекс Краснослободского рудника имеет сложный неоднородный рельеф. Для неоднородного рельефа характерно наличие поверхностного стока атмосферных осадков и смыва водорастворимых соединений. При этом важно знать соотношение между поверхностным стоком и инфильтрационным потоком влаги и водорастворимых соединений. Решение таких вопросов обуславливает необходимость разрабатывать трехмерные математические модели переноса тепла, влаги и водорастворимых соединений в почвогрунтах.

Переход к трехмерным математическим моделям существенно усложняет постановку задач и алгоритмы численного интегрирования. При постановке задач по расчету процессов переноса водорастворимых соединений с учетом горизонтальной неоднородности необходимо уделить особое внимание поверхностному слою почвогрунтов для математического описания процессов поверхностного стока при выпадении атмосферных осадков или весеннего стока при таянии снега. Далее схема численного интегрирования должна быть адаптирована в соответст-

вии с рельефом местности. При этом существенно возрастает размер массивов, описывающих пространственное распределение температуры, влагосодержания и водорастворимых соединений. Возникают дополнительные сложности при расчете температурных полей с фазовыми переходами и расчете конвективно-диффузионного переноса при многомерной постановке задач. Необходимо также отметить, что модели должны адекватно описывать процессы переноса как в аэрируемой зоне, так и в зоне полного влагонасыщения почвогрунтов.

С учетом изложенного выше для расчета динамики температурного и влажностного полей, а также концентрации водорастворимых соединений в поверхностных водах, почвенном растворе и верхних горизонтах подрабатываемой территории Краснослободского рудника разработана сеточная трехмерная компьютерная модель. В вертикальном направлении изучаемый объект разбит сеткой с неравномерным шагом в соответствии с выделенными горизонтами. Первым горизонтом является почвенный слой толщиной 0,4 м, вторым – первый водоносный горизонт толщиной 20 м, третьим – горизонт четвертичных отложений мощностью 100 м. Первый горизонт разбивается шагом 0,1 м, второй – от 0,2 до 1 м, третий – от 1 до 10 м. Таким образом, получена трехмерная сетка 150×100×37 (555 000) узлов.

Математические модели тепло- и влагопереноса в деятельном слое почве и грунтов

Для расчета конвективного и диффузионного переноса водорастворимых соединений прежде всего необходимо определить температурный режим и конвективный поток влаги в деятельном слое почвогрунта. С этой целью сформулирована система взаимосвязанных уравнений переноса тепла и влаги. При этом учитываются фазовые превращения вода-лед и вода-пар, а также перенос воды в жидкой и газообразной фазе.

Перенос тепла:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} \left(C_a \cdot \rho_{ck} + \frac{\partial Q_\phi}{\partial T} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(W, \rho_{ck}, T) \frac{\partial T}{\partial x} \right] - \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda(W, \rho_{ck}, T) \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda(W, \rho_{ck}, T) \frac{\partial T}{\partial z} \right] + Q_{\phi T}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q_\phi}{\partial T} = \rho_{ck} \left(\frac{\partial W_H}{\partial T} \cdot L_\lambda - \frac{\partial \rho_\Pi}{\partial T} \cdot \Pi \cdot L_p \right) \quad (2)$$

$$W_H = f(T, C_p) \quad (3)$$

если $T > 0$, $W_H = W$,

где T – температура, $^{\circ}\text{C}$; W – влагосодержание, $\text{кг}/\text{кг}$; C_a – аддитивная теплоемкость грунта, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$; ρ_{ck} – плотность скелета грунта, $\text{кг}/\text{м}^3$;

Q_ϕ – объемная теплота фазового перехода, $\text{Дж}/\text{м}^3$; λ – коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$; L_λ – удельная теплота фазового пе-

рехода вода-лед, $\text{Дж}/\text{кг}$; L_p – удельная теплота фазового перехода вода-пар, $\text{Дж}/\text{кг}$; W_H – количество незамерзшей воды, $\text{кг}/\text{кг}$; C_p – концентрация водорастворимых соединений, $\text{кг}/\text{кг}$; Π – свободная пористость, c_p – объемная концентрация пара, $\text{кг}/\text{м}^3$; $Q_{\phi T}$ – изотермическая теплота фазовых переходов вода-пар, $\text{Дж}/\text{м}^3\text{с}$.

Уравнение переноса влаги:

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} \cdot \rho_{ck} = \frac{\partial q_{wx}}{\partial x} - \frac{\partial q_{wy}}{\partial y} - \frac{\partial q_{wz}}{\partial z} - \frac{\partial \rho_\Pi}{\partial \tau} \cdot \Pi \cdot \frac{\partial W_H}{\partial \tau} \quad (4)$$

где составляющие потока влаги q_w рассчитываются по формулам

$$q_{wx} = -\lambda_w \cdot \left(\frac{\partial \mu_m}{\partial x} + \frac{\partial P}{\partial x} \cdot v_B \right), \quad (5)$$

$$q_{wy} = -\lambda_w \cdot \left(\frac{\partial \mu_m}{\partial y} + \frac{\partial P}{\partial y} \cdot v_B \right), \quad (6)$$

$$q_{wz} = -\lambda_w \cdot \left(\frac{\partial \mu_m}{\partial z} + \frac{\partial P}{\partial z} \cdot v_B - g \right), \quad (7)$$

где μ_m – матричный потенциал влаги; λ_w – коэффициент влагопроводности грунта; v_B – удельный объем воды, $\text{м}^3/\text{кг}$; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; P – гидростатическое давление, $\text{Па} (\text{Н}/\text{м}^2)$.

Перенос воды в газовой фазе:

$$\rho_\Gamma = \rho_\Pi + \rho_B, \quad (8)$$

$$P_\Pi = \frac{\rho_\Pi}{0,018} R \cdot (T + 273), \quad (9)$$

$$P_B = \frac{\rho_B}{0,028} R \cdot (T + 273), \quad (10)$$

$$P_\Gamma = P_B + P_\Pi, \quad (11)$$

где P_Γ – объемное давление газа, $\text{Па} (\text{Н}/\text{м}^2)$; P_Π – парциальное давление пара, $\text{Па} (\text{Н}/\text{м}^2)$; P_B – парциальное давление воздуха, $\text{Па} (\text{Н}/\text{м}^2)$; ρ_Γ , ρ_Π и ρ_B – соответственно объемные концентрации газа, пара и воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$; R – универсальная газовая постоянная.

Конвективный перенос газообразной фазы:

$$q_{\Gamma K} = -K_B \cdot \nabla P; \quad (12)$$

$$q_{\Pi K} = -K_B \cdot \frac{\rho_\Pi}{\rho_\Gamma} \cdot \nabla P; \quad (13)$$

$$q_{B K} = -K_B \cdot \frac{\rho_B}{\rho_\Gamma} \cdot \nabla P, \quad (14)$$

где $q_{\Gamma K}$ – конвективный поток газа, K_B – коэффициент воздухопроницаемости.

Диффузионный перенос:

$$q_{\Pi d} = -\rho_\Gamma \cdot D_r \cdot \nabla \left(\frac{\rho_\Pi}{\rho_\Gamma} \right), \quad (15)$$

где D_r – коэффициент взаимной диффузии газов.

$$q_{Bd} = -q_{\Pi d}. \quad (16)$$

Фазовые превращения вода–пар:

$$\frac{\partial \rho_{\text{пп}}}{\partial \tau} = \operatorname{div}(q_{\text{пп}} + q_{\text{пд}}) + \frac{\partial \rho_{\text{пп}}}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial \tau} + \frac{\partial \rho_{\text{пп}}}{\partial W} \frac{\partial W}{\partial \tau} + \frac{\partial \rho_{\text{пп}}}{\partial C_p} \frac{\partial C_p}{\partial \tau}, \quad (17)$$

где $\rho_{\text{пп}}$ – равновесная объемная концентрация пара как функция температуры, матричного и осмотического потенциалов влаги.

Изотермическая теплота фазовых переходов вода–пар рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{н}}(T, W, C_p) = a_0 + a_1 \cdot (T_0 - T)^{-\frac{1}{3}} + \frac{C_p \cdot W}{T_0 - T} \cdot \frac{R \cdot (T + 273)^2 \cdot v \cdot M_{\text{в}}}{L_{\lambda} \cdot M_{\text{п}}}, \quad (19)$$

где a_0 , a_1 – эмпирические константы, которые подбираются при аппроксимации экспериментальной зависимости количества незамерзшей воды от температуры; T – температура, $^{\circ}\text{C}$; L_{λ} – удельная теплота фазового перехода вода–лед, Дж/кг; T_0 – температура фазового перехода вода–лед, $^{\circ}\text{C}$; C_p – концентрация водорас-

$$Q_{\text{фТ}} = - \left(\frac{\partial \rho_{\text{пп}}}{\partial \tau} \cdot \Pi - \frac{\partial \rho_{\text{пп}}}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial \tau} \right) \cdot L_{\text{п}}. \quad (18)$$

Функции для расчета количества незамерзшей воды, давления пара и матричного потенциала:

творимого соединения в расчете на массу сухого материала, кг/кг; R – универсальная газовая постоянная; $M_{\text{в}}$ – молекулярная масса воды; v – число ионов, на которые диссоциирует водорасторимое соединение; $M_{\text{п}}$ – молярная масса водорасторимого соединения;

$$\rho_{\text{пп}} = \frac{P_0 \cdot 0,018}{R \cdot (T + 273)} \cdot \exp \left[\frac{L_{\text{пп}} \cdot (T - T_0)}{R \cdot (T_0 + 273) \cdot (T + 273)} - \frac{\mu_{\text{м}}}{R \cdot (T + 273)} \right] \cdot \left(1 - \frac{C_p \cdot v \cdot M_{\text{в}}}{M_{\text{п}}} \right); \quad (20)$$

P_0 – давление насыщенного пара при определенной температуре T_0 ($T_0 = 0$ $^{\circ}\text{C}$, $T_0 = 605$ Н/м 2); $L_{\text{пп}}$ – теплота испарения воды ($L_{\text{пп}} = 2500$ кДж/кг);

$\mu_{\text{м}}(W) = - \frac{a_1}{(W - a_2)^3} + a_3$ – зависимость матричного потенциала от влагосодержания. (21)

Условия тепло-массообмена на поверхности почвогрунта

Условия на поверхности грунта определяются путем задания конвективных потоков тепла и пара, а также радиационного баланса. Конвективный поток тепла рассчитывается по формуле:

$$q_{\text{к}} = -\alpha_{\text{к}} \cdot (T_{\text{пп}} - T_{\text{в2}}), \quad (22)$$

где $\alpha_{\text{к}}$ – коэффициент конвективного теплообмена, Вт/(м 2 ·К); $T_{\text{пп}}$ – температура поверхности почвы; $T_{\text{в2}}$ – температура воздуха на высоте 2 м.

Коэффициент конвективного теплообмена $\alpha_{\text{к}}$ в зависимости от скорости ветра и времени суток рассчитывается по формулам:

$$\alpha_{\text{к}} = 4,0 + 2,0 \cdot V_{\text{в}} \text{ (ночное время)}, \quad (23)$$

$$\alpha_{\text{к}} = 8,5 + 2,0 \cdot V_{\text{в}} \text{ (дневное время)}. \quad (24)$$

Поток влаги на поверхности за счет испарения или конденсата, а также соответствующий тепловой поток рассчитываются по формулам:

$$q_w = -\frac{\alpha_{\text{к}}}{C_p} (\ell_{\text{пп}} - \ell_2), \quad (25)$$

$$q_{\varphi} = -\frac{\alpha_{\text{к}}}{C_p} (\ell_{\text{пп}} - \ell_2) \cdot L_{\text{пп}}, \quad (26)$$

где C_p – теплоемкость воздуха при постоянном давлении; $\ell_{\text{пп}}$ – удельная влажность на поверхности почвы; ℓ_2 – удельная влажность в приземном слое на высоте 2 м; $L_{\text{пп}}$ – теплота испарения воды ($L = 2500$ кДж/кг).

Радиационный баланс рассчитывается по стандартной методике, приведенной в литературе [1]:

$$q_R = (1 - r) \cdot I + d \cdot (B_A + B_O), \quad (27)$$

где r – альбедо; I – суммарная солнечная радиация (прямая и рассеянная), Вт/м 2 ; B_O – излучение почвы; B_A – поток встречного излучения атмосферы; d – поглощающая способность почвы. Для расчета I используются формулы:

$$I = I^* \cdot (0,944 - 0,063 \cdot \tau_L) \cdot \sin(h), \quad (28)$$

где I^* – солнечная постоянная ($I^* = 1,26 \text{ кВт/м}^2$); τ_L – параметр мутности атмосферы ($\tau_L = 2,4$); h – высота солнца над горизонтом.

Расчет $\sin(h)$ производится по формуле:

$$\sin(h) = \sin(\varphi) \cdot \sin(S) + \cos(\varphi) \cdot \cos(S) \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{\Pi} t\right) \quad (29)$$

где φ – географическая широта места наблюдения; S – склонение Солнца; Π – период вращения

Земли (24 ч), $\left(\frac{2\pi}{\Pi} t\right)$ – часовой угол, t – время, отсчитываемое от полудня. Склонение Солнца рассчитывается по формуле:

$$S = 23,5 \cdot \sin(\Delta - 81,5) \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{91,5}, \quad (30)$$

где Δ – порядковый номер дня года.

Излучение поверхности почвы рассчитывается по формуле Стефана-Больцмана:

$$B_O = \sigma \cdot T_n^4, \quad (31)$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2\text{К}^4)$), T_n – абсолютная температура поверхности, К.

Встречное излучение атмосферы рассчитывается по формуле:

$$B_A = L \cdot T_{B2}^4 \cdot (a_1 + b_1 \cdot \sqrt{\ell}), \quad (32)$$

где T_{B2} – температура воздуха на высоте 2 м, К; ℓ – парциальное давление водяного пара в миллибарах на высоте 2 м; $a_1 = 0,526$; $b_1 = 0,065$.

Учет влияния облачности на радиационный баланс производится с помощью коэффициентов облачности для коротковолновой радиации K_k и длинноволновой K_d :

$$q_R = K_k \cdot (1-r) \cdot I + K_d \cdot d \cdot (B_A - B_O). \quad (33)$$

Согласно литературным данным, изменение интенсивности коротковолновой радиации за счет облачности соответствует изменению коэффициента K_k от 1 (при безоблачном небе) до 0,5 (при облачности Сb и Сu в 10 баллов). Изменение интенсивности длинноволновой радиации за счет облачности соответствует изменению K_d в пределах от 1 до 0,15.

Расчет поверхностного стока

Для расчета поверхностного стока и особенностей тепло-массопереноса на поверхности

выделен тонкий поверхностный слой толщиной 50 мм, соизмеримой с макроеноднородностями поверхности грунта. Система уравнений, описывающая процессы переноса влаги и водорастворимых соединений в этом слое, составлена так, чтобы можно было применять ее для различных влажностных режимов – от переосущенного состояния до условий максимального влагонасещения и даже наличия на поверхности почвогрунта слоя воды:

$$Q_{wx} = -\lambda_{wnc} (W_\Pi) \left(\frac{\partial \mu_\Pi}{\partial x} + \frac{\partial H_d}{\partial x} \cdot g + \frac{\partial P_\Pi \cdot v}{\partial x} \right) \cdot h_\Pi, \quad (34)$$

$$Q_{wy} = -\lambda_{wnc} (W_\Pi) \left(\frac{\partial \mu_\Pi}{\partial y} + \frac{\partial H_d}{\partial y} \cdot g + \frac{\partial P_\Pi \cdot v}{\partial y} \right) \cdot h_\Pi, \quad (35)$$

если $W_\Pi \geq W_M$, $\mu_\Pi = 0$, $P_\Pi = f_1(W_\Pi)$;

если $W_\Pi < W_M$, $\mu_\Pi = f_2(W_\Pi)$, $P_\Pi = 0$;

$$q_{wy} = -\lambda_{wn\phi} \cdot \left(\frac{\partial \mu_\Pi}{\partial z} + \frac{\Delta P_\Pi \cdot v}{\Delta h} - g \right), \quad (36)$$

$$\frac{\partial W_\Pi}{\partial \tau} \cdot \rho_{скп} \cdot h_\Pi = \frac{\partial Q_{wx}}{\partial x} + \frac{\partial Q_{wy}}{\partial y} - q_{wz} + q_{wo}, \quad (37)$$

$$\frac{\partial (W_\Pi C_\Pi)}{\partial \tau} \cdot \rho_{скп} \cdot h_\Pi = \frac{\partial (Q_{wx} C_\Pi)}{\partial x} + \frac{\partial (Q_{wy} C_\Pi)}{\partial y} - q_{wz} \cdot C_\Pi, \quad (38)$$

где Q_{wx} и Q_{wy} – поверхностные стоки в направлении оси X и Y соответственно; λ_{wnc} – коэффициент гидродинамической проводимости поверхностного слоя в горизонтальном направлении; h_Π – толщина поверхностного слоя; H_d – отметка уровня дневной поверхности; P_Π – гидростатическое давление слоя воды на поверхности грунта; ΔP_Π – перепад гидростатического давления в поверхностном слое; W_Π , C_Π , $\rho_{скп}$ и μ_Π – соответственно влагосодержание, концентрация водорастворимых соединений, плотность скелета почвогрунта и матричный потенциал в поверхностном слое; q_{wo} – плотность потока влаги на поверхности за счет осадков, испарения или таяния снега; W_M – максимальная водоудерживающая способность почвогрунта в поверхностном слое.

При расчете поверхностного стока учтено наличие вблизи узлов, расположенных в поверхностном слое, автомобильных дорог и водотоков. В случае наличия дорог, имеющих достаточно высокую насыпь, коэффициенты переноса влаги между соседними узлами, которые находятся по обе стороны дороги, приравниваются к 0. Наличие речек, мелиоративных каналов и канав, проходящих вблизи узлов, учитывается путем обмена влагой и водорасторимыми соединениями между этими узлами и соответствующими узлами водотоков.

Методика учета влияния на поверхностный сток каналов состоит из следующих этапов:

1. На основе географической карты местности создается отдельная карта каналов в данной местности. Полученная карта переводится в цифровой вид.

2. С помощью разработанной программы распознавания изображения проводится анализ данных о каналах (рис. 1). В результате получается матрица, размерность которой зависит от площади рассматриваемой местности и заданного шага сетки.

3. Каждый узел полученной равномерной сетки содержит информацию о наличии канала.

4. В случае, если канал присутствует, для него вводятся необходимые параметры, характеризующие его.

5. Для проведения расчетов для каждого узла создается список соседних узлов с каналами, с которыми контактирует данный узел.

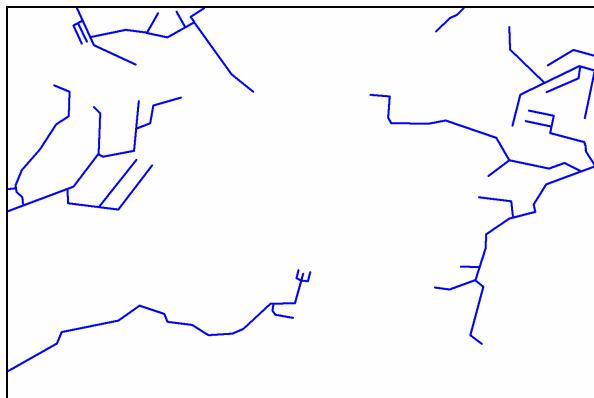


Рис. 1. Пример отдельной карты каналов

Схемы для численного расчета процессов переноса на неортогональных сетках

При численном расчете используются явные консервативные схемы. Для адаптирования

6. Для остальных узлов рассчитываются координаты узлов с каналами, находящимися рядом с данным узлом.

7. Для узлов сетки, которые относятся к локальным водоемам, также вводятся дополнительные параметры, характеризующие их обмен с нижележащими слоями.

Методика учета влияния на поверхностный сток автомобильных дорог состоит из следующих этапов:

1. На основе географической карты местности создается отдельная карта дорог в данной местности (рис. 2).

2. Полученная карта переводится в цифровой вид.

3. С помощью специальной программы распознавания изображения проводится анализ данных о дорогах. В результате получается матрица, размерность которой зависит от площади рассматриваемой местности и заданного шага сетки.

4. Каждый узел полученной равномерной сетки содержит информацию о наличии дорог между ним и его соседями.

5. Создается список узлов, между которыми присутствуют дороги различного типа, влияющие на перенос, ввиду перекрывания ими потоков.

6. Для остальных узлов, находящихся вдали от дорог, устанавливается параметр, характеризующий отсутствие такого влияния.



Рис. 2. Пример отдельной карты дорог

расчетной схемы к рельефу местности разработаны схемы на неортогональных сетках. Расчет потоков переносимых субстанций в таких схемах имеет следующий вид:

$$q_{1z} = \lambda_1 \frac{\Phi_{i-1,j,o} - \Phi_{i,j,o} + \delta\Phi_1}{\Delta z_{j,o}} \Delta x \Delta y f_{1i,j,o},$$

$$q_{2z} = \lambda_2 \frac{\Phi_{i+1,j,o} - \Phi_{i,j,o} + \delta\Phi_2}{\Delta z_{j,o}} \Delta x \Delta y f_{2i,j,o},$$

$$\begin{aligned}
q_{3z} &= \lambda_3 \frac{\Phi_{i,j-1,o} - \Phi_{i,j,o}}{\Delta x} \Delta y 0,5 (\Delta z_{j-1,o} + \Delta z_{j,o}) f_{3i,j,o}, \\
q_{4z} &= \lambda_4 \frac{\Phi_{i,j+1,o} - \Phi_{i,j,o}}{\Delta x} \Delta y 0,5 (\Delta z_{j+1,o} + \Delta z_{j,o}) f_{4i,j,o}, \\
q_{5z} &= \lambda_5 \frac{\Phi_{i,j,o-1} - \Phi_{i,j,o}}{\Delta y} \Delta x 0,5 (\Delta z_{j,o-1} + \Delta z_{j,o}) f_{5i,j,o}, \\
q_{6z} &= \lambda_6 \frac{\Phi_{i,j,o+1} - \Phi_{i,j,o}}{\Delta y} \Delta x 0,5 (\Delta z_{j,o+1} + \Delta z_{j,o}) f_{6i,j,o}, \\
\delta \Phi_1 &= -\frac{\Delta z_{j,o}}{8(\Delta x)^2} \left[(\Phi_{i,j+1,o} - \Phi_{i,j-1,o})(z_{i,j+1,o} - z_{i,j-1,o}) + (\Phi_{i-1,j+1,o} - \Phi_{i-1,j-1,o})(z_{i-1,j+1,o} - z_{i-1,j-1,o}) + \right. \\
&\quad \left. + (\Phi_{i,j,o+1} - \Phi_{i,j,o-1})(z_{i,j,o+1} - z_{i,j,o-1}) + (\Phi_{i-1,j,o+1} - \Phi_{i-1,j,o-1})(z_{i-1,j,o+1} - z_{i-1,j,o-1}) \right], \\
\delta \Phi_2 &= \frac{\Delta z_{j,o}}{8(\Delta x)^2} \left[(\Phi_{i,j+1,o} - \Phi_{i,j-1,o})(z_{i,j+1,o} - z_{i,j-1,o}) + (\Phi_{i+1,j+1,o} - \Phi_{i+1,j-1,o})(z_{i+1,j+1,o} - z_{i+1,j-1,o}) + \right. \\
&\quad \left. + (\Phi_{i,j,o+1} - \Phi_{i,j,o-1})(z_{i,j,o+1} - z_{i,j,o-1}) + (\Phi_{i+1,j,o+1} - \Phi_{i+1,j,o-1})(z_{i+1,j,o+1} - z_{i+1,j,o-1}) \right]. \quad (39)
\end{aligned}$$

Корректирующие коэффициенты к потокам переносимых субстанций рассчитываются по формулам:

$$\begin{aligned}
A_{1i,j,o} &= \frac{z_{i-1,j+1,o} - z_{i-1,j-1,o} + z_{i,j+1,o} - z_{i,j-1,o}}{2\Delta x}, \\
B_{1i,j,o} &= \frac{z_{i-1,j,o+1} - z_{i-1,j,o-1} + z_{i,j,o+1} - z_{i,j,o-1}}{2\Delta y}, \\
A_{2i,j,o} &= \frac{z_{i+1,j+1,o} - z_{i+1,j-1,o} + z_{i,j+1,o} - z_{i,j-1,o}}{2\Delta x}, \\
B_{2i,j,o} &= \frac{z_{i+1,j,o+1} - z_{i+1,j,o-1} + z_{i,j,o+1} - z_{i,j,o-1}}{2\Delta y}, \\
f_{1i,j,o} &= A_{1i,j,o}^2 + B_{1i,j,o}^2 + 1, \\
f_{2i,j,o} &= A_{2i,j,o}^2 + B_{2i,j,o}^2 + 1, \\
f_{3i,j,o} &= \cos^2 \alpha_{3i,j,o} = \frac{\Delta x^2}{\Delta x^2 + (z_{i,j-1,o} - z_{i,j,o})^2}, \\
f_{4i,j,o} &= \cos^2 \alpha_{4i,j,o} = \frac{\Delta x^2}{\Delta x^2 + (z_{i,j+1,o} - z_{i,j,o})^2}, \\
f_{6i,j,o} &= \cos^2 \alpha_{6i,j,o} = \frac{\Delta y^2}{\Delta y^2 + (z_{i,j,o+1} - z_{i,j,o})^2}. \quad (40)
\end{aligned}$$

Потоки тепла, воды, водорастворимых соединений и газов рассчитываются по приведенным формулам, где используются соответствующие потенциалы и коэффициенты переноса.

Общая расчетная схема реализуется с помощью алгоритма, блок-схема которого приведена на рис. 3. На базе этого алгоритма в среде программирования Delphi разработана и отлажена программа для моделирования распространения водорастворимых загрязняющих соединений с учетом вертикальной и горизонтальной миграции, поверхностного стока и формирования гидротермического режима в деятельном слое почвогрунтов.

На основании данных, предоставленных ОАО «Белгорхимпром», выполнена оценка воздействия на атмосферный воздух, почвенный покров, поверхностные и подземные воды исследуемой территории технологических факторов при добыче калийной руды на Краснослободском руднике и транспортировке ее на обогатительную фабрику.

Согласно этим данным принятый метод производства и технологические особенности процесса предусматривают следующие технические решения:

- складирование добываемой руды на промплощадке в складе арочного типа емкостью 25 тыс. т.;
- подача руды из склада в существующий цех дробления промплощадки 2 РУ;
- подача руды из бункера надшахтного здания ствола 1 в цех дробления 2 РУ, минуя склад руды Краснослободского участка;
- одновременная подача (смещение) руды на промплощадку 2 РУ из бункера надшахтного здания и склада руды Краснослободского участка.

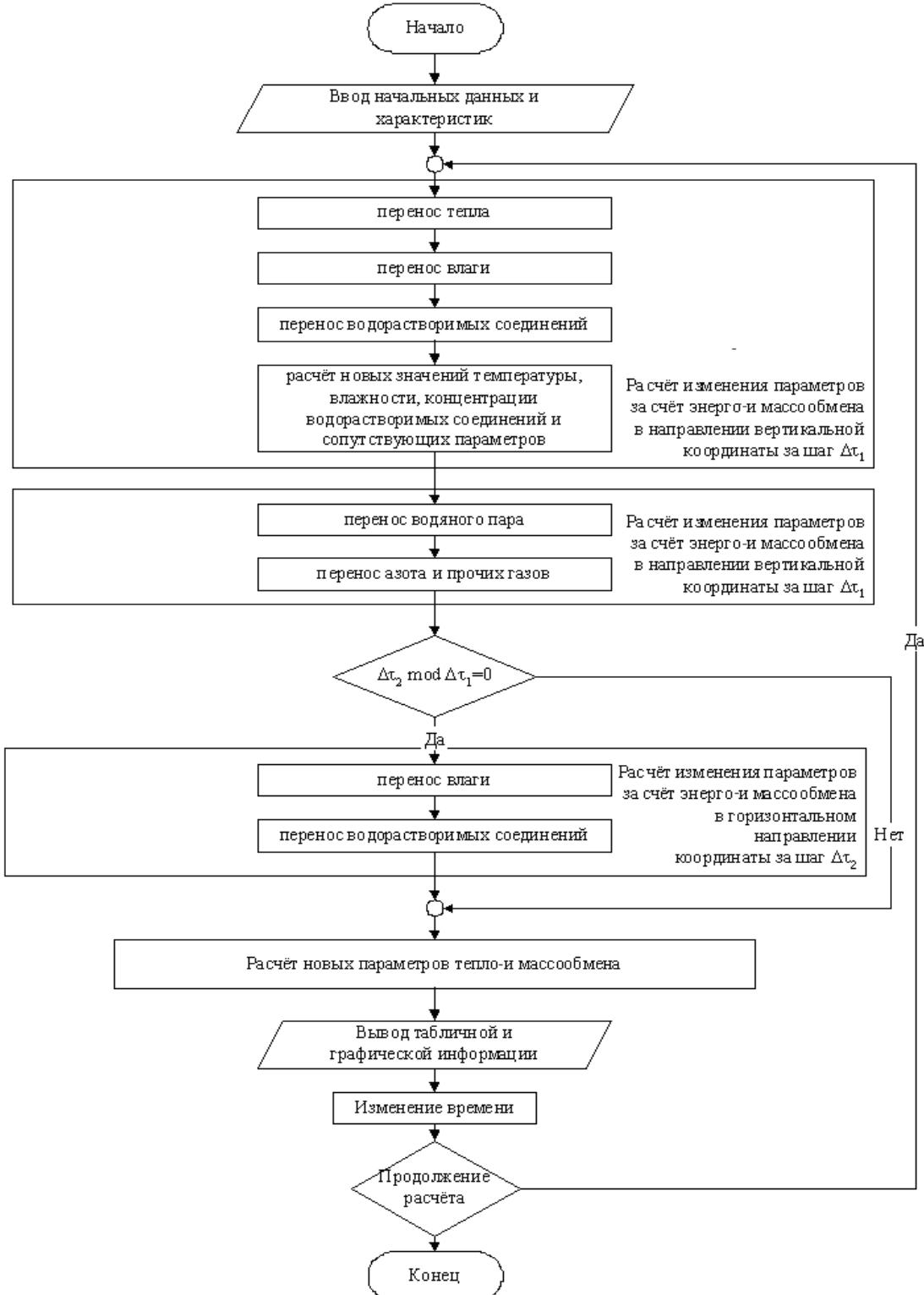


Рис. 3. Блок-схема алгоритма для расчета переноса водорастворимых соединений

Вскрытие шахтного поля осуществляется двумя вертикальными стволами диаметром 7 м. Ствол № 1 предназначен для выдачи на поверхность сильвинитовой руды, подачи в рудник свежего воздуха и оборудуется двумя двухскановыми подъемниками. Ствол № 2 предназначен для спуска-подъема людей, грузов и удаления из

рудника отработанного воздуха. Удаляемый из рудника воздух содержит пыль сильвинитовой руды. Таким образом, ствол № 2 является основным источником выбросов аэрозолей солей.

Вторым источником аэрозольных выбросов является надшахтное здание. За год шахтный ствол № 2 выбрасывает в атмосферу 69,35 т KCl

и 186,72 т NaCl, надшахтное здание – соответственно 2,02 и 5,42 т.

Таким образом, суммарный объем аэрозольных выбросов солей составит 263,5 т в год. Общий уровень загрязнения атмосферного воздуха на текущий момент составляет:

пыль (взвешенные вещества)

$$0,20 \text{ мг}/\text{м}^3 = 0,4 \text{ ПДК}$$

диоксид серы

$$0,008 \text{ мг}/\text{м}^3 = 0,16 \text{ ПДК}$$

диоксид азота

$$0,02 \text{ мг}/\text{м}^3 = 0,08 \text{ ПДК}$$

оксид углерода

$$0,9 \text{ мг}/\text{м}^3 = 0,168 \text{ ПДК}.$$

Прогнозируемые максимальные приземные концентрации с учетом фоновых концентраций:

$$C_{\text{взв.ва}} = 0,6 \text{ ПДК}, C_{\text{NO}} = 0,13 \text{ ПДК}, C_{\text{CO}} = 0,21 \text{ ПДК}, \\ C_{\text{SO}} = 0,18 \text{ ПДК}.$$

Зона влияния ограничивается территорией, на которой максимальная приземная концентрация выбросов превышает 0,05 ПДК, и составляет по пыли хлористого калия 2,5 км, а по пыли хлористого натрия – 4,0 км. При равномерном распределении такого количества солей годовое их накопление в пахотном слое будет несущественным и составит 106 мг/кг сухого грунта. Предельно допустимая концентрация содержания хлористого калия в почвах составляет 560 мг/кг сухого грунта, а NaCl не нормируется. Следовательно, концентрация содержания хлористого калия в почвах будет более чем в 5 раз меньше ПДК.

Для оценки загрязнения солями водотоков методом компьютерного моделирования построена схематичная карта водосборов каналов и речек территории Краснослободского участка Старобинского месторождения калийных солей (рис. 4). При этом выявлено шесть областей водосбора. Характерно, что три области водосбора, расположенные в восточной половине исследуемой территории, относятся к мелиоративным каналам, впадающим в речку Девицу, которая является притоком реки Сивельги, впадающей в Солигорское водохранилище. Три оставшиеся области водосбора, расположенные в западной половине территории, относятся к мелиоративным каналам, впадающим в речки Вызенка и Волка, замыкаемым на Краснослободское водохранилище. Кроме этого, часть исследуемой территории не может за счет склонового стока непосредственно сообщаться с указанными водными системами, и осадковые воды этой области собираются в ложбинах с последующей фильтрацией в грунтовые воды. Анализ полученных данных показывает, что техногенные загрязнения, выпадающие в виде аэрозолей на территорию Краснослободского рудника, за счет поверхностного стока в периоды интенсивного выпадения осадков и весеннего снеготаяния могут по-

падать либо в Солигорское, либо в Краснослободское водохранилища или накапливаться в ложбинах с последующим попаданием в грунтовые воды, загрязняя колодцы и подземные источники питьевой воды. При этом наибольшую опасность представляет поверхностный сток с западной половины территории, так как это приводит к загрязнению рыбохозяйственных комплексов в зоне Красной Слободы.

На рис. 4 показаны векторы поверхностного стока, полученные методом компьютерного моделирования, характеризующие направление и величину этого стока.

Для более детальной оценки возможности загрязнения солями поверхностных вод проанализировано влияние метеорологических факторов на распределение аэрозольных осадков и распределение солей на территории Краснослободского рудника.

При этом приняты во внимание следующие особенности климатических условий в районе Краснослободского рудника: средняя температура воздуха наиболее жаркого месяца $+24^\circ\text{C}$, наиболее холодного месяца $-6,3^\circ\text{C}$.

Распределение розы ветров в процентном отношении представлено в таблице.

Распределение розы ветров в процентах

Направление	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Январь	8	7	11	17	15	17	16	9
Июль	14	9	8	8	10	12	21	18
Год	10	9	11	15	12	14	17	12

Среднегодовые скорости ветра составляют около 4 м/с, скорость ветра, повторяемость превышения которой составляет 5 %, равна 7 м/с.

Основными факторами, определяющими распределение аэрозольных осадков на территории Краснослободского рудника, являются распределение розы ветров и особенности рельефа. Анализ влияния указанных факторов показал, что около 40 % аэрозольных осадков выпадет в области водосбора речки Девица, расположенной в восточной половине исследуемой территории. Эта область водосбора замыкается на Солигорское водохранилище. На территорию, расположенную в северо-западном направлении от промплощадки, выпадет около 15 % аэрозольных осадков, которые в основном будут сосредоточены в почвенном покрове и только незначительная часть этих осадков может достичь мелиоративных каналов области водосбора речки Волки, замыкаемой на Краснослободское водохранилище. Наибольшую опасность для экологической обстановки представляют аэрозольные осадки солей, выпадающих в восточном направлении от промплощадки, так как в этом направлении на расстоянии 2 км находятся мелиоративные каналы, впадающие в речку Вызенку, замыкаемую на Краснослободском водохранилище, и

рыбохозяйственные пруды. Относительное количество аэрозольных осадков в указанном на-

правлении составляет около 10 %.

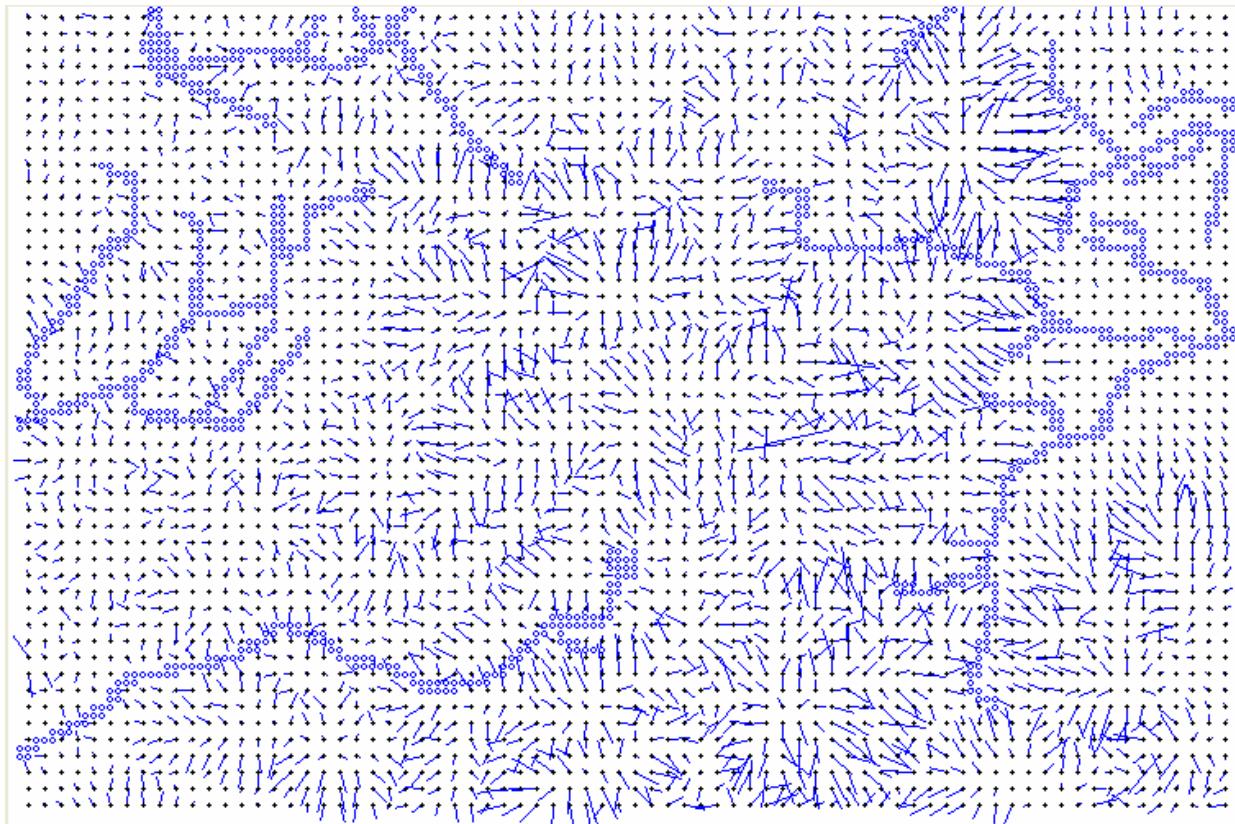


Рис. 4. Схематическая карта векторов поверхностного стока территории Краснослободского рудника

Более детальный анализ показывает, что за счет накопления солей снежным покровом в зимний период и последующего смыва в период весеннего снеготаяния ежегодно в водосбор речки Девица может попадать до 20 т солей, а в водосбор речки Вызенки – до 5 т солей. Эти обстоятельства необходимо учитывать в прогнозировании экологического состояния территории Краснослободского рудника и ближайших водоемов, а также в разработке мероприятий по охране геоэкосистем и минимизации отрицательных последствий калийного производства в указанном районе.

Предполагая, что аэрозоли выпадут в радиусе 4 км от промплощадки, с учетом распределения розы ветров построена схематическая карта распределения этих осадков на водосборах водотоков территории Краснослободского рудника (рис. 5). Представленные данные свидетельствуют о том, что площадь водосбора речки

Вызенки, подвергаемая засолению, составит 3,7 км². На эту площадь в снежный период года выпадет около 5 т солей. В весенний период за счет таяния снега поверхностный сток составит порядка 100 л с 1 м² из расчета накопления в снежный период 100 мм осадков. Исходя из указанных предположений, концентрация солей в системе мелиоративных каналов водосбора речки Вызенки составит 10–15 мг/л. Это означает, что при интенсивности выбросов аэрозолей на уровне проектных показателей загрязнение водосбора, замыкаемого на Краснослободское водохранилище, не представляет экологической опасности.

Концентрация солей в поверхностных водах, замыкаемых на Солигорское водохранилище, в основной период не будет превышать 20 мг/л. Концентрация солей может быть в 2 раза повышена в период интенсивного весеннего таяния снега.

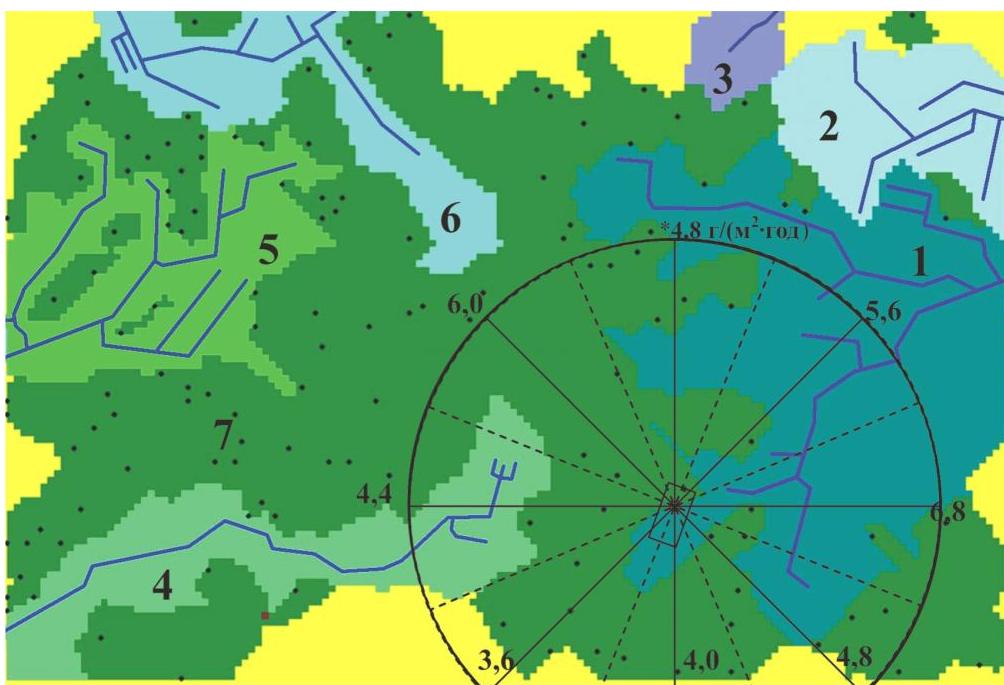


Рис. 5. Схематическая карта водосбора водотоков территории Краснослободского рудника и распределения выпадения аэрозольных осадков солей
 1–3 – области водосбора речки Девица; 4–6 – области водосбора речек Волка и Вызенка;
 7 – область закрытого водосбора (● – места локализации закрытого водосбора),
 * $4,8 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ – годовые накопления солей в различных направлениях

Оценка загрязнения грунтовых вод показала, что в местах локализации водосбора на закрытых водосборах с учетом сорбции солей почвенным комплексом и подстилающими породами фронт загрязнения с общей концентрацией солей порядка 40 мг/л будет распространяться со скоростью около 0,5 м /год. При таких условиях засоление достигнет уровня грун-

товых вод через 20 лет, но не превысит ПДК.

В дальнейшем предполагается более детальный расчет процессов переноса хлоридов калия и натрия в природном комплексе Краснослободского рудника с учетом температурно-влажностного режима в аэрируемом слое и фактической интенсивности аэрозольных выпадений при его активной эксплуатации.

Л и т е р а т у р а

1. Матвеев Л. Т. Теория общей циркуляции атмосферы и климата Земли. Л., 1991.

Г. П. Бровка, С. Н. Иванов, И. И. Ивашкевич, И. Н. Дорожок

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА В ПРИРОДНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ С НЕОДНОРОДНЫМ РЕЛЬЕФОМ НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ КРАСНОСЛОБОДСКОГО РУДНИКА ПО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»

Изложены физико-математические принципы создания информационно-моделирующей системы тепло-массообмена в природных территориальных комплексах с неоднородным рельефом на примере Краснослободского рудника ГО «Беларуськалий», включающие дифференциальные уравнения переноса тепла, влаги и водорасторимых соединений в поверхностном слое и 1-м водоносном горизонте, а также неортогональную сетку, адаптированную к рельефу местности, на которой строится расчетная схема для компьютерного моделирования процессов переноса.

Для оценки загрязнения солями водотоков и грунтовых вод методом компьютерного моделирования построена схематичная карта водосборов каналов и речек территории Краснослободского рудника. При этом выявлено шесть областей водосбора. Предполагая, что аэрозоли хлоридов калия и натрия при эксплуатации рудника будут выпадать в радиусе 4 км от промплощадки, с учетом распределения розы ветров построена схематическая карта распределения этих осадков на водосборах водотоков исследуемой территории.

G. P. Brovka, S. N. Ivanov, I. I. Ivashkevich, I. N. Dorozhok

**PHYSICAL-MATHEMATICAL PRINCIPLES OF INFORMATION SIMULATION
SYSTEM OF HEAT- AND MASS EXCHANGE IN NATURAL TERRITORIAL
COMPLEXES OF HETEROGENEOUS RELIEF TAKING OF THE
KRASNOSLOBODSKIY MINE TERRITORY IE «BELARUSKALIY» AS EXAMPLE**

Physical-mathematical principles of making information-simulation system of heat-mass exchange in natural territorial complexes of heterogeneous relief taking Krasnoslobodskiy mine IE «Belaruskaliy», including differential equations of heat, moisture and water soluble compounds in a top layer and 1rst water carrying horizon, as well as non-orthogenic grid, adapted to the relief on which a computation scheme for computer simulation of transfer processes is built have been provided.

To assess pollution of water conduits with salts and ground waters by the method of computer simulation a schematic map of water catchments of canals and rivers of the Krasnoslobodskiy mine territory has been made. Here six water catchments regions has been revealed. Supposing that calcium and potash chlorides aerosols during the mine exploitation will precipitate in 4 km radius off the construction site, considering winds rose redistribution these precipitation schematic distribution map on water catchments of water conduits of the territory studied has been compiled.

Г. П. Бровка, С. Н. Иванов

КОМПЬЮТЕРНЫЙ РАСЧЕТ ПРОМОРАЖИВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПРОХОДКЕ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ В СЛОЖНЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Приводится методика компьютерного расчета и визуализации двумерных процессов промораживания горных пород цилиндрическими теплообменниками для проходки шахтных стволов в сложных гидрогеологических условиях.

Проходка шахтных стволов при разработке месторождений калийных солей в сложных гидрогеологических условиях, как правило, проводится с применением искусственного промораживания горных пород на водоносных горизонтах. Это осуществляется с помощью системы цилиндрических теплообменников, равномерно расположенных по окружности диаметром 14 м, концентрической горизонтальному сечению шахтного ствола. Для выбора оптимальных режимов и времени промораживания необходимо рассчитать температурное поле в массиве горной породы с учетом функционирования системы теплообменников и фазовых переходов воды в лед в промораживаемой породе.

При расчете температурных полей в горных породах с произвольными начальными и граничными условиями в диапазоне температур, включающем интенсивные фазовые переходы, необходимо использовать численные сеточные методы. Однако при этом возникает ряд сложностей, обусловленных резким изменением теплофизических характеристик. В частности, может существенно возрастать погрешность расчета за счет резкого изменения эффективной теплопемкости и недостаточно точной ее аппроксимации при изменении температуры ΔT за шаг по времени $\Delta\tau$ в зоне интенсивных фазовых переходов. Это может проявляться в явных расчетных

схемах при расчете взаимосвязанных процессов переноса тепла и влаги в горных породах. Для обеспечения консервативности таких схем необходимо в алгоритм расчета дополнительно ввести процедуру коррекции изменения температуры с учетом сохранения теплового баланса. Такой подход использовался авторами при расчете одномерных температурных полей [1].

Сущность алгоритма заключается в проверке выполнения уравнения теплового баланса при переходе точки начала замерзания за шаг по времени $\Delta\tau$. Для этого с помощью параметров S_1 и S_2 сравниваются разности значения температур относительно точки начала фазового перехода T_ϕ в моменты времени τ_i и $\tau_i + \Delta\tau$. Если они оказываются разных знаков, то сравнивается по модулю изменение энтальпии ΔH_i элементарного объема в узле сетки i за шаг по времени $\Delta\tau$ с величиной энтальпии H_0 , соответствующей количеству теплоты, необходимой для доведения температуры от значения T_i в момент времени τ_i до точки начала фазового перехода T_ϕ . В зависимости от соотношения этих величин, а также от знака изменения энтальпии ΔH_i рассчитывается изменение ΔT_i за шаг по времени $\Delta\tau$ или вводится итерационный цикл коррекции изменения температуры δT_i , в основу которого положено уравнение теплового баланса для узла i :

$$\Delta H_i = \left(\lambda \cdot \frac{T_{i-1} - T_i}{\Delta X} + \lambda \cdot \frac{T_{i+1} - T_i}{\Delta X} \right) \cdot \Delta\tau, \quad (1)$$

$$\delta T_i = \frac{(W(T_i + \Delta T_i) - W(T_i)) \cdot L \cdot \rho \cdot \Delta X + C_a \cdot \rho \cdot \Delta X \cdot \Delta T_i - \Delta H_i}{C_i \cdot \Delta X \cdot \rho}. \quad (2)$$

Выполнение всех процедур алгоритма обеспечивает достаточно точное соблюдение баланса тепловой энергии в зоне интенсивных фазовых переходов.

При тестировании данного алгоритма использовалось эталонное решение нелинейного уравнения теплопроводности для полуограниченной среды с однородными начальными условиями и граничными условиями первого рода. Тестирование показало удовлетворительное со-

ответствие результатов тестируемого и эталонного методов.

Расчет двух- и трехмерных температурных полей при фазовых переходах вода–лед представляет собой довольно сложную задачу, особенно при локализации фазовых переходов в одной температурной точке. Подобные задачи рационально решать, используя нелинейную зависимость эффективной теплопемкости от температуры в соответствии с аналогичной факти-

ческой зависимостью количества незамерзшей воды во всем рассматриваемом диапазоне температуры. В таких случаях с успехом можно применять численные сеточные методы, используя разработанный алгоритм коррекции пошагового изменения температуры на основании соблюдения теплового баланса, поскольку данный алгоритм не имеет принципиальных отличий для одномерных и многомерных задач.

Конечно-разностная аппроксимация уравнений переноса тепла

$$q_{Tk} = \lambda_k \cdot (T_k - T_i) \cdot \operatorname{tg}(\pi/6),$$

$$dH_{ij} = \sum_{k=1}^6 q_{Tk} \cdot \Delta\tau,$$

$$S_{ij} = \frac{\sqrt{3} \cdot 3}{2} \cdot \ell^2,$$

S_{ij} – площадь элемента ℓ -шаг по координате

$$C_{ij} = f_1(T) = C_{a_{ij}} + \frac{\partial W_n}{\partial T} \cdot L_n,$$

$$W_n = f_2(T) = \begin{cases} T < T_Z & a_1 \cdot (T_0 - T)^{-\frac{1}{3}} + a_2, \\ \text{иначе } W \end{cases}$$

$$\Delta T_{ij} = \frac{dH_{ij}}{\rho_{ckij} \cdot C_{ij} \cdot S_{ij}}.$$

Коррекция температуры в зоне фазовых переходов

$$W1_{ij} = W_n(T_{ij}),$$

$$C_{ij} = C_{ij}(T_{ij}),$$

$$S1 = T_Z - T_{ij},$$

$$S2 = T_Z - T_{ij} - \Delta T_{ij},$$

если $S1 < 10^{-15}$ $S1 = 0$,

если $S2 < 10^{-15}$ $S2 = 0$,

если $S1 \cdot S2 < 0$

$$H_0 = ((W_{ij} - W1_{ij}) \cdot L_n + S1 \cdot C_{a_{ij}}) \cdot S_{ij} \cdot \rho_{ckij}$$

если $|H_0| > |dH_{ij}|$ $\Delta T_{ij} = S1$

иначе

$$dH_{ij} = dH_{ij} - H_0$$

если $dH_{ij} < 0$

$$W1_{ij} = W_{ij},$$

$$C_{ij} = C_{ij}(T_Z)$$

$$\Delta T_{ij} = \frac{dH_{ij}}{\rho_{ckij} \cdot C_{ij} \cdot S_{ij}},$$

$$S3 = S1,$$

$$T_{ij} = T_Z;$$

иначе

$$C_{ij} = C_{a_{ij}},$$

$$\Delta T_{ij} = \frac{dH_{ij}}{\rho_{ckij} \cdot C_{ij} \cdot S_{ij}} + S1,$$

$$W2_{ij} = W_{ij},$$

$$ddT_{ij} = 0,$$

перейти метка 1

$$W2_{ij} = W_n(T_{ij} + \Delta T_{ij}),$$

$$C_{ij} = \frac{W2_{ij} - W1_{ij}}{\Delta T_{ij}} \cdot L_n + C_{a_{ij}},$$

$$ddT_{ij} = \frac{(W_{ij} - W1_{ij}) \cdot L_n \cdot \rho_{ckij} \cdot S_{ij} + C_{a_{ij}} \cdot \Delta T_{ij} \cdot S_{ij} - dH_{ij}}{\rho_{ckij} \cdot C_{ij} \cdot S_{ij}},$$

$$\Delta T_{ij} = \Delta T_{ij} - ddT_{ij},$$

пока $|ddT_{ij}| > 10^{-8}$,

метка 1

$$\Delta T_{ij} = \Delta T_{ij} + S3,$$

$$T_{ij} = T_{ij} - S3.$$

На базе разработанной конечно-разностной схемы и алгоритма создана прикладная программа для расчета процессов замораживания грунтов на участке заложения шахтных стволов в сложных гидрогеологических условиях на объектах ПО «Беларуськалий». При этом расчетная область в проекции на горизонтальную плоскость представляет собой квадрат размером $28 \times 28 \text{ м}^2$ с центром, соответствующим координатам оси шахтного ствола.

Программа позволяет рассчитывать и визуализировать двумерные процессы промерзания и оттаивания грунтов при замораживании их вертикальными трубчатыми теплообменниками, распределенными в расчетной области в произвольном заданном порядке. При этом условия на теплообменниках могут соответствовать граничным условиям I, II или III рода. Наряду с расчетом температурного поля рассчитываются и выводятся на монитор тепловые потоки, интегрированные по скважинам, и интегральное количество теплоты с начала момента заморозки на 1 гонный метр теплообменников.

Проведено тестирование программы на эталонных задачах и получено удовлетворительное соответствие расчетных и контрольных данных. Погрешность определения фронта промерзания составляет не более половины шага расчетной сетки (0,035 м). Для расчета температурного поля вокруг одиночной скважины, а также для оценочного расчета осредненного положения фронта промерзания разработана прикладная программа радиально-симметричного процесса промерзания грунта.

Интерфейс программы включает:

- **главное меню** – обеспечивает загрузку, выбор и управление параметрами задачи и программой;
- **строка выбора отображаемого параметра** – предназначена для указания параметра, по которому необходимо проводить отображение табличной и графической информации (в данной версии программы только Температура);
- **область вывода графической и табличной информации**

Сетка – отображается построенная сетка для расчета

Поле (таблица) – отображение табличной информации (значений) указанного параметра

Одномерное распределение – графическое представление одномерного распределения указанных параметров;

- **строка состояния** – вывод справочной информации.

Запуск программы

Запуск программы осуществляется вызовом на выполнение файла **Truba.exe**.

Для запуска расчета необходимо присутствия полного набора входных файлов. Файлы должны быть расположены в одной папке (при автоматической загрузке задачи). В эту же папку будут записаны выходные данные.

Необходимые входные файлы: **odnT.rf**, **odn.rfp**, **odnX.rfc**, **odnY.rfc**, **odn.p**, **odn.rft**.

При этом **odnT.rf** – файл сеточных значений температуры; **odn.rfp** – файл теплофизических характеристик: тип грунта, влагосодержание, плотность, коэффициенты теплопроводности в талом и мерзлом состояниях, удельная теплоемкость, функция зависимости количества незамерзшей воды от температуры; **odnX.rfc**, **odnY.rfc** – файлы параметров координатной сетки; **odn.p** – файл параметров скважин: координаты центра скважины, радиус скважины, температура на скважине; **odn.rft** – файл параметров времени: время начала расчета, время окончания расчета, шаг по времени (всегда в секундах), шаг по времени отображения и сохранения информации.

Выходные файлы (результат расчета) записываются в формате **xxxx_ZZZ<parname>.rf**, где ZZZ – расчетное время, для которого произведена запись информации. Файл с расширением **rf** аналогичен по структуре входному файлу.

Для начала расчета необходимо построить расчётную сетку. Программа проводит расчет на двумерной сетке с элементарной расчётной единицей в виде выпуклого шестиугольника.

Инициализация сетки выполняется при помощи загрузки информации из файлов **odnX.rfc**, **odnY.rfc**. Команда меню: **Задача\Сетка\Загрузить**.

В зависимости от параметров во входных файлах будет построена сетка. На закладке «Сетка» отображаются:

- построенная/загруженная сетка с отображением цветом выбранного числового поля
- легенда цвета
- текущие (под указателем мыши) координаты узла сетки

- текущие значения основных параметров
- суммарный и интегральный тепловой поток по скважинам

При выполнении этой операции также будут загружены параметры поля из файла **odn.rfp**.

Следующим шагом нам необходимо загрузить информацию о скважинах (файл **odn.p**). Команда меню: **Задача\Сетка\Загрузка скважин**. При этом будут загружены координаты скважин и в зависимости от параметра **<load>** будут загружены параметры из текущего файла либо использованы параметры из файла **odn.rfp**.

Примечание. Этот шаг и все последующие шаги по инициализации задачи могут быть выполнены по одному действию: **Задача\Загрузить всю информацию (Ctrl+Alt+A)**. В диалоге будет предложено выбрать файл сетки (***.rfc**), и в соответствии с префиксом файла будут загружены все параметры задачи. Обязательным условием корректного выполнения этого действия является присутствие всех входных файлов в одной директории.

Задания типа граничного условия на скважинах

До начала расчета можно выбрать тип граничного условия, которое будет использоваться в расчётной процедуре. Тип условия на скважине выбирается через пункт меню **Задача\Тип условия на скважине**.

Загрузка начального распределения параметров

После того как будет построена сетка, можно загружать начальные распределения расчётных параметров (до инициализации сетки пункт меню будет недоступен). Меню: **Поле\Загрузить**.

Параметры загружаются из файлов с расширением **rf**. После загрузки значения параметров отображаются на закладке «Сетка» (рис. 1) в виде двумерного цифрового поля в цветовой гамме. Для двумерного поля возможно изменение масштаба отображения и перемещение окна отображения. Начальные параметры отображения задаются через файл размерности сетки – параметры **<N>**, **<M>**. Масштаб можно менять при помощи бегунка в левой нижней части экрана.

Перемещение окна отображения при помощи полос прокрутки справа и снизу. При перемещении указателя мыши в соответствии с его положением в левой части экрана отображаются координаты X и Y узлов сетки, радиальное расстояние от центра шахтного ствола, текущие значения в узле температуры, теплоемкости и коэффициента теплопроводности породы. В нижней левой части экрана выводятся текущие значения интенсивности суммарного теплового потока на скважинах и тепловой баланс за время промораживания.

Программа позволяет также отображать одновременно срез по X и срез по Y в одномерном представлении на закладке «Одномерное распределение» (рис. 2). Управление отображением параметров происходит из меню **Поле\Отображение графиков\Отображать по координате**.

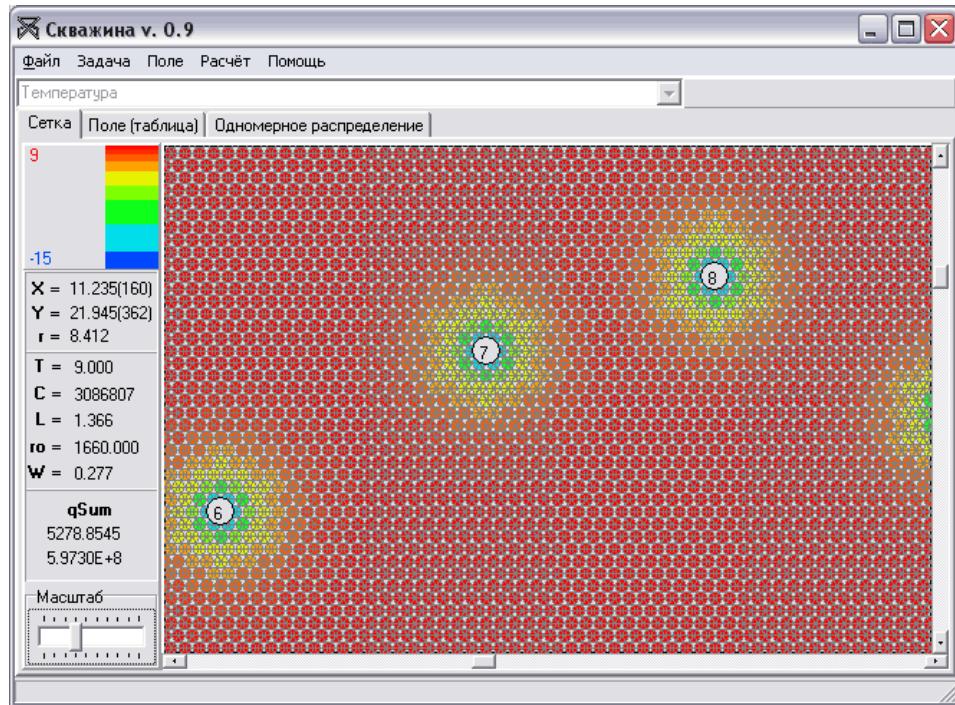


Рис. 1. Копия экрана монитора с двумерным распределением температуры

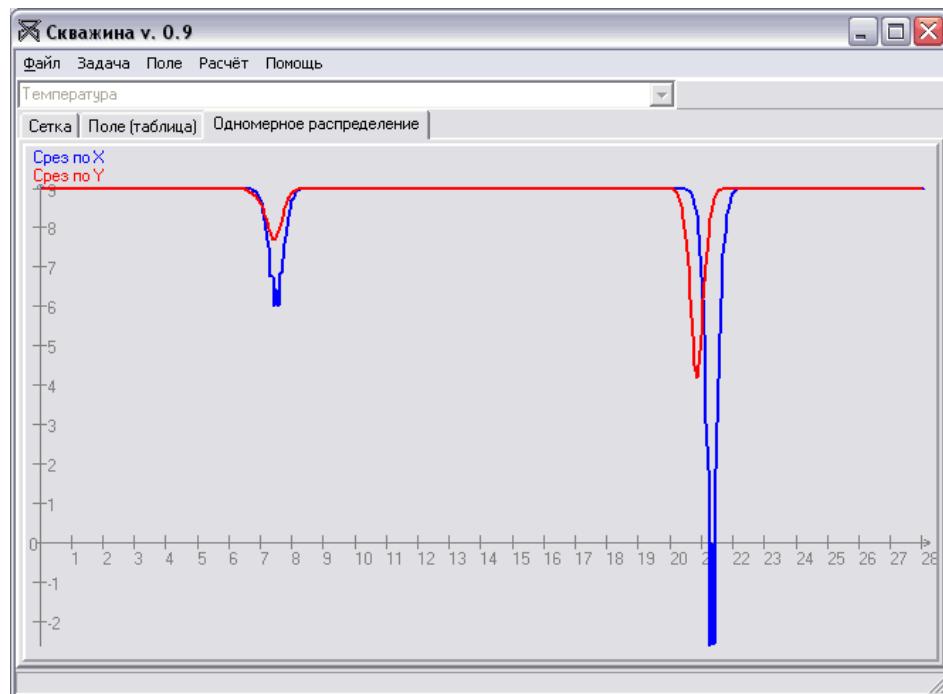


Рис. 2. Копия экрана монитора с одномерным распределением температуры

После выполнения команды меню: **Поле\Отображение графиков\Отображать по координате** отображается диалог, в котором можно выбрать координаты для среза по одномерному распределению (рис. 2).

Можно выбрать разрез по X и Y координате и в окне диалога ввести значение (числовое), по которому будет производиться отображение, т.е. будет строиться график $f(t_{show}, x, C)$ и $f(t_{show}, C, y)$ в зависимости от заданных параметров.

Вывод графиков на экран происходит через равные промежутки расчётного времени. Частота вывода на экран (в файл) всех расчетных параметров определяется четвертым параметром во входном файле ***.rft**.

В программе предусмотрено отображение табличной информации (значений) рассчитываемых параметров через закладку – **Поле (таблица)**.

Расчет

После задания всех необходимых параметров задачи можно приступить непосредственно к расчету. Расчет будет производиться в диапазоне времени и с шагом, задаваемым через файл ***.rft**. Загрузка этого файла происходит через меню **Расчет\Параметры по времени\Загрузить**.

Расчет запускается через **Расчёт\Запустить (Ctrl+R)**. После начала расчета на экране будет отображаться информация в соответствии с выбранной закладкой на форме. Частота обновления графической/табличной информации на форме и вывод значений параметров в файл определяются четвертым параметром в файле ***.rft**.

Во время расчета в строке состояния будут отображены:

- расчетная дата в формате день/месяц/год;
- текущее расчетное время в секундах;

- реальное время расчета (дни) часы:минуты:секунды;
- суммарный тепловой поток по скважинам;
- интегральный тепловой поток по скважинам.

Изменение параметров визуализации возможно только после завершения расчета. Продолжить завершенный расчет можно из меню **Расчет\Продолжить (Ctrl+Alt+R)**. Программа предложит загрузить файл с новыми временными параметрами (***.rft**), т. к. расчет по параметрам из старого файла был завершен.

Сохранение данных происходит автоматически во время расчета в соответствии с заданным шагом отображения и сохранения информации, а также после завершения расчета.

Таким образом, разработанная программа позволяет рассчитывать и визуализировать двумерное температурное поле (горизонтальный срез) в массиве горной породы и тепловой баланс при искусственном замораживании его системой цилиндрических теплообменников с учетом теплофизических характеристик горных пород, геометрии расположения теплообменников и режима их функционирования. Это дает возможность оптимизировать режимы и время промораживания горных пород, предшествующего проходке шахтных стволов в сложных гидрогеологических условиях.

Литература

1. Бровка Г. П., Иванов С. Н. Расчет температурных полей в грунте с фазовыми переходами вода -лед в спектре температур // Инженерно-физический журнал. 2004. Т. 77, № 6. С. 112–119.

Г. П. Бровка, С. Н. Иванов

КОМПЬЮТЕРНЫЙ РАСЧЕТ ПРОМОРАЖИВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПРОХОДКЕ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ В СЛОЖНЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Приводится методика компьютерного расчета и визуализации двумерных процессов промораживания горных пород цилиндрическими теплообменниками для проходки шахтных стволов в сложных гидрогеологических условиях. Разработанная программа позволяет рассчитывать и визуализировать двумерное температурное поле (горизонтальный срез) в массиве горной породы и тепловой баланс при искусственном замораживании его системой цилиндрических теплообменников с учетом теплофизических характеристик горных пород, геометрии расположения теплообменников и режима их функционирования. Это дает возможность оптимизировать режимы и время промораживания горных пород, предшествующего проходке шахтных стволов в сложных гидрогеологических условиях.

G. P. Brovka, S. N. Ivanov

COMPUTER CALCULATION OF MOUNTAIN ROCKS FREEZING WHEN SINKING SHAFTS IN HARD HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS

A methodic of computation and visualization of two-dimensional rocks freezing processes by cylindrical heat exchangers to sink shafts in hard hydrogeological conditions is provided. The designed program allows computing and visualizing a two-dimension temperature field (horizontal cut) in a mountain rock mass and heat balance at its artificial freezing with cylindrical heat exchangers regarding heat physical rocks characteristics, heat exchangers location geometry and their functioning mode. This enables optimizing modes and time of rocks freezing prior to shafts sinking in hard hydrogeological conditions.

Л. С. Лис, Т. Я. Царюк, Л. Д. Шапорева, И. П. Фалюшина

О МЕТОДЕ ЭКСПРЕССНОЙ ОЦЕНКИ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ КОНСЕРВАЦИОННЫХ МАСЕЛ

На основании результатов исследования электрофизических характеристик емкостного датчика с нанесенными на его поверхность консервационными маслами различной защитной эффективности предложен метод для экспрессной оценки защитных свойств масел.

Для оценки защитных свойств консервационных масел, смазок, нефтяных ингибиторов тонкопленочных покрытий и маслорастворимых ингибиторов коррозии имеется комплекс стандартных методов испытаний, которым пользуются разработчики и потребители этих материалов как в научных исследованиях, так и в производственных лабораториях.

Согласно ГОСТ 9.054-75 установлено шесть методов ускоренных испытаний консервационных материалов, которые проводятся в специальных камерах при определенных значениях влажности и температуры воздуха, конденсации влаги и воздействий солевого тумана, сернистого ангидрида, бромистоводородной кислоты или электролита, а также в условиях контакта разнородных металлов.

Продолжительность испытаний определяется в первую очередь их целью и нормативно-технической документацией на консервационный материал. В качестве критериев оценки защитной эффективности исследуемых материалов рекомендовано использовать площадь коррозионного поражения за определенное время, время появления первого коррозионного очага и изменение массы пластиинки за период испытаний.

Испытания консервационных материалов проводят циклами, занимающими по времени сутки. Подготовительные работы по нанесению испытуемого материала на пластиинку, ее выдержке на воздухе для формирования защитной пленки, подготовке заданного режима в испытательной камере занимают 24 часа и более. Таким образом, время установления защитных свойств консервационных материалов с помощью стандартных методов ускоренных испытаний, как показала практика, составляет от 2 суток до года и более.

При разработке составов новых консервационных материалов различного назначения необходимо производить предварительную оценку защитных свойств промежуточных композиций. Описанные выше стандартные методы в этом случае не подходят по временному признаку, т.к. затягивают процесс разработки на длительный период. В связи с этим целесообразными представляются поисковые исследования экспресс-

ных методов оценки защитных свойств на промежуточных этапах разработки.

Электрохимические и электрофизические методы в коррозионных исследованиях получили достаточно широкое распространение [1–4]. Измерение электродного потенциала, снятие поляризационных кривых, получение кривых зарядения, измерение иммитанса или раздельных составляющих измерительных датчиков – арсенал преимущественно лабораторных методов.

В поиске экспрессных методов мы обратились к электрофизическим измерениям характеристик измерительных датчиков с нанесенным на их поверхность слоем защитного материала. Для удобства нанесения и удаления материала нами выбран плоский датчик, позволяющий выполнять операцию нанесения окунанием в исследуемый материал. Для электрофизических измерений в большинстве случаев используют емкостные или индуктивные типы датчиков, при этом приоритет принадлежит емкостным датчикам ввиду широких возможностей реализации и ряду методических преимуществ.

Среди различных вариантов построения емкостных датчиков нами выбран плоский меандровый датчик рассеянного поля благодаря возможности широкого варьирования его начальной емкости, что имеет значение при использовании измерительной аппаратуры. Эффективное электрическое поле такого типа датчика распространяется на незначительной высоте от поверхности электродов, что имеет значение в методическом плане, поскольку консервационные масла образуют на защищаемой поверхности тонкий слой. Размеры датчика соответствуют размерам стандартной испытательной пластины, что позволяет помещать его в испытательные камеры.

На рис. 1 показана конструкция разработанного емкостного датчика рассеянного поля. Изменение начальной емкости такого датчика осуществляется за счет вариации ширины электродов и расстояния между ними. Датчик изготовлен из фольгированного гетинакса с помощью фотошаблона. Для исследований применяли измеритель иммитанса Е7-20, позволяющий определять многие параметры датчика (емкость C_x , комплексную проводимость Z_x , тангенс угла

потерь, добротность Q_x) в диапазоне частот 1 Гц – 1 МГц.

В качестве объектов исследования использованы консервационные масла на основе индустриального масла И-20А и ингибиторов коррозии АКОР-1, СД-11, ОКС и Микор в концентрации 5, 10, 15 и 20 % масс.

Нанесение на поверхность измерительного датчика исследуемого консервационного масла осуществлялось окурнением в приготовленный состав на 1 минуту с последующей выдержкой

датчика на воздухе на протяжении часа для формирования защитной пленки.

Предварительные исследования проведены для измерительного датчика с нанесенным на его поверхность консервационным маслом, состоящим из масла И-20А с присадкой АКОР-1 во всем диапазоне частот прибора. На рис. 2 представлена зависимость параметров такого датчика от частоты измерительного тока. Отмечается прямолинейный рост емкости C_x во всем исследованном диапазоне частот и резкое криволинейное снижение параметра Z_x .

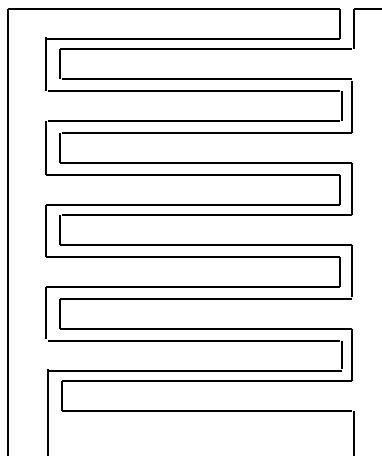


Рис. 1. Датчик измерительный

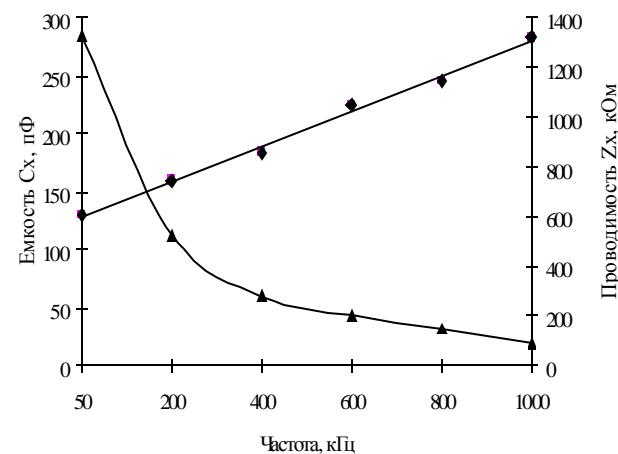


Рис. 2. Зависимость электрофизических характеристик датчика от частоты измерительного сигнала

Для выбора оптимального значения частоты измерительного тока был рассчитан показатель относительной чувствительности выходного сигнала прибора:

$$\delta C_x(Z_x) = \frac{I_{x(i)} - I_0}{I_{x(i)}} \times 100, \% \quad (1)$$

где $I_{x(i)}$ – значение выходного сигнала датчика с нанесенным на поверхность материалом; I_0 – тоже для чистого датчика.

В табл. 1 представлены значения этого показателя для исследованных консервационных

масел при трех значениях частоты изученного диапазона.

Анализ полученных значений свидетельствует о том, что в изученном диапазоне частот исследуемый показатель не выявляет аномальных значений, т. е. практически не изменяется как по параметру δC_x , так и по δZ_x . Это позволяет сделать заключение, что в дальнейших исследованиях мы не связаны в выборе частоты измерений, а оптимальное значение может быть установлено по каким-то другим признакам.

Таблица 1. Относительная чувствительность выходного сигнала прибора

Частота, кГц	Относительная чувствительность δC_x и δZ_x при концентрации присадки в масле И-20А, %			
	5	10	15	20
0,6	2,01/1,72*	1,97/2,18	2,10/1,91	2,06/2,25
10	2,00/2,13	1,84/1,86	2,23/2,13	2,27/2,13
300	1,75/1,93	1,90/2,07	2,28/2,20	2,24/2,28

* Числитель δC_x , знаменатель δZ_x

Предварительный сопоставительный анализ значений измеряемых параметров датчика с консервационными маслами на воздухе и их за-

щитных свойств, определенных стандартными методами, показал, что взаимосвязь этих показателей неустойчива, при этом чувствительность

датчика к концентрации ингибитора в масле очень низкая. Мы обратились к приему помещения измерительного датчика в электролит (искусственную морскую воду). В этом случае наблюдается резкое изменение регистрируемых параметров во времени. На рис. 3 приведена временная зависимость емкости C_x и комплексной проводимости Z_x .

Характер этой зависимости свидетельствует о существенном влиянии на величину измеряемых показателей временного фактора, причем такие изменения различны во времени. Емкость датчика C_x со временем возрастает: темп роста составляет от 8 до 4 пФ/мин, постепенно снижаясь. Комплексная проводимость Z_x уменьшается во времени нелинейно с темпом от 100

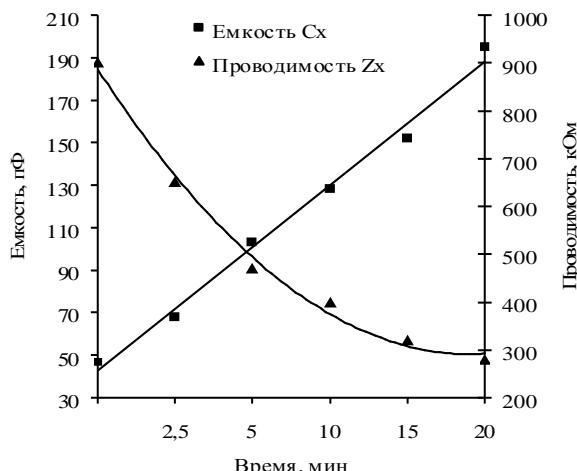


Рис. 3. Зависимость электрофизических характеристик датчика с 5 % АКОР-1 в масле от времени (частота 600 кГц)

Следует отметить, что удлинение времени отсчета существенно снижает фиксируемый разброс показаний прибора, поэтому в качестве приемлемого времени можно ограничиться 15–20 минутами, что обеспечит методическую погрешность в пределах 2,5–3 %.

Для решения поставленной в исследованиях задачи по разработанной методике выполнены измерения электрофизических параметров датчика с выбранными консервационными маслами. На рис. 5 представлена обобщенная зависимость параметров датчика (C_x и Z_x) от концентрации ингибитора в масле. По обоим параметрам наблюдается разнсеннность показаний, на рисунке представлены граничные кривые. Следовательно, значения измеряемых параметров датчика чувствительны к используемым присадкам, т. е. определяются их составом.

В связи с этим интерес представляет оценка защитных свойств исследованных образцов стандартными методами ускоренных испытаний. Испытания выполнены в камерах сернистого ангидрида и при постоянном погружении в электролит, полученные результаты представлены на рис. 6.

до 15 кОм/мин. Таким образом, для повышения точности отсчет показаний прибора необходимо производить при затухающем темпе изменений выходного параметра, что, однако, удлиняет время измерений.

Для обоснования выбора оптимального значения времени отсчета проведена дополнительная серия опытов с различными промежутками времени. Оценка произведена по величине разброса показаний прибора при 5-кратной повторности опыта по формуле (2), а полученные результаты представлены на рис. 4.

$$\delta I = \left(\frac{I_i - I_\varphi}{I_\varphi} \right) \times 100, \% \quad (2)$$

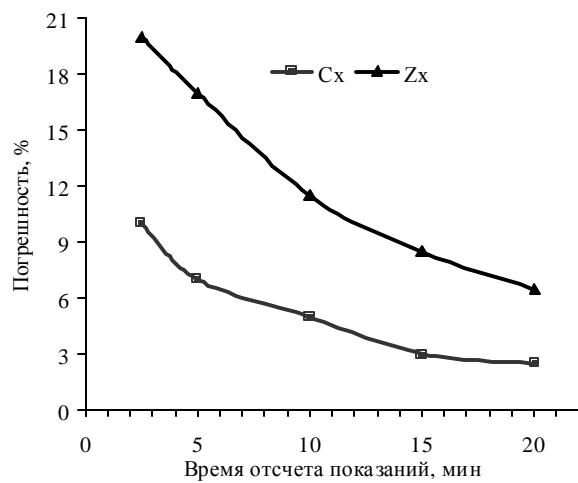


Рис. 4. Зависимость величины разброса показаний от времени отсчета по прибору

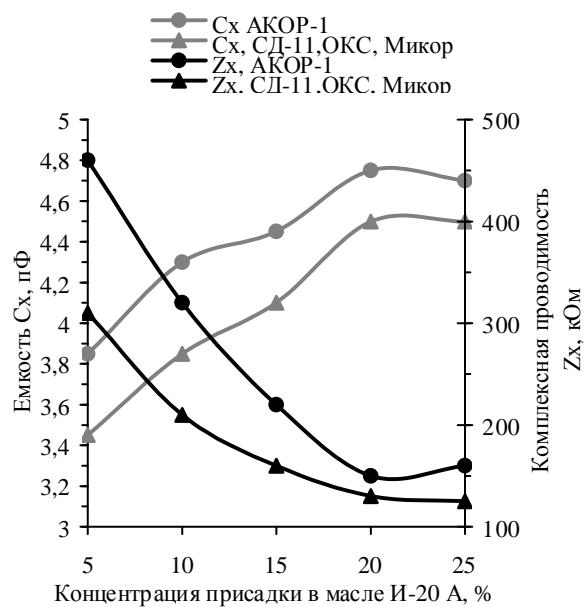


Рис. 5. Зависимость выходных сигналов датчика от концентрации ингибитора в масле И-20А на частоте 200 кГц

Прежде всего отметим, что использованные образцы консервационных масел существенно различаются по защитной эффективности при всех значениях концентрации ингибиторов. Эти различия максимальны при низких концен-

трациях ингибиторов и постепенно уменьшаются по мере их возрастания, при этом АКОР-1 значительно уступает остальным по уровню защитных свойств как в среде сернистого ангидрида, так и в электролите.

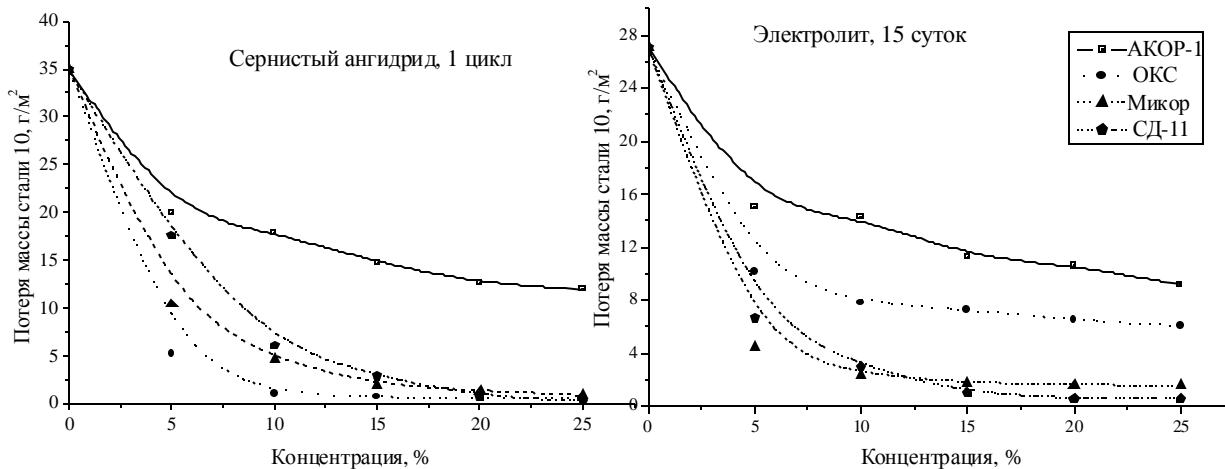


Рис. 6. Влияние содержания ингибитора коррозии в масле И-20А на его защитные свойства

Для оценки пригодности использованного метода и полученных результатов для экспрессного определения защитных свойств консервационных масел построена градуировочная характеристика «параметр датчика – потеря массы пластиинки». На рис. 7 приведены такие характеристики для параметра C_x по крайним значениям показателей исследуемых защитных составов в среде сернистого ангидрида и в электролите.

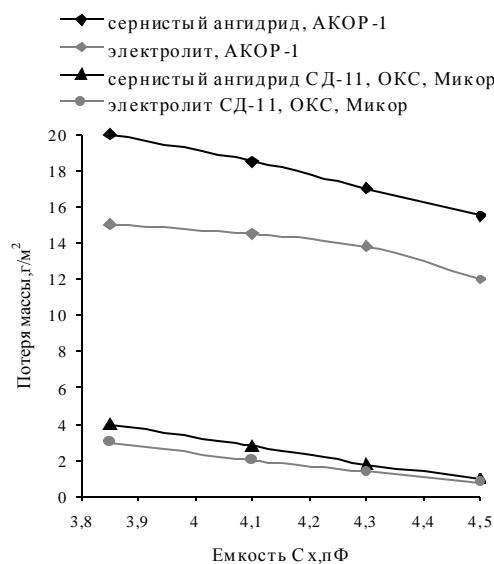


Рис. 7. Градуировочные характеристики

Детальная обработка полученных данных позволила получить градуировочные характеристики экспрессного метода оценки защитных свойств в виде уравнений регрессии, причем це-

лесообразным оказалось их объединить в две группы: для ингибитора АКОР-1 и совместной для ингибиторов ОКС, Микор и СД-11. В табл. 2 приведены градуировочные уравнения и их метрологические характеристики.

Таким образом, на основании выполненных исследований предложен метод экспрессного определения защитных свойств консервационных масел, который может быть применен при разработке новых материалов для промежуточной оценки результативности введения в состав разрабатываемого продукта тех или иных присадок. Благодаря возможности такого контроля в значительной мере может быть интенсифицирован процесс разработки. Метрологические показатели предлагаемого метода (табл. 2) вполне приемлемы для таких работ.

Таблица 2. Показатели градуировочных характеристик метода ускоренного контроля защитных свойств

Показатели	Для условий испытаний	
	в среде сернистого ангидрида	в электролите
АКОР-1		
Уравнение регрессии	$K = 52,6 - 8,5 C_x$	$K = 39,5 - 6,3 C_x$
Среднеквадратическое отклонение	3,77	4,69
Погрешность, %	1,97	2,16
OKC, Mikor и СД-11		
Уравнение регрессии	$K = 24,6 - 2,8 C_x$	$K = 36,6 - 8,75 C_x$
Среднеквадратическое отклонение	4,86	4,76
Погрешность, %	2,20	2,20

Л и т е р а т у р а

1. Берукштис Г. К., Кларк Г. Б. Коррозионная устойчивость металлов и металлических покрытий в атмосферных условиях. М., 1971.
2. Марякин Н. М., Кусереев А. И., Юдина Л. Е., Майко Л. П. Применение электрометрии для исследования функциональных свойств защитных присадок // Химия и технология топлив и масел. 1967. № 8. С. 53–55.
3. Розенфельд И. Л., Жигалова К. А. Ускоренные методы коррозионных испытаний металлов. М., 1966.
4. Шехтер Ю. Н., Школьников В. М., Богданова Т. И., Милованов В. Д. Рабоче-консервационные смазочные материалы. М., 1979.

Л. С. Лис, Т. Я. Царюк, Л. Д. Шапорева, И. П. Фалюшина

О МЕТОДЕ ЭКСПРЕССНОЙ ОЦЕНКИ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ КОНСЕРВАЦИОННЫХ МАСЕЛ

Обоснована необходимость поиска методов экспрессной оценки защитных свойств консервационных материалов, особенно при разработке новых составов. Показано, что решение этой задачи наиболее перспективно при использовании электрофизических методов, основанных на измерении ряда характеристик емкостных датчиков, покрытых исследуемыми материалами. В качестве таких материалов использовали консервационные масла на основе индустриального масла I-20 A с четырьмя маслорастворимыми ингибиторами коррозии в различных концентрациях.

Произведен выбор режимов измерений: частоты измерительного тока и времени снятия показаний. В качестве контролируемых характеристик использованы емкость датчика C_x и комплексная проводимость Z_x .

Показано, что измеряемые характеристики емкостного датчика с нанесенным защитным слоем обнаруживают корреляционную связь с защитными свойствами исследуемых масел, определенными стандартными методами.

На основании полученных результатов построены градуировочные характеристики метода экспрессной оценки защитных свойств для исследованных консервационных масел, определены погрешности измерений. Разработанный метод рекомендован к применению при разработке составов новых консервационных материалов.

L. S. Lis, T. Ya. Tsaruk, L. D. Shaporeva, I. P. Falushina

ON THE METHOD OF EXPRESS EVALUATION OF CONSERVATION OILS PROTECTIVE PROPERTIES

The need to seek methods of express evaluation of conservation materials protective properties especially when developing new compositions has been substantiated. It has been shown that this task decision is most perspective in application of electro-physical methods, based on measuring a series of characteristics of capacitive pickups, covered by the materials studied. As such materials, conservation oils based on industrial oil I-20 A with four oil-soluble corrosion inhibitors in various concentrations have been taken.

A selection of measurement modes has been done: current measuring frequency, lubricant application time, data register time. As controlled characteristics, the C_x pickup capacity and Z_x complex conductivity have been taken.

It has been shown that the measured capacitive pickup characteristics with the applied protective layer reveals correlation link with protective properties of the oil studied, determined by standard methods. Thus the found interrelation is bordered through inhibitors individuality.

On the basis of results obtained graduation characteristics of the express evaluation method of the protective properties has been filed, the measurements errors have been determined. The developed method is recommended for use in lab developments of new conservation oils compositions.

Н. Н. Бамбалов, О. М. Самокар

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ И ПРОДУКТОВ ИХ ДЕСТРУКЦИИ С ИОНАМИ МЕДИ

Изучено взаимодействие гуминовых веществ торфа и бурого угля, выделенных водными растворами карбоната натрия, пирофосфата натрия и гидрата окиси натрия, с ионами меди. Для получения устойчивых медь-гуминовых растворов с многократным превышением ионов меди над гуминовыми веществами целесообразно осуществлять разукрупнение молекул гуминовых веществ, а медь использовать в форме комплексных соединений.

Актуальность исследования заключается в целесообразности создания микроэлементных медь-содержащих удобрений совместно с биологически активными гуминовыми веществами, однако на пути к этому возникают трудности, обусловленные выпадением в осадок продуктов взаимодействия ионов меди с гуминовыми веществами.

Известно, что при взаимодействии меди с водным аммиаком образуются растворимые комплексные соединения, так называемые аммиакаты, причем один атом меди координирует четыре молекулы аммиака [7]. Гуминовые вещества также хорошо растворимы в водном аммиаке, и это свойство используется в практике получения торфоаммиачных и углеаммиачных удобрений [4, 9] и биологически активных гуматов аммония [3, 10], поэтому вполне логично было бы применять водный аммиак для создания водорастворимых медь-гуминовых удобрений. Однако наши опыты показали, что при соединении раствора сульфата меди в водном аммиаке с раствором гуматов аммония образуются осадки гуматов меди. В данном случае слабые комплексы аммиакатов меди не способны противостоять реакции взаимодействия карбоксилат-ионов гуминовых кислот (ГК) с ионами меди, в результате которой образуется осадок гумата меди.

В исследованиях С. И. Коврик [5, 6] при разработке способа осаждения меди из растворов с использованием гуминовых препаратов установлено, что образование таких осадков или, наоборот, существование в растворе гуминовых веществ и ионов меди зависит от соотношения между содержанием меди и гуминовых веществ. Так, при соотношении гуминовые вещества: медь от 1:1 до 1:10 образуются осадки гуматов меди в диапазоне pH 8–12,8, а при соотношении 1,5:1 оба компонента находятся в растворе. Этот вывод составляет принципиальную основу для создания водорастворимых медь-гуминовых удобрений. Вместе с тем указанные соотношения между гуминовыми веществами и ионами меди, обеспечивающие нахождение этих компонентов в растворе, неблагоприятны для растений. По данным [2, 11] для обработки растений оптимальная концентрация растворов гу-

миновых веществ составляет от 0,01 до 0,0001 %, а ионов меди – 0,02–0,05 % [12], т. е. ионов меди должно быть многократно больше количества растворенных гуминовых веществ. Но, как установлено С. И. Коврик [5, 6], при таких соотношениях образуется осадок, делающий медь-гуминовые смеси непригодными для обработки растений.

Для создания устойчивых медь-гуминовых растворов с концентрациями компонентов и соотношениями между ними, благоприятными для растений, перспективной может быть модификация гуминовых веществ путем разукрупнения их макромолекул. Такая модификация обеспечивает способность гуминовых веществ растворяться в воде. Разукрупнение молекул гуминовых веществ может быть достигнуто окислением, например, пероксидом водорода [1] или воздействием на молекулы гуминовых веществ светового излучения [8]. Оба метода удобны тем, что их можно применять дозированно в контролируемых условиях и останавливать процесс разукрупнения молекул гуминовых веществ на любой стадии.

Цель настоящей работы – выполнить сравнительную оценку продуктов фотолиза и окисления гуминовых веществ пероксидом водорода как возможных биологически активных лигандов для получения жидких медь-гуминовых удобрений.

В качестве сырья для получения гуминовых веществ использовали древесно-тростниковый торф из торфяного месторождения «Хольчье» со степенью разложения 40–45 %, зольностью 18,6 %, pH в KCl 5,4.

Вторым видом сырья был бурый уголь из Бринёвского месторождения. Стадия метаморфизма угля – землистый, зольность 11,2 %, pH в KCl 5,2.

Гуминовые вещества извлекали 0,1 н. NaOH при 18...22 °C в течение 20 часов при модуле 1:50. Осаждение ГК осуществляли путем подкисления 10%-ной HCl до pH = 2, осадки отделяли центрифугированием, вымораживали при –5 °C, отмывали водой от ионов хлора и сушили при 40 °C. Из бурого угля в аналогичных условиях были дополнительно выделены ГК 0,1 н. рас-

творм Na_2CO_3 и 0,1 М раствором $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$. Для окисления и фотолиза готовили 0,1%-е растворы ГК в 0,1 н. NaOH .

Окисление осуществляли по методике [1], добавляя к щелочному раствору ГК 30 %-й пероксид водорода. О степени разукрупнения молекул судили по уменьшению величины оптической плотности растворов ГК. Пероксида водорода вводили столько, чтобы обеспечить заданную величину оптической плотности: для ГК торфа были получены растворы с оптической плотностью, уменьшенной на 50 и 70 %, для ГК бурого угля – на 30–35 % по сравнению с оптической плотностью исходных растворов.

Вторая серия опытов предусматривала изменение молекулярной структуры ГК путем воздействия на них световым излучением по методике [8]. В качестве источника света использовали лампу ДРТ-400.

Известно, что при окислении ГК пероксидом водорода в щелочной среде образуются водорастворимые гуминовые вещества, названные фульвоподобными кислотами, которые отличаются от исходных ГК меньшими молекулярными массами и размерами систем полисопряжения в их молекулах, а также повышенным содержанием гидрофильных функциональных групп [1].

Перспективной может быть модификация гуминовых веществ путем облучения их щелоч-

ных растворов светом с длиной волны 190–700 нм [8], поскольку в этом случае также образуются фульвоподобные водорастворимые гуминовые вещества.

Была приготовлена серия растворов ГК торфа в 0,1 н. NaOH с концентрацией 0,1 %: исходный, окисленный пероксидом водорода до уменьшения величины оптической плотности на 50 % (с 0,68 до 0,34), и еще глубже окисленный – до величины оптической плотности 0,20. С такими же характеристиками была приготовлена вторая серия растворов ГК, но снижение их оптической плотности достигалось не окислением пероксидом водорода, а облучением светом лампы ДРТ-400.

Взаимодействие исходных и модифицированных растворов ГК с соединениями меди осуществляли в двух вариантах: в первом ионы меди были в виде водного раствора CuSO_4 , во втором – в виде комплексоната в препарате «Эколист мономедь». Полученные 0,1 %-е растворы ГК смешивались в разных соотношениях с 1 %-м раствором сернокислой меди или с препаратом «Эколист мономедь», разбавленным до содержания меди, эквивалентного 1 %-му раствору CuSO_4 . Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Взаимодействие ГК, выделенных 0,1 н. NaOH из древесно-тростникового торфа, с водным раствором сернокислой меди и препаратом «Эколист мономедь» при различных соотношениях

Гуминовый препарат, его оптическая плотность (D)	Соотношение между растворами гуминовых веществ и соединений меди			
	1:0,3	1:0,6	1:1	0,5:1
Смешивание 0,1 %-го раствора гуминовых веществ с 1%-м раствором CuSO_4				
Исходный, D = 0,68	Осадок / 0,1	Осадок / 0,1	Осадок / 0,1	Осадок / 5
Окисленный H_2O_2 , D = 0,34	Осадок / 0,1	Осадок / 0,1	Осадок / 0,1	Осадок / 5
После фотолиза, D = 0,34	Осадок / 0,3	Осадок / 0,3	Осадок / 0,3	Осадок / 0,3
Окисленный H_2O_2 , D = 0,20	Осадок / 0,2	Осадок / 0,2	Осадок / 0,2	Осадок / 0,2
После фотолиза, D = 0,20	Осадок / 1	Осадок / 1	Осадок / 2	Осадок / 2
Смешивание 0,1 %-го раствора гуминовых веществ с раствором препарата «Эколист мономедь»				
Исходный, D = 0,68	Осадок / 0,1	Осадок / 0,1	Осадок / 0,1	Осадок / 0,2
Окисленный H_2O_2 , D = 0,34	Осадок / 0,2	Осадок / 0,1	Осадок / 1	Следы / 24
После фотолиза, D = 0,34	Осадок / 0,3	Осадок / 4	Осадок / 48	Следы / 48
Окисленный H_2O_2 , D = 0,20	Осадок / 4	Осадок / 4	Осадок / 4	Осадок / 24
После фотолиза, D = 0,20	Осадок / 4	Осадок / 4	Осадок / 24	Нет / 144

Примечание. В числителе – наличие осадка, в знаменателе – продолжительность его образования в часах после смешивания растворов.

При смешивании исходного раствора ГК торфа с раствором сернокислой меди в соотношениях 1:0,3–1:1 образовался осадок в течение 0,1 часа, при этом надосадочные жидкости были бесцветные. Отсутствие окраски у надосадочных жидкостей указывает на полноту осаждения ионов меди и ГК. При смешивании этих же растворов в соотношении 0,5:1 осадок образовался, но лишь спустя 5 часов.

При смешивании исходного раствора ГК торфа с препаратом "Эколист мономедь" во всех исследованных соотношениях осадок образовался в течение 0,1...0,2 часа, несмотря на то, что медь находилась в форме комплексоната.

Окисленные пероксидом водорода ГК до уменьшения их оптической плотности на 50 % ($D = 0,34$) при взаимодействии с раствором сернокислой меди образовали осадок аналогично исходным ГК. В отличие от этого при смешивании с раствором «Эколист мономедь» в соотношении 1:1 осадок образовался не через 0,1 часа, а через 1 час; в соотношении 0,5:1 осадка не было и лишь через 24 часа появились его следы.

Дальнейшее окисление ГК до снижения величины оптической плотности до 0,2 привело к ускорению образования осадка при взаимодействии с раствором сернокислой меди: при всех соотношениях смешиваемых растворов осадок образовался в течение 0,2 часа, в то время как при смешивании исходного раствора ГК с сернокислой медью – лишь через 5 часов. Принципиально важно отметить, что при смешивании раствора глубоко окисленных ГК ($D = 0,20$) с препаратом «Эколист мономедь» в соотношении 0,5:1 осадок также образовался, хотя и через 24 часа, в то время как при смешивании более слабо окисленных ГК ($D = 0,34$) осадка не было. Эти результаты позволяют утверждать, что для получения устойчивых медь-гуминовых растворов не следует осуществлять глубокую деструкцию ГК окислением пероксидом водорода. По-видимому, снижение величины оптической плотности в 2 раза по сравнению с исходной при окислении ГК пероксидом водорода близко к оптимальной степени деструкции их макромолекул для обеспечения устойчивых медь-гуминовых растворов.

В результате фотодеструкции в ГК уменьшаются размеры систем полисопряжения, как и при окислении пероксидом водорода. При смешивании растворов ГК, модифицированных УФ-излучением, с раствором сернокислой меди во всех исследованных вариантах соотношений между этими растворами осадок образуется в течение 0,3 часа, если $D_{440} = 0,34$ и в течение 0,1–0,2 часа, если $D_{440} = 0,20$. При большом снижении оптической плотности методом фотолиза ГК образуют структуры, способные к сравнительно быстрой коагуляции с ионами меди.

В противоположность этому, если медь находится в форме комплексоната, как в растворе

препарата «Эколист мономедь», то при соотношении между смешиваемыми растворами 0,5:1 осадок обнаруживается через 48 часов лишь в виде следов, если у раствора ГК $D = 0,34$, и вообще не наблюдалось осадкообразование в течение 144 часов, если $D = 0,20$. Из этого следует, что в процессе фотолиза из молекул ГК формируются гуминовые вещества, способные находиться в растворе вместе с ионами меди, если последние до смешивания с раствором ГВ находились в форме комплексонатов.

В табл. 2 представлены результаты взаимодействия растворов ГК бурого угля с ионами меди. При смешивании раствора ГК, выделенных из бурого угля карбонатом натрия, с раствором сернокислой меди происходило полное осаждение как ГК, так и ионов меди в течение нескольких минут. Полнота осаждения подтверждается отсутствием окраски у надосадочной жидкости. При смешивании раствора этих же ГК с раствором препарата «Эколист мономедь» осадок образовался лишь через 4 часа, а надосадочная жидкость была окрашена, что указывает на неполноту осаждения ГК и ионов меди, находящихся в форме комплексонатов.

Окисленные пероксидом водорода ГК бурого угля при взаимодействии с сернокислой медью полностью выпали в осадок вместе с ионами меди в течение 4 часов, однако при смешивании раствора окисленных ГК с препаратом «Эколист мономедь» осадок образовался лишь через 48 часов, а надосадочная жидкость была окрашена, т. е. в этом случае полного осаждения ГК и ионов меди не наблюдалось. Аналогичным образом происходило взаимодействие ГК бурого угля, модифицированных световым излучением, с ионами меди в обычной и комплексонатной формах.

Значительно лучшие результаты получены при смешивании исходных и модифицированных растворов ГК, выделенных из бурого угля 0,1 М раствором пирофосфата натрия. При смешивании с раствором сернокислой меди такие ГК полностью выпали в осадок вместе с ионами меди, но при взаимодействии с препаратом «Эколист мономедь» исходные ГК давали небольшой осадок через 24 часа, а модифицированные окислением и световым излучением ГК образовали растворимые медь-гуминовые смеси лишь со следами осадка.

ГК, извлеченные из бурого угля 0,1 н. NaOH, при взаимодействии с раствором сернокислой меди полностью выпадали в осадок вместе с ионами в течение 1 часа, а модифицированные окислением и световым излучением – в течение 4 часов. Эти же ГК при взаимодействии с препаратом «Эколист мономедь» полностью в осадок не выпадали. После окисления и фотолиза они образовали окрашенные растворы со следами осадка, появившегося через 24 часа.

Таким образом, для получения растворимых в воде медь-гуминовых смесей необходимы два условия: во-первых, чтобы ионы меди находились в форме комплексонатов до смещивания с растворами гуминовых веществ, во-вторых, гуминовые вещества должны быть модифициро-

ваны методами окисления или фотодеструкции. Практическая реализация этих подходов позволяет получить растворимые медь-гуминовые биологически активные удобрения в благоприятных для растений соотношениях между ГК и ионами меди.

Таблица 2. Взаимодействие ГК бурого угля, выделенных разными экстрагентами, с водным раствором сернокислой меди и препаратом «Эколоист мономедь» при соотношении 0,5:1

Гуминовый препарат, его оптическая плотность, D	Характеристика осадкообразования	
	ГК + раствор CuSO ₄	ГК + раствор «Эколоист мономедь»
ГК выделены 0,1 н. Na ₂ CO ₃ , растворены в 0,1 н. NaOH		
Исходный раствор ГК, D = 1,1	Осадок, раствор бесцветный / 1	Осадок, раствор окрашен / 4
Исходный раствор ГК + окисление H ₂ O ₂ , D = 0,35	Осадок, раствор бесцветный / 1	Осадок, раствор окрашен / 48
Исходный раствор ГК + фотодеструкция, D = 0,35	Осадок, раствор бесцветный / 4	Осадок, раствор окрашен / 48
ГК выделены 0,1 М Na ₄ P ₂ O ₇ , растворены в 0,1 н. NaOH		
Исходный раствор ГК, D = 1,1	Осадок, раствор бесцветный / 1	Небольшой осадок, раствор окрашен / 24
Исходный раствор ГК + окисление H ₂ O ₂ , D = 0,4	Осадок, раствор бесцветный / 4	Следы осадка, раствор окрашен / 24
Исходный раствор ГК + фотодеструкция, D = 0,4	Осадок, раствор бесцветный / 4	Следы осадка, раствор окрашен / 24
ГК выделены 0,1 н. NaOH, растворены в 0,1 н. NaOH		
Исходный раствор ГК, D = 1,0	Осадок, раствор бесцветный / 1	Осадок, раствор окрашен / 4
Исходный раствор ГК + окисление H ₂ O ₂ , D = 0,4	Осадок, раствор бесцветный / 4	Следы осадка, раствор окрашен / 24
Исходный раствор ГК + фотодеструкция, D = 0,4	Осадок, раствор бесцветный / 4	Следы осадка, раствор окрашен / 24

Примечание. В числителе – наличие осадка, в знаменателе – продолжительность его образования в часах после смещивания растворов.

Л и т е р а т у р а

- Бамбалов Н. Н., Смычник Т. П. Деструкция гуминовых кислот торфа пероксидом водорода // Изв. АН БССР. Сер. хим. наук. 1986. № 3. С. 75–78.
- Горовая А. И., Орлов Д. С., Щербенко О. В. Гуминовые вещества. Киев, 1995.
- Драгунов С. С. Органо-минеральные удобрения и химические характеристики гуминовых кислот // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Харьков. 1957. С. 11–18.
- Ефимов В. Н., Донских И. Н., Кузнецова Л. М. и др. Торф в сельском хозяйстве Нечерноземной зоны: Справ. Л., 1987.
- Коврик С. И. Формирование металл-гуминовых комплексов в процессе очистки сточных вод препаратами на основе торфа: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Мн., 2005.
- Коврик С. Н., Смычник Т. П., Липская Т. И. Осаждение катионов меди и свинца торфощелочными супензиями // Изв. НАН Беларуси. Сер. хим. наук. 2004. № 4. С. 114–116.
- Некрасов Б. В. Основы общей химии. М., 1975. Т. 2. С. 247.
- Самокар О. М., Бамбалов Н. Н. Влияние гидратов окиси аммония и натрия на изменение оптической плотности и pH среды растворов гуминовых веществ торфа при фотолизе // Природопользование. Мн., 2007. Вып. 13. С. 162–165.
- Тишкович А. В. Теория и практика аммонизации торфа. Мн., 1972.

10. Тишкович А. В., Бамбалов Н. Н., Шатихина Т. И. и др. Исследование физико-химических свойств и физиологической активности некоторых фракций гуминовых кислот торфа // Изв. АН БССР. Сер. хим. наук. 1982. № 3. С. 46–52.
11. Христева Л. А. Физиологические функции гуминовой кислоты в процессе обмена веществ высших растений. // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Харьков, 1957. С. 95–108.
12. Ягодин Б. А., Смирнов П. М., Петербурский А. В. и др. Агрохимия. М., 1989.

Н. Н. Бамбалов, О. М. Самокар

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ И
ПРОДУКТОВ ИХ ДЕСТРУКЦИИ С ИОНАМИ МЕДИ**

Исследование направлено на получение устойчивых растворов гуминовых веществ с ионами меди. Гуминовые вещества выделяли из бурого угля Бриневского месторождения и древесно-тростникового торфа из месторождения Хольче путем их обработки карбонатом натрия, пирофосфатом натрия или гидратом окиси натрия при 18–22 °C. Гуминовые кислоты осаждали подкислением щелочных экстрактов 10 %-й соляной кислотой до pH 2. Модификацию гуминовых кислот осуществляли окислением пероксидом водорода и облучением светом с длиной волны 190–700 нм. Ионы меди использовали в виде водного раствора сульфата меди и в форме комплексного соединения.

Результаты исследований показали, что для получения устойчивых растворов гуминовых веществ с ионами меди целесообразно использовать разукрупненные молекулы гуминовых кислот, а медь применять в виде комплексоната.

N. N. Bambalov, O. M. Samokar

**HUMIC MATTERS AND THEIR DESTRUCTION
PRODUCTS INTERACTION WITH COPPER IONS**

The investigation is aimed at the production of stable humic matters solution with copper ions. Humic matters were extracted from brown coals of the Brinevskoye deposit and wood-reed peat of Khol'che deposit through their treatment by potash carbonate, potash pyrophosphate or by potash oxide hydrate at 18–22 °C temperature. Humic acids were precipitated by acidifying with hydrogen peroxide by 10 % potash acid till pH 2. Humic acids modification was done by oxidizing of hydrogen peroxide and light irradiation of 190–700 nm wave length. Copper ions were used as copper sulfate aqueous solution and in the form of complex compound.

Investigations results revealed that to obtain stable humic matters copper solutions with ions it is better to use humic acids molecules of less molecular mass, while copper should be accepted as a complex element.

Т. Я. Кашинская, А. П. Гаврильчик, Н. В. Шевченко

ПРЕВРАЩЕНИЯ ГУМИНОВЫХ И ФУЛЬВОКИСЛОТ В ПРИРОДНЫХ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Представлены результаты исследования количественного и качественного состава гуминовых и фульвокислот в условиях антропогенно нарушенной торфяной залежи при изменении водно-воздушного режима в результате осушения и при саморазогревании торфа в процессе хранения.

Исследование гумусовых веществ имеет двухсотлетнюю историю и не потеряло своей актуальности по сей день. Интерес к данному классу природных соединений связан с многообразием функций гумусовых веществ. Они входят в состав специфической оболочки земного шара – «гумосферы» – колосального аккумулятора энергии. Гумусовые вещества являются определяющими элементами почвообразования, влияют на физические, химические, биологические свойства почв и в итоге на продуктивность наземных экосистем. Несмотря на очевидную важность разработки теоретических основ гумусообразования и химии гумусовых веществ, проблема далека от окончательного решения. Не до конца ясно химическое строение гумусовых веществ как специфического класса природных соединений, что обусловлено чрезвычайной сложностью объекта, его неоднородностью по составу и свойствам, многообразием связей с минеральными компонентами почв, изменчивостью нативной структуры.

В системе функционирования гумусовых веществ особое место занимают исследования, связанные с широким охватом пространственно-временной изменчивости гумусовых веществ [5, 15]. Согласно общей теории гумификации [8, 14], гумусообразование рассматривается как процесс формирования многокомпонентной системы гумусовых веществ, термодинамически устойчивой в конкретной биоклиматической обстановке благодаря соотношению различных групп, фракций, этапов и стадий превращения. При некоторой совокупности условий (гидрологических, термических, окислительно-восстановительных, биохимических и т. д.), характеризующих данную экологическую ситуацию, система гумусовых веществ находится в ней в равновесном состоянии. Кроме того, обладая буферностью, она способна преодолевать внешние воздействия ниже определенного уровня, за чертой которого состояние термодинамического равновесия нарушается. При изменении условий установившиеся в равновесном состоянии пропорции в групповом и фракционном составе гумуса смещаются и стабилизируются на другом уровне, соответствующем новой экологической ситуации.

Торфяные месторождения по площади и глубине обычно представлены различными ти-

пами и видами торфа, состав и свойства которых неодинаково устойчивы перед антропогенным воздействием. Известно [12], что в естественном залегании торф заметно трансформируется только в торфогенном слое, а ниже его химический состав и физико-химические свойства изменяются незначительно. Признано, что торфообразование – это биохимический процесс, в основном происходящий под действием аэробных микроорганизмов, жизнедеятельность которых более интенсивна в благоприятные, т. е. в сухие и теплые, периоды, в течение которых образуется торф с повышенной степенью разложения. С наступлением влажного периода уровень грунтовых вод повышается и деятельность микроорганизмов снижается. Однаковая степень разложения современных и образованных несколько тысяч лет назад торfov свидетельствует о том, что в глубине залежи протекают вторичные химические процессы, интенсивность которых на порядок ниже интенсивности микробиологических процессов торфогенного слоя. Об интенсивности химических процессов, протекающих в глубине залежи, можно судить по данным, полученным В. Е. Раковским с сотр., а именно: по содержанию углерода торфа, имевшие близкий ботанический состав и степень разложения, но залегающие на глубинах от 1,8 до 4,8 м, следовательно, отличающиеся по возрасту на несколько тысяч лет, различались не более чем на 2%; содержание битумов было практически одинаковым; изменения в выходе легкогидролизуемых веществ составили от 2 до 5 % в зависимости от вида торфа [12].

Первая стадия освоения торфяных месторождений – осушение приводит к нарушению установленвшегося равновесия, вызывает активизацию окислительно-восстановительных процессов, повышение микробиологической и ферментативной деятельности. В результате усиливаются гумификация и минерализация органического вещества, скорость которых зависит от степени осушения, продолжительности пребывания в осушенном состоянии, газопроницаемости и интенсивности метеорологического воздействия (солнечного излучения, температуры и т. д.) на поверхность торфяного месторождения. Если на неосушенных торфяных месторождениях зона интенсивной минерализации и

трансформации органического вещества ограничена торфогенным слоем, то после осушения она существенно заглубляется. Можно предположить, что интенсивность превращений гумусовых веществ в начальный период осушения, когда система приходит в состояние равновесия с новой окислительно-восстановительной обстановкой, будет наиболее высокой. Однако этот период до достижения некоторой стабильности должен во многом зависеть как от геоботанической характеристики торфа, так и от степени изменения водно-воздушного режима залежи. Так, при изучении трансформации углеводного комплекса после осушения торфяной залежи верхового торфа показано, что максимальная скорость его превращения наблюдается в первые 3–4 года, постепенно затухая по мере продолжительности нахождения в осушенном состоянии [2].

С целью исследования влияния продолжительности пребывания торфа в осушенном состоянии на состав гуминовых веществ нами проведено изучение гуминового комплекса верхового торфа низкой, средней и высокой степени разложения после 2 и 5 лет хранения в залежи.

Гуминовые вещества (ГВ) экстрагировали из образцов торфа 0,0625 н. раствором NaOH на воздухе путем четырехкратного извлечения при 20–22 °C по 18–20 часов. Соотношение между торфом и раствором щелочи поддерживали 1:100 [1]. Гуминовые кислоты (ГК) осаждали подкислением соляной кислотой до pH ~ 2, отделяли центрифугированием, вымораживали и отмывали от ионов хлора. Для качественных исследований ГК высушивали в вакуумном эксикаторе над осушителем. Фульвокислоты (ФК) выделяли баритным методом. Для этого кислые фильтраты после отделения выпавших ГК объединяли, и в них осаждались фульвокислоты добавлением насыщенного раствора гидрата окиси бария до pH ~ 7–8. Осадок фульватов бария отделяли центрифугированием, трехкратно промывали водой, обрабатывали КУ-2 в Н-форме до pH ~ 1–2 в течение 16–18 часов. Раствор ФК отфильтровывали и пропускали через колонку с КУ-2 в Н-форме. Упаривание раствора ФК производили при 40–50 °C, высушивание – в вакуумном эксикаторе над пятиокисью фосфора. Использовали обезбитуминированные исчерпывающей экстракцией хлороформом образцы торфа.

Анализируя данные табл. 1 об изменении выхода гуминовых веществ в зависимости от продолжительности пребывания образцов в осушенной залежи, приходим к выводу о том, что направление и величина изменений зависят от степени разложения торфа; окислительно-восстановительных условий залежи; продолжительности пребывания образцов в осушенной залежи.

Так, для комплексного верхового торфа со степенью разложения 10 % изменение условий аэрации в первые два года приводит к смещению

равновесия в сторону увеличения выхода как в целом гуминовых веществ, так и ГК и ФК. Продолжение хранения образцов до 5 лет ведет к тому, что процесс изменяется на противоположный и содержание ГВ, и ГК сокращается. При этом в верхней зоне ГК становится меньше, чем в исходном образце. Содержание ФК неизменно увеличивается. При незначительном изменении условий аэрации (невысокая степень осушки) определенное равновесие устанавливается уже в первые 2 года (несколько увеличивается выход ГК).

Для магелланум торфа со степенью разложения 15 %, хранившегося в залежи с высокой степенью осушки (уровень грунтовых вод (УГВ) колеблется от 0,5 до 1,0 м), содержание ГК практически стабилизируется в первые два года, несколько увеличиваясь относительно исходного образца, выход же ГВ уменьшается, за исключением образцов из зоны колебания уровня грунтовых вод. Для образцов из этой зоны характерно увеличение выхода гуминовых веществ. Содержание ФК в торфах осушенной залежи возрастает. Просматривается определяющая роль окислительно-гидролитических процессов в накоплении фульвокислот – большее увеличение выхода ФК в образцах из зоны колебания УГВ.

Для пущево-сфагнового торфа с R = 20 % качнувшееся в первые 2 года после осушки залежи равновесие в сторону уменьшения выхода как ГВ, так и ГК сменяется в последующие годы для образцов из зоны выше УГВ небольшим увеличением выхода ГВ и значительным ростом содержания ГК. Для образцов из нижних слоев залежи возрастает только выход ГК, содержание ГВ меняется мало. В пробах, хранившихся в разрезе № 1 (вблизи осушителя) в течение двух лет, содержание как ГВ, так и ГК сокращается на 10–15 %. Для образцов из более увлажненного разреза № 2 наблюдается некоторое сокращение выхода ГВ, выход ГК практически не меняется. За 5 лет хранения пущево-сфагнового торфа в осушенной залежи выход гуминовых веществ возрос на 5–15 %, а выход гуминовых кислот – на 10–20 %. Эти данные близки полученным в работе [10], где наблюдали увеличение выхода ГК при осушительной мелиорации для верховых торfov невысокой степени разложения.

Сравнение данных о выходе ГВ и ГК образцов магелланум торфа (R – 5 %), хранившихся в течение 2 лет в осушенной (разрез № 1, № 2) и неосушенной (разрез № 3) залежах, с таковыми для исходного образца свидетельствует о протекании процессов преобразования органического вещества, о чем говорит уменьшение выхода щелочнорастворимых веществ с одновременным увеличением выхода ГК; отношение ГК/ГВ существенно возрастает. Эти процессы более интенсивно протекают в осушенной залежи.

Таблица 1. Изменения гуминовых веществ верхового торфа при осушении залежи

Условия хранения		Выход, % на о.в.			Оптическая плотность ГК, D ^{0,01%}	Содержание в ГК, мг-экв/г	
глубина закладки, м	продолжительность, годы	ГВ	ГК	ФК		СООН	ОН
Комплексный верховой, R-10 %							
Исх.	-	18,0	9,8	1,2	0,44	1,49	0,96
Разрез № 1 (УГВ – 0,3–0,8 м)							
0,5	2	20,4	10,3	1,6	0,22	1,39	0,93
0,5	5	18,8	8,4	1,8	0,16	1,28	0,92
1,1	2	21,4	11,4	1,5	0,40	1,17	1,10
1,1	5	20,6	9,8	1,8	0,38	1,04	1,12
Разрез № 2 (УГВ – 0,3–0,5 м)							
0,5	2	17,4	11,4	1,3	0,35	1,45	0,95
0,5	5	18,6	10,9	1,6	0,30	1,40	0,94
1,1	2	18,9	10,4	1,8	0,40	1,21	1,39
1,1	5	18,0	10,7	2,0	0,39	1,19	1,42
Магелланикум, R-15 %							
Исх.	-	33,1	19,4	1,7	0,37	1,39	1,28
УГВ – 0,5–1,0 м							
0,2–0,4	2	30,2	20,9	1,9	0,35	1,50	1,30
0,2–0,4	5	28,0	20,2	2,1	0,34	1,60	1,36
0,4–0,6	2	30,7	20,0	1,9	0,34	1,52	1,35
0,4–0,6	5	28,7	19,3	2,2	0,33	1,63	1,41
0,6–0,8	2	34,8	19,8	2,3	0,25	1,46	0,90
0,6–0,8	5	34,5	19,3	2,6	0,16	1,52	0,84
0,8–1,0	2	30,7	21,6	1,9	0,40	1,38	0,98
0,8–1,0	5	28,2	20,9	2,1	0,41	1,36	0,66
Магелланикум, R-5 %							
Исх.	-	19,0	7,5	-	0,31	-	-
Разрез № 1 (УГВ – 0,25–1,2 м)							
0,5	2	13,4	6,8	-	0,30	-	-
1,4	2	15,0	8,4	-	0,30	-	-
Разрез № 2 (УГВ – 0,15–0,85 м)							
0,5	2	17,2	9,4	-	0,37	-	-
1,4	2	14,1	9,5	-	0,31	-	-
Разрез № 3 (УГВ – 0,0–0,2 м)							
0,5	2	14,3	8,5	-	0,32	-	-
1,4	2	15,6	8,7	-	0,31	-	-
Пушицево-сфагновый, R-40 %							
Исх.	-	51,7	42,9	-	0,48	-	-
Разрез № 1 (УГВ – 0,25–1,2 м)							
0,5	2	44,0	38,9	-	0,46	-	-
1,4	2	38,7	36,0	-	0,56	-	-
Разрез № 2 (УГВ – 0,15–0,85 м)							
0,5	2	44,1	40,8	-	0,50	-	-
1,4	2	43,4	40,9	-	0,54	-	-
Разрез № 3 (УГВ – 0,0–0,2 м)							
0,5	2	40,8	36,6	-	0,51	-	-
1,4	2	44,3	38,9	-	0,53	-	-
Пушицево-сфагновый, R-20%							
Исх.	-	30,1	19,8	-	0,22	-	-
Разрез № 1 (УГВ – 0,5–0,8, м)							
0–0,2	2	28,0	16,7	-	0,34	-	-
0–0,2	5	31,6	24,8	-	0,39	-	-
0,2–0,4	2	27,7	16,9	-	0,23	-	-
0,2–0,4	5	31,2	26,5	-	0,26	-	-
0,4–0,6	2	26,2	16,2	-	0,19	-	-
0,4–0,6	5	32,5	25,3	-	0,26	-	-
0,6–0,8	2	26,6	17,6	-	0,24	-	-
0,6–0,8	5	29,5	23,3	-	0,30	-	-
0,8–1,0	2	25,2	18,0	-	0,23	-	-
0,8–1,0	5	28,2	25,0	-	0,34	-	-

Окончание табл. 1

Условия хранения		Выход, % на о.в.			Оптическая плотность ГК, D ^{0,01%}	Содержание в ГК, мг-экв/г	
глубина закладки, м	продолжительность, годы	ГВ	ГК	ФК		СООН	ОН
Разрез № 2 (УГВ – 0,2–0,4 м)							
0–0,2	2	28,5	18,8	-	0,38	-	-
0–0,2	5	30,1	20,2	-	-	-	-
0,2–0,4	2	28,2	19,1	-	-	-	-
0,2–0,4	5	30,2	21,6	-	-	-	-
0,4–0,6	2	25,7	17,2	-	-	-	-
0,4–0,6	5	31,5	17,2	-	-	-	-
0,6–0,8	2	29,5	20,7	-	-	-	-
0,6–0,8	5	30,7	23,0	-	-	-	-

В отличие от малоразложившегося магелланитум торфа, для щелочнорастворимых веществ которого характерно высокое отношение ГВ/ГК (1,5–3,0), для пущицово-сфагнового торфа с $R = 40\%$ это отношение колеблется в пределах 1,02–1,20. Если для магелланитум торфа выход ГК после двухлетнего пребывания в залежи в основном увеличивается, то для пущицово-сфагнового уменьшается при сохраняющейся тенденции к сокращению отношения ГВ/ГК. Определенной зависимости в изменении выхода и качественного состава гуминовых кислот от глубины расположения при хранении образцов пущицово-сфагнового торфа не установлено.

Гуминовые и фульвокислоты представляют собой высокомолекулярные вещества и характеризуются полидисперсностью состава [9]. Метод гельфильтрации, основанный на фракционировании веществ по молекулярным весам, дает ценную информацию о полидисперсности ГК и, соответственно, о структурных изменениях в системе гуминовых веществ при тех или иных воздействиях. С целью исследований закономерностей превращения гуминовых веществ в окислительно-восстановительных условиях осушеннной залежи проведено фракционирование ГК на сепадексах G–100, G–150, G–200, ФК – на сепадексах G–25 и G–50.

Общей тенденцией в изменении молекулярно-массового распределения ГК, выделенных из образцов торфа, хранившихся в различных окислительно-восстановительных условиях осушеннной залежи в течение 2 и 5 лет, является увеличение структурной однородности гуминовых кислот, отражающееся прежде всего в уменьшении содержания низкомолекулярных фракций в их составе. Гельхроматограммы характеризуются смещением основного пика в более высокомолекулярную область.

Для ГК характерны активные и разнообразные формы взаимодействия с электромагнитными колебаниями практически во всех интервалах длин волн. Поглощение света гумусовыми веществами в видимой и ультрафиолетовой об-

ластих спектра монотонно убывает по мере увеличения длины волны, что до некоторой степени лишает спектры специфичности. Но высокая интенсивность поглощения света позволяет применять спектрофотометрический анализ в качестве индикаторного и диагностического метода при изучении гуминовых кислот. О структурных превращениях ГК судят, как правило, по сравнению интенсивности поглощения света при 465 нм.

В табл. 1 представлены данные о содержании в ГК карбоксильных и фенольных гидроксилов и оптической плотности при 465 нм 0,01 % растворов ГК магелланитум ($R = 15\%$) и комплексного верхового торфа ($R = 10\%$). Величина оптической плотности существенно изменяется только для образцов, находившихся в кислороднасыщенных условиях. В ГК образцов, хранившихся в зоне постоянного стояния грунтовых вод, уменьшается количество карбоксильных групп и возрастает количество фенольных гидроксилов. В образцах из верхних слоев залежи пребывание в осушенной залежи приводит к увеличению количества кислородсодержащих функциональных групп.

Для малоразложившегося магелланитум торфа ($R = 5\%$) процессы преобразования органического вещества, интенсивность которых обусловлена в большей мере условиями аэрации, приводят к изменению качественного состава гуминовых кислот. Так, судя по данным ИК спектроскопии, образцы магелланитум торфа ($R = 5\%$) из верхних слоев залежи обогащаются алифатическими фрагментами (растет интенсивность полосы 2930 см^{-1}) и кислотными группами (возрастает интенсивность полос 2600 и 1720 см^{-1}).

Для пущицово-сфагнового сильноразложившегося торфа ($R = 40\%$) заметных изменений в химическом составе ГК за 2 года хранения в залежи, судя по данным ИК спектроскопии, не происходит.

Пребывание образцов пущицово-сфагнового торфа ($R = 20\%$) в различных окислительно-восстановительных условиях осушеннной залежи в течение 2 лет приводит к повышению оп-

тической плотности выделенных из него ГК, что свидетельствует об увеличении содержания ароматических фрагментов (табл. 1). Удлинение срока хранения торфа до 5 лет ведет к дальнейшему повышению оптической плотности, что наряду с повышением выхода ГВ и ГК говорит о протекании процессов трансформации органического вещества (ОВ). Процессы преобразования ОВ находят свое отражение и в данных ИК спектроскопии. Для ГК образцов торфа, хранившихся в верхних слоях залежи на глубине до 40 см, на фоне широкой полосы валентных колебаний гидроксильных групп появляется выступ при 3100 см^{-1} , отвечающий группам NH, усиливающийся с продолжительностью хранения. Возрастает интенсивность поглощения в области валентных колебаний метиленовых групп 2920 см^{-1} в ГК образцов торфа, хранившихся на глубине 60–100 см в течение 2 лет. После 5 лет пребывания образцов в осушеннной залежи полоса 2920 см^{-1} заметно возрастает и в ГК образцов из остальных зон, кроме образца из самого верхнего слоя. Постоянно протекающий процесс окисления, усиливающийся в зоне колебания УГВ, приводит к возрастанию интенсивности полосы 1720 см^{-1} , что свидетельствует о повышении содержания карбоксильных групп. Через 5 лет хранения более заметной становится полоса 1510 см^{-1} , приписываемая ароматическим C=C связям, что объясняет и упомянутое выше возрастание оптической плотности.

Данные ИК спектроскопии ФК, выделенных из образцов пушицево-сфагнового торфа ($R = 20\%$), хранившихся в различных окислительно-восстановительных условиях осушеннной залежи в течение 2 и 5 лет, свидетельствуют о том, что в системе гуминовых веществ менее устойчивыми и более подвижными элементами являются ФК. Это подтверждается значительными структурными перестройками в их химическом составе. Так, в ИК спектрах ФК, выделенных из образцов, хранившихся в течение 2 лет в обводненных участках осушенной залежи, очень резко фиксируются полосы валентных колебаний алканов при 2910 и 2860 см^{-1} . Для этих же образцов интенсивность колебаний карбоксильных групп при 1720 см^{-1} значительно выше, чем для исходных ФК. В препаратах ФК после 5 лет хранения содержание алканов находится на уровне ФК исходных образцов, но содержание карбоксильных групп выше.

Различные условия торфообразования, обусловленные в основном минеральным режимом торфяных месторождений, реализуемых на верховых и низинных залежах, приводят к тому, что как количественно, так и качественно состав гуминовых веществ неодинаков. В ГК торфов низинного типа преобладает периферическая часть, состоящая из алифатических цепей, обогащенных амидно-углеводными радикалами [3].

Для различных почв отмечено увеличение содержания ФК с повышением кислотности и увлажнения. Кислая реакция среды, характерная для верховых залежей, способствует гидролизу ГК и снижает активность микроорганизмов, разлагающих органическое вещество. В условиях высокой биологической активности в низинных залежах ФК, как менее устойчивые, разлагаются быстрее и доля их уменьшается.

При исследовании лесных торфяных почв низинного типа Т. Т. Ефремовой [7] показано, что глубина и направленность трансформации органического вещества тесно связаны со степенью осушки. Чем она интенсивнее, чем выше темпы минерализации, тем активнее образуются гумусовые и фульвокислоты. Работ же по изучению изменений в химическом составе ФК при осушительной мелиорации торфяных месторождений как верхового, так и низинного типа нет.

Для исследования превращений гуминовых веществ низинного торфа нами были использованы образцы древесно-осокового торфа со степенью разложения 35 %, хранившиеся на разной глубине в осушеннной залежи в течение 2 лет. Для всех образцов, за исключением хранившихся в самых верхних слоях залежи, наблюдается сокращение выхода как ГВ, так и ГК (табл. 2). Данные гельхроматографии свидетельствуют о структурных перестройках в ГК: в составе ГК проб, хранившихся в верхних слоях залежи, сокращается содержание низкомолекулярной фракции. В образцах из зоны колебания УГВ выраженной низкомолекулярной фракции не наблюдается. Для ГК образцов, хранившихся в более осушном разрезе залежи № 1 и в верхнем слое разреза № 2, отмечается увеличение количества кислородсодержащих групп.

Сняты электронные спектры поглощения 0,01 % щелочных растворов ГК на спектрофотометре «Спекорд-М40». Несмотря на то что поглощение света в видимой и ультрафиолетовой областях спектра монотонно убывает по мере увеличения длины волны, что в некоторой степени лишает спектры специфичности, анализ полученных спектров позволяет заключить, что в системе гуминовых веществ древесно-осокового торфа при его хранении в осушеннной залежи происходят преобразования, зависящие от окислительно-восстановительной обстановки. Величина оптической плотности щелочных растворов при длине волны 485 нм изменяется для ГК образцов, хранившихся в разных слоях залежи: для ГК проб разреза № 1 и нижних проб разреза № 2 возрастает и только для ГК образца из слоя 0,2–0,4 м разреза № 2 падает. Зависимость величины оптической плотности от химического состава ГК довольно сложна, т. к. в состав ГК входит большое количество хромофорных групп, как-то: ароматические ядра, хиноидные и фенольные группировки, азотсодержащие группы,

непредельные алифатические связи, сопряженные с ароматическим ядром. Поэтому сделать определенные выводы о характере изменений в

химическом составе ГК на основе изменений оптической плотности проблематично, но можно констатировать, что они происходят.

Таблица 2. Изменения гуминовых веществ низинного торфа при осушении залежи

№ разреза	Глубина закладки, м	Выход, % на о.в.		Содержание в ГК мг-экв/г ОН+СООН	Оптическая плотность, D _{0,01%}	
		ГВ	ГК		ГК	ФК
	Исх.	25,7	17,1	3,70	0,235	0,125
1	0–20	24,3	11,6	—	—	—
1	20–40	24,2	14,9	4,45	0,310	—
1	40–60	14,5	10,5	3,90	0,330	—
1	60–80	19,2	11,9	3,90	0,310	—
2	0–20	27,7	20,1	—	—	—
2	20–40	16,5	12,6	3,95	0,185	—
2	40–60	21,0	14,5	3,70	0,250	0,165
2	60–80	14,8	12,6	3,70	0,320	—
2	80–100	21,5	14,5	3,75	0,350	0,215

Исследование ФК древесно-осокового торфа химическими и спектральными методами позволило сделать определенные выводы о характере преобразований ФК в осушенной залежи. Так, согласно данным гельфильтрации, в нижних слоях осушенной залежи накапливаются более низкомолекулярные ФК. Анализ ИК спектров ФК, выделенных из образцов, хранившихся в различных окислительно-восстановительных условиях осушенной залежи, свидетельствует об их структурной неустойчивости: ИК спектры ФК образцов из разных слоев существенно отличаются. Так, в ФК после хранения в осушенной залежи значительно падает содержание полисахаридов (уменьшается интенсивность полосы при 1080 см⁻¹, исчезает полоса при 480 см⁻¹). В спектре ФК образца, хранившегося на глубине 0,4–0,6 м, появляется небольшой интенсивности полоса при 700 см⁻¹, приписываемая внеплоскостным деформационным колебаниям С–Н групп ароматических колец, содержащих несколько незамещенных атомов водорода. Большое количество малозамещенных ароматических структур находится в составе ФК образца из слоя 0,6–0,8 м. Для этого образца фиксируется узкая полоса при 3030 см⁻¹ валентных колебаний =CH, интенсивные узкие полосы при 1500 и 1450 см⁻¹ плоскостных колебаний C=C, узкая и интенсивная полоса внеплоскостных деформационных колебаний C–H при 700 см⁻¹. В ИК спектре этого образца фиксируется также полоса при 750 см⁻¹, что, возможно, совместно с более интенсивным поглощением в области валентных колебаний свидетельствует о наличии длинных алифатических цепей (CH₂)_n с n > 4. ФК образца, хранившегося на глубине 0,8–1,0 м, отличается от ФК исходного торфа меньшей интенсивностью поглощения при 1080 см⁻¹ и отсутствием поглощения при 480 см⁻¹ полисахаридных фрагментов. Судя по данным ИК спектроскопии, в составе этого образца велико содержание фенольных гидроксильных (поглощение при 1240 см⁻¹ C–O фенольных групп) и валентных колебаний гидро-

ксильных групп при 3400 см⁻¹) и карбоксильных групп (полоса 1720 см⁻¹).

Полученные данные свидетельствуют о том, что осушение низинной залежи приводит к ускоренному преобразованию органического вещества торфа.

Таким образом, проведенные исследования дают основание утверждать, что наиболее принципиальные изменения органическое вещество торфа претерпевает в первые 2 года после изменения водоно-воздушного режима в результате осушки: протекает процесс приспособления к изменившимся условиям. Причем торфа малой степени разложения быстрее приходят в состояние равновесия с окружающей средой (определенный уровень изменений достигается за 2 года, далее наблюдаемые превращения ГК не столь значительны). Для торfov средней степени разложения процесс трансформации продолжается и по прошествии 5 лет.

При оценке данных современной и классической литературы, где сравниваются гуминовые и фульвокислоты и их превращения в почве, можно обнаружить различные мнения по вопросу о связях между этими двумя группами веществ. Исходя из того, что ФК обычно более окислены, лучше растворяются в воде и имеют меньшие молекулярные массы, чем ГК, они могут рассматриваться либо как предшественники ГК, либо как продукты их разложения, либо как самостоятельные вещества [4, 6]. На основе анализа полученных результатов следует согласиться с высказанный Ш. Тейтом [13] точкой зрения, что ФК необходимо рассматривать и как предшественник, и как продукт трансформации ГК. Наши результаты совпадают с литературными представлениями о высокой стабильности ГК и лабильности ФК.

Саморазогревание и самовозгорание различных растительных материалов и горных пород как естественное явление в природе наблюдается издавна и сопровождается потерями органического вещества, изменением качества сы-

ря, нередко пожарами. При изучении изменений, происходящих с ГК при саморазогревании торфа, установлено, что при хранении торфа при температуре до 70 °С количество гуминовых кислот снижается. При повышении температуры штабеля до 75–80 °С выход ГК увеличивается, при этом возрастает доля циклически полимеризованного углерода к углероду боковых цепей. Уменьшается молекулярная масса ГК [11]. Это увеличение выхода связывают с происходящим в процессе саморазогревания синтезом гуминоподобных веществ по реакции меланоидинообразования из углеводов и аминокислот торфа. Длительное хранение при температурах выше 80 °С приводит к снижению количества ГК в связи с течением реакций декарбоксилирования и превращением ГК в нерастворимые в щелочи соединения.

Важным элементом функционирования системы гуминовых веществ являются ФК. Однако работы по исследованию изменения состава и свойств ФК в процессе саморазогревания торфа не проводились. Рассматривая саморазогревание до 70–85 °С как экстремальное природное явление, изучение превращений гуминовых веществ при этом позволит оценить степень их устойчивости в окружающей среде.

В зависимости от условий хранения наблюдаются значительные изменения выхода ФК (табл. 3). Так, для образцов пушицево-сфагнового торфа максимальное увеличение выхода ФК составляет 53 %. Это увеличение характерно для образца, прогревшегося до наиболее высокой температуры (74 °С) и хранившегося вблизи поверхности ($h = 0,6$ м). Увеличение продолжительности хранения со 127 до 198 дней приводит к сокращению выхода ФК. При хранении образцов тростниково-осокового торфа в греющемся штабеле наблюдается значительное увеличение выхода ФК (максимально в 3 раза), причем более значительное для образцов, имевших высокую влажность при закладке. В образовании ФК, по-видимому, важную роль играют окислительные процессы, поскольку, как правило, выход ФК выше из образцов, хранившихся вблизи поверхности, следовательно, лучше обеспеченных кислородом, даже при условии равенства максимальных температур.

ФК, выделенные из исходного пушицево-сфагнового торфа, согласно данным ИК-спектроскопии, содержат значительное количество углеводных фрагментов (большая интенсивность полос глюкозидных связей при 1080 и 450 см⁻¹). В процессе хранения торфа в греющемся штабеле в составе выделенных из него ФК сокращается содержание углеводных фрагментов: уменьшается поглощение при 1080 см⁻¹, причем, тем значительнее, чем выше температура разогревания. Увеличивается содержание фенольных гидроксилов (поглощение при 1240 см⁻¹) и карбоксильных групп (полоса при 1720 см⁻¹).

ФК, выделенные из прогревшихся до 82 °С образцов низинного тростниково-осокового тор-

фа, характеризуются низким содержанием в их составе углеводных фрагментов, высоким содержанием фенольных гидроксилов и карбоксильных групп. Содержание последних выше в образцах, имевших более высокую исходную влажность.

Протекающие при саморазогревании торфа термоокислительные процессы приводят к синтезу ФК, отличающихся невысокой молекулярной массой, малым количеством заместителей при ароматических структурах и большим содержанием ионогенных групп, что вместе взятое и приводит к увеличению растворимости фульвокислот. Известно [12], что при хранении в разогревшихся складочных единицах в составе торфа в несколько раз возрастает содержание водорастворимых веществ за счет моно- и олигосахаров, низкомолекулярных органических кислот. Кроме того, как нами показано ранее [8], в водной вытяжке накапливается большое количество гуминоподобных веществ. Из них одна часть выпадает при подкислении соляной кислотой до pH = 2 – гуминовые кислоты; другая – при подщелачивании раствора гидроокисью бария – фульвокислоты. Элементный состав таких гуминоподобных веществ соответствует критериям Орлова по содержанию С и Н для ГК и ФК. ИК спектры также соответствуют таковым и отличаются от щелочновыделенных ГК более интенсивными полосами поглощения С–О связи пиранозных колец (следовательно, значительным присутствием фрагментов углеводного характера), меньшей интенсивностью полос как валентных, так и деформационных колебаний алифатических групп. Сравнение ИК спектров и данных гельхроматографии ФК, выделенных из водной и щелочной вытяжек, показывает, что при высоких температурах разогревания состав их практически совпадает.

Проведенные исследования изменения выхода и химического состав ГК и ФК в природных окислительных процессах позволяют сделать следующие выводы.

1. Изменение водно-воздушного и температурного режимов хранения торфа вызывает значительные структурные перестройки в системе гуминовых веществ.

2. В условиях антропогенно нарушенной торфяной залежи в результате осушения химические превращения гуминовых веществ определяются окислительно-восстановительной обстановкой залежи, продолжительностью пребывания в осушеннной залежи и зависят от геоботанической характеристики торфа. Общей тенденцией в преобразовании органического вещества торфов является сокращение отношения ГВ/ГК, т. е. возрастание доли гуминовых кислот в составе щелочнорастворимых веществ.

3. Наиболее активно процессы трансформации органического вещества торфа в осушенней залежи протекают в зоне колебания уровня грунтовых вод и ведут к накоплению ФК.

Таблица 3. Изменение химического состава пушицево-сфагнового торфа при саморазогревании

Наиме- но- вание образца	Продол- житель- ность хране- ния	Глубина при вы- емке, м	Темпе- ратура разо- гревания, °C	Влажность, %		Золь- ность, %	рН водной вытяжки	Содержание, % на о. в.								
				ВР				ЛГ	ГВ	ГК	ФК					
				при заклад- ке	при выемке											
Пушицево-сфагновый торф, R – 25–30 %																
1	Исх.	–	–	–	–	5,0	4,62	4,1	–	0,0	22,3	42,7	30,6	2,8		
2	127	0,6	56 (72)	71,6	60,9	6,2	2,91	19,1	–	2,9	9,7	53,3	33,1	3,3		
3	127	1,0	64 (71)	71,6	62,9	6,2	2,98	17,5	–	1,9	12,1	52,5	29,6	3,0		
4	127	1,4	64 (67)	71,6	66,3	6,0	3,20	13,2	–	0,4	16,8	41,9	24,5	3,3		
5	127	0,6	54 (74)	52,7	46,2	5,7	2,81	20,2	–	4,4	7,7	56,8	31,6	3,7		
6	127	0,9	60 (72)	52,7	43,9	5,9	2,83	19,8	–	3,5	6,9	58,2	33,9	3,4		
7	127	1,2	64 (70)	52,7	46,4	5,6	2,95	17,8	–	1,0	8,0	50,9	27,1	2,3		
8	127	1,5	65 (66)	52,7	49,2	5,6	3,12	13,8	–	1,7	10,2	42,3	22,7	0,8		
9	198	0,2	45	52,7	73,6	5,5	4,70	4,2	–	1,8	20,9	40,6	31,8	2,6		
10	198	0,5	56 (60)	52,7	70,4	6,3	4,41	8,7	–	4,3	16,1	48,9	38,8	3,3		
11	198	0,9	58 (72)	52,7	64,6	5,9	4,15	7,7	–	1,2	8,8	51,6	42,2	2,3		
12	198	1,1	56(72))	52,7	53,5	5,8	3,54	15,2	–	3,1	7,9	54,5	35,7	2,6		
13	198	1,3	56(71)	52,7	48,9	5,6	3,10	16,5	–	2,8	8,8	52,6	29,7	2,9		
14	198	1,6	56(63)	52,7	49,3	5,3	3,20	14,3	–	1,1	10,3	50,4	25,1	2,7		
Тростниково-осоковый торф, R – 25 %																
1	Исх.	–	–	–	–	11,6	5,02	2,2	0,0	0,0	26,6	23,3	17,9	1,3		
2	154	1,0	76	40,7	52,6	13,3	4,38	5,6	1,3	3,3	14,9	52,3	40,3	2,8		
3	154	1,20	78–80	40,7	6,5	10,9	3,77	7,5	0,0	1,9	9,5	56,1	33,2	3,5		
4	154	1,5	80–32	40,7	6,6	11,7	3,78	10,3	0,0	1,4	11,7	46,5	25,9	2,4		
5	154	1,6	65–70	40,7	61,9	10,3	4,90	4,6	0,3	0,0	21,3	23,2	12,9	2,5		
6	154	0,9	70	69,1	11,2	11,7	3,60	11,2	0,0	2,8	13,5	63,9	39,9	4,1		
7	154	1,2	74	69,1	7,6	12,3	3,50	12,2	0,0	2,8	10,2	50,3	30,4	3,3		
8	154	1,5	80–82	69,1	12,4	10,2	3,50	12,0	0,0	2,8	10,8	53,8	29,7	3,9		
9	154	1,7	70	69,1	54,5	9,3	4,66	3,7	0,2	0,0	18,6	–	14,8	1,1		

4. С увеличением продолжительности пребывания торфа в осушенней залежи в ГК образцов из верхних слоев залежи возрастает количество карбоксильных и азотсодержащих групп, а в таковых их нижних слоев – полисахаридных фрагментов и фенольных групп. Доля низкомолекулярных фракций в их составе сокращается, при этом для ГК образцов из верхних слоев залежи молекулярная масса основного высокомолекулярного пика падает, для ГК из нижних слоев – возрастает. Напротив, в нижних слоях залежи накапливаются низкомолекулярные ФК, а в

верхних наблюдается относительное увеличение молекулярной массы ФК.

5. В системе гуминовых веществ менее устойчивым и более подвижным элементом являются ФК.

6. Протекающие при саморазогревании торфа окислительно-гидролитические процессы приводят к накоплению ФК, отличающихся низкой молекулярной массой, содержанием малозамещенных ароматических колец и большим количеством ионогенных групп.

Л и т е р а т у р а

1. **Бамбалов Н. Н., Беленькая Т. Я.** Методика фракционно-группового анализа органического вещества торфяных почв // Мелиорация и проблемы органического вещества. Мн., 1974. С. 92–102.
2. **Гаврильчик А. П., Маль С. С., Сероокая А. А.** и др. Изменения свойств торфа в процессе до-бычи // Торф. пром-сть. 1988. № 12. С. 23–26.
3. **Гаврильчик А. П., Маль С. С., Стригуцкий В. П.** и др. Влияние условий торфообразования на физико-химические свойства гуминовых кислот // Весці АН БССР. Сер. хім. науок. 1988. № 3. С. 101–105.
4. **Гришина Н. А.** Гумусообразование и гумусовое состояние почв. М., 1986.
5. **Дергачева М. И.** Органическое вещество почв: статика и динамика. Новосибирск, 1984.
6. **Дергачева М. И.** Система гумусовых веществ почвы. Новосибирск, 1989.
7. **Ефремова Т. Т.** Гумус и структурообразование в лесных торфяных почвах Западной Сибири: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 1990.
8. **Кашинская Т. Я., Фалюшин П. Л., Шевченко Н. В.** Изменение гуминовых веществ при автоокислении торфа // Науч. докл. высшей школы. Биол. науки. 1991. № 10 (334). С. 28–33.
9. **Орлов Д. С.** Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М., 1990.
10. **Плоткина Ю. М.** Изменение гумусовых кислот низинного торфа при сельскохозяйственном освоении торфяных почв // Физико-химические, геохимические и микробиологические процессы мелиорированных почв Полесья. Мн., 1974. С. 77–102.
11. Превращения торфа и его компонентов в процессе саморазогревания при хранении / Под общ. ред. Н. С. Панкратова. Мн., 1972.
12. **Раковский В. Е., Пигулевская Л. В.** Химия и генезис торфа. М., 1978.
13. **Тейт Ш. Р.** Органическое вещество почвы. М., 1991.
14. **Туев Н. А.** Микробиологические процессы гумусообразования. М., 1989.
15. **Ширшова Л. Т.** Полидисперсность гумусовых веществ почв. М., 1991.

T. Я. Кащинская, A. P. Гаврильчик, N. V. Шевченко

ПРЕВРАЩЕНИЯ ГУМИНОВЫХ И ФУЛЬВОКИСЛОТ В ПРИРОДНЫХ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Представлены результаты исследования изменений количественного и качественного состава гуминовых и фульвокислот в условиях антропогенно нарушенной торфяной залежи при изменении водно-воздушного режима в результате осушения и при саморазогревании в процессе хранения.

Для выделения гуминовых веществ были использованы усредненные образцы верховых и низинных торфов, хранившиеся в различных горизонтах осущенной залежи в течение 2 и 5 лет, а также хранившиеся на разных глубинах в течение 3–6 месяцев в греющихся складочных единицах добывшего фрезерным способом торфа. Для характеристики гуминовых и фульвокислот использованы методы химического и спектрального анализов. Молекулярно-массовое распределение оценивали методом гельфильтрации на сефадексах.

Показано, что изменение водно-воздушного и температурного режимов хранения торфа вызывает значительные структурные перестройки в системе гуминовых веществ. В условиях антропогенно нарушенной торфяной залежи в результате осушения химические превращения гуминовых веществ определяются окислительно-восстановительной обстановкой залежи, продолжительностью пребывания в осущенной залежи и зависят от геоботанической характеристики

торфа. Общей тенденцией в преобразовании органического вещества торфов является возрастание доли гуминовых кислот в составе щелочнорастворимых веществ. По мере увеличением продолжительности пребывания торфа в осушенной залежи в ГК образцов из верхних слоев залежи возрастает количество карбоксильных и азотсодержащих групп, а в таковых из нижних слоев – полисахаридных фрагментов и фенольных групп. Доля низкомолекулярных фракций в их составе сокращается. В нижних слоях залежи накапливаются низкомолекулярные ФК, а в верхних, напротив, наблюдается относительное увеличение молекулярной массы ФК.

Протекающие при саморазогревании торфа окислительно-гидролитические процессы приводят к накоплению ФК, отличающихся низкой молекулярной массой, содержанием малозамещенных ароматических колец и большим количеством ионогенных групп.

T. Ya. Kashinskaya, A. P. Gavrilchik, N. V. Shevchenko

**HUMIC AND FULVIC ACIDS TRANSFORMATIONS IN
NATURAL OXIDATIVE CONDITIONS**

Investigation results of the variation of qualitative and quantitative humic and fulvic acid composition variation in the conditions of anthropogenically damaged peat deposit under change of water-air mode due to drainage and under self-ignition in the storage process have been presented.

To extract humic acids an averaged samples of raised and low-mire peats have been used, stored in various horizons of drained deposit within 2 and 5 years, as well as stored at various depths within 3–6 months in heating storage units of the milled peat. To feature humic and fulvous acids the methods of chemical and spectral analysis have been applied. Molecular-mass distribution was assessed by sedafex gel-filtration method.

It has been shown that change of water-air and temperature peat modes storage induces comprehensive structural reconstructions in humic matters system. In the conditions of anthropogenically damaged peat deposits due to drainage humic matters chemical transformations are determined by oxidation-restoration deposit environment, duration of stay in a drained deposit and depend on geo-botanical peat characteristics. A general tendency in peat organic matter transformation is humic matter share increase in alkali-soluble matters composition. The stay of the duration of peat in a drained deposit increases, the samples of HA from the top horizon layers has a carboxylic and nitrogen-containing groups increase, as in these ones from bottom layers – polysaccharide and phenol groups. A low-molecular fracture share in their composition reduces. In bottom deposit layers low-molecular PG accumulates, and in top ones, vice versa, a relative increase of PG molecular mass is surveyed.

The running at peat self-heating oxidation-hydrolytic processes result in PG accumulation, specific with low molecular mass, content of little-replaced aromatic rings and great number of ion containing groups.

В. В. Марыганова, Л. Шайдак, Л. Ю. Тычинская

ОСОБЕННОСТИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ПОЧВ ПОД ЛЕСОПОЛОСАМИ РАЗЛИЧНОГО ВОЗРАСТА В АГРОЛАНДШАФТЕ

С использованием методов гель-хроматографии, электронной и ^{13}C ЯМР-спектроскопии исследованы особенности молекулярной структуры гуминовых кислот (ГК), выделенных 0,1 н. NaOH и 0,1 М $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ при $\text{pH} = 7$ из почв под лесополосами различного возраста (14- и 160-летней) и прилегающих к ним пахотных полей, расположенных на территории Костяньской равнины (40 км к югу от г. Познань, Польша). ГК щелочных экстрактов из почв под обеими лесополосами более высокомолекулярные, имеют более высокое содержание ароматического углерода и развитые системы полисопряжения по сравнению с ГК пахотных полей. ГК, экстрагированные 0,1 М $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ при $\text{pH} = 7$ из почвы молодой лесополосы, характеризуются меньшим количеством ароматического и карбоксильного, более высоким содержанием гетерозамещенного алифатического углерода и меньшими размерами систем полисопряжения, чем ГК прилегающего пахотного поля, т. е. являются более молодыми по сравнению как с ГК пахотного поля, так и с ГК почвы под старой лесополосой.

Упрощение структуры агроэкосистем, связанное с интенсификацией сельскохозяйственного производства, повышает опасность ветровой и водной эрозии, вымывания и улетучивания химических веществ из почвы. Усовершенствование пропускной способности различных химических соединений в сельском регионе может быть достигнуто через мозаичную дифференциацию структуры сельскохозяйственного ландшафта [6]. Одним из методов контролирования круговорота веществ в агроландшафте является создание биогеохимических барьеров в форме лесополос. Лесополосы принадлежат к стабильным элементам ландшафта, которые сдерживают эрозию почвы, улучшают микроклимат для сельскохозяйственного производства, регулируют водный режим, а также обладают способностью уменьшать концентрацию многих химических элементов, мигрирующих с грунтовыми водами с культивируемых полей [7, 8].

Установлено, что наибольшее влияние на физико-химические свойства верхних горизонтов почв оказывает возраст лесополосы, от которого в наибольшей степени зависит содержание органического вещества. В почвах под лесополосами содержание органического углерода и общего азота обычно выше, чем в почвах прилегающих к ним пахотных полей, причем в тем большей степени, чем больше возраст лесополосы [4, 8]. В наших предыдущих исследованиях показано, что химическая структура гуминовых кислот (ГК) почв под лесополосами зависит от вида почв и расстояния от края лесополосы, а трансформация соединений азота в почве под лесополосами тесно связана с процессами гумификации и молекулярной структурой ГК [11].

Цель работы – сравнительное изучение особенностей молекулярной структуры ГК почв под лесополосами различного возраста и примыкающих к ним пахотных полей для лучшего понимания роли гуминовых веществ в функциони-

ровании лесополос в качестве биогеохимических барьеров в агроландшафте.

Исследования проведены на территории агроландшафтного парка около г. Турев (40 км к югу от г. Познань, Костяньская равнина, Польша). 70 % этой территории составляют пахотные поля, 14 % – лесополосы и небольшие засаженные лесом участки. Объектами исследований послужили ГК, выделенные из почв под лесополосами различного возраста, видового состава деревьев и содержания органического вещества в почве, а также из почв прилегающих к ним пахотных полей. Одна из лесополос была заложена 160 лет назад (старая), вторая – 14 лет назад (молодая). Старая лесополоса состоит из *Robinia pseudoacacia* с примесью *Quercus pentrea* и *Quercus robur*. Молодая лесополоса засажена *Quercus pentrea*, *Quercus robur*, *Larix decidua*, *Pinus sylvestris*, *Sorbus aucuparia* и некоторыми другими видами деревьев (всего 24 вида).

Пробы почв отобраны в 10 точках поверхностных горизонтов (0–20 см) в середине лесополос и в 100 м от лесополос в примыкающих к ним пахотных полях. Полученный почвенный материал был перемешан, созданы средние пробы. Пробы высушены на воздухе и просеяны через сито с диаметром 1 мм. В исследуемых почвах определяли $\text{pH}_{\text{водной}}$, содержание органического углерода на анализаторе ТОС 5050 (Shimadzu, Япония) и общего азота методом Кильдаля.

ГК из почв экстрагировали двумя реагентами: 0,1 н. NaOH и 0,1 М $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ при $\text{pH} = 7$ (модуль 1:5) в атмосфере азота при температуре 25 °С. В течение 4 часов система интенсивно перемешивалась, а через 20 часов щелочной экстракт центрифугировали в течение 30 минут при 4000 об/мин, фильтровали через бумажный фильтр и подкисляли 6 н. HCl до $\text{pH} = 1,3$. На следующий день выпавшие ГК отделяли центрифугированием, растворяли в 400–500 мл дистilledированной воды и доводили pH до 7. Получ-

ченный раствор центрифугировали при температуре 4 °С и 6000 об/мин в течение часа для удаления остатков глинистого материала, подкисляли до pH = 1,3 и через сутки отделяли выпавшие ГК центрифугированием. Подобную процедуру очистки ГК проводили три раза. После последнего центрифугирования промывали ГК в центрифужных стаканчиках слегка подкисленной дистиллированной водой (три раза), затем дистиллированной водой и после замораживания подвергали лиофилизации.

Молекулярную структуру ГК исследовали методами гель-хроматографии, электронной спектроскопии в видимой области и ¹³C ЯМР-спектроскопии.

Гель-хроматографию проводили на хроматографической колонке (1,6 × 36 см), заполненной гелем Sephadex G-100 (Pharmacia, Швеция), с использованием в качестве элюента 0,1 М трис-HCl буфера (pH = 9,0). Скорость элюирования 0,8 мл/мин. Содержание фракций с различными молекулярными массами (ММ) в препаратах ГК определяли по площадям соответствующих пиков на гель-хроматограммах. Для определения средневесовых ММ отдельных фракций колонку предварительно калибровали по глубоким белкам.

Оптическую плотность растворов 3 мг ГК в 10 мл NaHCO₃ (pH ≈ 8) при 465 нм (E₄₆₅) и 665 нм (E₆₆₅) определяли на спектрофотометре BECKMAN DU®-68 в кварцевой кювете толщиной 1 см, и из этих данных вычисляли отношение E₄/E₆ [5].

Регистрацию ¹³C ЯМР-спектров ГК осуществляли на спектрометре TESLA BS587A при частоте 20,182 МГц в режиме накопления с последующим

Фурье-преобразованием. 300 мг препарата ГК растворяли в 3 мл 0,5 н. раствора NaOD в D₂O. Спектры были получены в количественном режиме, исключающем возникновение эффекта Оверхаузера. Задержка между импульсами была больше 5T₁, где T₁ – время спин-решеточной релаксации. Химические сдвиги калибровали по внешнему сигналу от тетраметилсилина. Для определения относительного содержания ядер углерода в различных структурных группах использовали электронное интегрирование спектров.

Почва под молодой лесополосой является кислой и незначительно отличается от почвы примыкающего к ней пахотного поля по величине pH, содержанию органического углерода и общего азота (табл. 1). Почва под старой лесополосой, в отличие от почвы примыкающего к ней культивируемого поля (реакция среды близка к нейтральной), является сильно кислой и характеризуется значительно более высоким содержанием C_{орг} и N_{общ} и более узким отношением C/N, что характерно для лесной почвы. Если в случае молодой лесополосы аккумуляция органического углерода и общего азота в почве заметна только в виде тенденции, то в почве старой лесополосы содержание органического углерода возросло в 2 раза, а общего азота – более чем втрое по сравнению с примыкающим пахотным полем. Аккумуляция углерода и азота в почвах под лесополосами означает, что процессы гумификации с накоплением устойчивого к разложению гумуса преобладают в них над процессами минерализации органического вещества.

Таблица 1. Основные характеристики почв

Почва	рН _{водной}	C _{орг}	N _{общ}	C / N
		Г·Кг ⁻¹		
Лесополоса, 14 лет	4,75	12,0	0,59	22,2
Пахотное поле у лесополосы 14-летнего возраста	4,38	11,0	0,54	20,4
Лесополоса, 160 лет	3,67	24,3	1,98	12,3
Пахотное поле у лесополосы 160-летнего возраста	6,47	12,0	0,64	18,8

Разбавленный раствор гидроксида натрия является наиболее распространенным и эффективным реагентом для выделения гуминовых веществ из органического вещества почвы, торфа и других органогенных образований, извлекающим основную массу гуминовых веществ. Однако при его применении возможны изменения химической структуры органического вещества и даже искусственная гумификация полигумифицированных продуктов. Нейтральный раствор пирофосфата натрия – гораздо более мягкий реагент, который часто используется для выделения из минеральных почв лабильных ГК [1, 10].

Данные молекулярно-массового распределения исследуемых ГК (табл. 2) показывают, что

все они в условиях хроматографирования образуют две фракции с различными средневесовыми ММ, т. е. характеризуются бимодальным распределением молекул. Наиболее высокомолекулярная фракция 1, выходящая со свободным объемом, имеет макромолекулы с MM ≥ 100 000. Менее высокомолекулярная фракция 2 содержит макромолекулы со средневесовой MM 7 760–17 660. Содержание фракции 1 в ГК, выделенных из почв под обеими лесополосами 0,1 н. NaOH (33–35 %), несколько выше по сравнению с ГК из почв прилегающих к ним пахотных полей (28–30 %), особенно в случае ГК почвы под старой лесополосой.

Все ГК, выделенные 0,1 М $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ при $\text{pH} = 7$, характеризуются более низким содержанием фракции 1 и более высоким количеством фракции 2 по сравнению с ГК, выделенными щелочью. При этом ГК из почв под лесополосами имеют более низкое содержание фракции 1 (18–20 %), чем ГК из почв прилегающих пахотных полей (24–27 %).

Судя по параметрам электронных спектров поглощения в видимой области (табл. 3), более высокие значения оптической плотности E_{465} и более низкие отношения E_4/E_6 для ГК, выделен-

ных 0,1 н. NaOH , по сравнению с ГК, экстрагированными 0,1 М $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ при $\text{pH} = 7$, свидетельствуют о более развитых системах полисопряжения в выделенных щелочью ГК [2, 3]. При этом ГК щелочного экстракта почв под лесополосами характеризуются более низкими отношениями E_4/E_6 , а ГК почвы под молодой лесополосой – также более высокой оптической плотностью по сравнению с ГК почв прилегающих к ним пахотных полей, что предполагает большую степень полисопряжения в их макромолекулах.

Таблица 2. Молекулярно-массовое распределение ГК

Почва	Фракция 1		Фракция 2	
	средневесовая ММ	содержание, %	средневесовая ММ	содержание, %
ГК, выделенные 0,1 н. NaOH				
Лесополоса, 14 лет	$\geq 100\ 000$	33	7 760	67
Пахотное поле у лесополосы 14-летнего возраста	$\geq 100\ 000$	30	7 760	70
Лесополоса, 160 лет	$\geq 100\ 000$	35	7 760	65
Пахотное поле у лесополосы 160-летнего возраста	$\geq 100\ 000$	28	10 120	72
ГК, выделенные 0,1 М $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ при $\text{pH} 7$				
Лесополоса, 14 лет	$\geq 100\ 000$	18	10 120	82
Пахотное поле у лесополосы 14-летнего возраста	$\geq 100\ 000$	24	7 760	76
Лесополоса, 160 лет	$\geq 100\ 000$	20	13 370	80
Пахотное поле у лесополосы 160-летнего возраста	$\geq 100\ 000$	27	17 660	73

Таблица 3. Параметры электронных спектров поглощения ГК в видимой области

Почва	E_{465}	E_{665}	E_4/E_6
ГК, выделенные 0,1 н. NaOH			
Лесополоса, 14 лет	0,963	0,218	4,42
Пахотное поле у лесополосы 14-летнего возраста	0,951	0,212	4,49
Лесополоса, 160 лет	0,918	0,162	5,50
Пахотное поле у лесополосы 160-летнего возраста	0,931	0,167	5,75
ГК, выделенные 0,1 М $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ при $\text{pH} 7$			
Лесополоса, 14 лет	0,737	0,069	10,68
Пахотное поле у лесополосы 14-летнего возраста	0,808	0,106	7,62
Лесополоса, 160 лет	0,886	0,107	8,28
Пахотное поле у лесополосы 160-летнего возраста	0,812	0,096	8,46

Для ГК пирофосфатных экстрактов наблюдается иная картина. Значение E_{465} для ГК из почвы под старой лесополосой выше, а отношение E_4/E_6 ниже, чем для ГК прилегающего пахотного поля. В противоположность этому ГК из почвы молодой лесополосы характеризуются более низкой оптической плотностью E_{465} и более высоким отношением E_4/E_6 по сравнению с ГК прилегающего пахотного поля. Это свидетельствует о том, что ГК, выделенные нейтральным пирофосфатом из почвы под старой лесополосой, имеют более развитые системы полисопряжения по сравнению с ГК

соответствующего пахотного поля, а системы полисопряжения в макромолекулах ГК из почвы молодой лесополосы, наоборот, менее развиты.

По данным ^{13}C ЯМР-спектроскопии (табл. 4) было оценено относительное содержание атомов углерода следующих структурных групп: $\text{C}_{\text{ал}}$ – насыщенные незамещенные атомы углерода (алкильные); $\text{C}_{\text{ал-O,N}}$ – насыщенные атомы углерода, замещенные кислородом и азотом, главным образом метоксильные и аминокислотные; $\text{C}_{\text{ал-O}}$ – насыщенные атомы углерода, замещенные кислородом, преимущест-

венно в углеводных структурах; C_{ap} – ароматические атомы углерода; COOH – атомы углерода карбоксильных групп [9].

Таблица 4. Содержание углерода в структурных группах ГК по данным ^{13}C ЯМР-спектроскопии, %

Почва	C_{al}	$C_{al-O,N}$	C_{al-O}	C_{ap}	COOH
ГК, выделенные 0,1 н. NaOH					
Лесополоса, 14 лет	25	19	18	30	8
Пахотное поле у лесополосы 14-летнего возраста	24	18	21	28	9
Лесополоса, 160 лет	24	21	20	27	8
Пахотное поле у лесополосы 160-летнего возраста	23	20	24	25	8
ГК, выделенные 0,1 М $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ при pH 7					
Лесополоса, 14 лет	18	24	26	20	12
Пахотное поле у лесополосы 14-летнего возраста	19	20	24	23	14
Лесополоса, 160 лет	16	21	24	24	15
Пахотное поле у лесополосы 160-летнего возраста	19	20	26	22	13

ГК, выделенные различными реагентами из одних и тех же почв, имеют различную молекулярную структуру. ГК щелочного экстракта характеризуются более высоким содержанием ароматического и насыщенного незамещенного (алкильного) углерода, а соответствующие ГК пирофосфатного экстракта имеют повышенное количество карбоксильных и насыщенных атомов углерода, замещенных гетероатомами, особенно углеводных. Судя по виду ^{13}C ЯМР-спектров, поглощение в области химических сдвигов 35–65 м.д. в ГК щелочных экстрактов обусловлено, наряду с насыщенным алифатическим углеродом, преимущественно метоксильными атомами углерода, в то время как в ГК пирофосфатных экстрактов в этой области преобладают сигналы аминокислотного углерода. Приведенные данные свидетельствуют о том, что ГК, выделенные из исследуемых почв нейтральным раствором пирофосфата натрия, более лабильны по сравнению со щелочнорастворимыми ГК, поскольку содержат значительные количества карбоксильных групп, углеводов и азотсодержащих алифатических структур, а также достаточно низкий процент насыщенных алифатических цепей.

ГК, выделенные щелочью из почв под обеими лесополосами, имеют более высокое содержание ароматического углерода (27–30 %) и меньшее количество углерода в углеводных структурах (18–20 %) по сравнению с ГК прилегающих пахотных полей (соответственно 25–28 и 21–24 %). ГК, экстрагированные нейтральным пирофосфатом натрия из почвы под старой лесополосой, также характеризуются повышенным содержанием ароматического (24 %) и карбоксильного (15 %) углерода и меньшим количеством углеводного (24 %) и алкильного (16 %) углерода по сравнению с ГК прилегающего пахотного поля. Однако ГК пирофосфатного экстракта из почвы молодой лесополосы содержит меньше ароматического и карбоксильного

углерода и больше атомов углерода в углеводных и аминокислотных фрагментах по сравнению с ГК прилегающего пахотного поля. Эти данные полностью согласуются с параметрами электронных спектров поглощения исследуемых препаратов ГК (табл. 3).

Таким образом, ГК, выделенные из почв под лесополосами различного возраста щелочью, отличаются от ГК прилегающих пахотных полей большими размерами систем полисопряжения, повышенным содержанием ароматического углерода и пониженным количеством углерода в углеводных структурах, т. е. являются более химически зрелыми по сравнению с ГК прилегающих пахотных полей. ГК, выделенные нейтральным раствором пирофосфата натрия и представляющие более лабильную часть почвенного гумуса, ведут себя иначе. Препарат ГК из почвы под старой лесополосой содержит больше ароматического и карбоксильного углерода и меньше углеводного, а также имеет большие размеры систем полисопряжения по сравнению с ГК соответствующего пахотного поля. В противоположность этому ГК из почвы молодой лесополосы характеризуются меньшим количеством ароматического и карбоксильного углерода, более высоким содержанием гетерозамещенного алифатического углерода и менее развитыми системами полисопряжения по сравнению с ГК прилегающего пахотного поля, т. е. имеют меньшую степень гумификации, являются менее химически зрелыми и более молодыми. По-видимому, процессы гумификации с образованием молодых ГК в почве под молодой лесополосой более выражены по сравнению как с почвой прилегающего пахотного поля, так и с почвой под старой лесополосой, в которой процессы аккумуляции органического вещества могут быть замедлены по сравнению с молодой лесополосой.

Л и т е р а т у р а

1. Александрова Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л., 1980.
2. Кононова М. М. Органическое вещество почвы. М., 1963.
3. Орлов Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М., 1990.
4. Шайдак Л., Марыганова В. В. Влияние лесополос в агроландшафте на аккумуляцию углерода и азота в почве // Актуальные проблемы экологии: Материалы 1-й междунар. конф. Гродно, 2005. Ч. 2. С. 142–145.
5. Chen Y., Senesi N., Schnitzer M. Information provided on humic substances by E_4/E_6 ratios // Soil Sci. Soc. Am. J. 1977. Vol. 41. P. 352–358.
6. Ryszkowski L., Bartoszewicz A. Impact of agricultural landscape structure on cycling of inorganic nutrients // Ecology of arable land / M. Clarholm, L. Bergström (eds). 1989. P. 241–246.
7. Ryszkowski L., Bartoszewicz A., Kędziora A. The potential of mid-field forest as buffer zones // Buffer zones: their processes and potentials in water protection / M. Clarholm, L. Bergström (eds). Harpenden, UK. 1997. P. 171–191.
8. Ryszkowski L., Szajdak L., Bartoszewicz A., Życzyńska-Bałoniak I. Control of diffuse pollution by mid-field shelterbelts and meadow strips // Landscape Ecology / L. Ryszkowski (ed). 2002. P. 111–143.
9. Schnitzer M., Preston C. M. Analysis of humic acids by solution and solid-state carbon-13 nuclear magnetic resonance // Soil Sci. Soc. Am. J. 1986. Vol. 50. P. 326–331.
10. Stevenson F. J. Humus chemistry. New York, 1982.
11. Szajdak L., Maryganova V., Meysner T., Tychinskaja L. Effect of shelterbelt on two kinds of soils on the transformation of organic matter // Environ. Int. 2002. Vol. 28. P. 383–392.

B. B. Марыганова, Л. Шайдак, Л. Ю. Тычинская

ОСОБЕННОСТИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ПОЧВ ПОД ЛЕСОПОЛОСАМИ РАЗЛИЧНОГО ВОЗРАСТА В АГРОЛАНДШАФТЕ

С использованием методов гель-хроматографии, электронной и ^{13}C ЯМР-спектроскопии исследованы особенности молекулярной структуры гуминовых кислот (ГК), выделенных 0,1 н. NaOH и 0,1 М $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ при $\text{pH} = 7$ из почв под лесополосами различного возраста (14- и 160-летней) и прилегающих к ним пахотных полей, расположенных на территории Костянской равнины (40 км к югу от г. Познань, Польша).

Установлено, что ГК, выделенные 0,1 н. NaOH из почв под обеими лесополосами, более высокомолекулярные, имеют более высокое содержание ароматического углерода и развитые системы полисопряжения по сравнению с ГК почв прилегающих пахотных полей. ГК, экстрагированные 0,1 М $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ при $\text{pH} = 7$ из почв под обеими лесополосами, менее высокомолекулярные, чем ГК почв пахотных полей. ГК из почвы под старой лесополосой содержат наибольшее количество ароматического и карбоксильного углерода и являются наиболее химически зрелыми. ГК из почвы молодой лесополосы характеризуются меньшим количеством ароматического и карбоксильного, более высоким содержанием гетерозамещенного алифатического углерода и меньшими размерами систем полисопряжения, чем ГК прилегающего пахотного поля, т. е. являются более молодыми по сравнению как с ГК пахотного поля, так и с ГК почвы под старой лесополосой.

V. V. Maryganova, L. Szajdak, L. Yu. Tychinskaya

PECULIARITIES OF THE MOLECULAR STRUCTURE OF HUMIC ACIDS FROM SOILS UNDER SHELTERBELTS OF VARIOUS AGE IN AGROLANDSCAPE

Using methods of gel-chromatography, electronic and ^{13}C NMR-spectroscopy the peculiarities of HAs extracted by 0,1 N NaOH и 0,1 М $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ at pH = 7 from soils under shelterbelts of various age (14- and 160-years old) and adjoining to them arable fields located on the territory of Kost'anskaya plain (40 km to the south of Poznan city, Poland) have been investigated.

It has been found that HAs extracted by 0,1 N. NaOH from soils under both shelterbelts are more high-molecular, they have a higher aromatic carbon content and developed polyconjugation systems compared to HAs from soils of adjoining arable fields. HAs extracted by 0,1 M $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ at pH = 7 from soils of both shelterbelts are less high-molecular than HAs of arable fields soils. The HA from the soil under the old shelterbelt contains the largest amount of aromatic and carboxylic carbon and is the most chemically mature. The HA from the young shelterbelt is characterized with lesser amounts of aromatic and carboxylic carbons, a higher content of hetero-substituted aliphatic carbons and lesser dimensions of polyconjugated systems than the HA of the adjoining arable field, i. e. is younger compared to both arable field HA and HA from the soil under the old shelterbelt.

Т. Л. Зайцева

ВЫДЕЛЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА ЭФИРНОГО МАСЛА ИЗ ТОРФА И РАСТЕНИЙ-ТОРФООБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Из растений-торфообразователей (пушицы и сфагнового мха) выделены эфирные масла, определены их основные характеристики. Установлено, что выход эфирного масла значительно увеличивается при извлечении его из углекислотных экстрактов исходного сырья. Показана принципиальная возможность выделения эфирного масла из торфа. Определено количественное содержание эфирного масла в верховом торфе разного вида со степенью разложения 25–30 %, дана его характеристика, изучен химический состав.

Поиск новых сырьевых ресурсов биологически активных веществ природного происхождения остается актуальным и в настоящее время. Как известно, к физиологически активным соединениям относят вещества, которые оказывают на организм человека или животного то или иное фармакологическое действие. Такого рода веществами являются алкалоиды, гликозиды, кумарины, смолы, дубильные вещества, эфирные масла и др.

Эфирные масла – это комплекс природных соединений, образующийся в растениях и обладающий способностью перегоняться с водяным паром. Основными компонентами данного комплекса органических соединений являются вещества с изопреновой структурой: монотерпены, дитерпены, сесквитерпены, тритерпены. Терпеноиды эфирных масел представлены альдегидами, кетонами, спиртами, фенолами, эфирами, кислотами и другими соединениями [5]. Количественное содержание эфирных масел в различных растениях неодинаково и определяется прежде всего видом сырья, генетическим фактором, фазой развития растения, условиями произрастания, правильностью отбора и подготовки сырья [4].

Известно, что эфирные масла оказывают антимикробное, антивирусное, противоглистное действие, влияют на сердечно-сосудистую и центральную нервную системы, снижают артериальное давление, расширяют сосуды головного мозга, обладают болеутоляющим и стимулирующим свойствами [6].

Как известно, торф содержит целый комплекс биологически активных веществ растительного происхождения и может использоваться в качестве природного сырья для получения различных препаратов для косметики и медицины.

Цель данной работы – показать принципиальную возможность выделения эфирного масла из торфа и растений-торфообразователей, определить его основные характеристики, изучить компонентный состав.

В качестве объектов исследования выбраны несколько видов верхового торфа и основные представители растительности верховых болот:

пушица (*Eriophorum vaginatum*) и сфагновый мох (*Sphagnum magellanicum*). Образцы торфа, надземной части пушицы и фитомассы мха отбирали на торфяном месторождении «Ореховский Мох» Пуховичского района Минской области. Для проведения эксперимента торф и растения измельчали, высушивали до воздушно-сухого состояния и отбирали фракции с размером частиц 3–10 мм. Техническая характеристика исходного сырья представлена в табл. 1. Данные по выходу экстрактов, выделенных сжиженным диоксидом углерода из растений, приведены в % от массы воздушно-сухого сырья, а из торфа – в % от массы органического вещества (OB).

Эфирные масла выделяли методом гидродистилляции согласно ГОСТ 146.18.11–78 непосредственно из самих растений и торфа, а также из углекислотных экстрактов данного сырья. Подготовленное сырье помещали в литровую круглодонную колбу, снаженную специальным приемником и обратным холодильником, заливали дистиллированной водой в соотношении 1:100 по массе и нагревали на песчаной бане в течение 3 ч с момента появления первой капли. Выделение эфирных масел из углекислотных экстрактов исследуемого сырья проводили аналогичным образом. Исходные CO₂-экстракти получали на опытно-промышленной установке периодического действия экспериментального завода НПО «Масляничные культуры» (г. Краснодар) при давлении 6,4 МПа, температуре 25 °C и продолжительности процесса 3 ч. В результате получены прозрачные маслянистые жидкости разного оттенка от светло-зеленого до ярко-желтого с приятным запахом. Выход и характеристики получившихся веществ определяли по общепринятым методикам [4]. Результаты представлены в табл. 2.

Анализ полученных данных показал, что количество извлекаемого эфирного масла зависит от вида сырья, а также от способа его выделения. Так, пушица и сфагновый мох содержат незначительное, приблизительно одинаковое количество эфирного масла. Существенное увеличение выхода последнего наблюдается при извлечении его из углекислотных экстрактов ис-

следуемых растений: в 6 раз для пушкицы и приблизительно в 3 раза для мха. Данный результат еще раз подтверждает литературные данные о концентрировании биологически активных веществ природного сырья в его экстрактах [1, 3]. Следует отметить, что непосредственно из торфа эфирное масло выделить не удалось. Ранее считалось, что монотерпены и сесквитерпены – основные компоненты эфирного масла, являясь неустойчивыми соединениями, в процессе тор-

фообразования полностью улетучиваются из растительных остатков [7]. Однако проведенные исследования показали, что, используя технологию экстракции сжиженным диоксидом углерода при вышеописанных технологических условиях, из торфяного сырья можно извлекать данные биологически активные вещества. В результате гидродистилляции углекислотного экстракта торфа было получено эфирного масла 1,8–2,0 % от массы исходного экстракта.

Таблица 1. Техническая характеристика исходного сырья и выход из него CO₂-экстрактов

Вид сырья	Степень разложения (R), %	Зольность (A ^o), %	Влажность (W ^a), %	Размер частиц, мм	Выход, %
Пушицево-сфагновый торф	25–30	2,9	13,9	3–7	1,5
Пушицевый торф	30	2,3	12,4	3–7	1,2
Сфагновый торф	20–25	2,8	14,0	3–7	1,0
Пушкица	–	4,4	13,7	5–10	4,0
Сфагновый мох	–	3,1	14,2	5–10	2,5

Таблица 2. Выход и характеристика эфирного масла, выделенного из растительного сырья и CO₂-экстрактов торфа

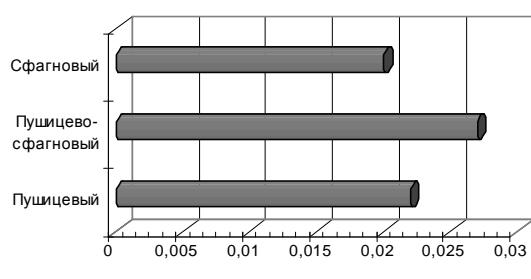
Вид сырья	Цвет	Выход, %	Показатель преломления n _D ²⁰	Удельная плотность d ₂₀ ²⁰ , г/см ³
Пушкица	Светло-зеленый	0,4	1,3899	0,9732
Сфагновый мох	Светло-желтый	0,6	1,3669	0,9091
CO ₂ -экстракт пушкицы	Светло-желтый	2,4	1,3650	0,8660
CO ₂ -экстракт сфагнового мха	Ярко-желтый	2,0	1,3848	0,8871
CO ₂ -экстракт пушицево-сфагнового торфа	Ярко-желтый	1,8	1,3998	0,9861
CO ₂ -экстракт пушицевого торфа	Желтый	2,0	1,3997	0,9781
CO ₂ -экстракт сфагнового торфа	Светло-желтый	1,8	1,3899	0,9357

Таким образом, установлено количественное содержание эфирного масла в верховом торфе разного вида. Результаты представлены на рисунке, из которого видно, что наибольшее количество эфирного масла обнаружено в пушицево-сфагновом торфе – 0,027 % от массы органического вещества торфа.

образователей, можно заметить, что при переходе от растения к торфу оно значительно снижается. Это свидетельствует о потере летучих компонентов в процессе торфообразования.

Компонентный состав эфирного масла, выделенного из CO₂-экстракта пушицево-сфагнового торфа, исследовали методом ГЖХ на приборе «Эластомер» с детектором ДИП при использовании набивной колонки, заполненной неподвижной фазой NaCl (0,25–0,5 мм) с 1 %-Е-301. Разделение проведено в режиме линейного программирования температуры 35–200 °C (6 °C/мин), температура детектора 250 °C, V_{HE} 25 мл/мин. Газожидкостное исследование с использованием смеси известных индивидуальных соединений позволило установить присутствие в химическом составе эфирного масла углекислотного экстракта торфа следующих биологически активных соединений: сесквитерпена – лонгифолена ($t_{удер}=7$ мин), α -пинена ($t_{удер}=5$ мин), терпенилацетата ($t_{удер}=15$ мин), борнеола ($t_{удер}=37$ мин) с преобладанием двух последних соединений.

Обобщая результаты проведенных исследований, сформулируем следующие выводы: из



Содержание эфирного масла в верховом торфе разного вида

Если сравнивать содержание эфирных масел в CO₂-экстрактах торфа и растений-торфо-

торфа и растений-торфообразователей можно извлекать эфирные масла, выход которых значительно увеличивается при выделении их из углекислотных экстрактов исходного сырья; среди изученных видов торфа наибольшим содержанием эфирного масла отличается пушицево-сфагновый торф; изучен компонентный состав

эфирного масла, выделенного из СО₂-экстракта пушицево-сфагнового торфа, основную часть которого составляют такие биологически активные соединения, как терпенилацетат, борнеол, лонгифолен и α-пинен.

Л и т е р а т у р а

1. Белькевич П. И., Голованов Н. Т., Долидович Е. Ф. Химия экстракционных смол торфа и бурого угля. Мн., 1985.
2. Государственная фармакопея СССР. М., 1987.
3. Долидович Е. Ф., Шеремет Л. С., Гусинцева А. В., Зайцева Т. Л. Химический состав, биологическая активность и возможность применения в медицине экстрактов из торфа // Растительные ресурсы. 1995. Вып. 2. С. 37–43.
4. Кузнецова М. А., Рыбачук И. З. Фармакогнозия. М., 1993.
5. Майо П. Терпеноиды. М., 1963.
6. Николоевский В. В., Еременко А. Е., Иванов И. К. Биологическая активность эфирных масел. М., 1987.
7. Раковский В. Е., Пигулевская Л. В. Химия и генезис торфа. М., 1978.

T. L. Зайцева

ВЫДЕЛЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА ЭФИРНОГО МАСЛА ИЗ ТОРФА И РАСТЕНИЙ-ТОРФООБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Поиск новых сырьевых ресурсов биологически активных веществ природного происхождения остается актуальным и в настоящее время. Цель работы – показать возможность выделения эфирного масла из торфа и растений-торфообразователей, изучить их состав и свойства. В результате экспериментально были получены прозрачные маслянистые жидкости разного оттенка желтого цвета с приятным запахом, определены их основные характеристики. Показано, что содержание эфирного масла зависит от вида сырья и способа его выделения. Выход эфирного масла, извлекаемого из растительного сырья, можно увеличить в несколько раз, если выделять его из СО₂-экстрактов этого сырья. При переходе от растения к торфу количество получаемого из них эфирного масла снижается. Определено количество эфирного масла в трех наиболее распространенных видах торфа верхового типа, среди которых наибольшим содержанием данных веществ отличается пушицево-сфагновый торф. В химическом составе эфирного масла, выделенного из СО₂-экстракта пушицево-сфагнового торфа, были идентифицированы следующие биологически активные соединения: лонгифолен, α-пинен, терпенилацетат, борнеол.

T. L. Zaitseva

EXTRACTION AND CHARACTERISTICS OF ESSENTIAL PEAT AND PEAT-FORMING PLANTS OIL

Search of new raw material resources of biologically active matters of natural genesis is still actual today. Aim of the work is to show a possibility of essential oil extraction from peat and peat-forming plants, to study their composition and properties. As a result by experiments we obtained transparent oil-like liquids of various shade of yellow of pleasant odor, their main properties were defined. It has been shown that essential oil content depend on raw material type and its extraction way. The essential oil outcome, extracted from vegetation raw material, may be increased by several times, if it is extracted from CO₂-extracts of the raw material. Passing from a plant to peat, a volume of the produced oil decreases. An amount of essential oil in three most known peat sorts of raised peat land type has been determined, among which the greatest content of the stated matters has cotton-sphagnum peat. In chemical composition of essential oil extracted from CO₂-extract of cotton-sphagnum peat the following biologically active compounds were identified: longipholen, α-pinene, terpenilacetate, borneol.

**В. Н. Заяц, А. В. Кветковская, М. А. Надаринская, О. Г. Галушко,
Г. В. Наумова, А. Э. Томсон, Н. Л. Макарова, Т. Ф. Овчинникова**

НОВАЯ КОРМОВАЯ ДОБАВКА НА ОСНОВЕ ТОРФА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

Представлены результаты испытаний новой биологически активной кормовой добавки «Эколин-3» в качестве средства, снимающего оксидативный стресс и корригирующего обмен веществ у высокопродуктивных коров в период сухостоя.

Проблема повышения адаптационных возможностей обмена веществ в организме высоко-продуктивных животных в условиях роста интенсификации сельскохозяйственного производства и воздействия повышенных стрессовых нагрузок является одной из актуальных на сегодняшний день, поскольку спрос на животноводческую продукцию повышается.

В основе четверти всех заболеваний высокопродуктивных молочных коров лежит нарушение метаболизма, обусловленное прежде всего накоплением продуктов незначительных отклонений обменных процессов, имеющих в основном стрессовое происхождение [3]. Эти нарушения приводят к выбраковке ценных животных из стада [5]. Нарушения обмена веществ стрессового происхождения могут быть скорректированы биологически активными кормовыми добавками. Поиск таких биостимуляторов, способных не только улучшать конверсию корма, но и обеспечивать коррекцию отклонений в обмене веществ без видимых негативных последствий для организма животного, является важной и актуальной задачей.

Наиболее эффективно использование в этих целях добавок с антиоксидантным действием. Как известно, процессы окисления протекают в живом организме постоянно, это необходимая составляющая нормального обмена веществ. Антиоксидантные препараты эффективно защищают животных от негативных изменений в их организме под воздействием свободных радикалов кислорода, в избытке образующихся в различных органах и тканях, и компенсируют нарушения обмена веществ стрессового происхождения.

Институтом природопользования НАН Беларуси совместно с РУП «Научно-практический центр по животноводству НАН Беларуси» разработана и испытана в качестве профилактического средства для снятия оксидативного стресса у высокопродуктивных коров в период сухостоя новая кормовая добавка «Эколин-3», полученная в результате совместной химической переработки торфа и ростков солода.

Экологически безопасные биологически активные препараты, получаемые на основе тор-

фа, богаты растворимыми солями гуминовых кислот, аминокислотами, пектинами, сахарами, окисленными до хинонов фенолами, карбоновыми кислотами, микроэлементами [1, 8]. Исследованиями разных авторов установлено, что гуминовые вещества обладают способностью образовывать хелатные соединения, тем самым оказывая влияние на процессы всасывания компонентов корма, продуктов гидролиза углеводов, протеинов и липидов в желудочно-кишечном тракте коров. В организме животного гуминовые соединения, приняв форму биологически активных фрагментов после расщепления, кatabолизируются в печени, оказывая воздействие на метаболическую перестройку, которая приводит к переходу на новый гомеостатический уровень организма, соответствующий более высокой продуктивности [2, 6].

После химической переработки ростки солода обогащаются новый препарат аминокислотами, в том числе серосодержащими, а также меланоидинами, обладающими высокими ростстимулирующими и мембранотропными свойствами. С целью повышения антиоксидантной активности в кормовую добавку дополнительно введен дубовый экстракт. Химический состав новой кормовой добавки представлен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав биологически активной кормовой добавки «Эколин-3»

Компонент	Содержание	
	% в растворе	% на ОМ препарата
Органические вещества	5,82	100,0
Минеральные вещества	3,56	–
Гуминовые вещества	2,66	45,7
Меланоидины	1,54	26,5
Редуцирующие вещества	0,02	0,3
Фенольные соединения	0,15	2,6
Таниды	0,20	3,4
Органические кислоты	1,03	17,7
Аминокислоты	0,14	0,03
Общий азот	–	0,11

Преобладающим компонентом «Эколина-3» являются гуминовые вещества – 45 % от органи-

**А. А. Хрипович, А. Э. Томсон, Н. Е. Сосновская, Т. В. Соколова,
В. П. Стригуцкий, С. В. Пармон, В. С. Пехтерева**

ВЗАИМОСВЯЗЬ СОДЕРЖАНИЯ НЕКОТОРЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ВИДОВЫМ СОСТАВОМ И СТЕПЕНЬЮ РАЗЛОЖЕНИЯ ВЕРХОВОГО ТОРФА

Показано, что органическое вещество торфа содержит в своем составе ряд свободных фенольных соединений и органических кислот, обладающих биологической активностью различного действия. Установлено, что содержание свободных фенольных соединений и органических кислот определяется видом торфа, а в рамках одного видового состава уменьшается с ростом степени разложения торфа. Хранение добытого торфа в штабеле приводит к существенной потере свободных фенольных соединений в два раза.

Основным фактором, определяющим целесообразность использования торфа и его компонентов во многих областях медицины, сельского хозяйства и промышленности, является наличие в нем биологически активных веществ различной химической этиологии.

Органическое вещество сфагнового торфа представлено в основном компонентами углеводного комплекса и отличается низким содержанием гуминовых веществ. Благодаря этому верховой сфагновый торф по своему составу более близок к растениям-торфообразователям (мхам), чем к другим категориям торфяного сырья.

По данным работы [10], в сфагновых мхах содержится целый комплекс биологически активных фенольных соединений: фенолкарбоновые кислоты, катехины, флавонолы, а также хлорофилл, каротиноиды и витамины.

Биологическое действие различных классов фенольных соединений неодинаково. Фенольные соединения простого строения проявляют антиоксидантные свойства, особенно фенолы с о-, п- и рядовым расположением гидроксильных групп [4]. При их окислении в качестве обязательных промежуточных продуктов возникают семихинонныe радикалы и хиноны. Легко окисляясь сами, фенольные соединения в силу сопряженности окислительно-восстановительных реакций способствуют восстановлению других веществ либо, во всяком случае, препятствуют их окислению.

Фенольные соединения в покровных тканях препятствуют проникновению патогенов внутрь клетки. Это характерно как в период вегетации растения, так и при хранении плодов. Фенольные соединения в растениях участвуют в целом ряде защитных механизмов, начиная с формирования естественных барьеров на пути инфекции, активного антибиотического воздействия на возбудителя и заканчивая раневыми и некротическими реакциями. В ходе некротической реакции в пораженных клетках фенольные соединения окисляются в хиноны, при возрастании концен-

трации которых клетка погибает вместе с возбудителем из-за токсичности фенолов.

В составе экстрактов сосны, ели и пихты идентифицированы фенолкарбоновые кислоты (сиреневая, ванилиновая, протокатеховая, бензойная, п-оксибензойная, феруловая, п-кумаровая, п-гидроксибензойная, галловая и эллаговая), катехин и его производные (эриодиктиол, эпикатехин) [1, 5, 9, 11]. Установлена их высокая биологическая активность, в том числе антиоксидантная [5], антигрибковая и антибактериальная [9], обоснована возможность получения на основе экстрактов этих торфообразователей эффективных средств защиты растений. Фенолкарбоновые кислоты (феруловая, сиреневая, ванилиновая, п-оксибензойная, кофейная, кумаровая, абсцисовая) участвуют в защите растений от вредителей главным образом грибковой природы, но обладают и антибактериальным действием [2].

Ферментативная активность полидисульфида галловой кислоты в отношении каталазы установлена в работе [7]. Данное фенольное соединение проявляет и антиоксидантную активность. Препарат на основе 2-хлорэтилфосфоновой кислоты обладает протекторным действием против бактерий и грибов, поражающих растения как в период вегетации, так и при хранении [22].

Анализ патентной литературы показал, что благодаря содержанию фенольных соединений, проявляющих различную физиологическую активность, нативный торф, растения-торфообразователи и продукты их переработки в той или иной степени применяются в медицине и сельском хозяйстве в качестве лекарственных препаратов, регуляторов роста, средств защиты растений, кормовых добавок для животных.

На основе осоково-гипнового торфа предложен способ получения фунгицидного средства, активно подавляющего рост *Trichophyton rubrum*, *Trichophyton mentagrophyter*, *Mycosporum canir* [17].

Авторами работы [16] предлагается способ получения из торфа средства, обладающего бактерицидным действием в отношении грамполо-

жительных и грамотрицательных бактерий и патогенных грибов в низких дозах (0,25–0,5 мг/мл). Препарат испытан на грамположительных *Micrococcus luteus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus anthracoides* и грамотрицательных *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, грибах *Candida albicans*, *Aspergillus niger*.

Ранозаживляющее средство для лечения животных, обладающее бактерицидным действием, способностью положительно изменять обменные процессы, повышать митотическую активность клеток, предлагается в патенте [12].

В патенте [18] описано противовирусное, бактерицидное, противовоспалительное, иммуномодулирующее и противоопухолевое действие средства на основе торфа либо каменного угля.

Сфагновые мхи активно используются в биотехнологии в качестве культуральной среды [23, 24]. В патенте [15] предлагается способ получения белковых веществ. Белки получают не переработкой растительной ткани, а из среды, в которой они культивируются. Использование в качестве растительной ткани протонемы мха *Sphagnum magellanicum* позволяет выделять из нее гетерологические белки в их активной форме, не разрушая продуцирующие ткани и клетки.

В работе [13] изучена избирательность ионообменной сорбции катионов щелочных, щелочно-земельных, переходных, тяжелых и трехвалентных металлов на мхах *Sphagnum magellanicum*, *Sphagnum cuspidatum*, *Sphagnum rubellum* и магелланум торфе. Рассмотрены структура мха и его свойства, изучена эффективность применения активированных при помощи аминокислот содержащих антисептиков препаратов мха при лечении гноино-инфицированных ран. Применение сфагновых мхов в медицине базируется на их высокой сорбционной активности, наличии противомикробных и противогрибковых, ранозаживляющих свойств. Сфагновые мхи используются для лечения ран, фурункулов, заболеваний кишечника, в средствах женской гигиены [3, 6].

В работе [19] показана перспективность использования модифицированного медью торфа в качестве эффективных фунгицидных и бактерицидных средств при выращивании и хранении овощных культур. Установлена бактериальная активность в отношении фитопатогенных штаммов *Pseudomonas lachrymans* и *Erwinia* и антигрибковая активность *Alternaria tenus* и *Phytophthora infestans* – возбудителей болезней некоторых сельскохозяйственных культур (фитофтороз картофеля и томатов, альтернариоза картофеля).

Учитывая вышеизложенное, среди многообразия биологически активных веществ, присутствующих в торфе, нами определялись свободные фенольные соединения и органические кислоты как основные классы соединений, проявляющие бактерицидные свойства.

Для исследования выбраны верховые торфа типичные для условий Беларуси [21].

Торфопредприятие «Первое Мая» находится на так называемой центральной Березинской равнине, где торф залегает на пологоволнистой абляционной поверхности, залежь сложена в основном магелланум торфом с прослоем пограничного горизонта, лежащего на маломощном пласте верховых или переходных торфов. В условиях склона встречаются комплексные залежи. В растительном покрове Минского предполесья (торфопредприятия «Дукора», «Зеленый бор») участвуют сосново-сфагновые фитоценозы, грядово-мочажинный комплекс, а на некоторых крупных массивах мозаичные ассоциации в виде сплошного ковра из *Sphagnum fuscum*, *Sphagnum magellanicum*, *Sphagnum rubellum*, *Sphagnum balticum*, *Sphagnum angustifolium*.

Для определения химического состава биологически активных веществ торфа осуществляли экстракцию 70 %-ным этанолом образцов с влажностью 30–55 % при гидромодуле 1:10 по органической массе торфа. Полученные экстракти хранили на холода и определяли в них суммарное содержание фенольных соединений и органических кислот.

Разделение органических кислот, сахаров и фенольных соединений осуществляли последовательно на катионите КУ-2 и анионите ЭДЭ-10п (либо Амберлит). Суммарное содержание фенольных соединений определяли по методике [14] фотоколориметрически с использованием реагента Фолина.

Содержание свободных органических кислот и суммы фенольных соединений рассчитывалось на 1 г органической массы торфа и приведено в табл. 1.

Как следует из данных таблицы, количество свободных органических кислот и фенольных соединений зависит не от глубины залегания торфа, а определяется его видовым составом и степенью разложения. В рамках одного видового состава с ростом степени разложения торфа содержание в нем фенольных соединений и органических кислот уменьшается. Так, максимальное количество фенольных соединений 1,98 мг/г содержит магелланум торф со степенью разложения 10–15 %, при увеличении степени разложения до 15–20 % количество фенольных соединений падает до 0,48–0,51 мг/г, при этом содержание свободных органических кислот составило 0,84 и 0,76–0,80 мг/г соответственно (рисунок).

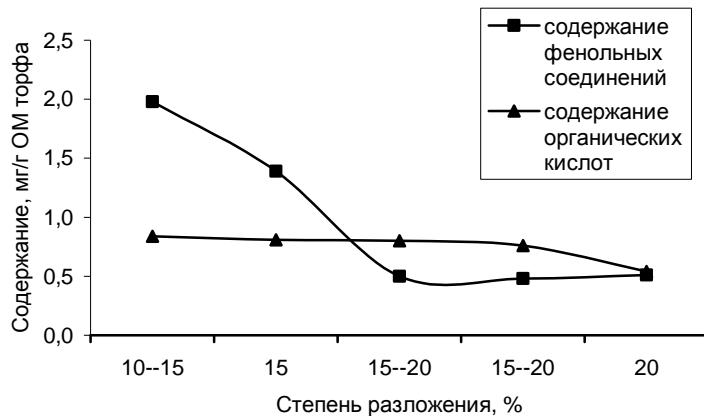
Для пушице-сфагнового торфа определяющее значение имеет не столько степень разложения торфа, сколько его ботанический состав, а именно количество остатков сфагновых мхов. Чем выше содержание сфагновых мхов, тем больше в торфе суммарное содержание фенольных соединений. Так, например, в торфе с одинаковой R = 20 % (т/п «Зеленый бор») при содержании 45 % сфагновых мхов определено 0,61 мг/г фенольных соединений, а при содержании 50 % сфагновых мхов – 1,09 мг/г. В пушице-

во-сфагновом торфе с $R = 25\%$ и содержанием сфагновых мхов 55 % количество фенольных соединений оказалось выше, несмотря на увеличение степени разложения, и составило 1,28 мг/г. Такая же тенденция наблюдалась и в пущево-

сфагновом торфе с $R = 30–35\%$ (т/п «Зеленый бор»): содержание фенольных соединений составило 1,35 мг/г при содержании сфагновых мхов более 50 %.

Таблица 1. Суммарное содержание свободных органических кислот и фенольных соединений в верховом торфе

Вариант	Степень разложения, %	Вид торфа	Содержание фенольных соединений, мг/г	Содержание органических кислот, мг/г
<i>Т/п «Зеленый бор», карта 9</i>				
h = 0–20 см	10	Шейхцериево-сфагновый	0,72	0,76
h = 20–30 см	10–15	Шейхцериево-сфагновый	0,51	0,53
h = 30–40 см	20	Пушицево-сфагновый	0,61	0,82
h = 40–50 см	20	Пушицево-сфагновый	1,09	1,08
<i>Т/п «Зеленый бор», карта 8</i>				
h = 20–30 см	15–20	Магелланикум	0,50	0,80
h = 30–40 см	15–20	Магелланикум	0,48	0,76
h = 40–50 см	20	Магелланикум	0,51	0,54
h = 50–60 см	25	Пушицево-сфагновый	1,28	0,75
<i>Т/п «Первое Мая», карта 7</i>				
h = 0–20 см	5–10	Комплексный верховой	0,64	0,43
h = 20–30 см	5–10	Комплексный верховой	1,91	0,95
h = 30–40 см	10	Ангустифолиум	1,35	0,49
h = 40–50 см	10–15	Магелланикум	1,98	0,84
h = 50–60 см	15	Магелланикум	1,39	0,81
Штабель	10	Ангустифолиум	0,62	0,47
Т/п «Первое Мая»	5–10	Магелланикум	0,51	0,31
Т/п «Татарка»	15–20	Магелланикум	0,68	2,46
Т/п «Зеленый бор»	30–35	Пушицево-сфагновый	1,35	1,01
Т/п «Татарка»	20–25	Фускум	1,12	0,39



Зависимость содержания свободных фенольных соединений и органических кислот от степени разложения магелланикум торфа

Сравнение уровня содержания фенольных соединений и органических кислот в верхнем разрабатываемом слое и в залежи показывает, что в верхнем слое эти уровни гораздо ниже. Так, в верхнем слое т/п «Первое Мая» содержание фенольных соединений и органических кислот составило 0,64 и 0,43, а в последующем слое с глубиной $h = 20–30$ см – 1,91 и 0,95 соответственно при одинаковой степени разложения $R = 5–10\%$ и виде торфа.

Установлено, что добыча торфа фрезерным способом и его хранение в штабеле приводят к снижению суммарного количества фенольных соединений в два раза – с 1,35 до 0,62 мг/г (ангустифолиум $R = 10\%$).

Для установления взаимосвязи содержания фенольных соединений со структурными особенностями строения вещества торфа были использованы методы ИК- и ЭПР-спектроскопии.

Параметры ЭПР-спектров образцов торфа, отобранных на т/п «Первое Мая», типичны для верховых торфов [20], что свидетельствует о практическом отсутствии азота в ароматических системах полисопряжения. Совпадение параметров сигнала, несмотря на заметное варьирование ботанического состава по отобранным слоям, говорит об идентичности строения систем полисопряжения. Проявляется тенденция сцепления сигнала ЭПР с глубиной залегания

(табл. 2), что согласуется с увеличением степени разложения, свидетельствующим о повышении содержания гуминовых веществ. Образец торфа, отобранный из верхнего слоя, выделяется наименьшими концентрациями парамагнитных центров и содержанием фенольных соединений. Данный факт может свидетельствовать о том, что основным источником этого являются гуминовые вещества.

Таблица 2. Параметры спектров ЭПР верхового торфа, отобранного на т/п «Первое Мая» по глубине

Образец	$\Delta H_{0,1\text{мВт}}$, Гс	$\Delta H_{50\text{мВт}}$, Гс	g-фактор 0,1 мВт	g-фактор 50 мВт	$I, 10^{17}$ сп/г	A/A_0^*
Штабель	4,2	4,7	2,0031	2,0034	3,15	2,00
$h = 0\text{--}20$ см	3,9	4,5	2,0033	2,0036	1,84	2,38
$h = 20\text{--}30$ см	3,9	5,0	2,0035	2,0033	2,84	2,79
$h = 30\text{--}40$ см	3,9	4,2	2,0035	2,0036	2,07	2,45
$h = 40\text{--}50$ см	3,9	3,9	2,0033	2,0034	2,60	3,22
$h = 50\text{--}60$ см	3,9	4,2	2,0035	2,0039	3,32	2,76

* A/A_0 — отношение амплитуд сигналов, снятых при 50 и 0,1 мВт.

Образец торфа из штабеля выделяется высокой концентрацией парамагнитных центров (принимая во внимание, что последний сложен в основном из торфа, добытого в верхнем слое) при наименьшем g-факторе, а также сильным насыщением сигнала СВЧ-мощностью (низкое значение параметра A/A_0). Данные результаты свидетельствуют о протекании в штабеле процессов гумификации, сопровождающихся обуглероживанием органического вещества торфа и разрушением кислородсодержащих функциональных групп [8], что согласуется с низким содержанием фенольных соединений. Заметим,

что при хранении лигнина в штабеле также наблюдались аналогичные процессы гумификации.

ИК-спектры представленных образцов торфа близки между собой и имеют набор характерных полос поглощения: 3400 cm^{-1} , о.с., ш. — OH... углеводородов, H_2O ; $2925\text{--}2860\text{ cm}^{-1}$, сп. — алифатические CH_2 , CH_3 ; $1740\text{--}1720\text{ cm}^{-1}$, с. — COOH, C=O; $1640\text{--}1620\text{ cm}^{-1}$, с. — C=O сопр., C=O, NH амидов; 1530 сп. -- C=C моноар.; $1060\text{--}1040\text{ cm}^{-1}$, о.с. — C—OH углеводородов, спиртов.

Для наиболее характерных полос рассчитаны интегральные интенсивности, которые приведены в табл. 3.

Таблица 3. Взаимосвязь содержания фенольных соединений и интегральных интенсивностей полос поглощения

Вид торфа, степень разложения	Σ фе- нолов, мг/г	Σ орг. ки- спот, мг/г	Интеграль- ная \sum 1490-- 1680 cm^{-1} C=C сопр., моноар.	Интеграль- ная \sum 1492-- 1828 cm^{-1} C=C моно- ар., сопр. + COOH	Интеграль- ная \sum 1492-- 1544 cm^{-1} C=C моноар.	Инте- гральная \sum 3004-- 3736 cm^{-1} OH... угле- водородов, H_2O	Интеграль- ная \sum 916-- 1196 cm^{-1} OH... угле- водородов	Интеграль- ная \sum 2820-- 3000 cm^{-1} CH_2, CH_3
Комплексный верховой, 5–10 %	0,64	0,43	14,04	54,23	1,33	299,8	84,8	15,2
Комплексный верховой, 5–10 %	1,91	0,95	8,71	38,87	1,41	173,8	53,4	13,6
Шейхцериево- сфагновый, 10 %	0,72	0,76	9,40	39,30	2,63	143,2	52,8	15,8
Ангустифолиум, 10 %	1,35	0,49	9,78	45,96	1,41	241,2	78,4	13,8
Ангустифолиум, 10 % штабель	0,62	0,47	10,62	45,39	1,26	224,8	68,9	13,4
Магелланикум, 10–15 %	1,98	0,84	10,70	46,25	1,38	214,5	78,6	17,7
Магелланикум, 15 %	1,39	0,51	10,18	41,28	1,29	197,7	70,9	15,3
Магелланикум, 15–20 %	0,50	0,80	10,94	55,79	0,85	185,4	62,5	17,5

По данным табл. 3 можно проследить определенную закономерность между значениями степени разложения торфа и интегральной интенсивностью полос поглощения в интервале 1490–1680 см⁻¹, которые соответствуют поглощению функциональных групп ароматического ядра, присутствующих в фенольных соединениях (1600 см⁻¹ – сопряженные –C=C–, 1520 см⁻¹ – моноароматическое кольцо), а именно с увеличением содержания суммы фенольных соединений увеличивается интегральная интенсивность полосы поглощения моноароматического кольца 1520 см⁻¹.

Аналогичная тенденция наблюдается и для более широкого интервала 1490–1830 см⁻¹, включающего полосу поглощения фенолкарбоновых кислот (полоса при 1720 см⁻¹, соответствующая поглощению COOH-групп).

Таким образом, установлено, что содержание свободных фенольных соединений и органических кислот определяется не глубиной залегания торфа, а его видом. В рамках одного видового состава с ростом степени разложения торфа содержание в нем фенольных соединений и органических кислот уменьшается.

При хранении добытого торфа в штабеле происходит существенная потеря свободных фенольных соединений (в два раза). Аналогичная тенденция наблюдалась при сравнении содержания фенольных соединений верхнего слоя торфа со слоями, отобранными по глубине.

Прослеживается взаимосвязь между данными, полученными методами химического анализа, ИК- и ЭПР-спектроскопии.

Л и т е р а т у р а

- 1. Артемкина Н. А., Рощин В. И.** Экстрактивные вещества хвои и побегов *Picea abies* (Pinaceae) 3. Динамика содержания фенольных соединений // Растительные ресурсы. 2006. Т. 42. Вып. 3. С. 66–74.
- 2. Ахов Л. С., Головко Э. А., Мусиенко Н. Н.** Аллелопатически активные вещества из подземных частей // Физиология и биохимия культурных растений. 2000. Т. 32, № 3. С. 195–199.
- 3. Бабешина Л. Г.** Перспективы применения сфагновых мхов в медицине: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Томск, 1997.
- 4. Барабой В. А.** Биологическое действие растительных фенольных соединений. Киев, 1976.
- 5. Ганенко Т. В., Медведева С. А.** Антиоксидантная активность экстрактивных веществ *Pinus silvestris* (pinaceae) // Растительные ресурсы. 2006. Т. 42. Вып. 1. С. 91–96.
- 6. Гигиенический тампон:** Пат. 93029697 РФ: МПК⁷ A 61 F 13/20 / Шишков В. П.; заявитель и патентообладатель Шишков В. П. № 42514451/13; заявл. 12.06.1992; опубл. 10.11.1996; Бюл. № 8.
- 7. Еремин А. Н., Лаев Ю. П., Метелица Д. И.** и др. Влияние полидисульфида галловой кислоты на каталазу и ее конъюгаты с супероксидисмутазой // Прикладная биохимия и микробиология. 1999. Т. 35, № 3. С. 282–288.
- 8. Лиогонький Б. И., Стригуцкий В. П., Алексан Р. З.** и др. О вкладе семихинонных ион-радикальных состояний в парамагнетизм окислительно-восстановительных полимеров с сопряженными связями // Докл. АН БССР. 1981. Т. 25, № 9. С. 825–827.
- 9. Малахов Е. В., Ваганова Т. А., Кукина Т. П.** и др. Древесная зелень пихты сибирской как сырье для производства биологически активных веществ // Химия в интересах устойчивого развития. 2007. Т. 15, № 3. С. 291–308.
- 10. Наумова Г. В.** Торф в биотехнологии. Мн., 1987.
- 11. Пожарицкая О. Н., Шиков А. Н., Лааксо И.** и др. Полифенольные соединения семян *Pinus sibirica* (pinaceae) // Растительные ресурсы. 2007. Т. 43. Вып. 2. С. 39–46.
- 12. Ранозаживляющее средство:** Пат. 2235548 РФ: МПК⁷ A 61 K 35/10, 37/78, 31/715, A 61 P 41/00 / Любченко Е. Н. и др.; заявитель и патентообладатель Тихоокеанский институт биоорганической химии Дальневосточного отделения РАН; № 2003113570/15; заявл. 08.05.2003; опубл. 10.09.2004; Бюл. № 25.
- 13. Собещук О. П., Капуцкий В. Е.** Сорбция металлов мхом и ее эколого-биологическая роль в природе // Тр. БГТУ. 2005. № 1. С. 75–77.
- 14. Современные методы исследования качества пищевых продуктов.** М., 1976.
- 15. Способ получения белковых веществ:** Пат. 2250264 РФ: МПК⁷ C 12 N 15/82, C 12 P 21/02, A 01 N 11/00 / Рески Р.; заявитель и патентообладатель Рески Р.; № 2002111666/13; заявл. 27.09.2000; опубл. 20.04.2005; Бюл. № 11.
- 16. Способ получения средства, обладающего бактерицидным действием:** Пат. 2055586 РФ: МПК⁶ A 61 K 35/10 / Стекольников Л. И. и др.; заявитель и патентообладатель НИИ текстильных материалов; № 92003455/14; заявл. 02.11.92; опубл. 10.03.1996; Бюл. № 7.
- 17. Способ получения средства, обладающего фунгицидной активностью:** Пат. 2036647 РФ: МПК⁶ A 61 K 35/10 / Юдина Н. В. и др.; заявитель и патентообладатель Институт химии нефти АН СССР.; № 4778622/14; заявл. 05.01.90; опубл. 09.06.1995; Бюл. № 16.
- 18. Средство, обладающее противовоспалительным, иммуномодулирующим и противоопухолевым действием:** Пат. 2149637 Россия: МПК⁷ A 61 K 35/10, 35/64, 35/78 / Шайхтудинов Р. З.; заявитель и патентообладатель Шайхтудинов Р. З.; № 99121057/14; заявл. 11.10.1999; опубл. 27.05.2000; Бюл. № 15.
- 19. Ставицкая С. С., Томашевская А. Н., Гоба В. Е., Картель Н. Т.** Модификация углеродных материалов с целью придания им фунгицидных и бактерицидных свойств // Журнал прикладной химии. 2003. Т. 76. Вып. 1. С. 46–49.
- 20. Стригуцкий В. П., Бамбалов Н. Н., Прохоров С. Г., Смирнова В. В.** Подобие структур ароматического ядра нативного гуминового комплекса и препаратов гуминовых кислот // Химия твердого топлива. 1996. № 6. С. 29–32.

21. Тюремнов С. Н. Торфяные месторождения. М., 1976.
22. Хуа Квает Чиан, Нгуен Тьен Тханг, Нго Кэ Сыонг и др. Влияние препарата экзин на развитие микробиальной инфекции и выделение этилена у растений // Прикладная биохимия и микробиология. 2000. Т. 36, № 2. С. 229–332.
23. Rudolph H., Rassnussen S. Studies on secondary metabolism of Sphagnum cultivated in bioreactors // Crypt. Bot. 1992. Vol. 3. P. 67–73.
24. Wilbert E. Biotechnologische Studien zur Massenkultur von Moosen unter besonderer Berücksichtigung des Arachidonaureststoffwechsels // Biotechnological studies concerning the mass culture of mosses with particular consideration of the arachidonic acid metabolism. Die Meinz-Universität. 1991.

А. А. Хрипович, А. Э. Томсон, Н. Е. Сосновская,
Т. В. Соколова, В. П. Стригутский, С. В. Пармон, В. С. Пехтерева

ВЗАИМОСВЯЗЬ СОДЕРЖАНИЯ НЕКОТОРЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ВИДОВЫМ СОСТАВОМ И СТЕПЕНЬЮ РАЗЛОЖЕНИЯ ВЕРХОВОГО ТОРФА

Показано биологическое действие различных классов фенольных соединений, их антиоксидантная, антигрибковая и антибактериальная активность. Приведен анализ патентов о применении торфа, растений-торфообразователей и продуктов их переработки в медицине и сельском хозяйстве в качестве лекарственных препаратов, регуляторов роста и средств защиты растений, кормовых добавок для животных.

Установлено, что количество свободных фенольных соединений и органических кислот зависит не от глубины залегания торфа, а определяется его видовым составом и степенью разложения. Так, максимальное количество фенольных соединений 1,98 мг/г содержит магелланум торф со степенью разложения 10–15 %, при увеличении степени разложения до 15–20 % количество фенольных соединений падает до 0,48–0,51 мг/г, при этом содержание свободных органических кислот составило 0,84 и 0,76–0,80 мг/г соответственно. В случае пущево-сфагнового торфа определяющее значение имеет не столько степень разложения торфа, сколько его ботанический состав, а именно количество остатков сфагновых мхов. Чем выше содержание сфагновых мхов, тем больше в торфе суммарное содержание фенольных соединений. Добыча торфа фрезерным способом и его хранение в штабеле приводят к снижению суммарного содержания фенольных соединений в два раза с 1,35 до 0,62 мг/г.

Параметры ЭПР- и ИК-спектров подтверждают, что с увеличением степени разложения возрастает гумификация органического вещества торфа и разрушаются кислородсодержащие функциональные группы. Это согласуется с низким содержанием фенольных соединений в верховом торфе.

A. A. Khripovich, A. E. Tomson, T. V. Sosnovskaya,
N. E. Sokolova, V. P. Strigutskiy, S. V. Parmon, V. S. Pekhtereva

CORRELATION OF SOME BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS WITH SORT COMPOSITION AND DECOMPOSITION DEGREE OF RAISED PEAT

A biological effect of various classes of phenol compounds, their antioxidant, anti-fungous and antibacterial activity has been shown. Analysis of patents of peat, peat-forming plants and their processing products application in medicine and agriculture as cure preparations, growth regulators and plants protection means, animal fodder additives has been shown.

It has been found that amount of free phenol compounds and organic acids depends not on the depth of peat deposition, but is determined by its sort composition and decomposition degree. Thus, maximal amount of phenol compounds 1,98 mg/g has magellanum peat of 10–15 % decomposition degree, at its increase till 15–20 % an amount of phenol compounds falls till the level of 0,48–0,51 mg/g, and the content of free organic acids comprised correspondingly 0,84 and 0,76–0,80 mg/g. In case with cotton-sphagnum peat the defining role has not just peat decomposition degree, but its botanical composition, i. e. the amount of sphagnum mosses remnants. The higher sphagnum mosses content, the more has peat a summarized phenol compounds content. The milled peat extraction and its stack storage results in twofold fall of summarized amount of phenol compounds from 1,35 to 0,62 mg/g.

The EPR and IR-spectrum prove that the increase of decomposition degree results in the rise of humus formation of peat organic matter and decay oxygen-containing functional groups. This agrees with low phenol compounds content in the raised peat.

ческой массы (ОМ). Присутствуют меланоидины, содержание которых составляет 1,54 % в растворе, или около 26,5 % его ОМ. В препарате содержатся также свободные фенольные соединения – 0,15 %, или 2,6 % ОМ и таниды – 3,4 % в растворе. Обращает на себя внимание наличие в «Эколине-3» значительных количеств низкомолекулярных карбоновых кислот: 1,03 % в растворе, или 17,7 % от ОМ, общего азота – 0,11 % на ОМ препарата.

Научно-хозяйственный опыт по испытанию эффективности препарата проведен в условиях РУП «Экспериментальная база «Жодино» Смолевичского района Минской области с использованием трех групп высокопродуктивных коров черно-пестрой породы со средней живой массой 500–600 кг и удоем за последнюю законченную лактацию 6000–7000 кг молока (схема опыта). Животные опытных групп получали дополнительно к основному рациону корригирующую добавку с концентратами в разных дозах.

Таблица 2. Схема опыта

Группа	Количество животных в группе, голов	Продолжительность опыта, дней			Условия кормления	
		период				
		предварительный	основной	заключительный		
I конт.	8	10	30	30	Основной рацион (ОР)	
II опыт.	8	10	30	30	ОР+добавка (доза № 1)	
III опыт.	8	10	30	30	ОР+добавка (доза № 2)	

С целью контроля эффективности скармливания добавки проводили отбор крови у животных в начале и конце опыта. В крови определяли биохимические показатели: содержание общего белка, его фракций, концентрацию мочевины, билирубина и активность ферментов сыворотки крови – амилазы, аспартатаминотрансферазы (АсАТ), аланинаминотрансферазы (АлАТ), лактатдегидрогеназы (ЛДГ) на автоанализаторе «Cormay Lumen (BTS 370 Plus)». Материал обработан биометрически по П. Ф. Рокицкому.

Представляло интерес изучение влияния новой кормовой добавки на состояние липидтранспортной системы крови. Известно, что ее состояние воздействует не только на уровень продуктивности и качество получаемой продукции, но и на сохранность молодняка и воспроизводительную способность маточного поголовья. Особенное внимание уделяется липидному профилю крови в критические периоды (раздой, сухостой, отел). Поскольку печень является центральным органом липидтранспортной системы крови, любое патологическое отклонение в нем ведет к нарушению функции печени и желчевыводящих путей, что сопровождается снижением показателей метаболизма липидов [8]. К основным индикаторам холестаза относятся билирубин и холестерин. В наших исследованиях количество билирубина с возрастанием срока беременности увеличивалось более чем в два раза. Это отражает напряженность течения окисительно-восстановительных процессов, обусловленных более активным ростом плода в последние месяцы стельности и усилением кровоснабжения растущего плода. Однако следует выделить тот факт, что показатель билирубина во II и III группах достоверно превысил контрольный уровень в конце опыта. Разница составила 22,6 и 26,8 % соответственно при $P < 0,05$. Данный

факт подтверждает существенное влияние скармливания разных доз изучаемой добавки на интенсивность метаболизма.

Увеличение нагрузки на печень сопровождается снижением уровня холестерина и мочевины в сыворотке крови стельных сухостойных коров. В наших исследованиях понижение первого показателя особенно ярко выражено. На фоне усиления метаболических превращений в печени у опытных коров отмечено существенное понижение холестерина в сравнении с контрольными животными: во II группе на 3,7 %, в III – на 5,8 %.

Содержание мочевины в сыворотке крови имело тенденцию к увеличению с нарастанием срока стельности. В контроле ее содержание увеличилось на 5,9 %, во II группе – на 30 %, в III – на 29 %. По окончании скармливания изучаемого препарата в сравнении с контролем увеличение составило 12,3 % во II группе и 12,0 % в III ($P < 0,05$). Данный параметр биохимического состава крови свидетельствует об усилении процесса переаминирования при поступлении кормовой добавки, богатой гуминовыми кислотами, аминокислотами и другими биологически активными компонентами, способствующими улучшению синтетической функции печени на фоне интенсификации метаболизма в целом. Уровень каротина в сыворотке крови с течением стельности повышался во всех опытных группах.

Содержание сывороточного белка крови коров в начале сухостойного периода находилось у верхней границы нормы, однако после отела оно несколько снизилось у животных контроля (8,3 %), II (9,5 %) и III (7,3 %) опытных групп, что соответствует естественному состоянию организма в данный период, так как достаточно большое количество белка во время сухостоя расходовалось на внутриутробное развитие теленка и к началу лактации корова не может восполнить запасы белка.

Показано положительное влияние скармливания новой добавки на поддержание синтеза в организме животных глобулиновой фракции сыворотки крови. Выявлено, что в контрольной группе наблюдается уменьшение этого показателя на 6,26 %. Во II группе снижение составило только 1,0 %, тогда как получение добавки в дозе 100 мл/гол. обеспечило стабилизацию данной фракции сывороточного белка.

Несмотря на отсутствие органной специфичности, определение активности ферментов AcAT и АлАТ имеет диагностическое значение и свидетельствует о напряжении функционирования печени и сердца. Согласно исследованиям ученых, в период стельности уровень нагрузки на вышеназванные органы животного увеличивается, что сопровождается не только интенсификацией процессов обмена, но и развитием дистрофических и некротических процессов в печени, усиливая процесс цитолиза, индикатором которого является активность AcAT, АлАТ и ЛДГ [4, 7]. В наших исследованиях скармливание добавки способствовало увеличению активности в сыво-

ротке крови опытных коров исследуемых энзимов относительно контрольных животных (табл. 3).

Живая масса телят, рожденных от матерей опытных групп, несколько превосходила этот показатель у телят от контрольных коров ($P < 0,05$) (табл. 4).

Таблица 3. Параметры ферментативной активности сыворотки крови коров

Группа животных	Начало опыта	Конец опыта
Аланинаминотрансфераза, ед/л		
I контрольная	17,0 ± 0,32	31,8 ± 1,70
II опытная	17,4 ± 0,51	37,8 ± 4,76
III опытная	17,6 ± 0,51	34,8 ± 4,39
Аспартатаминотрансфераза, ед/л		
I контрольная	62,2 ± 5,51	67,0 ± 3,58
II опытная	61,8 ± 3,09	85,8 ± 2,52
III опытная	64,2 ± 5,85	76,6 ± 5,89
Лактатдегидрогеназа, ед/л		
I контрольная	2963 ± 80,3	2296 ± 83,1
II опытная	2668 ± 79,1	2360 ± 100,4
III опытная	2686 ± 74,6	2233 ± 148,2

Таблица 4. Показатели воспроизводства опытных коров и динамика роста телят

Показатели	Группы		
	I контроль	II опытная	III опытная
Живая масса коров, кг			
в начале опыта	578 ± 5,6	545 ± 11,7	569 ± 12,3
перед отелом	600 ± 5,2	582 ± 10,7	600 ± 9,6
после отела	579 ± 5,2	556 ± 11,3	578 ± 10,6
через 1 мес после отела	574 ± 4,7	554 ± 11,2	574 ± 10,1
Продолжительность сухостоящего периода, дней	59,4 ± 2,21	64,6 ± 1,46	63,1 ± 1,07
Переболело телят, %	100	83,3	57,1
Живая масса телят, кг			
при рождении	36,5 ± 2,49	44,8 ± 0,75	40,5 ± 2,63
в возрасте 1 месяц	45,0 ± 2,34	52,3 ± 1,08	48,0 ± 2,43
в возрасте 2 месяца	51,4 ± 2,76	57,1 ± 1,40	56,5 ± 1,83
Плотность молозива, кг/м ³	1047 ± 2,13	1056 ± 2,37	1056 ± 1,05

Данные по живой массе телят в 1 и 2 месяцы подтверждают тенденцию к более интенсивному росту телят от коров опытных групп. Так, в возрасте 1 мес масса телят от коров II опытной группы была достоверно выше живой массы телят от коров контрольной группы на 7,3 кг, или на 16,2 %, а во второй месяц – на 3 кг, или на 6,6 %. В возрасте 2 мес живая масса телят опытных групп превосходила контроль на 5,1–5,7 кг, или на 9,9–11,0 %.

За период наблюдения болезни с симптомами расстройства желудочно-кишечного тракта у телят, родившихся от контрольных коров, проявлялись через 3–4 выпойки молозива, на 1–2-й день жизни; у телят, родившихся от коров опытных групп, – через 8–9 выпоеек, или на 3–4-й день жизни. В целом болезнь телят от коров из опытных групп протекала несколько легче и заканчивалась раньше, чем у телят из контрольной группы: продолжительность болезни у них составляла

ла 4–5 дней против 6–7 у телят, родившихся от коров контрольной группы. Причем в группе телят, родившихся от опытных коров, получавших «Эколин-3» в дозе 0,2 мл/кг живой массы, переболело 57,1 %, при дозе 0,1 мл/кг – 83,3 %, тогда как в контрольной группе переболели все телята.

Проверка качества молозива коров контрольной группы показала низкое содержание в нем защитных иммуноглобулинов (менее 40 % при плотности 1047 кг/м³). Молозиво коров II и III опытных групп содержало около 55 % иммуноглобулинов при плотности 1056 кг/м³.

В период последействия добавки отмечено уменьшение количества или отсутствие послеродовых заболеваний у опытных коров, что свидетельствует об интенсификации метаболических и активизации reparативных процессов у опытных животных, получавших новую добавку.

Таким образом, скармливание биологически активной добавки на основе торфа «Эколин-3»

способствовало улучшению гомеостатических показателей, стабилизации процесса образования белка в крови и активизации ферментативных процессов в организме коров. Это свидетельствует о том, что разработанная корригирующая добавка является важным фактором снижения стресса и улучшения обмена веществ

у сухостойных животных, что положительно сказывается и на потомстве. Телята, развиваясь в благоприятных условиях в организме матерей опытных групп, получавших кормовую добавку в эффективной дозе, в раннем постнатальном периоде имеют лучшую жизнеспособность и высокую энергию роста и развития.

Л и т е р а т у р а

1. **Беркович А. М.** Гуминовые вещества и возможности использования их биологических эффектов // Ветеринария. 2007. № 8. С. 14–16.
2. **Горовая А. И., Орлов Д. С., Щербенко О. В.** Гуминовые вещества. Киев, 1995.
3. **Ковзоз В. В.** Особенности обмена веществ у высокопродуктивных коров. Витебск, 2007.
4. **Лейбова В. Б., Лебедев В. А.** Активность аминотрансфераз у коров в сухостойный период // Материалы 4-го междунар. симп. СПб., 2008. С. 205–206.
5. **Сарапкин В. Г., Алешкина С. В.** Продуктивное долголетие коров в зависимости от паратипических факторов // Зоотехния. 2007. № 8. С. 4–7.
6. **Степченко Л. М.** Участие гуминовых препаратов из торфа в управлении обменными процессами у цыплят бройлерного типа // Торф в решении проблем энергетики сельского хозяйства и экологии. Материалы междунар. конф. Мин., 2006. С. 143–145.
7. **Шкуратова И. И., Фердман Н. Н., Бузанова Т. Ф.** Эффективность кормового препарата при заболевании печени у крупного рогатого скота // Комбикорма. 2007. № 6. С. 96–97.
8. **Panina O.** Irarease of productivity of farm animals with the help of oxidate, a peat humine preparation // Moortherapie 2000. Peat Therapy on it's Way into the next Millennium. Kissinger, 2000. P. 233–244.

**В. Н. Заяц, А. В. Кветковская, М. А. Надаринская, О. Г. Галушко,
Г. В. Наумова, А. Э. Томсон, Н. Л. Макарова, Т. Ф. Овчинникова**

НОВАЯ КОРМОВАЯ ДОБАВКА НА ОСНОВЕ ТОРФА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

Институтом природопользования НАН Беларуси совместно с РУП «Научно-практический центр по животноводству НАН Беларуси» разработана новая кормовая добавка «Эколин-3» на основе торфа и ростков солода и испытана в качестве профилактического средства для снятия оксидативного стресса и корригирования обмена веществ у высокопродуктивных коров в период сухостоя.

Преобладающим компонентом препарата являются гуминовые вещества, (45 % от ОМ) и меланиоидины (около 26,5 %), кроме этого, он содержит танины, свободные фенольные соединения, низкомолекулярные карбоновые кислоты, аминокислоты.

Показано позитивное влияние скармливания кормовой добавки «Эколин-3» на липидтранспортную систему крови, индикаторами состояния которой являются билирубин и холестерин. Количество билирубина в крови коров с возрастанием срока беременности увеличивалось более чем в два раза. На фоне усиления метаболических превращений в печени у опытных коров отмечено существенное понижение холестерина в сравнении с контрольными животными. Содержание мочевины в сыворотке крови имело тенденцию к увеличению с нарастанием срока стельности, что свидетельствует о повышении процесса переаминирования под влиянием кормовой добавки. Показано положительное влияние скармливания новой добавки на поддержание синтеза в организме животных глобулиновой фракции сыворотки крови и увеличение активности ферментов АсАТ, АлАТ и ЛДГ.

В период последействия добавки отмечено также уменьшение или отсутствие количества послеродовых заболеваний у опытных коров, что свидетельствует об интенсификации метаболических и активизации репаративных процессов у опытных животных. Телята, полученные от матерей опытных групп, в раннем постнатальном периоде имели лучшую жизнеспособность и высокую энергию роста и развития.

**V. N. Zayats, A. V. Kvetkovskaya, M. A. Nadarinskaya, O. G. Galushko,
G. V. Naumova, A. E. Tomson, N. L. Makarova, T. F. Ovchinnikova**

**NEW PEAT-BASED FODDER ADDITIVE AND ITS
EFFICIENCY APPLICATION IN HUSBANDRY**

Institute for Nature Management NAS Belarus along with RUE «Scientific-practical Centre to Husbandry NAS Belarus» has developed a new fodder additive «Ecolin-3» on peat and malt basis and tested as a prophylactic means to remove oxidative stress and to correct substances exchange of high-productive cow during drought stand.

The prevailing preparation component are humic matters (45 % of TM), and melanoidins (ab. 26,5 %); besides it contains tanids, free phenol compounds, low-molecular carbonic acids, aminoacids.

A positive effect of feeding by fodder additive «Ecolin-3» on lipid-transport blood system has been shown, the state indicators of which are bilirubin and cholesterol. The bilirubin amount in cows blood with the rise of pregnancy term increased more then twice. On the background of the enforcement of metabolic processes in the liver of tested cows a substantial fall of cholesterol has been marked in comparison to the checked animals. The urea content in serum tended to increase with the growth of pregnancy term, that proves an over-animation process due to fodder additive. A positive effect of fodder additive feeding to sustain synthesis in organism of animals globulin fraction of serum and increase of activity of AsAT, AIAT and LDG has been shown.

In the period of additive post-action also the decrease or absence of the amount of post-pregnancy diseases in tested cows has been marked, testifying to the intensification of metabolic and activization of reparative processes for tested animals. The calves, produced by tested mothers group, in early postnatal period had a better viability and high energy of growth and evolution.

В. Г. Ефимов, А. Э. Томсон, Г. В. Наумова, Н. А. Жмакова**ВЛИЯНИЕ ГИДРОГУМАТА И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ТЕЛЯТ**

Рассматриваются изменения показателей обмена веществ у голштинских телят и продуктивность под влиянием гидрогумата, дефицитных микроэлементов и их сочетания. Показано более выраженное их комплексное действие на белково-азотистый, минеральный метаболизм и привесы массы тела.

В настоящее время в животноводстве и ветеринарной медицине значительное внимание уделяется использованию экологически чистых препаратов, способных эффективно влиять на течение обменных процессов в организме животных и повышающих их продуктивность. Этим требованиям в полной мере отвечают гуминовые препараты, получаемые из торфа. Опыт их использования в рационах животных показывает, что они стимулируют энергетические тканевые процессы, повышают уровень естественной резистентности, имеют гепатопротекторные и антиоксидантные свойства [1, 4]. В то же время препараты из торфа легко поддаются метаболизму, негативных эффектов при их применении не отмечено.

Заслуживают внимания и хелатообразующие свойства гуминовых веществ [3]. Их использование, с нашей точки зрения, позволит достичь двойного эффекта: во-первых, получить характерное для них действие, а во-вторых, улучшить абсорбцию минеральных веществ через мембрану энтероцитов.

Цель исследований – обосновать применение гидрогумата совместно с микроэлементами для коррекции метаболического профиля телят голштинской породы и повышения их продуктивности.

Для достижения намеченной цели предстояло изучить влияние гидрогумата совместно с дефицитными в рационах телят микроэлементами (меди, кобальтом и йодом) на показатели белкового обмена, содержание минеральных веществ в сыворотке крови и прирост живой массы телят.

Экспериментальная часть была выполнена в ООО «АгроОвен» Днепропетровской области и на кафедре физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных Днепропетровского государственного аграрного университета.

По принципу аналогов было сформировано четыре группы телят голштинской породы в возрасте 1,5–2,0 мес (по 15 животных в каждой). Телята первой группы дополнительно к основному рациону получали гуминовый препарат, полученный из верхового торфа (Беларусь), в дозе 50 мг/кг живой массы [2]; второй – меди сульфат, кобальта хлорид и калия йодид в дозах, возме-

щающих их дефицит в рационе; третьей – и гидрогумат, и микроэлементы. Контрольная группа телят получала основной рацион без добавок. Продолжительность скармливания добавок составляла 30 дней. После этого периода были отобраны пробы крови, в сыворотке которой определяли содержание общего белка – биуретовым методом, альбуминов – колориметрическим методом с бромкрезоловым зеленым, мочевины – по реакции с диацетилмонооксимом, азота свободных аминокислот – по Г. А. Узбекову в модификации З. С. Чулковой, креатинина – по Попперу. Концентрация микроэлементом была исследована на атомно-абсорбционном спектрофотометре S 115 M1. Приросты живой массы определялись на основании ежедекадных индивидуальных взвешиваний.

Полученные данные статистически обрабатывались с использованием MS Excel 97. О достоверности результатов судили по критерию Стьюдента.

В результате исследования показателей белкового обмена установлено, что применение добавок не оказывает существенного влияния на содержание общего белка в сыворотке крови (табл. 1).

Вместе с тем у телят, получавших одновременно и гидрогумат, и микроэлементы, отмечалось перераспределение белковых фракций в пределах физиологической нормы. В частности, содержание альбуминов по отношению к контролю уменьшилось на 15,0 % ($P < 0,001$), а глобулинов, наоборот, возросло на 23,6 % ($P < 0,001$), тогда как у животных других опытных групп такого явления не отмечалось. Подобные изменения связаны, с нашей точки зрения, с усилением анаболических процессов в периферических тканях, в первую очередь в мышечной, а также с иммуностимулирующим действием добавок.

Об усилении синтетических процессов свидетельствует уровень конечного продукта обмена белков – мочевины. Её содержание достоверно уменьшилось в сыворотке крови телят всех опытных групп, но наиболее выражено это было при совместном применении гидрогумата и микроэлементов. Обращает на себя внимание и другой факт: уровень креатинина при комплексном влиянии гидрогумата и микроэлементов сни-

зился на 17,2 % ($P < 0,001$). С учетом общего усиления энергетического обмена у телят под их влиянием, как показано нами ранее [2], данный факт может указывать на возможность гуминовых веществ совместно с микроэлементами принимать участие в регуляции энергетического

обеспечения мышечной ткани. Подобное предположение подтверждается публикациями о стимулирующем влиянии гуминовых соединений на уровень окислительного фосфорилирования в митохондриях [5].

Таблица 1. Показатели белково-азотистого обмена в сыворотке крови телят в возрасте 2,5–3,0 мес под влиянием гидрогумата, микроэлементов и их сочетания

Показатель	Группа телят			
	контрольная	1-я опытная	2-я опытная	3-я опытная
Общий белок, г/л	66,92 ± 0,81	66,63 ± 0,90	67,99 ± 0,69	68,52 ± 0,95
Альбумины, г/л	36,82 ± 0,65	35,86 ± 0,48	36,95 ± 0,67	31,31 ± 0,57***
Глобулины, г/л	30,11 ± 0,45	30,76 ± 0,81	31,04 ± 0,33	37,21 ± 1,07***
Белковый коэффициент	1,22 ± 0,03	1,17 ± 0,04	1,19 ± 0,03	0,85 ± 0,03***
Мочевина, ммоль/л	5,10 ± 0,07	4,57 ± 0,14**	4,42 ± 0,07***	3,98 ± 0,14***
Аминный азот, ммоль/л	4,27 ± 0,12	4,14 ± 0,10	4,17 ± 0,14	4,03 ± 0,11
Креатинин, мкмоль/л	112,13 ± 3,47	104,54 ± 3,48	103,41 ± 2,89	92,86 ± 3,28***

Примечание: ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$ по отношению к контролю.

Полученные результаты дают основание утверждать о более эффективном влиянии на организм телят именно сочетанного применения гидрогумата и микроэлементов. Для уточнения механизмов такого их действия целесообразны исследования по изучению изменений минерального обмена, в первую очередь микроэлементов.

Совместное применение гидрогумата и микроэлементов привело к увеличению содержания в сыворотке крови телят как меди и кобальта, которые дополнительно вводились в рацион, так и железа и цинка (табл. 2).

Таблица 2. Содержание микроэлементов в сыворотке крови телят после комплексного применения гидрогумата и микроэлементов

Микроэлемент, мкмоль/л	Группа телят	
	контрольная	опытная
Медь	35,82 ± 1,87	42,31 ± 1,94*
Железо	48,86 ± 3,35	66,27 ± 3,87**
Цинк	35,31 ± 1,97	43,61 ± 1,19
Марганец	0,58 ± 0,09	0,60 ± 0,06
Кобальт	0,65 ± 0,02	0,77 ± 0,03**

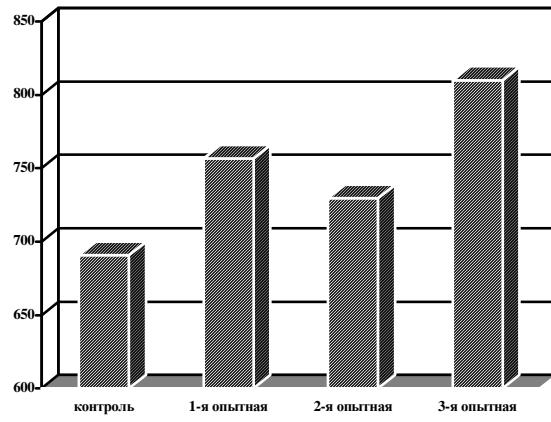
Примечание: * $P < 0,05$;

** $P < 0,01$ по отношению к контролю.

Тенденция к возрастанию уровня цинка свидетельствует о том, что гуминовые вещества не просто стимулируют всасывание микроэлементов – двухвалентных металлов, но и приводят к уменьшению антагонизма между ними.

Отмеченные нами позитивные изменения метabolизма белков, азотистых соединений и микроэлементов положительно отразились и на уровне приростов живой массы телят (рисунок). Они были достоверно большими, начиная со

второй декады скармливания гидрогумата и микроэлементов, и оставались таковыми еще на протяжении 20 дней после окончания их использования. Это свидетельствует о выраженному последействии, которое характерно для гуминовых веществ [5].



Влияние добавок гидрогумата и микроэлементов на прирост живой массы телят

В общем среднесуточные привесы, определенные за 60 дней наблюдений (30 дней во время скармливания, 30 дней – после), были выше у телят, получавших одновременно гидрогумат и микроэлементы.

Таким образом, применение гидрогумата совместно с дефицитными микроэлементами в рационах телят приводит к усилиению анаболических процессов в их организме, повышает уровень неспецифической резистентности и обеспеченность микроэлементами, что обуславливает более высокие приrostы живой массы.

Л и т е р а т у р а

1. Грибан В. Г., Касьян С. С., Баранченко В. А., Верлос С. В. Использование гидрогумата для коррекции естественной резистентности организма коров при алиментарной интоксикации // Ветеринария. 1991. № 12. С. 54–56.
2. Ефимов В. Г., Ракитянский В. Н. Влияние гидрогумата и микроэлементов на уровень энергетических процессов у телят // Ученые записки УО «Витебская гос. акад. ветерин. медицины». 2004. Т. 40, ч. 2. С. 19–20.
3. Перминова И. В. Анализ, классификация и прогноз свойств гумусовых кислот: Автореф. дис. ... д-ра хим. наук. М., 2000.
4. Степченко Л. М., Грибан В. Щодо механізму дії препаратів гумусової природи на організм тварин та птиці // Ветеринарна медицина України. 1997. № 7. С. 34.
5. Visser S. A. Effect of humic substances on mitochondrial respiration and oxidative phosphorylation // Sci. Total Environ. 1987. Vol. 62. P. 347–354.

В. Г. Ефимов, А. Э. Томсон, Г. В. Наумова, Н. А. Жмакова

ВЛИЯНИЕ ГИДРОГУМАТА И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ТЕЛЯТ

Изучено влияние гидрогумата и микроэлементов (медь, кобальт и йод) на показатели белкового обмена, содержание минеральных веществ в сыворотке крови телят и их продуктивность. Установлено, что применение добавок не оказывает существенного влияния на содержание общего белка в сыворотке крови, но приводит к перераспределению белковых фракций в пределах физиологической нормы: содержание альбуминов по отношению к контролю уменьшалось на 15,0 % ($P < 0,001$), а глобулинов возрастало на 23,6 % ($P < 0,001$). По-видимому, эти изменения связаны с усилением анаболических процессов в периферических тканях, в первую очередь в мышечной, а также с иммуностимулирующим действием добавок. Об этом свидетельствует и уменьшение в сыворотке крови телят опытной группы метаболита обмена белков – мочевины. Содержание креатинина при комплексном введении гидрогумата и микроэлементов уменьшалось на 17,2 % ($P < 0,001$), что может указывать на участие гуминовых веществ совместно с микроэлементами в регуляции энергетического обеспечения мышечной ткани. Применение гидрогумата и микроэлементов приводило также к увеличению содержания в сыворотке крови телят как меди и кобальта, дополнительно вводимых в рацион, так и железа. Очевидно, гуминовые вещества не просто стимулируют всасывание микроэлементов двухвалентных металлов, но и приводят к уменьшению antagonизма между ними. Позитивные изменения метаболизма белков, азотистых соединений и микроэлементов положительно отразились на уровне прироста живой массы телят.

V. G. Efimov, A. E. Tomson, G. V. Naumova, N. A. Zhmakova

HYDROGUMAT AND MICROELEMENTS IMPACT ON CALVES MATTERS INDICES EXCHANGE AND PRODUCTIVITY

The impact of hydrogummat and microelements (copper, cobalt and iodine) on protein exchange indices, mineral matters content in calves serum and their productivity has been studied. It has been found that additives application does not effect greatly the serum protein content, but results in redistribution of protein fractions in the limits of physiological norm: albumins controlled ration decreased by 15,0 % ($P < 0,001$) and globulins increased by 23,6 % ($P < 0,001$). Seemingly, these variations are due to the enforcement of anabolic processes in peripheral tissues, and firstly, in muscular one, as well as to additives immune stimulating action. This is also proved by the decrease in the serum of calves tested group of metabolites of protein exchange-urea. The creatinin content at complex hydrogummat and microelements injection decreased by 17,2 % ($P < 0,001$), that may indicate that humic matters and microelements together regulate energy supply to muscular tissue. Hydrogummat and microelements application also resulted in the increase of calves tested serum both copper and cobalt additionally added in the ration, and ferrum. May be humic matters do not just stimulate sucking of two-valence metals microelements, but result in antagonism reduction between them. Positive changes of nutrient compounds and microelements positively reflected on the level of calves live mass. Therefore, hydrogummat and deficient microelements application in calves ration results in anabolic processes enforcement in their organisms, enhances the level of non-specific resistance and supply with microelements that stipulates a higher animals productivity.

Хроника

Григорий Иванович Сачок

(к 70-летию со дня рождения)

4 сентября 2009 г. исполнилось 70 лет со дня рождения известного белорусского ученого-географа и геолога доктора географических наук и кандидата геолого-минералогических наук Григория Ивановича Сачка, внесшего значительный вклад в географическую и геологическую науки, в развитие математических методов исследований в науках о Земле.

Г. И. Сачок родился в деревне Зазерка Пуховичского района Минской области в многодетной крестьянской семье. После окончания в 1955 г. с золотой медалью средней школы поступил в Белорусский государственный университет на географический факультет.

Трудовая деятельность Г. И. Сачка началась в 1960 г. в должности инженера-почвоведа на Витебской областной сельскохозяйственной опытной станции. С конца 1964 по 1967 г. работал старшим инженером Лаборатории геохимических проблем АН БССР, являясь одновременно студентом заочного отделения математического факультета Белгосуниверситета, который успешно закончил в 1970 г., получив второе высшее образование. В этот же период в 1967 г. Г. И. Сачок поступил на очную форму обучения в аспирантуру при кафедре общей геологии географического факультета Белгосуниверситета. После завершения аспирантуры в 1970 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук на тему «Геолого-статистический анализ и литологогеохимическое районирование месторождений четвертичных глин БССР».

С 1970 по 1978 г. Г. И. Сачок работал в Белорусском научно-исследовательском геологоразведочном институте в отделе гидрогеологии младшим научным сотрудником, старшим инженером, старшим научным сотрудником. Научные интересы Г. И. Сачка в этот период жизни тесно связаны с гидрогеологическими исследованиями: им разрабатывались вопросы применения математических методов в гидрогеологии, были выполнены работы по режиму и балансу подземных вод страны, что позволило получить ряд важных научных результатов по оценке влияния хозяйственной деятельности на грунтовые воды, разработать новые методы прогноза режима подземных вод.

С 1978 по 1990 г. Г. И. Сачок работал в Институте геохимии и геофизики АН БССР старшим научным сотрудником, а с 1986 г. – ведущим научным сотрудником. В 1982 г. Г. И. Сачку



присвоено ученое звание старшего научного сотрудника по специальности 11.00.11 «Рациональное использование природных ресурсов и охрана природы».

В 1989 г. Григорий Иванович защитил докторскую диссертацию на тему «Региональный анализ абиотических компонентов ландшафтов Белоруссии» по специальности 11.00.01 – «физическая география, геофизика и геохимия ландшафтов» с присуждением ученой степени доктора географических наук.

В период работы в Институте геохимии и геофизики АН БССР Г. И. Сачком выполнены исследования в области регионального природопользования, морфометрии рельефа Беларуси. Активно выполнялись работы по созданию математического обеспечения исследований проблем природопользования, геоморфологии и геологии антропогена. Разработанные им алгоритмы и комплексы программ внедрены в Государственный фонд алгоритмов и программ СССР и БССР.

На основе огромного фактографического материала Г. И. Сачком осуществлены комплексные региональные исследования гидрометеорологического режима Беларуси, изучены его циклические колебания, выделены климатические эпохи, отражающие этапы перестройки динамики климата, разработаны многопараметрические корреляционные модели формирования внутригодового режима метеоэлементов, уров-

ней и расходов рек, уровней грунтовых вод. Результаты представляют заметный вклад в решение задач объективного анализа гидрометеорологических данных и мониторинга.

С 1990 г. трудовая биография Г. И. Сачка неразрывно связана с Институтом проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларусь. Здесь он работал в должности заведующего лабораторией устойчивости геоэкосистем (с 1996 г. – моделирования геоэкосистем), а с 2002 г. – главным научным сотрудником лаборатории климатологии.

Григорий Иванович много и плодотворно трудился в области геоэкологии. Им внесен значительный вклад в развитие теории и методологии системно-структурного анализа, выполнены глубокие и разносторонние исследования геосистем и ландшафтных компонентов на региональном, локальном и глобальном уровнях.

Г. И. Сачком разработаны методы анализа пространственных переменных и проведены исследования территориальной дифференциации ландшафтов Беларусь, составляющие теоретическую и методическую основу зонирования, индивидуального и типологического районирования природной среды. Основанные на этих материалах предложения по оптимизации окружающей среды внедрены в ряде научных и производственных организаций.

Под руководством Г. И. Сачка создана информационно-моделирующая система «Биогеоценотическое разнообразие Беларусь», позволяющая решать задачи в широком диапазоне масштабов и уровней структурной сложности геоэкосистем.

В последние годы научная деятельность Григория Ивановича была направлена на решение проблем в области агрэкологии и климатологии, на разработку теоретических и методологических основ геоэкологической оценки продуктивности сельскохозяйственных геоэкосистем Беларусь.

По материалам собственных исследований и совместных с коллегами и со своими учениками Г. И. Сачок опубликовал более 200 научных работ, в том числе 11 монографий и 6 брошюр. Монография «Факторы и модели изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур Беларусь», опубликованная в 2006 г., содержит анализ факторов и закономерностей территориально-временной изменчивости продуктивности культур, возделываемых в Беларусь. Особое место в ней традиционно отведено компьютерным методам и средствам анализа данных, в том числе методам многомерного статистического анализа.

Григорий Иванович всю жизнь работал много и плодотворно, был инициатором оригинальных проектов и идей, уделял большое внимание подготовке научных кадров. В институте пользовался всеобщим уважением, коллеги внимательно прислушивались к его мнению.

Г. И. Сачок был незаурядной личностью, начитанным, высоко эрудированным человеком. Всей душой болел за судьбу родной Беларусь. Писал замечательные жизнеутверждающие стихи на русском и белорусском языках, был увлекающимся человеком – это и рыбалка, и садоводство, и выращивание кактусов...

Жизненный путь Г. И. Сачка, оборвавшийся 31 августа 2007 г., – самоотверженный труд на благо белорусской науки. Светлая память о Григории Ивановиче – талантливом ученом, скромном и отзывчивом человеке навсегда останется в сердцах коллег и учеников.

22 октября 2009 г. в институте состоялся научный семинар, посвященный 70-летию со дня рождения доктора географических наук Г. И. Сачка. В работе семинара приняли участие его ученики и коллеги. С докладами выступили: канд. техн. наук Г. А. Камышенко – о жизни и научной деятельности Г. И. Сачка; д-р геогр. наук, профессор Н. К. Чертко – о его вкладе в развитие математических методов в географии; д-р геогр. наук, профессор А. Н. Витченко – о климатических исследованиях. Воспоминаниями о совместной работе поделились академики А. В. Матвеев, И. И. Лиштван, д-ра геогр. наук Ю. М. Обуховский, В. С. Хомич, канд. геол.-мин. наук. В. И. Ярцев, научн. сотр. В. В. Коляда и др.

В. С. Хомич, Г. А. Камышенко

ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ УГРОЗЫ И РИСКИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СТРАН И РЕГИОНОВ СНГ

В последние годы в мире активно обсуждаются проблемы глобальных и региональных угроз и рисков устойчивого развития стран и регионов. Эти проблемы применительно к условиям стран СНГ рассмотрены на выездной сессии Объединенного научного совета по фундаментальным географическим проблемам Международной ассоциации академий наук (МААН) и Международной научной конференции «Глобальные и региональные угрозы и риски устойчивого развития стран и регионов СНГ» (Минск, 1–4 июня 2009 г.). Организаторами научного форума кроме МААН выступили Институт природопользования НАН Беларуси, Институт географии РАН, Белорусский государственный университет.

Актуальность тематики и желание посмотреть на достижения Беларуси в социально-экономическом развитии со времени проведения в 1997 г. в Раубичах одного из первых заседаний Объединенного научного совета вызвали большой интерес со стороны научного географического сообщества стран СНГ. В работе научного форума приняли участие более 80 ведущих научных географов и экологов из восьми стран СНГ (Азербайджана, Армении, Беларуси, Молдовы, России, Таджикистана, Туркмении и Украины).

Открытие заседания прошло в торжественной обстановке в большом конференц-зале Национальной академии наук Беларуси. С приветствиями к участникам совещания обратились Председатель Президиума НАН Беларуси член-корреспондент М. В. Мясникович, Председатель Объединенного научного совета по фундаментальным географическим проблемам МААН академик РАН В. М. Котляков и член совета – со-председатель оргкомитета академик В. Ф. Логинов, отметившие актуальность обсуждаемых проблем и пожелавшие успеха в работе высокого научного собрания. Приветственное послание участникам заседания от недавно переизбранного на новый срок Председателя Международной ассоциации академий наук академика Б. Е. Патона зачитал академик Л. Г. Руденко (НАН Украины).

С научными докладами и в дискуссиях выступили академики РАН В. М. Котляков и П. Я. Бакланов, академики НАН Украины Л. Г. Руденко, АН Туркменистана А. Г. Бабаев, АН Молдовы Т. С. Константинова, НАН Беларуси В. Ф. Логинов, члены-корреспонденты РАН А. Н. Антипов, Б. А. Воронов, К. Н. Дьяконов, С. А. Добролюбов, Н. А. Махутов, А. В. Николаев, А. Г. Тулохонов, АН Азербайджана Р. М. Мамедов, НАН Беларуси В. И. Корзюк и др.

В научных докладах и дискуссиях всесторонне проанализированы природные и техноген-

ные угрозы и риски устойчивого развития стран СНГ с учетом глобальных изменений окружающей среды и особенностей регионального развития.

Как отмечено в докладе Э. А. Лихачевой, А. А. Тишкова, И. В. Чесноковой «Экологический анализ и оценка природных и природно-антропогенных рисков для устойчивого развития регионов России», устойчивое развитие применительно к развитию страны или региона – это длительный непрерывный процесс удовлетворения общественных потребностей на основе такого уровня развития экономики, который не влечет за собой негативных социальных и экологических последствий, истощения запасов стратегически важных для развития страны ресурсов и ущерб развитию других регионов. С экономической точки зрения устойчивое развитие возможно в том случае, если общий капитал (включая природный, человеческий, социальный и созданные человеком материальные активы), оставляемый нынешним поколением последующему, в совокупности не меньше капитала, унаследованного им от предыдущего поколения.

В докладе С. С. Артоболевского и О. Б. Глезер «Социально-экономическое пространство России: риски большой страны» представлен анализ рисков развития России, порождаемых ее обширным пространством, к основным из которых отнесены неэффективная экономика, усиление контрастов и дезинтеграция страны (не политическая), социальная поляризация на всех территориальных уровнях, расширение депрессивных территорий, отставание от других стран. Предложены направления действий по смягчению этих рисков: сохранение большого числа (не менее 70) субъектов Российской Федерации, определение функций и geopolитического значения каждого региона, федеральная ответственность за всю территорию страны, приоритет инновационного производства перед массовым и др. В заключение были сформулированы задачи и функции географической науки по решению данной проблемы.

В докладе И. Н. Волковой и Г. А. Приваловской «Социально-экологические риски устойчивого развития регионов России» дан анализ понятийного аппарата, касающегося социально-экологических рисков, предложены комплексные индексы и выполнена оценка рисков для населения субъектов Российской Федерации. Представлен расчет значений отдельных составляющих социально-экологических рисков устойчивого развития, осуществленных через экономические (изношенность фондов) и социально-экономические показатели (обеспеченност тер-

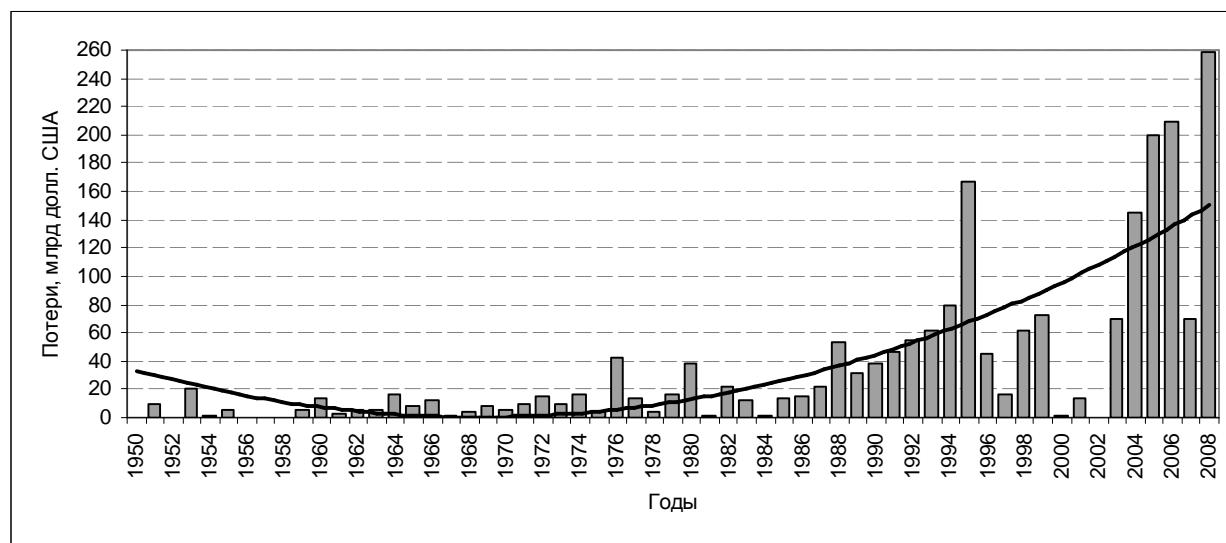
ритории и населения транспортом), что позволило оценить вероятность и величину этих рисков, очень сильно различающихся по регионам России и не уменьшившихся за последние годы.

А. Н. Антипов в докладе «Правовые и методические основы снижения экологических рисков устойчивого развития регионов Сибири» показал, что многих экологических проблем и связанных с ними рисков в России можно было бы избежать при правильной постановке и организации процедуры ОВОС на всех уровнях – от федерального до местного. Далее он детально проанализировал состояние существующей в России процедуры экологического сопровождения инвестиционной деятельности. Путем сопоставления с германским опытом в аналогичной сфере деятельности и на примере конкретных инвестиционных проектов, связанных с прокладкой крупных нефтепроводов, докладчик продемонстрировал недостатки российской процедуры ОВОС и показал направления совершенствования экологического сопровождения инвестиционных проектов.

Среди основных угроз устойчивого развития стран и регионов рассматривались природ-

ные: землетрясения, извержения вулканов, ураганы, нивально-гляциальные процессы, изменения климата, включая экстремальные погодные и климатические явления (наводнения, засухи) и антропогенные угрозы (техногенные катастрофы, загрязнение среды, тундровые, лесные, торфяные и травяные пожары, генетическое загрязнение, биотические инвазии, преднамеренная интродукция видов растений и животных и др.).

Как отмечалось на заседании, суммарный прямой ущерб только от наиболее разрушительных природных катастроф за последние 50 лет возрос почти в 16 раз, в то время как мировой валовой продукт – всего в 4 раза (рисунок). При сохранении существующих тенденций мировая экономика в обозримом будущем будет не в состоянии восполнить экономический ущерб от бедствий и катастроф, затрачивая все больше ресурсов на преодоление их последствий и уменьшающуюся долю ресурсов – на воспроизводство материальных благ и улучшение качества жизни. К тому же все большее количество ресурсов в ближайшие годы придется тратить на преодоление/предупреждение последствий климатических изменений.



Динамика экономических потерь от стихийных бедствий в мире за 1951–2008 гг.

А. В. Николаев представил результаты и карту общего сейсмического районирования территории Российской Федерации, согласно которым на большей части Восточно-Европейской платформы, в том числе на сопредельных с Беларусью территориях России период повторяемости сотрясений интенсивностью 5 баллов и выше составляет более 5000 лет.

Анализ проблемы экстремальных гидрологических ситуаций на территории России дан в докладе Н. И. Коронкевича, Е. А. Барабановой и И. С. Зайцевой. Показано, что в последние годы участились наводнения в Азиатской части страны. На территории Европейской части России их

число довольно стабильно, но заметно возрос вклад летне-осенних и особенно зимних наводнений. В будущем по большинству прогнозных сценариев ожидается продолжение наметившихся тенденций в отношении многоводья и маловодья.

Природные риски, связанные с криосферными явлениями на территории стран СНГ, анализировались в докладе В. М. Котлякова, Г. А. Носенко, Г. Б. Осиповой, О. В. Рототаевой, Т. Е. Хромовой, А. Б. Шмакина. Показано, что повышение температуры воздуха в последние десятилетия сопровождается интенсивным таянием вечной мерзлоты, ледников и снега в горах и, как

следствие, возрастанием селевой и лавинной опасности, образованием и прорывами морено-подпрудных озер. В результате таяния вечной мерзлоты и разрушения берегов северных морей ежегодно теряется до 30 км² суши.

Особое внимание в докладах уделено новейшим подходам и методам оценки и мониторинга рисков устойчивого развития стран и регионов СНГ, в том числе методам получения, обмена, анализа и оценки информации о состоянии среды жизни человека, математического моделирования для географических прогнозов.

Согласно результатам долгосрочного моделирования, приведенным в докладе Н. С. Касимова, С. А. Добролюбова, А. В. Кислова, В. Л. Бабурина «Региональные экологические последствия изменений климата и разработка мер по адаптации населения и экономики регионов к ним», вследствие изменения климата в XXI в. на Восточно-Европейской равнине уверенно прогнозируются рост продолжительности вегетационного периода, изменение агроклиматических зон, сокращение отопительного сезона (до 50 дней в году на севере Европейской территории России), существенное сокращение объема половодий, снижение перспектив ветроэнергетики, рост заболеваемости малярией.

В докладе В. Ф. Логинова, М. И. Струка проанализированы метеорологические риски на территории Беларуси. Среди основных факторов повышения рисков названы риски, обусловленные высокой материально- и энергоемкостью производственного комплекса и относительно невысокого уровня агротехники. Показано, что для минимизации метеорологических рисков необходима реализация стратегии перевода экономики на инновационный путь развития, что обеспечит технологическую модернизацию производства и снижение его влияния на климатическую систему.

В. И. Корзюк и В. Б. Таранчук представили результаты исследований по развитию технологий геовизуализации в задачах оценки рисков природного и техногенного характера и продемонстрировали их на примере лесных пожаров.

А. Н. Махутов, В. В. Зацаринный, А. В. Таранов в докладе «Правовые и научно-методические основы межгосударственного взаимодействия стран СНГ по проблемам рисков ЧС» представили структуру Межгосударственной программы совместных научных исследований организаций государств-участников Содружества Независимых Государств по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на период до 2010 года. Отмечена необходимость базирования на концепции управления рисками на пространстве СНГ на основе экспериментальных научных исследований академий наук и университетов стран СНГ. Особое внимание обращено на согласованную правовую и методологическую

основу действий в рамках сотрудничества с административными структурами. Одна из важнейших проблем – междисциплинарные исследования рисков и катастроф, в разработке которых должны принимать участие ученые из России, Беларуси, Украины и др. стран.

В докладе А. Н. Махутова, Р. А. Таранова, М. М. Гаденина «Анализ информации космического мониторинга для оценки состояния потенциально опасных объектов» представлены возможности систем комплексного мониторинга аварийных ситуаций с использованием космических аппаратов, а также структура и функции созданного в России национального центра управления в кризисных ситуациях – НЦУКС.

В центре внимания ряда докладов были социально-экологические и geopolитические угрозы и риски, которые в наибольшей степени проявляются на приграничных территориях.

В докладе П. Я. Бакланова, Б. А. Воронова на примере бассейна Амура показано, что установление государственной границы ведет к формированию различий по обе ее стороны в типах природопользования, антропогенных нагрузках, экологических нормах и ограничениях, в трансформации и деградации геосистем, в социально-экономических и политических структурах. Возрастание трансграничных градиентов в социально-экономическом развитии соседних стран может усилить влияние одной страны на приграничную территорию соседней и явиться фактором нестабильности в регионе. Докладчиками неоднократно указывалось, что рациональное природопользование и устойчивое развитие стран и регионов, особенно на приграничных территориях и в трансграничных бассейнах рек, озер, морей невозможны без постоянной координации деятельности государств на долговременной договорной основе.

На необходимость создания межгосударственной программы по управлению и регулированию природопользованием в пределах трансграничных территорий указывалось также в докладе Ю. И. Винокурова, А. А. Чибилева, В. М. Павлейчика, Ж. Т. Сивохил, Б. А. Краснояровой на основе анализа региональных угроз и рисков устойчивого развития в трансграничных бассейнах рек Урала и Иртыша. Отмечено, что для решения трансграничных проблем необходимы разработка совместных программ устойчивого развития на региональном уровне и заключение межгосударственных договоров по трансграничному использованию рек, включающих проблемы трансграничного переноса загрязняющих веществ и механизмы компенсации трансграничного экологического ущерба.

Причины возникновения трансграничных проблем и пути их решения рассматривались также в докладе А. Г. Тулохонова «Риски, конфликты и кризисы в региональном природопользо-

вании Северной Азии». Указывалось, что в условиях глобализации государственные границы должны из фактора закрытости перейти в средство экономического развития приграничных территорий. Внутрибассейновые эколого-экономические проблемы могут быть решены только на основе учета взаимных интересов соседних государств и международного права. Докладчиком на примере Бурятии обоснована необходимость перехода к адаптивному природопользованию для решения продовольственной безопасности Азиатской России.

В. А. Колосов проанализировал geopolитические риски этнополитических конфликтов на Северном Кавказе. По мнению докладчика, основными рисками, ведущими к этнополитической напряженности в регионе, являются экономическая деградация и архаизация общества; безработица, бедность, высокая социальная поляризация; восстановление традиций радикального ислама и вмешательство третьих стран; восстановление родоплеменных структур и использование сил правопорядка в соперничестве между кланами; исключительная дифференциация территории по природным, этническим, демографическим и экономическим признакам. Как показал опрос общественного мнения среди местного населения, наиболее серьезные проблемы Северного Кавказа связаны с экономической ситуацией и безработицей (47,5 % опрошенных респондентов), с коррупцией (21 %), вооруженными конфликтами и террористическими актами (17 % опрошенных).

Наряду с анализом причин возникновения угроз и рисков, особенностей их проявления и последствий, рассматривались также возможности и механизмы снижения рисков устойчивого развития применительно к отдельным странам и регионам.

В докладе Л. Г. Руденко, В. П. Палиенко «Природные и социально-экономические угрозы и риски в развитии Украины» представлены основные индикаторы экологической безопасности и внешних угроз в развитии геосистем и их пороговые значения. Кроме того, проанализировано пространственное распределение по территории Украины стихийных бедствий, катастроф и аварий.

С. А. Лисовский в совместном с Л. Г. Руденко докладе «Природно-ресурсный потенциал и риски сбалансированного развития Украины» представил предложенный авторами доклада интегральный индекс сбалансированного развития стран и регионов. Он рассчитывается на основе учета 8 отдельных индексов (жизнестойкость населения; производство ВВП на одного жителя; обеспеченность населения ресурсами территории; обеспеченность ресурсами окружающей среды; капиталовложения в основной капитал; инвестиции; демографическая нагрузка;

природоемкость производства), каждый из которых учитывает значения нескольких переменных. Согласно полученным расчетам для 143 стран мира, Республика Беларусь по интегральному индексу сбалансированного развития в списке стран занимает 64 строку, уступая Латвии, Эстонии, России и др. странам и значительно опережает Литву, Польшу, Украину и др. страны СНГ по данному показателю.

В докладе Т. С. Константиновой, Н. А. Бобок, М. И. Недялковой, О. Н. Мельничук, Г. Н. Сыродоева дан анализ рисков для устойчивого развития территории Молдовы, представлены пространственно-временные особенности проявления на территории страны рисков, связанных с климатическими факторами (режимом увлажнения, наводнениями, засухами), развитием оврагов и оползней, приведены рекомендации по возможным направлениям действий для снижения рисков в регионе.

Доклад Б. А. Будагова, Р. М. Мамедова, М. Г. Исмайилова, М. И. Гасанова посвящен эколого-социальным угрозам устойчивого развития регионов Азербайджана. Показана чрезвычайная чувствительность к внешним воздействиям горных, предгорных и межгорных комплексов, охарактеризованы особенности проявления различных видов рисков на территории страны. В заключение доклада представлена карта районирования территории Азербайджана по экологическим рискам и угрозам.

А. Г. Бабаев от коллектива авторов охарактеризовал природные и антропогенные предпосылки возникновения угроз устойчивому развитию стран Центральной Азии. Особенности их проявления детально проанализированы на примере деградации земель в бассейне Аральского моря. Х. М. Мухаббатов дал анализ социально-экономических и экологических последствий стихийных явлений на территории Центральной Азии, связанных с землетрясениями, оползнями, лавинами, селевыми потоками, эрозией почв и др. Особо остановился на проблеме Сарезского озера, образовавшегося около 100 лет в узкой долине р. Мургаб на высоте 3300 м в результате грандиозного обвала, вызванного девятибалльным землетрясением. В озере в настоящее время накопилось 17 км³ воды, максимальная глубина озера – около 500 м. Сарезская проблема возникла одновременно с зарождением озера и с тех пор угроза о возможном его прорыве остается чрезвычайно актуальной.

В докладе А. К. Сагателяна, А. В. Саакяна, М. Г. Микаэляна продемонстрированы возможности эколого-геохимического подхода для оценки рисков в зонах интенсивного техногенного химического воздействия на примере анализа рисков влияния горнорудной промышленности на устойчивое развитие Армении. Показано, что загрязнение сельскохозяйственных земель тяжелыми

металлами в результате деятельности горнорудных предприятий является серьезным лимитирующим фактором устойчивого развития страны.

Эколого-географические подходы к анализу рисков в Восточном Донбассе в связи с реструктуризацией угольной промышленности представил В. Е. Закруткин. В результате использования указанных подходов выявлены основные проблемы региона, обусловленные перестройкой шахтного хозяйства: подъем уровня подземных вод; подтопление и заболачивание территории; выделение из выработок токсичных и взрывоопасных газов; активизация микросейсмических явлений; вывод из хозяйственного использования значительных площадей вследствие размещения на них отходов горнорудного производства, негативно влияющих на окружающую среду; ухудшение качества воды поверхностных и подземных водных объектов.

Всего было заслушано 32 доклада, посвященных различным аспектам проблемы. Впервые проведена молодежная сессия Совета, на которой с научными докладами выступили Е. В. Санец и Д. В. Боровик (Беларусь), В. А. Лобковский, С. Л. Баринов, Е. С. Козырева (Россия), Е. А. Маруняк, Е. Л. Дронова и Р.А. Спица (Украина).

Заслушанные доклады вызвали оживленную дискуссию, в ходе которой ученые отметили важность постановки проблем и необходимость взаимодействия стран и регионов СНГ в изучении и предотвращении угроз и рисков устойчивого развития. В частности, К. С. Лосев выразил сожаление, что мировое сообщество в период экономического кризиса забыло об устойчивом развитии, сосредоточившись в основном на проблемах изменения климата. По его мнению, следует определиться с понятием «устойчивое развитие», так как в рыночных условиях чаще оперируют понятиями «устойчивое природопользование» и «рост экономических показателей». Н. А. Зайцева обратила внимание на необходимость проведения исследований, связанных с адаптацией ландшафтов к антропогенным воздействиям в условиях постоянных угроз и рисков. А. Н. Антипов отметил необходимость подбора индикаторов для мониторинга угроз и рисков в регионах. Из докладов отчетливо видно, что ситуация в регионах достаточно негативна и следующим направлением в исследовании должен стать поиск механизмов снижения риска. Ю. П. Баденков ознакомил участников с программами ЮНЕСКО в области устойчивого развития. При оценке угроз

и рисков необходимо шире привлекать к исследованиям ГИС-технологии. По мнению П. Я. Бакланова, ученые должны присоединиться к программам подготовки региональных ГИС по угрозам и рискам. Целесообразно скоординировать исследования с программами МЧС, которые, как правило, носят сугубо прикладной характер. Л. Г. Руденко отметил, что ученые только приблизились к пониманию проблемы рисков и угроз. Следует разработать терминологию, издать словарь понятий и терминов по угрозам и рискам. Общество пока не готово к решению этих проблем, не готова и рыночная система, в рамках которой мы сейчас живем. Б. А. Воронов отметил, что у каждой территории есть свой природный и ресурсный потенциал, своя экологическая емкость, определяющая возможность территории выдерживать нагрузки, и призвал участников совещания активизировать исследования в данной области.

Подводя итоги заседания Объединенного научного совета и международной конференции, В. М. Котляков выразил удовлетворение заслушанными докладами и состоявшейся дискуссией. Обсуждение проблемы рисков и угроз прошло на высоком научном уровне, чему в значительной степени способствовала четкая организация столь крупного научного мероприятия.

По результатам работы заседания принято решение, включающее следующие позиции:

- рекомендовать шире использовать комплексные подходы и методы фундаментального и прикладного анализа глобальных и региональных угроз и рисков устойчивого развития стран и регионов СНГ, вести обмен информацией между исследователями, разработку специальных региональных ГИС, содержащих комплексную пространственно-временную информацию о глобальных и региональных угрозах и рисках;
- использовать материалы заслушанных докладов в качестве учебного материала по проблемам глобальных и региональных угроз и рисков устойчивого развития для учреждений географического профиля стран и регионов СНГ. Опубликовать в «Известиях РАН. Серия географическая» статьи по материалам выступлений;
- при подготовке и публикации материалов сессии особое внимание обратить на подходы к решению проблем снижения рисков и разработку рекомендаций для передачи их организациям, принимающим решения. Подготовить и издать терминологический словарь по угрозам и рискам как предмета географических исследований.

В. Ф. Логинов, В. С. Хомич

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР ПО ПРОБЛЕМАМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ БОЛОТ В БАССЕЙНАХ РЕКИ ЖАОЯН, ОЗЕРА ЛОТОСА И РЕКИ ЛЯОХЕ КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

В период с 20 по 26 октября 2009 г. по приглашению Государственной администрации по делам иностранных специалистов и Ляонинского государственного сельскохозяйственного института (г. Шеньян, КНР) Китайскую Народную Республику посетили директор Института природопользования НАН Беларуси, член-корр. А. К. Карабанов, ученые-специалисты в области изучения и восстановления болот к.т.н. Н. И. Тановицкая, к.т.н. В. А. Ракович и гидрохимии природных вод к.г.н. Е. В. Санец.

Основная цель визита – участие в Международном семинаре по проблемам восстановления болот в бассейнах реки Жаоян, озера Лотоса (Ляньхуа) и водных ресурсов реки Ляохе (провинция Ляонин, КНР).

Семинар организован Государственной администрацией по делам иностранных специалистов, Ляонинским государственным сельскохозяйственным институтом (г. Шеньян, КНР) и Белорусским Республиканским Центром трансфера технологий (Минск).

В работе семинара приняли участие около 50 ученых из Ляонинского государственного сельскохозяйственного института, Института прикладной экологии Академии наук Китая, Государственного университета провинции Ляонин, других научных учреждений КНР, а также представители администрации городов Шеньян и Телин.

Основное внимание было уделено вопросам сохранения и восстановления водно-болот-

ных угодий провинции Ляонин и г. Телин. Обсуждены перспективы и задачи дальнейшего сотрудничества между учеными и специалистами провинции Ляонин и Беларуси. Проведено полевое обследование болот в бассейнах реки Жаоян и озера Лотоса (Ляньхуа), а также реки Ляохе.

Ляонинский государственный сельскохозяйственный институт КНР, Институт природопользования НАН Беларуси, Белорусский Республиканский Центр трансфера технологий заключили соглашение о сотрудничестве в области восстановления и охраны болот в провинции Ляонин.

На Международном семинаре с докладами выступили А. К. Карабанов «Основные направления деятельности Института природопользования НАН Беларуси и перспективы сотрудничества», Н. И. Тановицкая «Современное использование и методы восстановления нарушенных болот Беларуси», В. А. Ракович «Опыт восстановления и мониторинг болотных экосистем Беларуси», Е. В. Санец «Водные ресурсы Беларуси: современное состояние, конфликтные ситуации, пути решения».

Во время семинара белорусскими участниками проведены консультации с руководителями и специалистами Ляонинского государственного сельскохозяйственного института, Института прикладной экологии Академии наук Китая, Государственного университета провинции Ляонин и др. научных учреждений КНР.

Н. И. Тановицкая

Рецензии

О КНИГЕ С. В. КАКАРЕКА «ТРАНСГРАНИЧНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЕ»

(Минск: Беларуская навука, 2009. – 320 с.)

Проблемы, связанные с загрязнением атмосферного воздуха, относятся к наиболее актуальным экологическим проблемам, имеющим региональное и глобальное значение, что обусловлено способностью загрязняющих веществ перемещаться с воздушными массами на большие расстояния и осаждаться на подстилающую поверхность с влажными и сухими выпадениями далеко за пределами местоположения их источников. Именно в отношении атмосферного воздуха были предприняты первые шаги по координации природоохранных действий на международном уровне: еще в 1979 г. принята Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (Женевская), впоследствии дополненная различными протоколами. За прошедшее время появились и другие международные соглашения, программы и проекты, направленные на защиту атмосферного воздуха. Преимущества международного сотрудничества весьма очевидны: за прошедшее после подписания Женевской конвенции время значительно сократились выбросы серы, оксидов азота, аммиака, снизилась кислотность атмосферных осадков и, соответственно, уменьшилось воздействие кислотных осаждений на экосистемы, природные воды и здоровье человека.

Развитие международного сотрудничества, повышение эффективности предпринимаемых мер в области охраны атмосферного воздуха предполагает гармонизацию систем учета источников выбросов, детализацию (в пространстве и времени) оценок выбросов с учетом все расширяющегося перечня загрязняющих веществ, разработки прогнозов, совершенствования сетей и программ мониторинга атмосферного воздуха и выпадений, а также методов оценки воздействий и эффектов. Значительным вкладом в решение указанных научных направлений явилась монография С. В. Какарека. «Трансграничное загрязнение атмосферного воздуха и его регулирование». Книга посвящена всестороннему анализу проблем, связанных с трансграничным загрязнением атмосферного воздуха. В монографии существенно расширено представление об источниках выбросов загрязняющих веществ, обоснована необходимость комплексного подхода к решению проблемы загрязнения атмосферного воздуха, представлены разработки автора по научно-методическому, нормативному правовому и ин-

формационному обеспечению решения проблемы на национальном и региональном уровнях.

В первой главе монографии проанализированы международные требования в области управления трансграничным загрязнением в рамках Женевской конвенции и других международных соглашений, продемонстрировано последовательное возрастание требований к контролю выбросов загрязняющих веществ, к используемым технологиям и установкам, ведению кадастров, предоставлению отчетов о выбросах и т. д.

Во второй главе весьма обстоятельно рассмотрены вопросы регулирования выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух: история регулирования, подходы к нормированию выбросов загрязняющих веществ в Беларуси, странах СНГ, Евросоюза и в США, требования Протоколов к Женевской конвенции. Выполнен сравнительный анализ нормативной базы управления источниками выбросов.

Значительное внимание в работе уделено методологии инвентаризации и учета выбросов загрязняющих веществ (третья глава), а также собственно оценкам выбросов (четвертая глава) как базовому элементу в системе управления загрязнением атмосферного воздуха. Автором приведены не только оценки выбросов по категориям источников, но и удельные показатели выбросов приоритетных загрязняющих веществ, а также выполнен пространственный анализ распределения выбросов, что крайне важно для понимания последствий загрязнения воздуха и других компонентов природной среды, последствий негативного воздействия на экосистемы и человека. Оценки выбросов загрязняющих веществ в Беларуси по методологии Программы ЕМЕП показали необходимость совершенствования государственной системы учета выбросов и развитие инвентаризации на основе международных принципов, широкое привлечение международного опыта инвентаризации в сочетании с традиционным подходом, а также с использованием результатов экспериментальных исследований источников выбросов.

Пятая глава монографии посвящена экспертным оценкам выбросов, программам и базам данных в области инвентаризации выбросов. Весьма ценными представляются приведенные оценки выбросов тяжелых металлов и стойких органических загрязнителей (СОЗ) для стран СНГ, их пространственное распределение, срав-

нительный анализ выбросов, полученных из различных источников.

В шестой главе монографии рассмотрены принципы и подходы мониторинга трансграничного переноса и воздействий в рамках Программы ЕМЕП, других научных программ Женевской конвенции и ряда международных соглашений. Выполнен анализ состояния атмосферного воздуха в Европе и на территории Беларуси, показаны тренды изменения содержания основных загрязняющих веществ и уровня атмосферных выпадений. Автором дана краткая характеристика основных моделей переноса и рассеяния загрязняющих веществ, продемонстрированы результаты моделирования переноса и выпадений загрязняющих веществ на территорию Беларуси.

В заключительной главе книги приведены предложения к планам действий по выполнению Женевской конвенции, в том числе по совершенствованию нормативной правовой базы сокращения выбросов, развитию системы мониторинга окружающей среды и, прежде всего, по гармонизации национальных программ наблюдений фонового и трансграничного мониторинга с международными программами. Рассмотрены также возможности присоединения Республики Беларусь к протоколам к Женевской конвенции, пока-

зана необходимость согласованных действий и координации усилий в региональном масштабе, использования самых современных подходов и методов, касающихся охраны атмосферного воздуха.

Монография хорошо структурирована, изложена на высоком научном уровне, содержит богатый иллюстративный и табличный материал, поскольку базируется на результатах многолетних исследований, выполненных автором в рамках различных научных программ и заданий, включающих разработку удельных показателей выбросов тяжелых металлов и СОЗ для основных категорий источников, выполнение экспериментальных исследований, подготовку ежегодных данных о выбросах загрязняющих веществ в Беларуси и их представление в Европейскую экономическую комиссию ООН.

Следует отметить, что для стран бывшего СССР таких детальных работ по рассматриваемой проблеме нет и поэтому монография С. В. Какарека актуальна для специалистов в области воздухоохранной деятельности, а также широкого круга геоэкологов. Несомненно, что монография будет полезна преподавателям и студентам высших учебных заведений.

Т. И. Кухарчик

Научное издание
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Сборник научных трудов

Основан в 1996 году

Выпуск 16

Редактор *И. А. Алябьев*
Компьютерная верстка *Н. В. Данькова, Т. Н. Козловская*

Подписано в печать 19.11.2009. Формат 60x84/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. 29,5. Уч.-изд. л.27,5.
Тираж 150 экз. Заказ № Заказное.

Издатель А. Н. Вараксин
ЛИ № 02330/0131774 от 06.03.2006.
E-mail: aditpol@tut.by

Отпечатано в типографии ООО «Эволайн».
ЛП № 02330/0494251 от 2009.
ул. Рыбалко, 9, 220033, г. Минск