

# *Природо- пользование*

**ВЫПУСК 15**



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ  
ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

# Природо- пользование

Сборник научных трудов

Выпуск 15

*Посвящен*

*80-летию Национальной академии наук Беларуси  
и 75-летию Института природопользования*



МИНСК

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](mailto:nature@ecology.basnet.by)

## С О Д Е Р Ж А Н И Е

### **I. 80 ЛЕТ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ И 75 ЛЕТ ИНСТИТУТУ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

<b>Карабанов А. К., Камышенко Г. А.</b>	Основные направления и результаты научной и инновационной деятельности Института природопользования НАН Беларуси в 2008 году . . . . .	5
<b>Лиштван И. И.</b>	Выступление на общем собрании института «К 80-летию Национальной академии наук Беларуси и 75-летию Института природопользования (Института торфа)» . . . . .	12

### **II. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

<b>Струк М. И.</b>	Изменения воздействий на окружающую среду Беларуси в период посткризисного развития экономики . . . . .	22
<b>Струк М. И.</b>	Пути обеспечения безопасности функционирования опасных техногенных объектов . . . . .	29
<b>Логинов В. Ф.</b>	Роль гелиогеофизических факторов и начальных условий в тропосфере в формировании пространственно-временных закономерностей глобальных изменений температуры . . . . .	35
<b>Логинов В. Ф., Волчек А. А., Шпока И. Н.</b>	Географические особенности распределения гроз и шквалов на территории Беларуси . . . . .	42
<b>Санец Е. В.</b>	Многолетняя динамика содержания сульфатов в атмосферных осадках в Беларуси . . . . .	50
<b>Какарека С. В., Белькович О. Е., Чудук В. Н., Саливончик С. В.</b>	Внутригодовая динамика химического состава атмосферных осадков на территории Минска . . . . .	60
<b>Какарека С. В., Мальчишина А. В.</b>	Источники и уровни поступления аммиака в окружающую среду на территории Беларуси . . . . .	69
<b>Лукашев О. В., Натаров В. М., Савченко В. В., Лукашева Н. Г., Савченко С. В., Творонович Севрук Д. Л.</b>	Эколого-геохимическое состояние поверхностных вод и речных отложений на территории Березинского биосферного заповедника . . . . .	79
<b>Рогунович В. П.</b>	Средства для эффективного обустройства бассейнов рек . . . . .	88
<b>Тановицкая Н. И., Шевцов Н. В., Соколовский Г. В., Козулин А. В.</b>	Особенности формирования стока и зон влияния осущенных и выработанных участков болот на прилегающие территории . . . . .	95
<b>Томина Н. М., Савич-Шемет О. Г., Попкова Н. В., Анцух Ю. П.</b>	Оценка влияния климатических и антропогенных факторов на изменение уровенного режима подземных вод Беловежской пущи . . . . .	101
<b>Бамбалов Н. Н., Ракович В. А., Тановицкая Н. И., Кот Н. А., Селивончик Т. В., Молокова Н. В., Кирильчик И. А.</b>	Оценка воздействия выработанных торфяных месторождений на окружающую среду . . . . .	108
<b>Булавко Г. И., Яковлев А. П.</b>	Влияние посадок ягодных растений на функционирование почвенной микробиоты выработанного торфяника . . . . .	116
<b>Ракович В. А., Бамбалов Н. Н.</b>	Поглощение диоксида углерода растительными сообществами . . . . .	122
<b>Гусев А. П.</b>	Оценка риска нарушения экологического равновесия по фитоиндикационным критериям . . . . .	128
<b>Кравчук Л. А., Судник А. В.</b>	Опыт исследований ландшафтно-рекреационного комплекса города для целей градостроительного планирования и управления (на примере Минска) . . . . .	134
<b>Рыжиков В. А.</b>	Эколого-геохимическая оценка автотранспортных ландшафтов города Минска . . . . .	145

<b>Тышкевич В. Е.</b>	Показатели населения охотничьих угодий дикими копытными ( <i>Artiodactyla</i> ), требуемые для восстановления популяций и интенсификации охотничьего хозяйства Беларуси . . . . .	158
<b>Матвеев А. В., Нечипоренко Л. А., Зерницкая В. П.</b>	Перспективы выявления новых залежей строительных песков и песчано-гравийных смесей на территории Витебской области . . . . .	170

### **III. БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ**

<b>Дамбовская Т. Д., Жуков В. К., Медведева Ю. В., Леоненко Л. И. Дребенкова И. В., Царюк Т. Я., Дамбовская Т. Д.</b>	Мезопористые углеродные адсорбенты на основе торфяного сырья . . . . .	176
<b>Бокая Г. М.</b>	Использование жирных кислот растительных масел для создания ингибитора коррозии для моторных топлив . . . . .	182
<b>Агутин К. А., Бровка А. Г., Дорожок И. Н., Ивашкевич И. И.</b>	Защитная эффективность маслорастворимого ингибитора коррозии ИК-М в дизельных топливах и расчет неопределенности измерения вытесняющих свойств дизельного топлива . . . . .	187
<b>Фалюшин П. Л., Смычник Т. П., Дударчик В. М. Фалюшин П. Л., Дударчик В. М., Тановицкий В. И., Кожурин В. Н. Кожурин В. Н.</b>	Формирование базы данных по характеристикам тепломассопереноса почв и грунтов территории подработки шахтного поля Краснослободского участка Старобинского месторождения калийных солей . . . . .	192
<b>Бамбалов Н. Н., Смирнова В. В., Навоша Ю. Ю., Пармон С. В. Красноберская О. Г., Соколов Г. А., Смирнова В. В., Сосновская Е. Н.</b>	Анализ технологий термохимической переработки бурых углей месторождений Беларуси . . . . .	205
<b>Кашинская Т. Я., Гаврильчик А. П., Лапа В. В., Рак М. В., Назаров В. Н., Титова С. А., Соколов Г. А. Томсон А. Э., Гончарова И. А., Стригуцкий В. П., Соколова Т. В., Грек Д. С., Хрипович А. А., Сосновская Н. Е., Пехтерева В. С. Степченко Л. М., Наумова Г. В., Овчинникова Т. Ф., Макарова Н. Л. Наумова Г. В., Прищепа И. А., Колядко Н. Н., Жмакова Н. А., Макарова Н. Л., Овчинникова Т. Ф. Курзо Б. В.</b>	Экспериментальная установка по термохимической переработке бурых углей и результаты ее испытаний . . . . .	211
	Пиролиз торфа в смеси с полимерными отходами . . . . .	217
	Изменение структуры гуминовых кислот торфа под воздействием облучения светом . . . . .	222
	Сравнительная оценка биоактивности лабильной фракции гумусовых веществ органоминеральных удобрений на основе сырья разного генезиса . . . . .	226
	Жидкие гуминовые удобрения с микроэлементами ....	231
	Влияние форм связи меди с торфом на его фунгицидную активность . . . . .	236
	Роль гидрогумата как адаптогена в развитии стресс-реакции у лабораторных животных . . . . .	241
	Оценка инсектицидных свойств нового препарата из семян люпина . . . . .	245
	Принципы и критерии классификации месторождений сапропеля . . . . .	250
<b>Курзо Б. В., Гайдукевич О. М., Кляуззе И. В., Кирильчик И. А.</b>	Перспективы освоения и использования сапропелевых месторождений Гомельской области . . . . .	260
<b>Хроника</b>		
<b>Хомич В. С., Камышенко Г. А.</b>	Юбилейные торжества в Институте природопользования НАН Беларуси . . . . .	265

## I. 80 ЛЕТ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ И 75 ЛЕТ ИНСТИТУТУ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

---

УДК 001.891

**А. К. Карабанов, Г. А. Камышенко**

### **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНСТИТУТА ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НАН БЕЛАРУСИ в 2008 году**

Представлены основные результаты научных исследований, полученные в 2008 г. сотрудниками Института природопользования НАН Беларуси в ходе выполнения государственных фундаментальных и прикладных научных исследований, отражена практическая реализация разработок. Показаны перспективы научно-исследовательских и инновационных работ по основным направлениям деятельности института; сформулированы проблемы, требующие решения в ближайшее время.

В 2008 г. на основании постановления Бюро Президиума Национальной академии наук Беларуси от 19.06.2007 г. № 287 Институт проблем использования природных ресурсов и экологии Национальной академии наук Беларуси переименован в Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси. Этому событию предшествовали реорганизация структуры и деятельности института посредством создания двух новых лабораторий из сотрудников Института геохимии и геофизики НАН Беларуси и передача в Институт энергетики НАН Беларуси подразделения по энерготехнологической переработке местных видов топлива. Институт природопользования в целом сохранил основные направления исследований, характерные для своего предшественника – Института проблем использования природных ресурсов и экологии, при этом появились и новые направления, связанные с приходом в институт группы геологов.

Основная цель деятельности Института природопользования НАН Беларуси – проведение научных исследований в области геоэкологии, географии, климатологии, гидрогеохимии, гидроэкологии, геодинамики, палеогеографии, природопользования, охраны окружающей среды, геотехнологий.

В 2008 г. выполнялись научно-исследовательские работы по приоритетным направлениям научно-технической деятельности: «Экология и рациональное природопользование» и «Технологии производства, переработки и хранения сельскохозяйственной продукции» в рам-

ках ГКЦНТП «Природопользование», ГКЦНТП «Развитие села», ГКЦНТП «Энергетика», ГКЦНТП «Химические продукты и технологии», ГКЦНТП «Материалы» и ГКЦНТП «Технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций».

Выполнялись исследования по следующим направлениям:

**эколого-географическое:**

разработка научных основ природопользования и охраны окружающей среды;

оценка, прогнозирование и оптимизация антропогенных воздействий на природные комплексы.

В рамках данного направления решались проблемы изменения климата и адаптации отраслей хозяйства к изменяющимся климатическим условиям, загрязнения окружающей среды различными химическими веществами, оптимизация городской среды, деградации торфяных почв, восстановления болот на выработанных торфяных месторождениях;

**экотехнологическое:**

научное обоснование создания ресурсосберегающих технологий добычи, переработки и использования твердых горючих ископаемых.

Решаемые проблемы: вовлечение в топливно-энергетический баланс ресурсов твердых горючих полезных ископаемых; создание ресурсосберегающих технологий добычи, переработки и использования твердых горючих ископаемых;

**геолого-геодинамическое:**

изучение условий формирования и оценка состояния пресных питьевых и минеральных вод;

изучение геодинамики земной коры и современных геологических процессов на территории Беларуси;

геоэкологическое и сейсмотектоническое обоснование проектирования и размещения особо ответственных сооружений и экологоопасных объектов (АЭС, ГЭС, подземных хранилищ газа, мест захоронения высокотоксичных отходов и др.).

В рамках указанного направления решались проблемы, связанные с расширением минерально-сырьевой базы страны, использованием гидроминеральных ресурсов, качеством ресурсов подземных вод, размещением экологоопасных объектов.

Таким образом, разработки института направлены на решение актуальных народнохозяйственных задач государства в сфере рационального природопользования, охраны окружающей среды, энергетической безопасности, возрождения и развития села.

В 2008 г. сотрудниками института выполнялись научные исследования по 68 заданиям в рамках различных государственных программ и отдельных научных проектов, а также по 62 бюджетным и 149 прямым хозяйственным договорам с субъектами хозяйствования Республики Беларусь. Институт природопользования НАН Беларуси является головной организацией по выполнению 4 государственных программ: ГПОФИ «Природопользование», ГНТП «Экологическая безопасность», Государственной целевой программы «Антарктика», Государственной программы «Торф».

В рамках ГПОФИ «Природопользование» выполняются исследования, направленные на разработку методологии прогнозирования изменений природных комплексов, биосферно-совместимого природопользования и охраны окружающей среды, мониторинга загрязнения природной среды за счет местных источников и трансграничного переноса загрязнителей; ведется разработка и освоение социально значимых и экологосовместимых технологий использования, охраны и воспроизводства природных ресурсов (торф, сапропель, бурые угли, растительное сырье), разрабатываются технологические основы и нормативы их потребления; выполняется оценка экологической составляющей устойчивого развития Республики Беларусь.

Цель ГНТП «Экологическая безопасность» – разработка биосферносовместимых технологий использования и переработки природных ресурсов, обеспечение опережающего развития научных и прикладных исследований экологических основ устойчивого развития Республики Беларусь, предусматривающих оздоровление среды обитания человека и улучшение условий его проживания и определяющих переход к рациональному природопользованию на

основе охраны, освоения и воспроизводства природно-ресурсного потенциала страны.

Согласно Плану мероприятий по реализации Директивы Президента Республики Беларусь № 3 и Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь выполняется Государственная программа «Торф» на 2008–2010 годы и на период до 2020 года, предусматривающая увеличение объемов добычи и использования торфяного топлива в топливно-энергетическом балансе государства, реализацию научно-технических разработок и мероприятий по сохранению плодородия и хозяйственной ценности торфяных мелиорированных почв и рациональному использованию выработанных торфяников. Значительное место в программе отводится вопросам охраны окружающей среды.

В рамках Государственной целевой программы «Мониторинг полярных районов Земли и обеспечение деятельности арктических и антарктических экспедиций на 2006–2009 гг. и на период до 2015 г.» реализуются научные исследования и мониторинг состояния природной среды полярных регионов Земли, направленные на получение Республикой Беларусь статуса равноправного участника мирового процесса по исследованию и использованию высокоширотных районов Земли, обеспечение ее долгосрочных политических, экономических и научных интересов в полярных областях, выполнение международных обязательств путем комплексного использования имеющихся интеллектуальных, финансовых и материальных ресурсов заинтересованных министерств и ведомств.

В результатах исследований, выполняемых в институте, заинтересован ряд министерств и ведомств, с которыми подписаны двусторонние соглашения о взаимной заинтересованности: Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды, Министерство сельского хозяйства и продовольствия, Министерство по чрезвычайным ситуациям, Министерство лесного хозяйства, Министерство обороны, Министерство энергетики, Белорусский концерн по топливу и газификации «Белтогаз», Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь.

Результаты научно-исследовательских работ используются для научного сопровождения выполнения обязательств Республики Беларусь по шести международным природоохранным конвенциям: Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния, Рамсарской конвенции о водно-болотных угодьях, Рамочной конвенции ООН об изменении климата, Стокгольмской конвенции по СОЗ, Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием / деградацией земель, Конвенции о биологическом разнообразии.

Наиболее значимые научные результаты, полученные в рамках государственных программ и проектов в 2008 г., заключаются в следующем.

В интересах Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь выполнено обобщение по проблемам изменений глобального и регионального климата (на примере Беларуси, Украины и России) с детальным анализом внешних и внутренних факторов климатических изменений. Предложены стратегия и меры, необходимые на международном и национальном уровнях, по уменьшению антропогенного воздействия на климат. Полученные результаты использованы при разработке Государственной климатической программы и концепции Национальной безопасности Республики Беларусь при планировании деятельности в отраслях, уязвимых к изменяющемуся климату [3].

По заказу Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды разработаны 3 нормативно-технических документа по вопросам мониторинга земель, использования и реабилитации выработанных торфяных месторождений [6–8].

Разработаны рабочие варианты 4 нормативных документов – технических кодексов уставновившейся практики по нормированию учета парниковых газов, что будет способствовать выполнению научного обеспечения Международной Рамочной конвенции ООН об изменении климата.

Институт является единственной научной организацией в стране, специалисты которой на международном уровне обеспечивают выполнение работ по оценке эмиссионных факторов тяжелых металлов и стойких органических загрязнителей. Подготовлен и направлен в Целевую группу по инвентаризации и проектированию выбросов отчет о вкладе Беларуси в Программу ЕМЕП за 2007 год, включающий анализ методологии инвентаризации выбросов обновленного Руководства ЕМЕП/КОРИНЭЙР.

По заказу Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды выполнен анализ критериев оценки уровня и опасности загрязнения почв СОЗ, нормативно-законодательной базы по очистке и восстановлению загрязненных почв; международных обязательств Республики Беларусь в части, касающейся выявления и очистки территорий, загрязненных СОЗ.

Модернизирована калориметрическая установка, используемая при выполнении научно-изыскательских работ для определения фазового состава воды и эффективной теплоемкости в горных породах с целью проектирования проходки шахтных стволов в сложных гидрогеологических условиях с применением искусственного замораживания. Прибор применялся для выполнения работ по заказу ОАО «Белгорхимпром», а также востребован организациями, проводящими изыскания для строительства инженерных объектов на мерзлых грунтах, в частности ООО Начально-техническая фирма «Криос» (г. Воркута, Россия).

В рамках ГПОФИ «Недра Беларуси» осуществляется научное сопровождение геологического изучения недр с целью развития минерально-сырьевой базы, разрабатываются вопросы сейсмотектоники, условий формирования и оценки состояния пресных питьевых и минеральных вод и др.

В интересах Министерства энергетики разработана методика комплексного изучения тектонических и сейсмических процессов, использованная для составления средне- и крупномасштабных сейсмотектонических карт и сейсмотектонической модели района расположения Кукшиновской и Краснополянской площадок возможного строительства АЭС.

В течение года велись гидрогеологические и геоэкологические исследования на Кукшиновской и Краснополянской площадках возможного строительства АЭС. Результаты исследований стали составной частью комплексных изысканий для обоснования выбора промплощадки строительства АЭС и будут использованы при проектировании, строительстве и эксплуатации атомной станции в Республике Беларусь.

По заказу РУП «ПО «Белоруснефть» выполнен научный анализ перспективности геолого-поисковых работ на нефть, в результате которого из 43 ранее признанных бесперспективными геологическими площадей Припятского прогиба в 12 геологических структурах установлена перспективность выполнения геологопоисковых работ на нефть.

В рамках ГПОФИ «Ресурсы растительного и животного мира» проведены исследования особенностей стратиграфии торфяных залежей, ряда геоботанических районов, расположенных в Западно-Поозерской области северного торфяно-болотного региона, которые будут использованы для составления белорусской части общеевропейской карты растительного покрова. Основными потребителями конечной продукции будут Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды, Министерство сельского хозяйства и продовольствия, Министерство лесного хозяйства, Государственный комитет по имуществу, Государственный концерн «Белтопгаз», Министерство по чрезвычайным ситуациям.

При выполнении задания по ГППИ «Полимерные материалы и технологии» разработан и утвержден лабораторный технологический регламент производства антиадгезионной смазки для формования изделий из ячеистого бетона. Изготовлен опытный образец смазки АСБ-130, который с положительными результатами прошел лабораторные испытания. Внедрение разработанной смазки на предприятиях по производству ячеистого бетона позволит повысить качество выпускаемых изделий, уменьшить количество брака, снизить затраты на металлические формы.

В рамках ГНТП «Химические технологии и производства» (подпрограмма «Малотоннажная химия») разработаны технологические процессы, нормативно-техническая документация и подготовлено производство трех новых материалов экспртоориентированного назначения на основе торфа и сапропелей в качестве мелиоративных средств для решения задач зеленого обустройства пустынных территорий в регионе Персидского залива, а также реабилитации низкопродуктивных и деградированных почв на территории Беларуси, прежде всего почв, подверженных засолению в Солигорском промышленном регионе.

В интересах Министерства сельского хозяйства и продовольствия и Министерства по чрезвычайным ситуациям разработан новый сложнопрофильный биоэкотекстильный материал (геомат) на основе торфяного наполнителя, который может быть использован для дорожного (крепление откосов) и жилищного строительства, ликвидации аварийных разливов нефти с отжимом и последующим использованием собранной нефти, улучшения комфортных условий содержания сельскохозяйственных животных и птицы и т.п. (ГПОФИ «Природопользование»).

Ряд значимых результатов ориентирован на сельское хозяйство:

впервые выявлена высокая антиоксидантная активность отдельных химических соединений торфа, что позволяет рассматривать его в качестве потенциального сырья для получения биологически активных препаратов для животноводства;

разработан комплекс эффективных кормовых добавок иммунозащитного действия, оказывающих положительное влияние на продуктивность и резистентность организма животных, сохранность поголовья молодняка, в которых остро нуждается современное животноводство и птицеводство;

разработан способ получения нового алкалоидсодержащего препарата «Алкалин» из семян люпина для защиты растений от вредоносных организмов;

разработан и утвержден опытно-промышленный технологический регламент на производство регулятора роста растений из бурого угля «Бурогумин»;

обоснован выбор торфа, пригодного для производства высокоэффективных гуминовых удобрений с микроэлементами.

Четыре марки новых, разработанных в институте удобрений «ЭлеГум» с микроэлементами внесены в Государственный Реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь для их последующего использования в агропромышленном комплексе и личных подсобных хозяйствах. Разработаны Рекомендации по их рациональному использованию. В рам-

ках инновационного проекта по заказу Министерства сельского хозяйства и продовольствия выполнен комплекс пуско-наладочных работ по производству этих удобрений на ПРУП «Зеленоборское» Смолевичского района (лицензионный договор № 01Л-08, рег. № 3348, ноу-хау). Наработана опытно-промышленная партия новых удобрений для их использования в производственных условиях на площади до 5 тыс. га.

Научными подразделениями института разработаны 10 технических условий на производство различных новых веществ и препаратов («Ингибитор коррозии МИКОР», «Волокно торфяное модифицированное», «Регулятор роста растений из бурого угля» и др.).

В Институте природопользования НАН Беларусь работает лаборатория агроэкологии, оказывающая научно-технические услуги в Системе аккредитации Госстандарта Республики Беларусь производственным предприятиям страны в проведении испытаний продукции на основе торфа, сапропеля, биогумуса, органических удобрений природоохранного и сельскохозяйственного назначения в соответствии с требованиями СТБ ИСО/МЭК 17025; осуществляется радиометрические исследования продуктов питания, продукции животноводства и растениеводства, почв, строительных материалов и гидрохимических исследований поверхностных вод на соответствие требованиям международных, национальных и межгосударственных нормативных документов. В 2007–2008 гг. расширена область аккредитации по определению содержания химических веществ в почвах, поверхностных и подземных водах, атмосферном воздухе.

По разработкам сотрудников института на основе созданных и внедренных передовых технологий предприятиями страны производится и реализуется новая и усовершенствованная высокотехнологичная продукция: регулятор роста растений «Гидрогумат», препарат «Оксидат торфа» для дачных, приусадебных и фермерских хозяйств, мелиоранты почв, грунты растительные, смазки (канатные, для формования изделий из бетона) и др.

В управлении Института природопользования НАН Беларусь находится хозрасчетное предприятие РУП «Экспериментальная база «Свислочь» НАН Беларусь, которое выполняет опытно-экспериментальные работы по тематике научных исследований института, а также осуществляет изготовление нестандартного оборудования для отраслей народного хозяйства Республики Беларусь, в частности сельского хозяйства (переработка сельскохозяйственной продукции – плющение зерна с упаковкой в полиэтиленовый рукав), оборудования для получения энергии с использованием местных видов топлива и т.д.

Институт является соучредителем ЗАО «Юнатекс», одно из основных направлений деятельности которого – освоение технологий производства биологически активных препаратов марки «Оксидат торфа» и их реализация для нужд населения. В 2008 г. ЗАО «Юнатекс» по разработкам института выпущено и реализовано 448 т препарата регулятора роста растений «Оксидат торфа» для дачных, приусадебных и фермерских хозяйств.

Институт осуществлял научное сопровождение 8 проектов, включенных в Государственную программу инновационного развития Республики Беларусь на 2007–2010 гг.:

1. Разработка экологобезопасной технологии и экспериментального оборудования для энерготехнологической переработки бурых углей месторождений Беларуси.

2. Разработка технологий использования продуктов термохимической переработки бурых углей в химической промышленности: производство углеродоминеральных сорбентов для очистки сточных вод и газовых выбросов, сорбентов на основе гуминовых кислот, удобрений, стимуляторов роста растений, мелиорантов.

3. Изготовление и испытание комплекта оборудования для очистки воздуха на птицефабриках с использованием биосорбентов (на примере «1-й Минской птицефабрики») (совместно с БГАТУ, 1-й Минской птицефабрикой, НПООО «Белавтодизель»).

4. Разработка экологобезопасных технологий производства и выпуска сапропелевой кормовой добавки (совместно с ПРУТП «Колпеница» концерна «Белтопгаз», БелНИИтопроект концерна «Белтопгаз»).

5. Организация производства Таболина на опытно-промышленной установке ООО «Фермент». Наработка опытно-промышленной партии.

6. Производство мелиорантов–почвоулучшителей на торфобрикетном заводе «Житковичский».

7. Разработка технологического процесса, нормативно-технической документации и организация производства продукции природоохранного назначения и декорирующих препаратов на основе гидролизного производства (лигнина).

8. Выполнение комплекса научно-исследовательских сейсмотектонических исследований на площадках возможного размещения АЭС.

Новизна проводимых научных исследований подтверждена получением в 2008 г. 4 патентов Республики Беларусь на изобретение, подачей в Национальный центр интеллектуальной собственности 5 заявок на получение патентов на изобретение.

Ведущими специалистами института по запросам органов государственного управления выполняются экспертные функции по важнейшим

вопросам управления экологической ситуацией и природопользованием в стране.

Сотрудниками института в 2008 г. опубликованы 134 научные статьи (в изданиях СНГ – 113, в том числе 85 – РБ; в изданиях вне СНГ – 21); тезисы 68 научных докладов; 1 монография; 1 учебное пособие; 1 справочно-информационное издание; 1 сборник научных трудов; 3 брошюры [1, 2, 4, 5].

Институт принял участие в работе международной выставки «БЕЛАГРО» (БелЭкспо, Минск), где экспонировались новые гуминовые удобрения с микроэлементами «ЭлеГум», и промышленно-технической выставки Республики Беларусь в ОАЭ (Дубай), на которой были представлены гуминовые мелиоранты почв на основе торфа и сапропеля. По результатам выставки подписаны новые протоколы о намерениях по поставке мелиоративной продукции в страны GCC (союза арабских стран в регионе Персидского залива).

В рамках международного сотрудничества выполнялся ряд проектов, в том числе в рамках Программы развития ООН и Программы малых грантов Глобального экологического фонда, Программы Союзного государства, прямые договора с ООО Научно-техническая фирма «Криос» (г. Воркута, РФ).

Одним из решающих факторов обеспечения перехода Республики Беларусь на инновационный путь развития является наличие высококвалифицированных кадров и специалистов в области инновационной деятельности. Подготовка научных кадров высшей квалификации ведется через аспирантуру при институте по специальностям «геоэкология», «химия и технология топлив и специальных продуктов», «геотехнология». В 2008 г. аспирантом заочной формы обучения успешно защищена кандидатская диссертация, выполненная досрочно. Две кандидатские диссертации, подготовленные соискателями, прошли этап предварительной экспертизы и представлены к защите. Для выполнения научно-исследовательских работ по теме диссертации аспиранту очной формы обучения выделен грант НАН Беларусь на 2008–2009 гг.

Ряд сотрудников института отмечен медалями, грамотами и премиями за вклад в развитие белорусской науки.

За заслуги перед белорусской наукой, плодотворную научно-организационную деятельность и подготовку научных кадров награждены Почетными грамотами Президиума Национальной академии наук академики Н. Н. Бамбалов, В. Ф. Логинов, А. В. Матвеев, Р. Г. Гарецкий, член-корреспондент Р. Е. Айзберг.

Академик В.Ф. Логинов удостоен памятной медали Парламентского Собрания за многолетнюю плодотворную работу в Экологическом со-

вете Парламентского Собрания Союза Беларуси и России.

За цикл работ «Разломы и линеаменты земной коры Беларуси: теоретические и прикладные аспекты» члену-корреспонденту Р. Е. Айзбергу, члену-корреспонденту А. К. Карабанову и академику А. В. Матвееву присуждена Премия Национальной академии наук Беларуси 2008 года (Постановление Президиума НАН Беларуси № 74 от 24 декабря 2008 г.).

За выдающийся вклад в социально-экономическое развитие республики д.г.н. Т. И. Кухарчик установлена персональная надбавка за счет средств резервного фонда Президента Республики Беларусь.

За многолетнюю плодотворную работу в Экологическом совете и активное участие в мероприятиях Парламентского Собрания Союза Беларуси и России академику И. И. Лиштвану вручено благодарственное письмо Ответственного секретаря Парламентского Собрания С. Г. Стрельченко.

Планы НИР и показатели социально-экономического и научно-инновационного развития Институтом природопользования НАН Беларуси в 2008 г. выполнены. Успешно ведутся работы по практическому освоению научных разработок, результаты проведенных исследований вносят значимый вклад в решение задач по проблемам национального природопользования, охраны окружающей среды и технологических основ переработки твердых горючих ископаемых.

В качестве перспективных направлений научной и научно-технической деятельности Института природопользования НАН Беларуси могут быть выделены следующие:

- пространственно-временной анализ изменения климатических ресурсов с целью оптимизации сельскохозяйственного производства, расширения возможности учета и наиболее полного использования климатической информации в энергетике, строительстве, водном хозяйстве; разработка стратегии реагирования национальной экономики на изменения климата;
- изучение источников воздействий и оценка техногенных нагрузок на ландшафты и их компоненты, обоснование допустимых норм воздействий на природные комплексы с учетом их устойчивости к различным техногенным воздействиям и функционального использования территории;
- исследование процесса восстановления болотных экосистем на выработанных торфяных месторождениях разного генезиса;
- вовлечение торфяных ресурсов в энергетический комплекс страны;
- изучение геохимии пресных подземных вод Беларуси и разработка геэкологических основ их национального использования;
- изучение генезиса и распространения подземных минеральных вод и лечебных рассо-

лов Беларуси в связи с их традиционным и перспективным экологобезопасным использованием в санаторно-курортной реабилитации населения;

- изучение геодинамики земной коры и современных геологических процессов на территории Беларуси;

• разработка технических средств регулирования температурно-влажностного режима и способов минимизации содержания техногенных загрязнителей в деятельном слое почвогрунтов;

- разработка технологий получения биологически активных препаратов для животноводства и растениеводства;

• создание новых экологобезопасных материалов и препаратов на основе каустобиолов и органического сырья для повышения плодородия почв, защиты сельскохозяйственных растений, реабилитации деградированных земель;

• оценка воздействия потребления природных ресурсов на качество окружающей среды, научное обоснование экологически безопасных принципов природопользования, охраны и воспроизводства природных ресурсов.

Проблемы, требующие решения в ближайшее время:

#### 1. Старение коллектива.

В 2008 г. среднесписочная численность работников института составляла 168 чел., в том числе 148 исследователей. Из числа научных сотрудников 66 имеют ученыe степени: 17 докторов наук (в т. ч. 5 академиков, 3 члена-корреспондента) и 49 кандидатов наук. Однако в 2008 г. в возрасте до 50 лет был всего 1 доктор наук, кандидатов наук до 40 лет – 8. Молодежь в возрасте до 35 лет составляла примерно 25 %.

За последние 5 лет сотрудниками института защищены 5 докторских и 8 кандидатских диссертаций, что, однако, не решает проблему старения высококвалифицированных научных кадров.

#### 2. Многотемье.

В 2008 г. Институт природопользования НАН Беларуси выполнял научные работы по 279 темам, т.е. по 1,9 задания на 1 исследователя.

3. Недостаточная степень соответствия материально-технической базы института современным требованиям.

Несмотря на приобретение в последние годы нескольких современных приборов (инфракрасный спектрофотометр, жидкостной хроматограф, калориметр адиабатический), в целом приборная база института в значительной степени изношена и устарела, что затрудняет проведение научных экспериментов и снижает ценность полученных научных результатов.

#### 4. Финансирование.

Требуется усовершенствование организации финансирования научных исследований, в том числе за счет возврата к базовому финансированию.

**Л и т е р а т у р а**

1. Выбросы (эмиссии) и стоки парниковых газов в Республике Беларусь / В. Ф. Логинов, А. С. Сенько. Мн., 2008.
2. Инструкция по использованию сапропелевых лечебных грязей для оздоровления и санаторно-курортного лечения / Б. В. Курзо. Мн., 2008.
3. **Логинов В. Ф.** Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия. Мн., 2008.
4. Природопользование. 2008. Вып. 14 / Под ред. В. Ф. Логинова. Мн., 2008.
5. Состояние природной среды Беларуси: Экол. бюл., 2007 г. / Под общ. ред. В. Ф. Логинова. Мн., 2008.
6. ТКП 17.13-02-2008 «Порядок проведения наблюдений за химическим загрязнением земель» (Охрана окружающей среды и природопользование. Мониторинг окружающей среды.). Мн., 2008.
7. ТКП 17.12-01-2008 «Правила и порядок определения и изменения направлений использования выработанных торфяных месторождений и других нарушенных болот» (Охрана окружающей среды и природопользование. Территории). Мн., 2008.
8. ТКП 17.12-02-2008 «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» (Охрана окружающей среды и природопользование. Территории). Мн., 2008.

**A. K. Карабанов, Г. А. Камышенко**

---

**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНСТИТУТА ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НАН БЕЛАРУСИ В 2008 ГОДУ**

---

Представлена краткая информация о государственных программах, по которым Институт природопользования НАН Беларуси является головной организацией. Приведены основные результаты научной и инновационной деятельности института в 2008 г., сведения о заинтересованности министерств и ведомств в реализации государственных программ и задач, выполняемых в институте. Показаны перспективы научно-исследовательских и инновационных работ по основным направлениям деятельности института; сформулированы проблемы, требующие решения в ближайшее время.

**A. K. Karabanov, G. A. Kamyshenka**

---

**MAIN TRENDS AND RESULTS OF SCIENTIFIC INNOVATION ACTIVITY OF THE  
INSTITUTE FOR NATURE MANAGEMENT NAS OF BELARUS IN 2008**

---

*A brief information about national programs for which the Institute for Nature Management NAS, Belarus is a head institution has been presented. Main research and innovation activity results of the Institute in 2008 are given, data about the interest of ministries and departments in the realization of state programs and tasks to be executed at the institute. The prospects of scientific-research and innovation works on basic directions of the institute's activity have been shown; the problems, that need solutions in the nearest time, have been phrased.*

## ВЫСТУПЛЕНИЕ

### **АКАДЕМИКА И. И. ЛИШТВАНА НА ОБЩЕМ СОБРАНИИ ИНСТИТУТА «К 80-ЛЕТИЮ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ И 75-ЛЕТИЮ ИНСТИТУТА ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ (ИНСТИТУТА ТОРФА)»**

Уважаемые коллеги! Дорогие гости!

Сегодня мы отмечаем событие большой исторической и государственной значимости – 80-летний юбилей Национальной академии наук Беларуси. Это праздник не только академического сообщества, но и знаменательная дата в истории всего белорусского народа. Для нашего коллектива, специалистов по природным ресурсам, экологии, охране окружающей среды тоже знаменитая дата – более 75 лет работает наш институт. Его становление как академического научного учреждения проходило на общем фоне развития Академии наук.

Развитие науки и образования в Беларуси в 20-х годах прошлого столетия шло беспрецедентно быстрыми для тех временных и пространственных масштабов темпами.

30 января 1922 г. был создан Институт белорусской культуры, а уже в октябре 1924 г. принято постановление о реорганизации его в высшее научно-исследовательское учреждение по типу Академии наук.

В 1924 г. наряду с гуманитарными в Инбелкульте появляются научные подразделения природоведческого профиля: географическая, медицинская и агрономическая секции. К концу 1928 г. в трех институтах Инбелкульта (геологическом, научного языка, искусствоведения), на 15-и его кафедрах, в трех комиссиях, Ботаническом саду, химической лаборатории, зоологическом музее, двух национальных секторах и учреждениях при Президиуме Инбелкульта работало 113 штатных сотрудников.

Превращение Инбелкульта в достаточно крупное научно-исследовательское учреждение, по типу близкое к Академии наук, дало основание Совнаркому БССР для принятия 13 октября 1928 г. постановления «О реорганизации Института белорусской культуры в Белорусскую академию наук». 1 января 1929 г., в день 10-летнего юбилея образования БССР, состоялось торжественное открытие Белорусской академии наук. В число первых белорусских академиков вошли ведущие ученые (языковед С. М. Некрасевич, почтовед Я. Н. Афанасьев, философ С. Я. Вольфсон, геолог Н. Ф. Блиодухо, экономист-географ Г. И. Горецкий, историки В. Ю. Ластовский, В. И. Пичета, гидрогеолог

А. Д. Дубах, литературовед И. И. Замотин и др.), деятели белорусской литературы (Янка Купала, Якуб Колас, Тишк Гартный, Б. А. Таращевич и др.), представители АН СССР (академики А. П. Карпинский, В. С. Вильямс, С. Ф. Ольденбург, Н. Я. Марр и др.), представители Всеукраинской академии наук (академики Д. К. Заболотный, П. А. Тутковский, М. И. Яворский и др.). Первым президентом нашей академии стал известный белорусский историк Все-волод Макарович Игнатовский.

С первых лет своего существования Академия наук показала, что академическая форма организации научной работы очень удачна. Очевидным признанием этого явилось постановление Совнаркома БССР от 13 мая 1931 г. «О реорганизации Белорусской академии наук», которым права академии сильно расширялись, а ей предписывалось быть «единым научным центром, в котором концентрируется общее руководство всей научно-исследовательской работой БССР».

В довоенный период (1929–1941 гг.) количественно и качественно вырос кадровый потенциал академии: со 128 штатных сотрудников на день организации академии до 610 научных сотрудников плюс 143 человека производственного персонала в начале 1941 г. Причем в 1941 г. в АН БССР работало 27 академиков и 23 члена-корреспондента, а также 46 докторов наук и 67 кандидатов наук. В состав академии входило 12 научно-исследовательских учреждений, среди которых было уже 9 институтов, в том числе Институт торфа.

Росли весомость и значимость получаемых академией научных результатов. В 1941 г. работы ученых академии были отмечены четырьмя Государственными премиями СССР. В достижения АН БССР довоенного периода вложен большой труд ее президентов – Все-влада Макаровича Игнатовского, Павла Осиповича Горина (Коляды), Ивана Захаровича Сурты, Константина Васильевича Горева, руководивших академией в то непростое время.

Константину Васильевичу Гореву судьба определила быть президентом Академии наук и в тяжелые военные годы. В это время из-за трудностей эвакуации, потери материально-

технической базы и других причин распались институты академии. Однако вокруг талантливых и деятельных членов академии в тыловых городах Советского Союза, далеко от Беларуси, в тяжелейших бытовых и производственных условиях создавались активно действующие ячейки, группы, лаборатории, работающие на оборону страны.

Не была утрачена в те трудные военные годы и организационная целостность АН БССР. Проводились заседания Президиума (Ташкент, 6 января 1942 г. и т.д.) и сессии АН БССР (Казань, 12–13 марта 1942 г.; Ташкент, ноябрь 1942 г.; Минск, апрель 1945 г.). Утверждались и выполнялись годовые планы и сметы расходов АН БССР. С 1943 г. возобновилась деятельность отделений наук, а в первой половине 1944 г. в Москве были восстановлены все довоенные институты АН БССР, в том числе Институт торфа. По существу АН БССР оказалась единственным научным учреждением республики, которое быстро восстановило свою деятельность после переезда в восточные области СССР.

Восстановительный процесс после войны академии пришлось начинать в тяжелых условиях: академические здания были сожжены, уникальная академическая библиотека с книжным фондом на 300 тысяч единиц хранения и значительная часть научного оборудования были вывезены в Германию. Но уже к 1950 г. в АН БССР работало 28 научно-исследовательских учреждений (в том числе 15 институтов), причем количество лабораторий в этих учреждениях увеличилось по сравнению с довоенным периодом более чем в 2 раза.

Большую помощь в восстановлении материально-технической базы АН БССР и книжного фонда академической библиотеки, а также кадрового потенциала оказала АН СССР. Направление ученых АН БССР для подготовки докторских и кандидатских диссертаций в ведущие научные учреждения АН СССР позволило нашей академии в 1951 г. среди 968 научных сотрудников иметь 55 докторов наук и 165 кандидатов наук, что превышало довоенный уровень по количеству академических сотрудников в 1,6 раза, по количеству докторов наук – в 1,2 раза и по количеству кандидатов наук – почти в 2,5 раза.

В 1950-е годы во многом благодаря привлечению высококвалифицированных ученых из учреждений России резко вырос потенциал академии в области физико-математических и технических наук. Из московских и ленинградских научных учреждений приехали и были избраны у нас академиками АН БССР физики М. А. Ельяшевич, Н. Н. Сирота, Б. И. Степанов, математики Н. П. Еругин, В. И. Крылов, специалисты в области техники и энергетики А. К. Красин, А. В. Лыков, В. П. Северденко и др.

С 1952 по 1969 г. Академию наук возглавлял президент Василий Феофилович Купревич, известный биолог и человек удивительной судьбы. Именно в это время начался бурный рост Академии наук и научно-технического потенциала республики.

В те годы в академии были заложены основы развития таких наук, как генетика, микробиология, вычислительная математика, кибернетика, лазерная физика, электроника и ряд других. Был придан динамизм количественному и качественному росту академии. Развитие академии коррелировало с мощным наращиванием производственного потенциала республики, созданием новых отраслей промышленности: радиоэлектроники, приборостроения и других.

В то же время бурно развивается торфяная отрасль народного хозяйства. Ведь в ту пору почти 60% тепловой и электрической энергии вырабатывалось на торфе. Республику называли «торфяным Донбассом». Строились новые торфопредприятия и крупные теплоэлектростанции на торфе. Институт торфа Академии наук БССР совместно с Белгипроторфом обеспечивал научное сопровождение бурно развивающейся торфяной отрасли, создавая новые технологии и оборудование для добычи и переработки торфа на основе глубокого изучения его физико-технических, химических, агрохимических, биологических свойств.

Динамическое развитие академии продолжалось до середины 1980-х годов. В это время академию возглавлял известный физик Николай Александрович Борисевич (президент АН БССР в 1969–1987 гг.). В этот период были созданы Институты геохимии и геофизики (1971 г.), фотобиологии и электроники (1973 г.), биоорганической химии (1974 г.), зоологии (1980 г.) и другие. Качественный рост академической науки проявился в формировании ряда научных школ, известных далеко за пределами нашей республики. Ярким подтверждением достижения академической наукой качественно более высокого уровня проводимых фундаментальных исследований явилось получение ее представителями ряда результатов, имеющих высший статус научной значимости – статус научных открытий. Среди авторов последних – академики А. А. Ахрема, Н. А. Борисевич, В. И. Вотяков, Ф. И. Федоров и другие. Произошли значительные изменения в географическом размещении академических учреждений – два отделения были созданы в Могилеве и одно в Витебске, которые затем были преобразованы в самостоятельные институты. В 1970–1980-е годы в академии была создана мощная и разветвленная конструкторская и опытно-экспериментальная база, позволявшая академическим ученым быстро реализовывать новейшие научные идеи в конкретных разработках (прибо-

рах, материалах, станках, медикаментам и прочем), которые впоследствии передавались для промышленного освоения.

К сожалению, вместо продолжения стабильного развития страны, корректировки хозяйственной, экономической, административной политики на основе научного анализа складывающейся ситуации в конце 1980-х – начале 1990-х годов в стране были начаты непродуманные социальные эксперименты. И как результат – обвал экономики. Для Академии наук наступили тяжелые времена, требовавшие от ее руководства тщательного анализа ситуации, взвешенных решений, упорной работы в стрессовых ситуациях. Тяжел был крест, который приходилось нести на своих плечах руководству академии, не всем он оказался по плечу. В это время (с 1987 по 1992 г.) президентом академии был известный математик Владимир Петрович Платонов. Да, В. П. Платонов выдающийся ученый, но, увы, далеко не все такие ученые являются выдающимися организаторами науки. Так случилось и здесь. Платонов часто выезжал в командировки по Союзу и за границу. Таким образом, в Президиуме АН БССР в то время работали в основном члены бюро, которые и несли на своих плечах весь груз научных и ненаучных проблем.

Ситуация в Академии наук БССР осложнялась, становилась неопределенной. Президент Академии наук, который должен постоянно радеть об интересах ученых, все чаще и на более длительный срок выезжал за рубеж. В 1991 г. под предлогом необходимости написания монографии в своей математической области он отстранился от дел, а затем и вовсе уехал в США. Но еще задолго до отъезда В. П. Платонова за рубеж академик Леонид Михайлович Сущеня задал ему вопрос: «Владимир Петрович, вы как будете работать – за границей или в Академии наук?» В. П. Платонов ответил: «Конечно, я буду работать в Академии наук». И снова президент академии надолго уезжает в США.

Во время последней поездки в США выяснилось, что В. П. Платонов оставил некое письмо ученому секретарю Института математики с наказом, чтобы он передал его в Президиум академии по первому его требованию. Через некоторое время В. П. Платонов позвонил своему ученому секретарю и попросил его передать письмо, которое хранилось в сейфе, в Президиум академии. Так письмо В. П. Платонова оказалось на столе у Александра Васильевича Степаненко, исполняющего в то время обязанности президента Академии наук. Письмо вскрыли и прочитали следующее: «... Прошу освободить меня от должности президента Академии наук БССР».

В 1992 г. Президиум академии освободил В. П. Платонова по его личной просьбе от должности президента Академии наук БССР.

В 1992 г. президентом академии был избран известный биолог Леонид Михайлович Сущеня. Ему и вновь избранному Президиуму академии в очень тяжелое время, в период обвального снижения объемов финансирования фундаментальной науки, удалось в основном сохранить накопленный ранее научно-технический потенциал академии, а затем, после смены руководства республики, укрепить статус академии. Был разработан с участием академии и принят Закон Республики Беларусь от 21 октября 1996 г. «О научной деятельности», подготовлен в основном Закон Республики Беларусь «О Национальной академии наук Беларусь», который позднее (5 мая 1998 г.) был принят Национальным собранием Республики Беларусь и Указом Президента Республики Беларусь «О Национальной академии наук Беларусь» № 281 от 15 мая 1997 г.

Несколько слов о президентстве Л. М. Сущеня. Нужно отметить, что Леонид Михайлович – человек чрезвычайной образованности, высокой научной порядочности. В любое другое время это был бы замечательный президент академии. Но на его время выпал крутой перелом в стране, в республике, когда все рушилось, осуществлялся переход на новые экономические отношения. Да, Л. М. Сущене пришлось крайне нелегко.

Ситуацию к лучшему в стране смог переломить новый руководитель страны – президент А. Г. Лукашенко. В мае 1997 г. подошло время новых выборов президента Академии наук. Новым президентом стал Александр Павлович Войтович.

В этот период запомнилось одно из собраний в Академии наук. Приехал и выступил перед учеными Президиума А. Г. Лукашенко. Выступление Президента подбодрило членов общего собрания. Академию наук как таковую кое-кто уже отпевал, утверждая, что наука должна развиваться в вузах. Академию предлагали превратить в некий джентльменский клуб.

Более того, уничтожение академии – это уничтожение фундаментальной науки. Президент успокоил ученых, сообщив им, что Академия наук будет жить и, как государственная структура, будет финансироваться лучше, чем до сих пор.

Отметим, что к Академии наук во все времена относились уважительно. Но в 1990-е годы престиж науки снизился. Теперь превыше всего – сиюминутная прибыль, что для настоящей науки опасно, ибо подрубаются корни грядущих открытий, резко сужается горизонт. Это очень сложный вопрос. Страна наша небольшая. Именно поэтому необходимо всемерно изыски-

вать деньги на науку и, соответственно, на научные отрасли промышленности.

А. П. Войтович пробыл президентом Национальной академии наук Беларусь недолго – с мая 1997 по декабрь 2000 года. С декабря 2000 года по июль 2003 г. он работал председателем Совета Республики Национального собрания Республики Беларусь.

Президентом НАН Беларусь после А. П. Войтovicha стал М. В. Мясникович. В этой должности Михаил Владимирович Мясникович работает до сих пор. Александр Григорьевич Лукашенко, представляя его в Национальной академии наук, полуслучаю-полусерьезно обронил такую фразу: «Я вам рекомендую в качестве президента НАН человека, который знает, где у нас лежат деньги, и знает, как их взять»... Ученым такое заявление явно понравилось и все, конечно, горячо зааплодировали. Впоследствии выяснилось, что с деньгами для академии дело оказалось не таким уж простым.

Председатель Президиума НАН Беларусь М. В. Мясникович пользуется в коллективе академии большим авторитетом. Он преуспел в совершенствовании ее структуры, многие научные разработки нашли дорогу в производство. Михаил Владимирович полностью отдает себя делу расцвета белорусской науки.

Но Михаил Владимирович Мясникович, похоже, не складывает оружия, нажимая на развитие прикладных научных исследований. Что касается фундаментальных исследований, то они ложатся нелегким бременем на бюджет страны. Но о них забывать нельзя ни в коем случае!

Сегодня престиж Национальной академии наук как никогда высок. Все важнейшие достижения страны в экономике, социальной сфере неразрывно связаны с деятельностью академии, ее отделений, научно-практических центров, институтов.

На общем академическом фоне развивалась и научная деятельность нашего коллектива: до 1990 г. Института торфа, затем Института проблем использования природных ресурсов и экологии, а с 2008 г. – Института природопользования. Мне представляется, как бы ни назывался наш институт, но все же наиболее представительным направлением остается комплексное биосферно-совместимое использование твердых горючих ископаемых (торф, сапропели, бурые угли, горючие сланцы) в промышленности, сельском хозяйстве, химической отрасли, охране окружающей среды, хотя по целому ряду причин, порой субъективных, заметным и становятся тенденции принижения актуальности этих исследований.

Наш институт как самостоятельное научное учреждение АН БССР организован 25 декабря 1932 г. на базе торфяного отдела при Ин-

ституте промышленности БССР. Первым директором института был профессор Федор Яковлевич Бахтеев. К тому времени торф в топливном балансе республики составлял более 26 %. Работали десятки предприятий по добыче торфа на топливо и для производства генераторного газа.

В 1934 г. в структуре института было уже четыре подразделения: секторы болотоведения и торфодобычи, лаборатории газификации и аналитическая. Основными направлениями работы было изучение торфяных запасов и их ботанической и физико-технической характеристики, создание теории и технологии газификации торфа, технологии торфяного производства и некоторых вопросов переработки торфяных смол.

В апреле 1934 г. состоялась сессия Академии наук БССР по торфу. В Постановлении Совнаркома БССР от 5 июня 1934 г. по докладу «Об итогах сессии Академии наук по торфу» была отмечена необходимость расширения научных исследований и изысканий в области улучшения технологических процессов торфодобычи, химической переработки торфа и получения на его основе новых продуктов и материалов.

С 1936 по 1941 г. директором Института торфа АН БССР был доктор биологических наук Геннадий Иванович Ануфриев, ранее занимавшийся изучением болот Кольского полуострова и Ленинградской области и проводивший исследования совместно с В. С. Доктуровским.

В этот период в институте наряду с развитием работ по технологии добычи и переработки торфа большое внимание уделялось изучению торфяных запасов, их ботанической и физико-технической характеристикам. Проводились работы по изучению генезиса и районированию торфяных месторождений. Главным результатом этих работ стало составление кадастра болот восточных областей республики. Начались работы по изучению болот западных областей.

Для дальнейшего развития исследований по отдельным направлениям в Институт торфа из Москвы были приглашены высококвалифицированные специалисты: по вопросам технологии и механизации торфяного производства – И. Г. Блох и В. Г. Горячкин (в 1940 г. они были избраны членами-корреспондентами АН БССР), по проблемам химии и химической переработки торфа – Б. К. Климов (в 1936 г. избран членом-корреспондентом АН БССР) и В. Е. Раковский (в 1940 г. избран членом-корреспондентом АН БССР).

Быстрое развитие торфяной промышленности и науки о торфе потребовало подготовки инженерно-технических кадров. С этой целью в 1932 г. в Минске был создан учебный торфяной

институт, который в 1933 г. вошел в состав Белорусского политехнического института как торфо-мелиоративный факультет.

Удельный вес торфяного топлива непрерывно растет и в 1937 г. составил 45 % общего топливного баланса, объем добычи достиг 2,5 млн т. Все большее значение приобретает фрезерный, наиболее механизированный способ добычи. В 1940 г. объем добычи торфа достиг 3,3 млн т, и его удельный вес в топливном балансе республики составил 64 %. Началось строительство четырех торфобрикетных заводов общей мощностью около 200 тыс. т.

В конце 1930-х годов в институте проведены исследования по получению и использованию торфяного газа. Был создан газогенератор с качающейся колосниковой решеткой к трактору. Проводится большая работа по составлению ТЭО газификации Минска и промышленных центров. Следует отметить, что при росте добычи торфа требовалась разработка новых машин и технологических схем механизированной добычи торфа. В связи с этим была несколько изменена структура института. Созданы три сектора по изучению торфяного фонда с геоботанической лабораторией; промышленного торфодобывания с конструкторским бюро; технологии торфа (лаборатории: газификации, технологии торфяных смол, аналитическая).

Такой была структура института до начала войны и в первые послевоенные годы.

Рост объемов добычи торфа обеспечивался внедрением новых машин и способов добычи, сушки и уборки торфа. В этот период построены такие крупные торфопредприятия, как «Осниторф» (Витебская область), «Большевик» (Гомельская область), «Красное Знамя» (Минская область), «Татарка» (Бобруйская область). Большие объемы работ были выполнены по сушке торфа в полевых условиях. Проведены исследования по переработке торфа в прессах различных конструкций. Ранее было показано, что торф может быть хорошим органическим удобрением для минеральных почв. В это время для возделывания сельскохозяйственных культур начали использоваться осущенные торфяные месторождения. Начиная с 1937 г. в Институте торфа проводятся в основном все научно-исследовательские работы по торфу и сапропелю.

Среди видов гумифицированного сырья, которым располагает республика, около 20 % приходится на долю сапропелей – донных отложений озер.

Исследования по изучению и практическому использованию сапропелей в республике проводятся с начала 1930-х годов. Совет Народных Комиссаров БССР в 1932 г. принимает специальное постановление «О ходе работ по исследованию сапропелей». Институту было

дано задание ускорить работы по разведке, технологии добычи и сушки озерных сапропелей. По просьбе медицинских учреждений республики в 1935–1936 гг. институтом была организована специальная экспедиция по выявлению сапропелей для лечебных целей.

Таким образом, за предвоенный период своей деятельности Институт торфа АН БССР внес большой вклад в становление и развитие науки о торфе, что оказало существенное влияние на научно-технический прогресс торфяной отрасли, рациональное использование ресурсов торфа.

Великая Отечественная война 1941–1945 гг. стала суровым и вместе с тем героическим периодом в истории Советского государства. Ученые академии, находившиеся в советском тылу, все свои усилия направляли на решение задач укрепления обороноспособности страны, оказания максимальной помощи Красной Армии.

В марте 1942 г. в Казани состоялась первая в условиях войны сессия Академии наук БССР. Вторая в условиях военного времени сессия академии состоялась в ноябре 1942 г. в Ташкенте. О результатах научно-исследовательской работы белорусских ученых во время войны сообщали в своих докладах академики и члены-корреспонденты АН БССР, и в их числе В. Е. Раковский.

К концу 1943 г. организовано Отделение технических наук, объединившее в своем составе Институт торфа и ряд лабораторий: физико-химии коллоидов, кинетики и катализа, технической физики.

Восстановленный к концу 1942 г. Институт торфа функционировал на базе лабораторий Московского химико-технологического института им. Д. И. Менделеева. Кроме того, ученые института работали в московских научных учреждениях: член-корреспондент АН БССР Б. К. Климов – в Институте геологии АН СССР, члены-корреспонденты АН БССР В. Г. Горячkin и И. Г. Блох – в Московском торфяном институте.

В июле 1944 г. Совнарком БССР утвердил структуру Академии наук БССР в составе трех отделений, восьми институтов и четырех других научных учреждений. В Отделение технических наук входили Институт торфа, Институт химии, Физико-технический институт, водохозяйственный сектор.

В послевоенный период исследования Института торфа значительно расширились и были направлены на изучение генезиса и стратиграфии торфяных и сапропелевых месторождений, химической и механической переработки торфа. В этот период интенсивное развитие получают исследования в области технологии и механизации торфяного производства, создания теоретических основ торфяной механики.

С 1943 по 1948 г. Институт торфа возглавлял член-корреспондент АН БССР Владимир Евгеньевич Раковский – ученый в области химии твердого топлива. В структуру института входили лаборатории торфяных месторождений, технологии, механизации торфодобычи, механической переработки, добычи торфа для нужд сельского хозяйства, экспериментального проектирования, химической технологии торфяных смол, газификации торфа, сапропелей, торфяного воска, аналитическая лаборатория.

С 1948 по 1952 г. директором института был Аркадий Борисович Дубов. В этот период наряду с расширением работ по технологии и механизации торфяного производства проводились работы по применению торфа в качестве удобрений и использованию торфяных месторождений для возделывания сельскохозяйственных культур.

Исследования в области технологии, механизации и торфяной механики выполнялись под руководством членов-корреспондентов АН БССР Ф. А. Олейко, В. Г. Горячкина, И. Г. Блоха.

В связи с развитием фрезерного способа добычи проводились работы по изучению микробиологии торфяной залежи и процессов саморазогревания фрезерного торфа.

С целью ускорения внедрения в производство результатов научных разработок в 1949 г. организуется торфяная опытная станция (ТОС) на базе торфопредприятия «Дукора». Основной ее задачей было изготовление и испытание экспериментальных образцов машин и установок по добыче и комплексной переработке торфа и отработка технологий по получению новых продуктов на его основе, а также проведение полевых опытов.

С 1952 по 1960 г. директором института был Петр Илларионович Белькович, избранный членом-корреспондентом АН БССР в 1953 г. В это время продолжались работы по совершенствованию технологии добычи торфа. Исследования в области физической химии торфа, проводимые под руководством П. И. Бельковича, были направлены на изучение физико-химических свойств торфа с целью разработки способов его комплексного использования. Значительное внимание уделялось исследованию условий извлечения из торфа битумов. Работы по экстракции привели к разработке технологии получения воска из торфа. Изучены физико-химические свойства восковых экстрактов, получаемых различными растворителями из различных видов торфа. Продолжались исследования химического состава воска. Показано, что, в отличие от буроугольного воска, торфяной воск не содержит асфальтенов.

Несмотря на активное развитие фрезерного способа добычи торфа, он имел существенные недостатки: малый объемный вес, не-

однородный состав, высокую влагоемкость, склонность к саморазогреванию и самовозгоранию. Для устранения этих недостатков была проведена большая работа по улучшению качества фрезерного торфа путем дополнительной механической переработки сферезированной залежи и получения гранулированного (зернистого, порошкообразного) торфа. Выполненные исследования несколько улучшили технологию получения гранулированного торфа, но не решили проблему полностью. В дальнейшем машины совершенствовались путем увеличения глубины фрезерования и ширины щелей при разработке технологии и машин для добычи мелкокускового торфа.

Проводились также работы по механизации процессов добычи кускового торфа. В Институте торфа была разработана конструкция самоходной машины МСК для выполнения комплекса операций по сушке кускового торфа. Внедрение машин МСК решало вопрос комплексной механизации добычи кускового торфа экскаваторным способом.

Вместе с работами по технологии добычи кускового и фрезерного торфа проводились исследования процесса сушки торфа на брикетных заводах. Была разработана парогазовая барабанная сушилка. Опытный экземпляр ее испытан в 1950 г. на торфопредприятии им. Орджоникидзе в Минской области. На основании положительных результатов испытаний был разработан проект головной партии сушилок. Изготовленные Бердичевским заводом химического машиностроения «Прогресс» сушилки были установлены на торфобрикетном заводе в Вертилишках Гродненской области и на заводе горного воска в Дукоре Минской области.

Применение парогазовых барабанных сушилок позволило получать дополнительный экономический эффект от использования дымовых газов котельной, которые обычно выбрасываются в атмосферу.

Повышение урожайности сельскохозяйственных культур требовало внесения в почву необходимого количества минеральных и органических удобрений. В этом деле большую роль должен был сыграть торф как наиболее распространенный вид местного органического удобрений. Поэтому Институт торфа в послевоенные годы работал в направлении изыскания рациональных технологических схем и механизмов по добыче торфа на удобрение и подстилку.

Было показано, что наиболее эффективным способом добычи торфа на удобрение и подстилку является поверхностно-послойный. При этом способе обеспечивается механизация всех производственных процессов, а поля после выработки торфа остаются удобными для возделывания сельскохозяйственных культур.

Наряду с послойным способом добычи торфа для сельского хозяйства проводились научно-исследовательские работы по применению гидравлического способа заготовки торфа на удобрение. Был заложен опытный участок по внесению гидромассы торфа в почву на опытной станции «Дукора». Этот способ позволяет коренным образом изменить структуру бедных органическим веществом песчаных почв и повысить их плодородие. Показан долговременный эффект внесения высоких доз торфа на почву и урожай сельскохозяйственных культур.

При изучении химического состава торфа были установлены закономерности изменения содержания компонентов от ботанического состава, степени разложения, условий залегания и других факторов. Полученные данные позволили В. Е. Раковскому с сотрудниками сформулировать новые теоретические положения о происхождении твердых топлив, сущность которых сводилась к циклизации углеродных атомов, протекающей в торфе в результате реакций дегидратации и декарбоксилирования.

До 1953 г. Институт торфа наряду с научно-исследовательскими работами выполнял обязанности Главторффонда республики и совместно с Гипроторфом РСФСР изучал торфяной фонд Белоруссии. В 1953 г. опубликован справочник «Торфяной фонд Белорусской ССР», в котором дана качественная и количественная характеристика более 6 тыс. торфянных месторождений республики, систематизированных по областям и районам. Это было ценное справочное пособие для хозяйственных и научных учреждений как республики, так и страны в целом.

С 1960 по 1963 г. директором Института торфа АН БССР снова был член-корреспондент АН БССР В. Е. Раковский. В это время наряду с работами по совершенствованию технологии и механизации добычи торфа проводились исследования по выделению ценных химических продуктов при нетопливном использовании торфа. Выполнен комплекс работ по энергохимической переработке торфа.

В результате исследований состава и механизма образования летучих продуктов термического распада торфа разработана промышленная схема переработки торфяного дегтя с получением антисептиков, гербицидов, дубителей и других веществ.

Для расширения сырьевых ресурсов по производству металлургического кокса выполнены исследования по получению прочного кокса при совместной переработке торфа и нефтепродуктов.

В 1950-х годах под руководством члена-корреспондента В. Е. Раковского проведены новые исследования по химии и генезису торфа. Впервые было показано, что накопление орга-

нического вещества происходит не только за счет анаэробных условий и более медленного окисления химических и биохимических стабильных веществ, но и за счет консервации всей массы органического материала благодаря наличию в растениях антисептиков-фенолов. Последние не только сохраняют растения при жизни, но и консервируют их после отмирания. Этот процесс получил название «пассивного химического иммунитета».

В начале 1960-х годов директивными органами осуществлялась идея передачи ряда научно-исследовательских учреждений из системы Академии наук в состав производственных ведомств. Часть институтов была переведена из столичных городов в промышленные центры. В это время (1963–1966 гг.) Институт торфа вместе с другими институтами топливного профиля находился в ведении Государственного комитета по топливной промышленности при Госплане СССР (Постановление СМ СССР от 11 мая 1963 г. № 521) и назывался Всесоюзным научно-исследовательским институтом торфа (ВНИИТП).

В этот период тематика института была изменена в сторону энергохимического, химического, агрохимического и топливного использования торфа.

Нахождение института в такой сильной в то время организации с огромными материальными возможностями, как Комитет по топливной промышленности при Госплане СССР, способствовало значительному укреплению материальной базы. За это время построены лабораторный корпус площадью 3 150 м<sup>2</sup>, 64-квартирный дом для сотрудников, приобретены транспорт для экспедиций и научное оборудование.

В 1966 г. в связи с реорганизацией управления промышленностью и упразднением Государственного комитета по топливной промышленности при Госплане СССР по решению Совета Министров БССР, согласованному с Академией наук СССР и Советом Министров СССР, институт был передан в состав Академии наук БССР. В связи с этим Президиум АН БССР просил утвердить институту новое направление, так как ранее исследования носили больше отраслевой, чем проблемный характер. Предлагались следующие направления:

1. Генезис торфа и сапропелей.
2. Изучение физических и физико-химических свойств торфа.
3. Изучение биохимических процессов в превращениях торфа.
4. Технологические исследования по использованию торфа.

С 1963 по 1973 г. директором Института торфа был доктор технических наук Николай Степанович Панкратов. В этот период начинают

разрабатываться технологии и создаваться новые машины для добычи бытового топлива, борьбы с саморазогреванием и самовозгоранием торфа, получения новых продуктов химической переработки торфа, автоматизации технологических процессов. Продолжается совершенствование технологий производства воска с непрерывной экстракцией торфа, получением новых видов торфяных удобрений и др.

Продолжены работы по созданию технологии и машины для получения кускового торфа с глубинно-щелевой экскавацией залежи с повышенной глубиной фрезерования. Была создана машина МБТ-500.

Изучалось влияние щелевой экскавации торфа на водный режим и несущую способность залежи. Полученные результаты были использованы при разработке технологии добычи торфа глубинно-щелевым способом.

Совместно с Институтом химии древесины Латвийской Академии наук проводились исследования по разработке технологии получения кормовых дрожжей из малоразложившегося верхового торфа путем гидролиза концентрированной серной кислотой и ее проверки на опытной установке в производственных условиях.

В связи с проведением исследований по получению кормовых дрожжей из малоразложившегося торфа возникла необходимость проведения работ по технологии добычи сырья для этих целей.

К этому времени в институте начали проводить работы по технологии гидромеханизированной добычи сапропеля из открытых водоемов.

Фрезерный торф при хранении может саморазогреваться и самовозгораться. Установлено, что аутотермические процессы – это результат взаимодействия микробиологических, биохимических, физико-химических и химических процессов, обусловленных геоботанической характеристикой и химическим составом торфа, технологическими параметрами и метеорологическими условиями сезона.

Глубокое изучение механизма аутотермических процессов при хранении торфа явилось основой для разработки нового технологического приема торможения саморазогревания и предупреждения самовозгорания – метода внутренней изоляции. В дальнейшем на основании изучения превращений как органической, так и минеральной составляющих торфа было сформулировано новое представление о явлении его самовозгорания и предложен метод прогнозирования поведения торфа при хранении.

Расшифровка механизма образования подвижных форм азота при хранении торфа позволила разработать технологию повышения его качества как удобрения за счет регулирова-

ния теплового режима в штабелях и за счет обработки торфа безводным аммиаком.

В конце 1960-х годов в Институте торфа проводились исследования пневматического транспортирования измельченного торфа при повышенных концентрациях аэросмеси. Теоретически обоснован метод определения потерь давления в разгонном участке вертикального трубопровода при повышенной концентрации торfovоздушной смеси до 25 кг/кг и предложены соответствующие зависимости для расчета.

Под руководством члена-корреспондента АН БССР Ф. А. Олейко проводились исследования по автоматизации технологических процессов торфяного производства. Выполнялись исследования по автоматическому регулированию глубины фрезерования при добыче кускового торфа глубинно-щелевым способом экскавации.

Проведены исследования по непрерывному определению основных физических характеристик торфа и разработан их автоматический контроль. Выполнены также исследования по автоматическому дозированию сапропелевого связующего при производстве древесностружечных плит.

На основании изучения низкотемпературного разложения торфа разработана технология производства термообработанного торфа – наполнителя пресспорошковых пластмасс. Предложенные технологии и рецептура проверены на заводе «Карболит» (г. Орехово-Зуево).

Изучение ионообменных свойств торфа позволило разработать технологию приготовления торфощелочных реагентов-разжижителей цементных шламов и стабилизаторов буровых растворов, позволяющих снизить водосодержание в шламах и расход топлива при производстве цемента.

Развитие начатых в послевоенные годы исследований по повышению эффективности использования торфа и торфяных месторождений в сельском хозяйстве было направлено на детальное изучение агрохимических свойств различных видов торфа.

Исследования по минерализации органического вещества в торфяных залежах выявили, что различные классы соединений имеют неодинаковую скорость минерализации. Эти результаты послужили основой разработки мероприятий по сдерживанию минерализации органического вещества торфяных почв.

В 1970-е годы наблюдался интенсивный рост добычи торфа, проводились широкомасштабные научные исследования состава и свойств торфа, сапропелей, бурых углей и горючих сланцев и направлений их рационального использования.

С 1973 по 1997 г. (с перерывом с 1987 по 1990 г., когда директором института был доктор технических наук Николай Владимирович Ки-

слов), институтом руководил академик Иван Иванович Лиштван.

В институте в это время изучались состав и свойства торфа, сапропелей, бурых углей и горючих сланцев и разрабатывались направления их рационального использования в народном хозяйстве. Исследования проводились по следующим направлениям:

1. Изучение процессов образования, состава и структуры торфяных месторождений и озерных отложений БССР в связи с их освоением.

2. Разработка приемов оптимального регулирования состава и свойств торфа и продуктов его переработки на основе управления процессами структурообразования и тепломассопереноса.

3. Исследование и разработка новых технологических схем и приемов использования торфа и сапропеля в народном хозяйстве.

4. Разработка новых направлений химической переработки торфа, синтез на основе продуктов его переработки новых материалов.

5. Совершенствование технологии, разработка средств механизации и автоматизации процессов торфяного производства и подготовка сырья для комплексной переработки.

6. Определение наиболее эффективных направлений комплексного использования бурых углей и горючих сланцев БССР.

Весь комплекс работ был направлен на решение актуальных вопросов в области технологии, механизации и автоматизации торфяного производства, на изыскание эффективных направлений использования торфа, торфяных месторождений, сапропелей в сельском хозяйстве, разработку методов комплексной переработки торфа, сапропелей, бурых углей и горючих сланцев с получением новых материалов на основе термохимического и биохимического синтеза. В этот период решены важные технические задачи: построен завод горного воска мощностью

400 тонн воска в год, налажено производство модифицированных восков для точного литья и антиадгезионных составов для производства изделий из полиуретанов, а также для получения лекарственных средств и изделий бытовой химии, сдан в эксплуатацию ряд объектов по добыче сапропелей (около 1,5 млн т в год), организовано производство торфогуминовых и гранулированных органоминеральных удобрений, торфяных биостимуляторов и мелиорантов, создан ряд машин и механизмов для добычи и уборки кускового и фрезерного торфа, разработана и изготовлена серия газогенераторов разной мощности, крупнолабораторная установка по энерготехнологической переработке бурых углей и производству различных сорбционных материалов.

В тот период в структуре института было 11 лабораторий и один отдел. С тематикой института была связана работа 60-го отделения Центрального конструкторского бюро (ЦКБ) и опытного производства (ОП) АН БССР и экспериментальной базы «Дукора».

Интенсивный рост добычи торфа продолжался до середины 1970-х годов. В 1975 г. было добыто около 40 млн т торфа, 30 млн т использовалось для нужд сельского хозяйства.

В 1976–1980 г. уменьшилось общее количество добытого торфа по сравнению с предыдущим пятилетием и сократилось его использование в сельском хозяйстве. Общее снижение объемов добычи торфа необходимо было компенсировать применением других видов органического сырья как для топлива, так и для удобрений, а также разработкой мероприятий по более эффективному использованию торфяных месторождений и торфа. С этой целью в 1982 г. Институтом торфа и другими организациями республики были разработаны «Рекомендации по рациональному использованию торфяных месторождений и запасов торфа в Белорусской ССР», где предусматривалось снижение потерь при использовании торфяных месторождений и торфа в сельском хозяйстве, повышение КПД бытовых топок, расширение использования сапропелей в качестве органических удобрений.

В последние годы материалы по торфяному фонду значительно обновлены. Разработана «Схема рационального использования и охраны торфяных ресурсов Республики Беларусь на период до 2010 года».

Все последующие исследования 1980–1990-х годов можно объединить по следующим направлениям:

1. Изучение структуры состава, свойств и генезиса торфа на основании анализа корреляционных связей между основными признаками торфа.

2. Изучение коллоидно-химических свойств торфа и процессов тепло- и массопереноса в торфяных системах при разных температурах. Разработка научных основ и прикладных задач по физико-химической механике торфа.

3. Влияние окислительно-деструктивных процессов при сушке на состав и свойства торфа и продуктов комплексной переработки.

4. Изучение образования пирофорных веществ при аутоокислении твердых горючих ископаемых.

5. Химическая переработка торфа с получением горного воска и других продуктов.

6. Обоснование, разработка и организация производства гуминовых препаратов, обладающих ростстимулирующими свойствами.

7. Изучение парамагнетизма гуминовых веществ торфа.

8. Получение и применение водорастровимого гуминового препарата для очистки промышленного оборудования от радионуклидов.

9. Исследования в области физики горных пород.

10. Разработка и применение сорбционных материалов для водоподготовки.

11. Исследование и производство сбалансированных органоминеральных удобрений.

12. Разработка биосферносовместимых технологий использования природных ресурсов Белорусского Полесья.

13. Реабилитация выбывших из эксплуатации торфяных месторождений.

14. Изучение сапропелей, организация их добычи и комплексного использования.

15. Энергетехнологическая переработка бурых углей и горючих сланцев.

Научные результаты института отмечены правительственными наградами. Орденом Дружбы народов награжден академик И. И. Лиштван, орденом Трудового Красного Знамени – член-корреспондент В. Е. Белькевич, орденом «Знак Почета» – доктор технических наук А. В. Тишкович и кандидаты технических наук Н. А. Кот, Ф. А. Малышев, медалью за трудовые достижения награжден академик И. И. Лиштван, медалью Франциска Скорины – академик В. Ф. Логинов. Группа сотрудников награждена Почетными грамотами и Грамотами Верховного Совета БССР.

С 1997 г. директор института – академик В. Ф. Логинов. С 1990 г. институт носит название Институт проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси. В пяти лабораториях из семи основной тематикой являются проблемы торфа, сапропелей, бурых углей и горючих сланцев. Это лаборатории:

- биогеохимии ландшафтов (академик Н. Н. Бамбалов);

- физико-химической механики природных дисперсных систем (Г. П.Бровка);
- использования и охраны торфяных месторождений (А. П. Гаврильчик);
- агрэкологии (Г. А. Соколов);
- экотехнологий (А. Э. Томсон).

Эти лаборатории фактически и теперь решают проблемы повышения эффективного использования торфа и торфяных месторождений, сапропеля в народном хозяйстве.

Работы этих лабораторий представлены в Государственной программе «Торф», Государственной научно-технической программе «Экологическая безопасность», Государственной программе ориентированных фундаментальных исследований «Природопользование». В этот период значительно расширились исследования по природопользованию, охране окружающей среды, экологии, климатологии, ландшафтovedению. Отдельные работы этих направлений являются приоритетными для Республики Беларусь и имеют международное значение, отмечены соответствующими премиями и грамотами. В 2002 г. работы по оценке природных комплексов с помощью методов дистанционного зондирования и наземных исследований удостоены Государственной премии Республики Беларусь.

С 2008 г. институт возглавляет член-корреспондент А. К. Карабанов, известный ученый в области геологических наук. В этом же году Президиум НАН Беларуси преобразовал Институт проблем использования природных ресурсов и экологии в Институт природопользования НАН Беларуси. Новое название института должно предусматривать и проведение корректировки тематики научных исследований, и уточнение его структуры в направлении повышения значимости результатов для отраслей экономики страны.

*Выступление составлено по материалам Юбилейных сборников Академии наук и Института торфа, Института проблем использования природных ресурсов и экологии, Института природопользования НАН Беларуси и работ автора.*

## II. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 504.06(476)

М. И. Струк

### ИЗМЕНЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ БЕЛАРУСИ В ПЕРИОД ПОСТКРИЗИСНОГО РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ

*Рассмотрены изменения воздействий на окружающую среду Беларуси в увязке с развитием экономики за период 2000–2008 гг. Представлена динамика основного макроэкономического показателя – ВВП совместно с выбросами загрязняющих веществ, сбросами сточных вод и образованием отходов. Рассчитаны реальные и прогнозные коэффициенты их эластичности. Приведена динамика абсолютных и относительных показателей затрат на охрану окружающей среды и инвестиций природоохранного назначения. Выделены особенности изменения воздействий и затрат на охрану окружающей среды.*

Для организации деятельности по охране окружающей среды следует учитывать, как изменяется со временем интенсивность оказываемых на нее воздействий. Такой учет должен обеспечить более точный выбор приоритетных направлений подобной деятельности и постановку реалистичных прогнозных индикаторов экологической безопасности.

При анализе динамики воздействий на окружающую среду важно не ограничиваться показателями собственно воздействий, но рассматривать их совместно с показателями экономического развития. Это позволит оценить эффективность реализуемых мер по экологической оптимизации народнохозяйственного комплекса страны и в целом результативность проводимой государством экологической политики.

Функционирование национальной экономики выступает, как правило, определяющим фактором воздействий на окружающую среду. Другие факторы – внешние воздействия и унаследованные проблемы – обычно менее значимы.

Вместе с тем не исключаются случаи, когда решающую роль в данном отношении играют внешние источники. Применительно к Беларуси подобный случай имел место в 1986 г., когда в соседней республике – Украине произошла авария на Чернобыльской АЭС. В ее результате основная масса попавших в атмосферу радиоактивных веществ выпала на территории Беларуси, что стало приоритетным фактором загрязнения окружающей среды в стране. В настоящее время радиоактивное загрязнение территории выступает как основная унаследованная экологическая проблема Беларуси.

Национальная экономика и, прежде всего, производственный комплекс формируют текущие воздействия на окружающую среду, вызывая ее

загрязнение, истощение природно-ресурсного потенциала, деградацию природных комплексов. Особенности указанных воздействий в зависимости от экономического развития регулярно рассматриваются в ежегодно издаваемых Институтом природопользования НАН Беларуси экологических бюллетенях. Выполнялись также их обобщенные оценки за период с начала 1990-х до 2000 г. [4] и до 2005 г. [7].

Полученные результаты показали, что перевод экономики Беларуси на рыночные отношения сопровождался снижением выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду и улучшением экологической ситуации. Однако вопросы соотношения экономического развития и его экологических последствий нуждаются в более глубокой проработке. Для совершенствования экологического планирования важно, в частности, выяснение соответствия достигаемых реальных показателей воздействий на окружающую среду их прогнозным значениям, которые представлены в принятых в стране плановых документах, а также соотношения данных показателей с затратами на экологическую безопасность. Именно этим вопросам и посвящена статья.

В качестве временного интервала исследования принят период с 2000 по 2007 г. Имевший место в стране в 1990-е годы экономический кризис к началу 2000-х годов был в основном преодолен. В 2003 г. произведенный валовой внутренний продукт (ВВП) превысил уровень 1990 г. и в последующем стабильно увеличивался [6].

*Динамика экономического развития и воздействий на окружающую среду. Особенности динамики экономического развития и воздействий на окружающую среду могут быть установлены путем сопоставления основного макроэкономического показателя – ВВП с показателями*

выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, сбросов сточных вод и образования отходов. При этом для удобства сравнения целесообразно использовать не их абсолютные величины, а относительные значения, выраженные в процентах, приняв за 100 % уровень 2000 г. (рис. 1).

Из приведенного графика динамики ВВП следует, что при его последовательном росте на протяжении всего рассматриваемого периода с

2003 г. наблюдается увеличение темпов такого роста и их сохранение на высоком уровне в дальнейшем. Выбросы загрязняющих веществ в первые 4 года данного периода были относительно стабильными, но после 2004 г. наметился их заметный рост, который в 2007 г. сменился некоторым спадом. Для сбросов сточных вод характерно постепенное снижение объемов с течением времени.

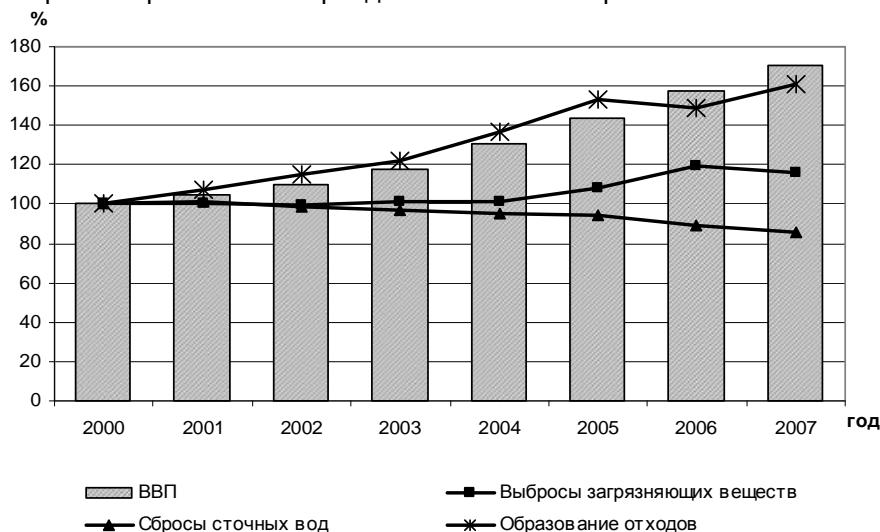


Рис. 1. Динамика ВВП, сбросов и выбросов загрязняющих веществ и образования отходов на территории Беларуси за 2000–2007 гг. [5, 6]

В динамике образования отходов прослеживается сходство с динамикой ВВП. Темпы их роста были примерно одинаковыми. Только в 2006 г. образование отходов уменьшилось по сравнению с предыдущим годом.

В составе отходов выделяется категория токсичных, которые представляют наибольшую угрозу загрязнения окружающей среды. По отношению к данной категории прослеживается та же

тенденция, что и для отходов в целом. С течением времени их количество увеличивается.

Основным источником образования токсичных отходов является промышленность. Сравнение графиков динамики промышленного производства и образования токсичных отходов показывает, что темпы роста последних были значительно выше (рис. 2). Их ежегодное увеличение в среднем в 4 раза превышало прирост промышленной продукции.

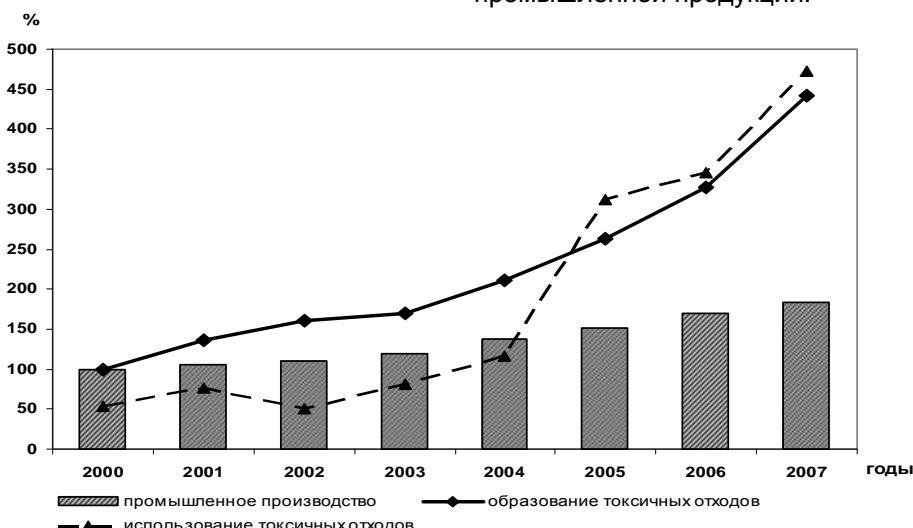


Рис. 2. Динамика промышленного производства, образования и использования токсичных отходов на территории Беларуси за 2000–2007 гг. [6]

Для оценки загрязняющего влияния отходов, очевидно, следует учитывать объемы не только их образования, но и использования. Существующая динамика использования промышленных отходов положительная. Если в 2000 г. их доля составляла 15,3 %, то в 2007 г. – 22,3 %. Тем не менее, разница между образованием и использованием отходов оставалась существенной, что обусловило последовательный рост их накопления. В 2007 г. объемы накопления отходов производства по сравнению с 2000 г. увеличились на 23,1 % и составили 869,0 млн т [3].

Аналогичная тенденция прослеживается и в отношении категории токсичных отходов. Однако для данной категории, в отличие от общей массы отходов, уровни использования были более высокими, а с 2005 г. объем использованных токсичных отходов превысил таковой образованных. Произошло это за счет вовлечения в использование ранее накопленных отходов. Тем самым созданы предпосылки для уменьшения общего объема накопленных токсичных отходов, а следовательно, и снижения их загрязняющего влияния на окружающую среду.

Для регулирования загрязняющих воздействий на окружающую среду важно учитывать их распределение по отраслям народного хозяйства. Такой учет позволит выделить те отрасли, которые являются наиболее значимыми по интенсивности воздействий.

В выбросы загрязняющих веществ в атмосферу основной вклад вносит транспорт, на долю которого в 2007 г. пришлось 4/5 их общего объема. Причем эта доля со временем увеличивается. Так, по сравнению с 2000 г. она повысилась на 6,6 %. Среди стационарных источников выбросов примерно 70 % приходится на промышленность [6].

В отраслевой структуре сбросов сточных вод ведущее положение занимает жилищно-коммунальное хозяйство, на долю которого приходится 3% их объема. Далее следует промышленность, где образуется 18 % сточных вод. В данной отрасли со временем их количество последовательно снижалось, что связано с уменьшением промышленного водопотребления и высоким удельным весом оборотной и последовательно используемой воды, составившим в 2000-е годы примерно 90 %. Исключение составил 2007 г., когда был зафиксирован рост потребления воды на производственные нужды на 1 % по сравнению с 2006 г.

В жилищно-коммунальном хозяйстве удельное водопотребление за рассматриваемый период также снизилось. Соответствующий показатель уменьшился за 7 лет на 14 % и составил в 2007 г. 184 л/сут на 1 человека [5].

В образовании отходов ведущую роль играет промышленность. В 2007 г. промышленные

отходы составили 92 % всего их объема. Остальные 8 % приходятся на жилищно-коммунальное хозяйство. Среди промышленных отраслей наибольшими показателями образования отходов отличается химическая промышленность. На долю только одного предприятия данной отрасли – ПО «Беларускалий» приходится примерно ¼ общей массы образующихся в стране отходов производства.

Приведенные показатели отраслевого распределения выбросов и сбросов загрязняющих веществ, а также образования отходов свидетельствуют о наличии в народнохозяйственном комплексе страны отраслей и даже предприятий, которые играют ключевую роль в воздействиях на окружающую среду. Снижение общего уровня воздействий в решающей степени будет зависеть от реализации соответствующих мер именно в этих отраслях: применительно к выбросам загрязняющих веществ – в автотранспорте, сбросам сточных вод – в жилищно-коммунальном хозяйстве, образованию отходов – в химической промышленности, токсичных отходов – в химической промышленности и машиностроении.

Для планирования воздействий на окружающую среду во взаимосвязи с экономическим развитием следует использовать соответствующие количественные показатели. Наиболее приемлемыми являются коэффициенты эластичности, показывающие отношения прироста соответственно выбросов и сбросов загрязняющих веществ, а также образования отходов к приросту ВВП. Сравнение этих коэффициентов на определенном временном интервале способно показать, как изменяются экологические характеристики экономики.

Рассчитанные коэффициенты эластичности ( $K_e$ ) за предыдущий пятилетний период, с 2001 г. по 2005 г. свидетельствуют о том, что экологическое состояние экономики за это время улучшилось по критериям сбросов загрязненных сточных вод в поверхностные водоемы ( $K_e = -1,3$ ) и выбросов загрязняющих веществ в атмосферу ( $K_e = 0,2$ ) и ухудшилось – по критерию образования отходов ( $K_e = 1,2$ ) (таблица).

На текущее пятилетие показатели воздействий на окружающую среду запланированы, исходя из прогноза прироста ВВП на 46–55 % [2]. При этом, согласно основному действующему в Беларуси документу среднесрочного экологического планирования – Национальному плану действий по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды на 2006–2010 гг., выбросы вредных веществ в атмосферу не должны увеличиться за пятилетие более чем на 10–15 %, а сбросы загрязненных сточных вод в поверхностные водоемы намечается сократить на 40 %.

**Коэффициенты эластичности выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязненных сточных вод, образования и накопления отходов производства к приросту ВВП за период 2001–2010 гг. на территории Беларусь**

Вид воздействий	Коэффициент эластичности		
	2001–2005 гг.	2006–2007 гг.	2006–2010 гг.
Выбросы загрязняющих веществ	0,2	0,4	0,2–0,3
Сбросы загрязненных сточных вод	-1,3	-0,5	-0,7–(-0,9)
Образование отходов производства	1,2	0,5	0,1
Накопление отходов производства	0,4	0,3	0,1

По отношению к отходам производства количественных прогнозных показателей образования и накопления в указанном документе не содержится. Однако таковые приводятся в принятой в 2004 г. Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития страны на период до 2020 г. [1]. В нем намечается за 2006–2010 гг. прирост образования отходов на уровне 4,3 % и накопления – 4,7 %.

Рассчитанные по приведенным количественным значениям прогнозные значения коэффициентов эластичности являются более высокими, нежели в предыдущем пятилетии, что свидетельствует о планируемом ужесточении экологических требований к экономическому развитию. Темпы роста экономики должны превысить темпы роста выбросов в 3–5 раз, образования отходов – в 10 раз, а сбросы загрязненных сточных вод должны продолжать снижаться.

За прошедшие 2 года пятилетия коэффициент эластичности выбросов составил 0,4; сбросов загрязненных сточных вод – (-0,5); образования отходов – 0,5. Как видно, ни по одному из показателей запланированные значения пока не достигнуты. Их достижение к 2010 г., очевидно, потребует дополнительного снижения воздействий в последующие годы.

Следует отметить, что планирование указанных в таблице экологических показателей проводилось, исходя из прогноза устойчивого экономического роста. Однако кризисные явления в мировой экономике, по-видимому, окажут негативное влияние и на экономическое развитие Беларусь. В условиях возможного экономического спада можно ожидать изменений в воздействиях на окружающую среду подобных тем, которые имели место ранее, в начале 1990-х годов, когда в экономическом развитии страны также наблюдался кризис.

Указанные изменения выразились, с одной стороны, в уменьшении уровня воздействий на окружающую среду в связи со снижением производства, с другой стороны – они сопровождались повышением степени износа основных фондов из-за сокращения инвестиций. Последнее имеет негативное экологическое значение, поскольку устаревшее и изношенное производственное

оборудование обладает более интенсивным загрязняющим влиянием.

*Природоохранные затраты.* Воздействия на окружающую среду, очевидно, будут зависеть не только от технологического уровня производственного комплекса как их источника, но и от затрат на охрану окружающей среды. При этом в самой структуре подобных затрат особое значение имеют инвестиции в основной капитал, которые будут характеризовать обновление основных фондов природоохранного назначения.

На протяжении рассматриваемого восьмилетнего периода годовая величина затрат на охрану окружающей среды, а также инвестиций в основной капитал природоохранного назначения существенно менялась (рис. 3). Разница между максимальными и минимальными значениями каждого из этих двух показателей составила соответственно 36 % и 61 % [3].

Динамика затрат носит колебательный характер. Однако общая линия тренда для их абсолютных значений положительная (рис. 4). Иная ситуация применительно к относительным величинам затрат, выраженным их долей в ВВП. В данном случае линия тренда отрицательная. Доля затрат на охрану окружающей среды со временем снижается. Если в пятилетие 2001–2005 гг. она составляла в среднем 1,54 % ВВП, то за 2 года текущего пятилетия уменьшилась до 1,2 % ВВП.

В общем объеме природоохранных затрат среднегодовая доля инвестиций в основной капитал за 2001–2005 гг. составила 20,8 %, а за 2006–2007 гг. – 22,2 %. Следовательно, при общем снижении относительного показателя всех затрат на охрану окружающей среды аналогичный показатель инвестиций увеличился.

Указанная динамика, очевидно, должна оцениваться положительно, поскольку рост инвестиций важен для обновления основных фондов. Однако в данном случае имеет значение не только факт роста данного показателя, но и его величина, т.е. насколько она достаточна для своевременного обновления оборудования. В связи с этим имеет смысл сравнить природоохранные инвестиции в основной капитал с аналогичным показателем в целом по народному хозяйству (рис. 5).

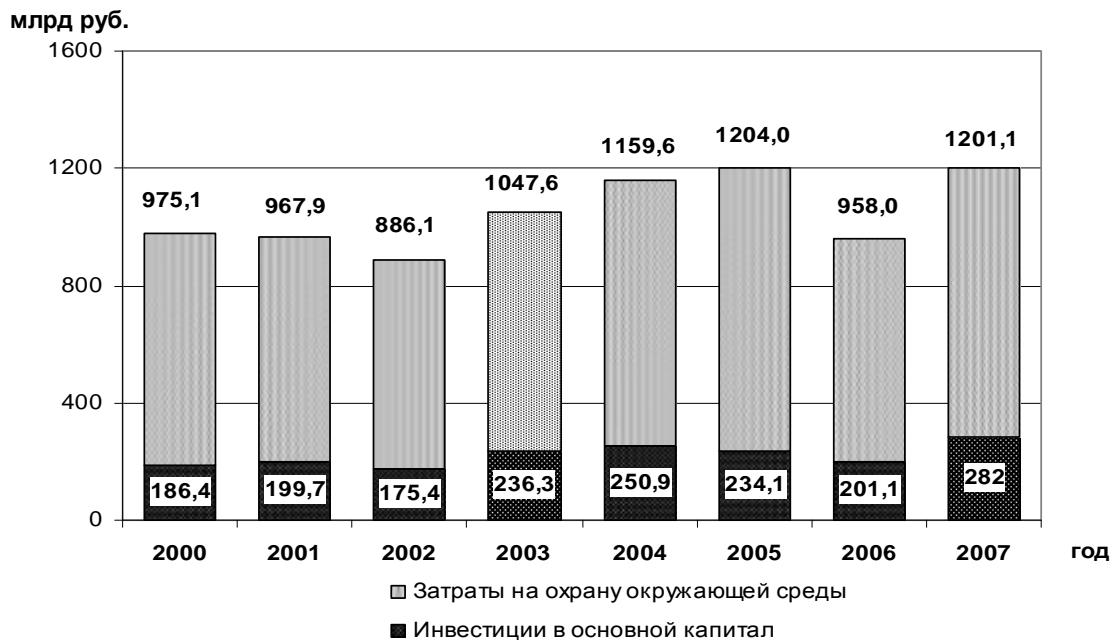


Рис. 3. Динамика затрат на охрану окружающей среды и инвестиций в основной капитал, направленных на ее охрану, за 2000–2007 гг. (в ценах 2007 г.)

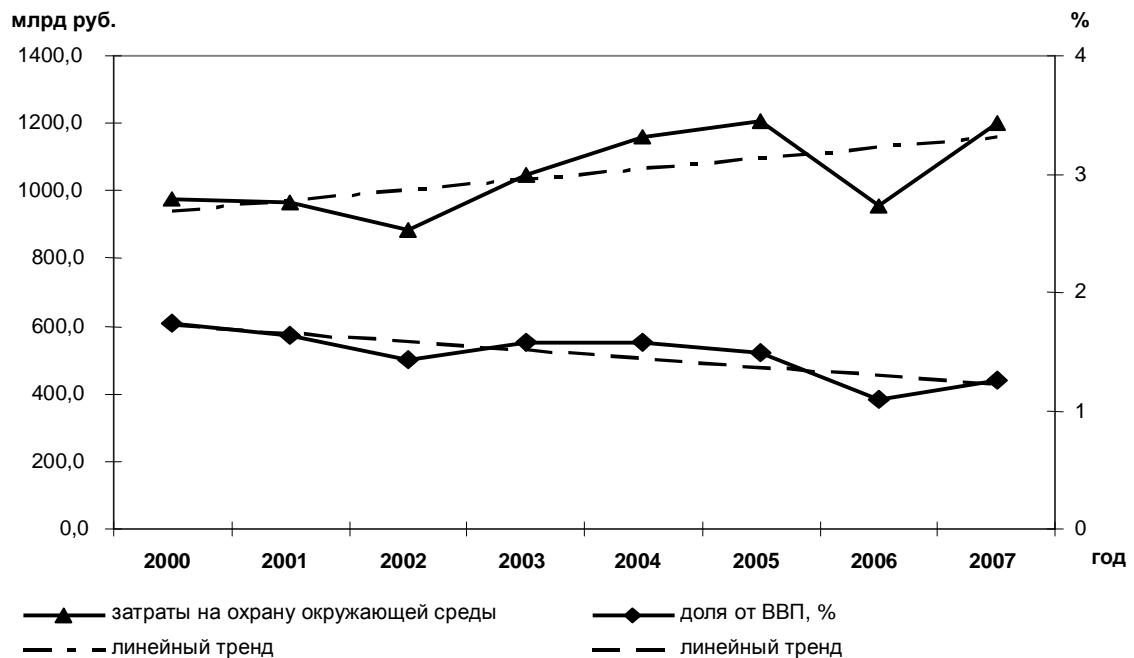
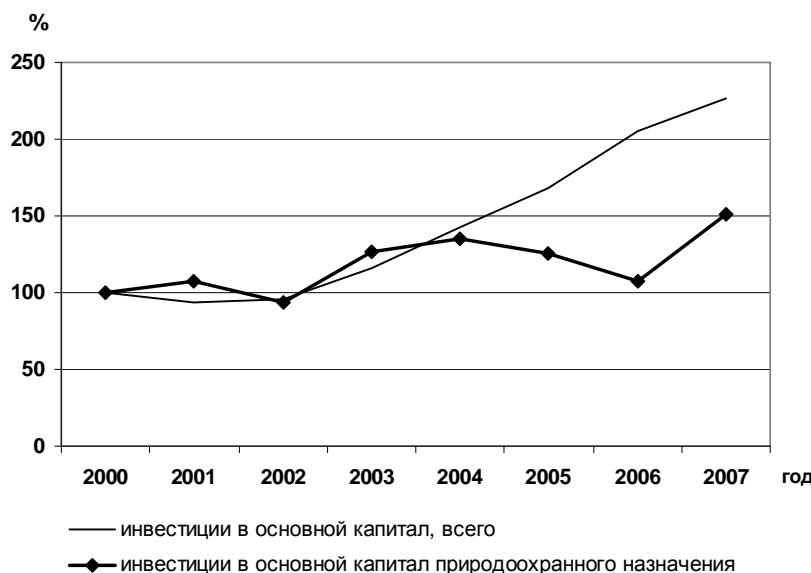


Рис. 4. Динамика затрат на охрану окружающей среды (млрд руб. в ценах 2007 г.), их доли от ВВП (%) за 2000–2007 гг. и линейные тренды для данных показателей



**Рис. 5. Динамика инвестиций в основной капитал и инвестиций в основной капитал, направленных на охрану окружающей среды, за 2000–2007 гг.**

В целом по народному хозяйству доля инвестиций в основной капитал за 2001 – 2005 гг. оказалась сопоставимой с таковой природоохранного назначения и составила в среднем 20,0 %, чего, однако, оказалось недостаточно для преодоления негативной тенденции роста износа основных промышленно-производственных средств. В 2001 г. степень их износа составляла 61,4 %, а в 2005 г. – 63,5 %.

За два первых года текущего пятилетия доля инвестиций в основной капитал по народному хозяйству увеличилась в среднегодовом исчислении до 26,0 %. Аналогичный показатель природоохраных инвестиций оказался ниже на 3,8 %. И если принять во внимание общее снижение доли природоохраных затрат в ВВП, то окажется, что применительно к обновлению основных фондов экологического назначения ситуация хуже, нежели в целом по народному хозяйству.

За рассмотренный восьмилетний период имело место снижение загрязняющих воздействий народнохозяйственного комплекса страны на

окружающую среду. Темпы роста ВВП превышали таковые выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, а с начала текущего пятилетия – образования отходов производства. Использование токсичных отходов на данном временном интервале превысило их образование за счет потребления ранее накопленных отходов, что создало предпосылки для уменьшения объемов их хранения. Сбросы загрязненных сточных вод устойчиво снижались.

Затраты на охрану окружающей среды в абсолютном исчислении увеличивались, а в относительном (выраженные долей от ВВП) уменьшались. Доля инвестиций в основной капитал природоохранного назначения по сравнению с таковой в целом по народному хозяйству снизилась. В связи с возможным экономическим спадом на ближайшие годы вряд ли следует ожидать их роста. Тем самым создаются условия для замедления темпов обновления природоохранного оборудования и переноса задачи его модернизации на более отдаленную перспективу.

#### Л и т е р а т у р а

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. / Национальная комиссия по устойчивому развитию Республики Беларусь; редакция: Я. М. Александрович [и др.]. Мн., 2004.
2. Национальный план действий по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды Республики Беларусь на 2006–2010 годы / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Мн., 2006.
3. Окружающая среда и природные ресурсы Республики Беларусь. Краткий статистический сборник. Министерство статистики и анализа Республики Беларусь. Мн., 2008.
4. Природная среда Беларуси / Под ред. В. Ф. Логинова. Мн., 2002.
5. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень 2007 г. / Под общ. ред. акад. В. Ф. Логинова. Мн., 2008.
6. Статистический ежегодник Республики Беларусь, 2007. Минстат Республики Беларусь. Мн., 2008.
7. Струк М. И. Региональные особенности оптимизации окружающей среды Беларуси. Мн., 2007.

**M. I. Струк**

**ИЗМЕНЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ БЕЛАРУСИ  
В ПЕРИОД ПОСТКРИЗИСНОГО РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ**

---

Рассмотрены изменения воздействий на окружающую среду Беларуси за период посткризисного развития экономики в 2000–2007 гг. Установлены тенденции к увеличению образования и накопления отходов, повышению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и сокращению сбросов сточных вод в условиях высоких темпов экономического роста. Рассчитаны коэффициенты эластичности показателей воздействий к приросту ВВП, которые показали относительное снижение загрязняющего влияния народнохозяйственного комплекса на окружающую среду. Отмечено превышение с 2005 г. использования токсичных отходов производства над их образованием. Выявлено увеличение затрат на охрану окружающей среды и инвестиций природоохранного назначения в абсолютном исчислении, но уменьшение – в относительном (выраженном долей от ВВП). В связи со снижением доли инвестиций в основной капитал природоохранного назначения, по сравнению с таковой в целом по народному хозяйству и ожидаемым экономическим спадом указано на формирование экологически неблагоприятных предпосылок к замедлению темпов обновления природоохранного оборудования.

**M. I. Struk**

**CHANGES OF IMPACTS ON THE ENVIRONMENT OF BELARUS  
IN THE PERIOD OF POST-CRISIS ECONOMY DEVELOPMENT**

---

*The variations of the impact on Belarus environment for the period of post-crisis economy development in 2000–2007 have been regarded. The tendencies to the increase of waste formation and accumulation, enhancement of contaminants effluents to the atmosphere and reduction of sewage water discharge in the conditions of high tempos of economical rise have been revealed. The elasticity coefficients of indices of the impact on the DGP growth were calculated, which revealed a relative decrease of polluting impact of public-economical complex on the environment. Since 2005 an excess of the use of toxic industrial waste over their formation has been noted. An increase of costs for the environment protection and investments of nature-protective purpose in absolute calculation, but the decrease — in relative (expressed in shares of DGP) has been revealed. Due to the decrease of investments shares in basic capital of nature protective purpose in comparison to similar in general for public economy and expected economical fall the formation of ecologically unfavorable prerequisites to the delay of tempos of the renewal of nature protective equipment has been marked.*

**М. И. Струк**

## ПУТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

*Изложены основные направления деятельности по обеспечению экологической безопасности в связи с функционированием на территории Беларуси опасных техногенных объектов. Приведена их классификация, указаны причины возникновения аварий, представлены пути снижения аварий и минимизации вызываемых ими неблагоприятных последствий применительно к условиям Беларуси, которые включают оценку возможности изменения их количества, экспертизу промышленной безопасности, экологическую сертификацию предприятий, уменьшение износа основных фондов, нормирование рисков, оптимизацию размещения объектов, внедрение экологического страхования.*

Техногенные аварии являются существенным фактором воздействия на окружающую среду. На их долю приходится 25–30 % ущерба от ее загрязнения [16].

Основную угрозу для населения и окружающей среды представляют аварии на объектах, относимых к категории опасных. Потенциально опасный объект – это объект, на котором используются, изготавливаются, перерабатываются, сохраняются или транспортируются опасные радиоактивные, пожаровзрывоопасные, химические вещества и биологические препараты, гидротехнические и транспортные сооружения, транспортные средства, а также другие объекты, которые создают реальную угрозу возникновения чрезвычайных ситуаций [7].

**Классификация опасных объектов и причины аварий.** Наиболее полный перечень объектов, квалифицируемых как потенциально опасные, представлен в нормативных документах по чрезвычайным ситуациям [3]. Он включает 6 групп объектов, которые различаются между собой по характеру возможных чрезвычайных ситуаций в случае аварий на них. В первую группу входят объекты радиационно опасные, во вторую – химически опасные, в третью – пожаровзрывоопасные, в четвертую – биологически опасные, в пятую – гидродинамически опасные, в шестую – обеспечивающие жизнеобеспечение крупных народнохозяйственных объектов и населенных пунктов.

Радиационно опасные объекты – это объекты, на которых хранятся, перерабатываются, используются или транспортируются радиоактивные вещества, при аварии на которых может произойти облучение ионизирующей радиацией людей и радиоактивное загрязнение территории. К таким объектам на территории Беларуси относятся ядерный реактор Национальной академии наук, а также хранилище радиоактивных отходов. В связи с планируемым развитием ядерной энергетики в стране к ним в перспективе добавится также атомная станция.

Химически опасные объекты – это объекты, на которых хранятся, перерабатываются, используются или транспортируются опасные химические вещества, при аварии на которых может произойти гибель или химическое заражение людей, сельскохозяйственных животных и растений, а также окружающей среды. Таковыми являются прежде всего предприятия химической промышленности а также некоторые объекты других отраслей народного хозяйства, например жилищно-коммунального (станции водоподготовки и очистки сточных вод), торговли (хладокомбинаты) и др.

В Беларуси химически опасные объекты являются наиболее многочисленными: количество предприятий химической промышленности превышает 500 [5]. Большинство из них размещается в пределах городских территорий, в силу чего в зону их возможного влияния в целом по стране попадает значительное количество населения – около 3 млн чел.

Наряду с потенциальными экологическими угрозами химические предприятия представляют реальную опасность для окружающей среды. Они являются крупными источниками выбросов и сбросов загрязняющих веществ, а также образования отходов.

Пожаровзрывоопасные объекты – это объекты, на которых производятся, используются, хранятся или транспортируются легковоспламеняющиеся и пожаровзрывоопасные вещества, создающие угрозу возникновения техногенных аварий. В Беларуси наибольшую опасность представляют нефтеперерабатывающие и нефтехимические заводы, склады нефтепродуктов, магистральные газо- и нефтепроводы.

Биологически опасные объекты – это объекты, на которых изготавливаются, хранятся и утилизируются биологически опасные вещества. Аварии на них создают угрозу массового поражения флоры и фауны, а также обширного загрязнения территорий. В Беларуси биологиче-

скую опасность представляют некоторые научно-исследовательские лаборатории.

Гидрологически опасные объекты – это объекты, при разрушении которых возможно образование волны прорыва и затопление больших территорий. Объектами подобного рода в Беларуси являются водохранилища. Всего их насчитывается 153 [4]. Наибольшую потенциальную угрозу представляют самые крупные водохранилища – Вилейское и Заславское. И связано это не только с их размерами, но и с размещением в зонах их затопления городских территорий Вилейки и Минска.

Объекты жизнеобеспечения крупных народнохозяйственных объектов и городов – это объекты, аварии на которых могут привести к катастрофическим последствиям для населения и экономики, а также вызвать загрязнение окружающей среды. К ним относятся объекты энергетики, транспорта и коммунального хозяйства (канализация, водоснабжение, газоснабжение, очистные сооружения) и др.

Аварии на опасных объектах могут быть вызваны как внутренними, так и внешними причинами. К основным внутренним причинам относятся ошибки персонала, а также отказы технических устройств, влияющих на безопасность [1]; к внешним – экстремальные природные явления, диверсии, несанкционированные действия.

Среди указанных причин в Российской Федерации ведущую роль в возникновении аварий играют ошибки персонала (60–70 %). Далее следуют технические причины (20–30 %) и внешние факторы (до 10 %).

Существенным фактором, повышающим аварийность опасных объектов, является износ их основных фондов [6]. В Беларуси в целом по промышленности степень такого износа увеличилась с 46,9 % в 1990 г. до 63,5 % в 2006 г. Особенно неблагоприятное положение сложилось в химической промышленности, которая отличается повышенной экологической опасностью: степень износа основных фондов превысила 70 %.

Опасные объекты представляют потенциальную угрозу для населения и окружающей среды уже самим фактом своего существования. Полное исключение аварий на них в современных условиях невозможно, поэтому обеспечение безопасности в связи с их функционированием должно осуществляться по двум основным направлениям. Первое из них касается снижения вероятности аварий на этих объектах, второе – минимизации неблагоприятных последствий в случае, если они все же возникнут.

Снижение вероятности аварий, в свою очередь, возможно двумя способами: во-первых, уменьшением количества самих объектов как источников опасности, во-вторых, созданием надежной системы предотвращения аварий на них. Минимизация неблагоприятных последствий при

возникновении аварий может осуществляться также двумя способами. Первый имеет отношение к оптимизации размещения опасных объектов по территории, второй – к созданию систем защиты и ликвидации последствий аварий, а также к правильным действиям персонала и населения при их возникновении.

*Снижение вероятности аварий. Изменение количества опасных объектов.* Изменение общего количества опасных объектов как потенциальных источников аварий на территории страны будет определяться преимущественно прогнозируемыми структурными преобразованиями национального производственного комплекса, а также изменениями применяемых производственных технологий.

В структуре производственного комплекса Беларуси высока доля химической и нефтехимической промышленности – отрасли, в которой сосредоточена основная часть опасных объектов. Эта доля составила в 2006 г. 11,2 % [12]. Ее уменьшение на будущее не прогнозируется, возможно даже некоторое увеличение [9]. Соответственно, не имеется и предпосылок для сокращения количества опасных объектов данной отрасли.

В развитии других отраслей основной особенностью, имеющей отношение к количеству опасных объектов, на среднесрочную перспективу станет строительство атомной станции. Оно приведет к появлению нового крупного радиационно опасного объекта. То есть прогнозируемые структурные преобразования производственного комплекса Беларуси не направлены в сторону уменьшения общего числа опасных объектов в стране.

Развитие производственных технологий в Беларуси осуществляется в соответствии с общемировыми тенденциями. Тенденции эти таковы, что они создают противоречивые предпосылки в отношении количества опасных объектов. С одной стороны, происходит возрастание масштабов применения в производстве сложных технических систем с огромной энерговооруженностью, концентрацией больших единичных мощностей на ограниченных площадях, широким применением опасных технологий и материалов [6]. С другой стороны, на функционирующих опасных объектах внедряются более совершенные технологии, позволяющие снизить их опасность. Кроме этого, с течением времени повышаются возможности создания объектов, основанных на принципе внутренне присущей им безопасности (переход от техники безопасности к безопасной технике) [1].

Что касается разработки и внедрения технологий, обладающих внутренней безопасностью, то для этого, очевидно, потребуется длительное время и большие инвестиции. Осуществляемые технологические преобразования спо-

собны повысить безопасность объектов, но вряд ли выведут их из категории опасных. Поэтому на ближайшие годы в Беларуси, по-видимому, не следует ожидать уменьшения количества подобных объектов, а основным путем снижения их аварийности выступит повышение безопасности функционирования.

Принимая во внимание современное состояние опасных объектов в стране, можно выделить несколько приоритетных направлений деятельности по снижению их аварийности. Они включают, во-первых, экспертизу промышленной безопасности; во-вторых, экологическую сертификацию предприятий; в-третьих, снижение степени износа основных фондов опасных объектов и их технологическую модернизацию; в-четвертых, нормирование рисков техногенных аварий.

**Экспертиза промышленной безопасности.** Законодательной основой обеспечения безопасности опасных объектов в Беларуси является Закон «О промышленной безопасности», принятый в 2000 г. В нем представлены механизмы государственного регулирования в данной области. Они включают лицензирование подобного рода деятельности, государственный надзор за ее осуществлением, квалификацию обслуживающего персонала, контроль безопасности, наличие средств для ликвидации последствий возможных аварий и др. Центральное место в ряду этих требований занимает экспертиза промышленной безопасности. Она проводится в целях определения состояния опасного производственного объекта; установления соответствия предпроектных, проектных и иных материалов требованиям законодательства в области промышленной безопасности; оценки полноты, обоснованности и достаточности предусматриваемых мер по ее обеспечению и ликвидации последствий возможных аварий.

Экспертиза промышленной безопасности базируется на принципах ее обязательности; научной обоснованности; независимости экспертных органов и экспертов; внеучебномественности при организации и проведении экспертизы; гласности, учета общественного мнения; законности решений, принимаемых по результатам экспертизы.

Экспертизе промышленной безопасности подлежат:

проектная документация на строительство, расширение, реконструкцию, техническое перевооружение, консервацию и ликвидацию опасного производственного объекта, а также изменения, вносимые в проектную документацию;

технические устройства, применяемые на опасном производственном объекте;

здания и сооружения на опасном производственном объекте;

декларация промышленной безопасности и иные документы, связанные с эксплуатацией опасного производственного объекта.

Декларация промышленной безопасности – основной документ, регламентирующий деятельность в данном направлении на объекте. Она разрабатывается в обязательном порядке для наиболее крупных объектов. Их перечень определяется исходя из количества содержащихся на них загрязняющих веществ и приведен в приложениях к Закону «О промышленной безопасности».

В декларации промышленной безопасности должна содержаться всесторонняя оценка риска аварии и связанной с нею угрозы; анализ достаточности принятых мер по предупреждению аварий, по обеспечению готовности организации к эксплуатации опасного производственного объекта в соответствии с требованиями промышленной безопасности, а также к локализации и ликвидации последствий аварии на нем; разработка мероприятий, направленных на снижение масштаба таких последствий и размера ущерба, причиненного в случае аварии.

**Экологическая сертификация предприятий.** Выполнение установленных законодательных требований является обязательным для любого предприятия. Вместе с тем уровень его безопасности будет зависеть и от того, насколько эффективно организована на нем система управления окружающей средой. Индикатором оценки подобной эффективности может выступить соответствие данной системы международному стандарту управления окружающей средой серии ИСО 14000.

Указанный стандарт разработан Международной организацией по стандартизации как механизм реализации идеи устойчивого развития на уровне отдельного предприятия. В нем содержатся унифицированные процедуры управления окружающей средой, следование которым гарантирует соблюдение установленных норм воздействий на нее.

Экологическая сертификация предприятия с внедрением названного стандарта является добровольной. Она требует определенных затрат, но имеются и экономические стимулы. В частности, сертифицированным предприятиям облегчается выход на внешний рынок, получение иностранных инвестиций и кредитов. Кроме этого, в Беларуси для них устанавливаются льготные ставки экологического налога.

Экологическая сертификация предприятий получила распространение в стране с 2001 г. Вовлечение в нее опасных предприятий должно повысить их безопасность. Однако уровень обеспечения безопасности будет ограничен возможностями применяемых технологий. Если технологии устаревшие, то и безопасность будет соответствовать устаревшим технологиям. В этом случае условием существенного ее повышения выступит технологическая модернизация производства.

**Уменьшение износа основных фондов.** Для Беларуси актуальность указанной меры возрастает в связи с высокой степенью износа основных фондов. Чтобы снизить ее, необходимо увеличивать инвестиции в их обновление. Объемы инвестиций в основной капитал в стране на протяжении последних 15 лет были ниже уровня 1990 г., и только в 2006 г. они превзошли его. Почти все это время наблюдалась тенденция к последовательному увеличению степени износа основных фондов в промышленности, которая в 2005 г. сменилась ее стабилизацией [11].

Предпосылки решения проблемы износа основных фондов зависят от развития экономики. Они становятся благоприятными в случае стабильного экономического роста, когда появляется возможность увеличения инвестиций, и ухудшаются при спаде производства. На ближайшее время в экономике Беларуси возможны осложнения в связи с мировым экономическим кризисом, что объективно осложнит обновление основных фондов опасных объектов.

**Нормирование рисков.** В условиях, когда достижение абсолютной безопасности, связанной с функционированием опасных объектов, не может быть реализовано, должен устанавливаться допустимый ее уровень с опорой на концепцию приемлемого риска. Под риском подразумевается вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных, существованию растений с учетом тяжести этого вреда [8]. Приемлемый риск – это риск, уровень которого безусловно оправдан с социальной, экономической и экологической точек зрения или пренебрежимо мал [2].

Приемлемый риск выступает как компромисс между готовностью общества допустить возможность ущерба, наносимого авариями на опасных объектах, и затратами на предотвращение их возникновения. Уровень приемлемого риска может изменяться в зависимости от степени экономического развития страны.

Возможны различные варианты подобного рода изменений. Но самым оптимальным, очевидно, будет вариант, когда экономическое развитие сопровождается снижением риска аварийности опасных объектов. Он вполне осуществим, поскольку развитие экономики позволяет выделить дополнительные средства на их безопасность.

Вместе с тем концепция приемлемого риска с установлением количественных показателей его величины в Беларуси нормативно не закреплена. Аналогичное положение и в Российской Федерации. Но для России подобная задача выдвигается в качестве актуальной, в деятельность государственных надзорных органов рекоменду-

ется внедрить систему независимой оценки рисков [10]. В ее рамках планируется развитие методической базы оценки рисков, принятие в законодательном порядке показателей приемлемого риска, создание организационных механизмов, обеспечивающих независимую оценку рисков.

Подобную работу, очевидно, следует проводить и в Беларуси. Она выступит как развитие заложенных в «Закон о промышленной безопасности» принципов ее обеспечения и позволит создать нормативную основу их реализации. Независимая оценка рисков согласуется с мировой практикой организации государственного надзора и контроля обеспечения безопасности [15]. Ее внедрение в Беларуси будет способствовать оптимизации подобного рода деятельности в стране и прогнозированию чрезвычайных ситуаций.

**Минимизация неблагоприятных последствий в случае возникновения аварий.** При стабилизации и даже росте общего количества опасных объектов в стране повышение уровня безопасности в целом возможно путем оптимизации их размещения, а именно перемещения тех из них, которые располагаются на густонаселенных городских территориях, за пределы этих территорий. В таком случае ущерб от возникновение аварий на этих объектах будет ниже.

Указанная мера, по-видимому, не может рассматриваться как универсальная, способная повысить безопасность населения. И связано это не только с высокой стоимостью ее реализации, но и с тем, что для многих городов – промышленных центров опасные предприятия являются градообразующими, обеспечивающими занятость местных жителей. Такая мера в большей степени применима для крупнейших городов, и в первую очередь – Минска.

Планирование выноса опасных предприятий из Минска началось еще в 70-е годы прошлого века. В 80-е годы – за городскую черту, в пос. Гатово, были перемещены заводы «Вторчермет» и кожевенный. Подобная деятельность планируется и на будущее. В соответствии со стратегическим планом устойчивого развития Минска до 2020 г. предусматривается продолжить вынос отдельных опасных объектов из города [13].

Можно полагать, что дальнейшее развитие рыночных отношений в стране будет способствовать отмеченному процессу, как это происходило в экономически развитых странах в 60-е – 70-е годы XX в. [14]. Рост стоимости городской земли, усиление экономической ответственности предприятий за загрязнение окружающей среды обусловили вывод за пределы городской черты крупных производств стандартной продукции, предприятий, нуждающихся в обширных площадках, производств, использующих малоквалифицированную рабочую силу. В городах концентрировались учреждения, зависящие в своей дея-

тельности от насыщенного городского информационного потенциала – банковские и конторские, а также производства, выпускающие нестандартную быстро устаревающую и быстро меняющуюся продукцию – швейную, полиграфическую, электронную. В центральных частях городов жилые кварталы превращались в специализированные зоны банков, контор, учреждений. К аналогичным, позитивным для экологической безопасности населения крупных городов результатам, очевидно, должно привести развитие рыночных механизмов и в Беларуси.

Поскольку аварии на опасных объектах не исключаются, обязательным условием минимизации связанных с ними негативных последствий для населения и окружающей среды является наличие эффективных систем их преодоления. В Беларуси в соответствии с Законом о защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (1998) соз-

дана Государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Ее организационную основу образует Министерство по чрезвычайным ситуациям. Указанная система призвана решать задачи как по предотвращению чрезвычайных ситуаций, так и по преодолению их последствий и компенсации ущерба, нанесенного авариями.

Для возмещения экологического ущерба, наносимого авариями, существует такой механизм, как экологическое страхование. В Беларуси он пока не задействован, поскольку отсутствует нормативная основа его применения. Учитывая дальнейшее развитие рыночных отношений в стране с усилением роли экономических методов обеспечения экологической безопасности, принятие законодательного акта об экологическом страховании владельцев опасных объектов выступает как актуальная на ближайшие годы мера.

## Л и т е р а т у р а

1. Акимов В. А. Новиков В. Д., Новиков В. Д., Радаев Н. Н. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски. М., 2001.
2. Акимов В. А., Быков А. А., Востоков В. Ю. и др. Методики оценки рисков чрезвычайных ситуаций и нормативы приемлемого риска чрезвычайных ситуаций (Руководство по оценке рисков чрезвычайных ситуаций техногенного характера, в том числе при эксплуатации критически важных объектов Российской Федерации) // Проблемы анализа риска. 2007. Т. 4, № 4. С. 368–405.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения: ГОСТ Р 22.0.03-95. Принят 25.25.95, введ. 01.07.96. М., 1995.
4. Блакітны скарб Беларусі: Рэкі, азёры, вадасховішчы, турысцкі патэнцыял водных аб'ектаў: Энцыклапедыя. Мн., 2007.
5. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. / Национальная комиссия по устойчивому развитию Республики Беларусь; редакция: Я. М. Александрович [и др.]. Мн., 2004.
6. Национальный доклад о состоянии окружающей среды Республики Беларусь / Сост.: О. А. Беляй, А. А. Савастенко. Мн., 2005.
7. Постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 19.02.2003 № 17 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
8. Правила функционирования системы добровольной сертификации по независимой оценке рисков в области пожарной безопасности, гражданской обороны и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера «Комплексная безопасность» // Проблемы анализа риска. 2007. Т. 4, № 4. С. 331–346.
9. Прогноз изменения окружающей природной среды Беларуси на 2010–2020 гг. / Под общ. ред. акад. В. Ф. Логинова. Мн., 2004.
10. Рекомендации научно-практической конференции «О системе независимой оценки рисков в области пожарной безопасности, гражданской обороны и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации» // Проблемы анализа риска. 2007. Т. 4, № 4. С. 315–316.
11. Состояние природной среды Беларуси. Экологический бюллетень 2007 г. / Под общ. ред. акад. В. Ф. Логинова. Мн., 2008.
12. Статистический ежегодник Республики Беларусь, 2006. Минстат Республики Беларусь. Мн., 2007.
13. Стратегический план устойчивого развития г. Минска на период до 2020 года. Мн., 2004.
14. Урбанизация и развитие городов в СССР. Л., 1985.
15. Фалеев М. И. О концепции создания независимой оценки рисков в области пожарной безопасности, гражданской обороны и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации // Проблемы анализа риска. 2007. Т. 4, № 4. С. 317–322.
16. Шимова О. С., Соколовский Н. К. Основы экологии и экономика природопользования. Мн., 2001.

**M. I. Струк**

**ПУТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

---

Приведена используемая в нормативных документах классификация опасных объектов по характеру вызываемых ими чрезвычайных ситуаций. Отмечено наличие на территории Беларуси объектов каждого класса, указано на увеличение их количества в перспективе за счет строительства атомной станции. Представлены основные причины возникновения аварий на опасных объектах, которые связаны с несовершенством применяемых технических систем, высокой степенью износа основных фондов, ошибками персонала, внешними факторами. Изложены приоритетные для Беларуси пути снижения аварий и минимизации вызываемых ими неблагоприятных последствий. Они включают экспертизу промышленной безопасности, экологическую сертификацию предприятий, повышение инвестиций в обновление основных фондов, внедрение и нормативное закрепление процедуры нормирования рисков, вынос опасных объектов с территории крупных городов, принятие законодательного акта об их экологическом страховании.

**M. I. Struk**

**WAYS OF SECURITY PROVISION OF  
FUNCTIONING HAZARDOUS TECHNOGENIC OBJECTS**

---

*The used in normative documents classification of hazardous objects by the character of inducing by them extreme situations is provided. The availability of every class objects in Belarus territory has been registered, their number increase in the prospect has been marked due to a nuclear station building. Main reasons of accidents rise at hazardous objects have been presented, which relate to imperfection of the applied technical systems, high degree of basic funds wear, personnel mistakes, external factors. The priority ways for Belarus to diminish accidents and to minimize caused by them unfavorable consequences have been shown. They are: industrial security expertise, ecological certification of industries, investment enhancement to update main funds, introduction and normative insurance of the procedure of risks valuation, removal of hazardous objects out of big cities territory, adoption of legal acts on their ecological insurance.*

**В. Ф. Логинов**

## РОЛЬ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ В ТРОПОСФЕРЕ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

*Рассмотрены пространственно-временные закономерности изменений глобальной температуры. Самые значительные по величине тренды температуры имеют место в холодное время года в районах расположения полярного климатологического фронта, где осуществляется интенсивный воздухообмен между стратосферой и тропосферой.*

Результаты моделирования пространственно-временных особенностей изменения температуры и других метеорологических характеристик не всегда согласуются с данными инструментальных наблюдений [7, 8, 23, 30], что связано в первую очередь с недостатками наших представлений о причинах изменений климата, а также с неполнотой климатических данных. Особенно дискуссионным является вопрос о роли гелиогеофизических факторов в изменении погоды и климата.

Много спорных моментов возникает также при оценке влияния на климат облачности, взаимодействия океана и атмосферы и др. Считается, что влияние облаков проявляется в уменьшении радиационного баланса при усилении облачности вследствие роста альбедо; кроме того, облачность приводит к интенсификации парникового эффекта в результате возрастания противоизлучения атмосферы [13].

Моделирование показало, что в Северном (зимнем) полушарии влияние облачности на радиационный баланс Земли (РБЗ) проявляется либо как слабое положительное (большее вблизи 60° с. ш. и 10–25° с. ш.), либо как незначительное отрицательное, что свидетельствует о преобладании парникового эффекта по сравнению с альбедным, тогда как в Южном (летнем) полушарии доминирует сильный альбедный эффект [31].

Изменения РБЗ, осредненные для Северного и Южного полушарий и среднего глобального, составляют соответственно +9, -42 и +16 Вт/м<sup>2</sup>.

Расчеты показывают, что альбедный эффект облаков преобладает над парниковым: практически всегда при увеличении облаков происходит рост альбедо (уменьшение поглощенной радиации), которое сильнее воздействует на РБЗ, чем происходящее при этом уменьшение уходящего излучения. Исключение составляют высокие широты зимой, где инсоляция мала или вообще отсутствует. Этот принципиальный результат будет использован в дальнейшем при интерпретации характера влияния гелиогеофизических факторов на климат. Чувствительность

РБЗ системы «подстилающая поверхность – атмосфера» к изменению количества облаков (Вт/м<sup>2</sup> на 1 балл облачности) в высоких широтах зимой положительная и составляет на широтах 60–70° – 10 Вт/м<sup>2</sup>, а на широтах 70–80° – 6 Вт/м<sup>2</sup>.

Соотношение величины альбедного эффекта облаков и парникового эффекта облаков зависит от их высоты, толщины и радиационных свойств. Радиационные свойства и эволюция облачности в свою очередь зависят от распределения водяных паров, наличия капелек воды и частиц льда, атмосферных аэрозолей и толщины облачного покрова. Физическая основа параметризации облачного покрова остается причиной потенциальных ошибок при моделировании. Разные модели показывают большой разброс значения вклада обратной облачной связи в измерении температуры.

В работах Б. Г. Шерстюкова [25–27] показано, что величина тренда температуры за период с 1966 по 2005 г. растет с ростом широты в интервале 43–57° с. ш. (использованы данные по температуре России). Инсоляция и, как следствие, зонально-осредненный радиационный баланс в этом интервале широт к северу уменьшаются. С уменьшением инсоляции большую роль начинает играть парниковый эффект облачности – возрастает противоизлучение атмосферы. В этих же работах приведены значения величин тренда для случая сухой, безоблачной атмосферы (относительная влажность < 40 %, облачность < 2 баллов). Тренды температур получены только для широт 43–57° с. ш., так как в более высоких широтах недостаточно случаев с сухой безоблачной атмосферой.

Для случаев с сухой безоблачной атмосферой выделить эффект парниковых газов в изменении температуры более реально. И действительно, тренды температуры воздуха в интервале широт 43–56° с. ш. существенно выше, чем при облачной погоде. Разности величин трендов температуры для безоблачной и облачной атмосферы приведены в табл. 1.

Рассмотрим еще один фактор изменения климата – солнечную активность. Проблеме влияния солнечной активности на климат посвя-

щены сотни работ. Их обзор представлен в многочисленных монографиях [3, 9, 11, 12, 19, 21, 29]. В последние годы вновь активно обсуждаются вопросы влияния космических лучей солнечного и галактического происхождения на климат. Среди первых, посвященной этой проблеме работ, следует назвать монографию Б. И. Сазонова и В. Ф. Логинова [21], опубликованную почти 40 лет назад. В последние 15 лет наиболее серьезные работы в этом направлении выполнены М. И. Пудовкиным с соавт. в Санкт-Петербурге [17], а также Г. А. Жеребцовым, В. А. Коваленко и С. И. Молодых в Институте солнечно-земной физики СО РАН [5–7] и рядом зарубежных авторов [33–35].

**Таблица 1.** Разности величин трендов температуры для безоблачной и облачной атмосферы ( $\Delta T_t$ ) для различных широт Северного полушария

Географическая широта в градусах	$\Delta T_t$
43	0,15
44	0,32
45	0,23
46	0,33
47	0,11
48	0,08
49	0,09
50	0,43
51	0,22
52	0,25
53	0,12
54	0,26
55	0,22
56	0,26
43–56	0,22

В последних работах обсуждается новая концепция влияния солнечной активности на параметры земной климатической системы, основанная на управлении потоком энергии длинноволновой радиации, уходящей от Земли в космос в высокоширотных областях, куда вторжение заряженных частиц высокой и низкой энергии от Солнца и космоса облегчено благодаря слабому геомагнитному полю. Влияние солнечной активности на погоду и климат должно быть особенно четко выражено в высокоширотных районах Земли, что и подтверждают многочисленные исследования [1, 7, 14, 20, 28].

Принимается, что механизм влияния солнечной активности на климат связан с воздейст-

вием заряженных частиц на облачность. Модулируемая такими частицами облачность может в зависимости от сезона года формировать дополнительный альбедный или парниковый эффект в изменении климата.

Исследования в этом направлении начаты более 30 лет назад [9, 21]. Принималась гипотеза, что особенно отчетливо влияние солнечных и галактических космических лучей на облачность должно проявляться на больших высотах, в частности при формировании стратосферных облаков [10]. Они появляются в основном зимой на высоте 17–31 км и образуются при особо низких температурах стратосферы (-80...-100°). Важная роль при их образовании отводится аэрозолям, в частности капелькам серной кислоты и кластерным ионам. В условиях, которые складываются при значительном аэрозольном загрязнении на высоте около 20 км, не требуется больших перенасыщений атмосферы водяным паром для образования стратосферных облаков. Одной из основных составляющих стратосферных аэрозолей являются сульфаты, концентрация которых в стратосфере контролируется крупными вулканическими извержениями. В работе [10] рассмотрено появление 183 случаев стратосферных облаков в Северном и Южном полушариях за период с 1897 по 1966 г. в связи с геомагнитной и вулканической активностью.

Стратосферные облака чаще появляются во время низкой геомагнитной активности. Поскольку заряженные частицы низких энергий не могут проникать в область, где возникают стратосферные облака, для объяснения полученной закономерности можно привлечь механизм солнечно-атмосферных связей, предложенный Л. Р. Ракиповой [18]. Если дополнительная энергия, связанная с усилением геомагнитной активности, поглощается на уровне 60–90 км, это приведет к нагреванию мезосферы, охлаждению верхней и средней стратосферы и нагреванию нижней стратосферы (15–20 км). Случай потепления мезопаузы во время полярных сияний, а также высокой солнечной активности отмечались в работах Л. Р. Ракиповой.

Процесс образования стратосферных облаков может усиливаться и другим путем. При низкой солнечной активности (низкой геомагнитной активности) возрастает приток галактических космических лучей [4]. Их поглощение происходит в основном в области высоты образования стратосферных облаков. Космические лучи ионизируют воздух, а на кластерных ионах конденсация водяного пара осуществляется при меньших перенасыщениях. Наличие существенной концентрации ионов в области образования стратосферных облаков обнаружено при ракетных запусках. Об этом же свидетельствует большая напряженность электрического поля в нижней и

средней стратосфере, источник которого может быть связан либо с магнитосферой, либо с космическими лучами.

Известна способность космических лучей превращать переохлажденную воду в лед [32, 35, 36] и тем самым изменять конденсационную способность атмосферы, а следовательно, способствовать образованию стратосферных облаков. Конденсационную способность атмосферы может усиливать таким же путем рентгеновское излучение, образующееся при полярных сияниях, но поскольку при низкой геомагнитной активности интенсивность полярных сияний мала, этот факт, вероятно, можно исключить из рассмотрения.

В ряде работ Э. Р. Мустеля с сотр. [14, 15], а также Б. И. Сазонова, Т. И. Щуки, А. С. Беспрозванной установлено, что после протонных вспышек на Солнце, сопровождаемых поглощением радиоволн в полярной шапке (ППШ), давление в высоких широтах Земли падает [1, 28]. Это должно приводить к росту градиента давления между субтропическими и высокими широтами и последующему усилению западного переноса теплого и влажного воздуха с Атлантики.

Величина трендов температуры воздуха за период с 1966 по 2005 г., как указывалось выше, зависит от широты: она растет до 57° с. ш., затем несколько уменьшается, а в полярной шапке (> 70° с. ш.) вновь увеличивается [27]. Эти особенности изменения величины трендов температуры пока не получили своего объяснения. Они могут быть связаны в том числе с начальными условиями в атмосфере Земли.

В нашей работе [21] представлены результаты вычисления индекса возмущенности зонального потока циркуляции атмосферы. Этот индекс пропорционален напряженности меридиональной циркуляции, числу и мощности барических образований на фиксированной широте. При строго зональном потоке индекс возмущенности равен нулю и возрастает тем больше, чем сильнее возмущен зональный поток барическими образованиями. Индекс вычислялся по 12 широтным кругам через 5° (20–75° с. ш.) по картам барической топографии  $H_{500}$ .

Сравним широтные изменения величины трендов температуры для облачной атмосферы со значениями напряженности меридиональной циркуляции. Сравнение показывает, что величина трендов температуры зависит от степени напряженности меридиональной циркуляции. Это означает, что при высокой меридиональности циркуляции (наибольшей возмущенности и неустойчивости зонального потока) обеспечиваются наиболее благоприятные условия для проявления климатообразующего фактора, формирующего знак и величину трендов температуры. Такими факторами могут быть изменения газового и аэрозольного состава атмосферы, солнечная активность и др. Не исключено, что наибольшая

величина трендов температуры в указанных районах может быть объяснена формальной причиной – наибольшей изменчивостью климатических параметров в зоне 55–75° с. ш.

Отметим, что еще 40 лет назад в нашей работе [21] было обращено внимание на то, что широтный ход атмосферной возмущенности напоминает широтные особенности в притоке космических лучей галактического происхождения:

- 1) максимум энергии космических лучей приходится примерно на широту 55°;

- 2) в интервале от 30 до 55° широты происходит линейное возрастание в притоке энергии космических лучей;

- 3) минимальная энергия космических лучей вносится в экваториальные широты.

Космические лучи солнечного происхождения связаны с крупными вспышками и их максимальная энергия выделяется на широтах > 70°.

Как отмечено в работах [14, 15], в районах вторжения солнечных космических лучей происходит падение давления – развиваются циклоны. Еще ранее Б. И. Сазонов показал, что районы циклогенеза находятся там, где напряженность горизонтальной слагающей геомагнитного поля минимальна. Эти районы, как известно, наиболее доступны для вторжения космических лучей. Интересно, что предыдущее потепление 1920–1930-х гг., известное как потепление Арктики, началось в высоких широтах Северного полушария в районе геомагнитного полюса (северо-восток Канады, Гренландия) [16].

Эффективность проявления космического агента будет максимальной, если он поглощается в нижней атмосфере–стратосфере и особенно тропосфере. Передача возмущения из стратосферы в слой, где формируются погода и климат, зависит от вертикального распределения температуры. При наличии пауз (страто- и тропопаузы) имеет место вынужденная конвекция, что затрудняет распространение энергии по вертикали. Однако в ряде районов земного шара и отдельных сезонах года отмечается разрыв тропопаузы, т. е. резкие изменения тропопаузы по высоте [2].

Такие разрывы существуют по линии со-прикосновения тропического воздуха и воздуха умеренных широт, тропического и субтропического воздуха, а также субтропического и полярного воздуха. Вдоль таких разрывов, между холодным воздухом стратосферы и теплым воздухом тропосферы, создаются градиенты температуры, что приводит к образованию струйных течений. Над полюсами тропосфера исчезает вообще и холодный воздух стратосферы практически соприкасается с подстилающей поверхностью. Наиболее часто это происходит в Антарктиде. При этом холодный воздух располагается в более высоких широтах.

В местах разрыва тропопаузы и над полюсами при ее исчезновении происходит активный

обмен между тропосферой и стратосферой. Рассмотрим возможные последствия такого рода распределения температуры по вертикали в изменении климата, основываясь на характере изменения трендов температуры [27].

Пятый тип годового хода трендов температуры по Б. Г. Шерстюкову в холодное время года (Х–II месяцы) наиболее часто встречается на 20–25° с. ш. и 45–50° с. ш.

**Таблица 2. Повторяемость (в %) типов годового хода трендов температуры по географическим широтам Северного полушария по данным 1920–2005 гг.**

Географическая широта в градусах	Тип 1 зимний (XII–II)	Тип 2 конец зимы – весна (первая половина) (II–IV)	Тип 5 осень – начало зимы (XI–XII) (I–II) второстепенный максимум	Сумма 1, 2 и 5 типов
5	0	0	0	0
10	0,8	0	2,9	3,7
15	2,5	1,6	2,9	7,0
20	0,8	1,6	14,3	16,7
25	0	3,2	17,1	20,3
30	3,3	6,5	0	9,8
35	5	8,1	5,7	18,8
40	11,7	6,5	8,6	26,0
45	17,5	3,2	14,3	35,0
50	26,7	6,5	17,1	40,3
55	18,3	21,0	2,9	42,2
60	10,0	27,4	5,7	43,1
65	2,5	9,7	8,6	20,8
70	0,8	4,8	0	5,6
75	0	0	0	0

Это означает, что самые значительные по величине тренды температуры имеют место в холодное время года в районах расположения арктического климатологического фронта, где отмечаются резкие изменения тропопаузы по высоте и осуществляется интенсивный воздухообмен между стратосферой и тропосферой.

Известно, что главные агенты солнечно-атмосферных связей (ультрафиолетовое солнечное излучение, галактические и солнечные космические лучи) претерпевают отчетливые изменения с 11-летним и вековым солнечными циклами и поглощаются именно в стратосфере. В связи с этим можно предположить, что идея стратосферного управления погодой и климатом имеет под собой определенные основания, по крайней мере в высоких широтах холодного времени года. Особенno сильные положительные тренды температуры обнаружены вблизи 55–57° с. ш., где отмечается так называемое «колоно космических лучей галактического происхождения». На этих же широтах максимальная напряженность меридиональной циркуляции, которая пропорциональна числу и мощности барических образований на фиксированной широте.

Вторичный максимум в повторяемости значительных трендов находится в высокоширотных областях (широта более 70°). В этих районах наблюдаются даже исчезновения тропопаузы, и

второй тип трендов, наиболее выраженный в конце зимы и весной, часто наблюдается на широтах 30–40° с. ш. и особенно на широте 55°.

В зоне климатологического полярного фронта, располагающегося в интервале 40–60° с. ш., отмечается наибольшая повторяемость 1, 2 и 5 типов годового хода трендов температуры (табл.2).

здесь холодный воздух стратосферы практически соприкасается с подстилающей поверхностью. На эти широты вторгаются космические лучи солнечного происхождения. Вторжение солнечных космических лучей сопровождается поглощением радиоволн в полярной шапке (ППШ, Polar Cap absorption) и наиболее сильным изменением характеристик тропосферы [1, 28, 33, 34]. Интересно отметить, что «язык» наибольшего влагосодержания вытянут в сторону Атлантического сектора Северного полушария (0–30° з. д.). Влагосодержание арктической атмосферы зимой более чем в 3 раза больше, чем летом. Общая облачность на самом высокоширотном корабле погоды ( $\phi = 66^\circ$  с. ш.,  $\lambda = 2^\circ$  в. д.) была на 0,2 балла больше в годы максимальной солнечной активности, чем в годы минимальной солнечной активности 11-летнего цикла.

Таким образом, потепление климата может модулироваться заряженными частицами через формирование дополнительной облачности, которая в зависимости от сезона и района земного шара обеспечивает либо отражение солнечной радиации (альбедный эффект облаков), либо интенсификацию парникового эффекта в результате возрастания противоизлучения атмосферы. Последний эффект должен проявляться в случае, если инсоляция мала или совсем отсут-

ствует, т. е. в холодное время года в высоких широтах.

Это означает, что такой механизм солнечно-атмосферных связей может быть особенно эффективен зимой в высоких широтах.

Известно, что скорость роста температуры в Северном полушарии в 1910–1945 гг. была выше, чем в Южном, приблизительно в 1,5 раза. Начиная с 1945 г. в Северном полушарии наступило похолодание, которое продолжалось до 1975 г. В Южном полушарии похолодание было менее заметным. Начиная с 1980-х годов потепление стало особенно значительным в континентальных районах Северного и Южного полушарий Земли, где смягчающее влияние океана ощущается меньше. Б. Г. Шерстюков показал, что ослабление теплового взаимодействия атмосферы и океана привело в последние десятилетия к акцентации парникового эффекта [26, 27].

Возрастание температуры было особенно существенным в высоких широтах Северного полушария в 1920–1930-х годах, особенно в районе Гренландии (Атлантический сектор). Это привело к уменьшению градиента температуры «экватор–полюс» и, как следствие, к ослаблению зональной циркуляции (западной формы циркуляции по Вагенгейму–Гирсу W) до середины 70-х годов прошлого столетия, а затем наступило ее усиление. Таким образом, в среднем периоды высокой повторяемости западной формы циркуляции W совпадали с периодами потепления климата в Северном полушарии. Подобного рода переход от западной формы циркуляции к восточной (E) и меридиональной (C) должен произойти в ближайшее десятилетие, а это может привести к замедлению потепления климата. Ветвь подъема температуры в текущем 60–70-летнем долгопериодном колебании вряд ли будет больше

40 лет, т. е. максимум потепления уже достигнут или будет достигнут через 10–15 лет, а затем может наступить или снижение температуры, или замедление скорости ее роста.

Таким образом, степень проявления влияния солнечной активности, связанная с изменением притока солнечных и галактических лучей, которые поглощаются в стратосфере, а также пространственно-временные особенности проявления парникового эффекта в климате Земли зависят от начальных условий в атмосфере на момент воздействия агента на атмосферу Земли. Наибольшие по величине тренды температуры на широтах 55–57° с. ш. приходятся на максимальную напряженность меридиональной циркуляции, большое число и мощность барических образований на указанных широтах. Эти проявления наиболее заметны в холодное время года, когда инсоляция мала или совсем отсутствует. Возможными факторами изменения климата можно считать в этом случае и парниковые газы, и космические лучи галактического происхождения. Поскольку в холодное время года в высоких широтах наблюдается даже исчезновение тропопаузы, этим самым обеспечиваются оптимальные условия передачи энергии, связанной с дополнительным потоком космических лучей, из стратосферы в тропосферу, где, собственно, и формируются погода и климат. Именно на широтах выше 70° наблюдается вторичный максимум в повторяемости положительных трендов температур. Это позволяет считать космические лучи солнечного и галактического происхождения вероятным агентом солнечно-атмосферных связей и, как следствие, фактором, формирующим наблюдаемый характер изменения климата в высоких широтных районах Земли.

## Л и т е р а т у р а

1. **Беспрозванная А. С., Оль Г. И., Трошичев О. А.** и др. Влияние короткопериодных изменений солнечной активности на барическое поле стратосферы // Геомагнетизм и астрономия. 1995. Т. 35, № 3. С. 137–140.
2. **Васильев А. А., Вильфанд Р. М.** Прогноз погоды. М., 2008.
3. **Герман Дж. Р., Голдберг Р. А.** Солнце, погода и климат. Л., 1981.
4. **Дорман Л. И., Мирошниченко Л. И.** Солнечные космические лучи. М., 1968.
5. **Жеребцов Г. А., Коваленко В. А., Молодых С. И.** Радиационный баланс атмосферы и климатические проявления солнечной переменности // Оптика атмосферы и океана. 2004. Т. 17, № 12. С. 1003–1017.
6. **Жеребцов Г. А., Коваленко В. А., Молодых С. И., Рубцова О. А.** Модель воздействия солнечной активности на климатические характеристики тропосферы Земли // Оптика атмосферы и океана. 2005. Т. 18, № 12. С. 1042–1050.
7. **Жеребцов Г. А., Коваленко В. А., Молодых С. И.** Роль солнечной и геомагнитной активности в изменении климата Земли // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21, № 31. С. 1–7.
8. **Кондратьев К. Я.** Глобальные изменения климата: данные наблюдений и результаты численного моделирования // Исследования Земли и космоса. 2004. № 2. С. 61–96.
9. **Логинов В. Ф.** Характер солнечно-атмосферных связей. Л., 1973.
10. **Логинов В. Ф.** О природе стратосферных облаков. Экспресс-информация. Вып. 9 (29). Метеорология. Информ. центр ВНИИГМИ–МЦД. Обнинск, 1974. С. 3–9.

11. Логинов В. Ф. Причины и следствия климатических изменений. Минск, 1992.
12. Логинов В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия. Минск, 2008.
13. Марчук Г. И., Кондратьев К. Я., Козоделов В. В. и др. Облака и климат. Л., 1986.
14. Мустель Э. Р. О воздействии солнечной активности на тропосферу в области полярных шапок // Астрономический журнал. 1996. Т. 13, вып. 4. С. 365–370.
15. Мустель Э. Р., Кубышкин В. В., Бонелис И. В. Корпускулярные потоки и космические лучи солнечного восходления и их воздействие на тропосферу Земли // Астрономический журнал. 1966. Т. 13, вып. 2. С. 201–205.
16. Полозова Л. Г., Сазонов Б. И. О возможной причине современного потепления климата // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1963. № 4. С. 99–105.
17. Пудовкин М. И., Распопов О. М. Физический механизм воздействия солнечной энергии и других геофизических факторов на состояние нижней атмосферы, метеопараметры и климат // УФН. 1993. Т. 163. С. 113–116.
18. Ракипова Л. Р. К вопросу о взаимосвязи между верхними и нижними слоями атмосферы // Метеорология и гидрология. 1966. № 1. С. 35–37.
19. Рубашев Б. М. Проблемы солнечной активности. М., 1964.
20. Сазонов Б. М. Высокие барические образования и солнечная активность. Л., 1964.
21. Сазонов Б. И., Логинов В. Ф. Солнечно-тропосферные связи. Л., 1969.
22. Солнечно-земные связи, погода и климат / Под ред. Б. Мак-Кормана, Т. Селеги. М., 1982.
23. Сорохтин О. Г. Адиабатическая теория парникового эффекта / Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий. Материалы семинара при Президенте РАН. М. 2006. С. 101–128.
24. Сорохтин О. Г., Ушаков С. А. Развитие Земли. М., 2002.
25. Шерстюков Б. Г. Влияние условий облачности на приземную температуру воздуха в различных регионах России и государств бывшего СССР // Тр. ВНИИГМИ–МЦД. 1996. Вып. 161. С. 15–22.
26. Шерстюков Б. Г. Сезонно-широтные особенности парникового эффекта на территории России // Метеорология и гидрология. 2007. № 12. С. 21–28.
27. Шерстюков Б. Г. Пространственные и сезонные особенности изменений климата в период интенсивного глобального потепления: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Казань, 2008.
28. Щука Т. И. Изменение давления у поверхности Земли в периоды вторжения высокоэнергетических частиц // Тр. ААНИИ. 1969. Т. 289. С. 50–57.
29. Эгейсон М. С. Солнце, погода и климат. Л., 1963.
30. Climate change 2001. Contribution of Working Group 1 to the Third of Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change/ WMO-UNEP Cambridge Univ. press, 2001.
31. Herman G. F. A review of cloud-radiation experiment with the GLAS general circulation model. – In: Clouds and Climate: Modeling and Satellite studies. Report of the Workshop Held at NASA Goddard Institute for Space studies / NASA, Wash. D. C. 1981. P. 82–92.
32. Markson Ralph Considerations regarding Solar and Lunar Modulation of Geophysical Parameters Atmospheric Electricity and Thunderstorms / Pure and Appl. Geoph. 1971/1. P. 161–202.
33. Sun R., Bradley R. S. Solar influences on cosmic rays and cloud formation: a reassessment. J. Geophys. Res. 2002. 107. P. 4211–4222.
34. Svensmark H., Friis-Christensen E. Variations of cosmic ray flux and global cloud coverage – a missing link in solar in solar climate relationship. Atmos. Solar-Terr. Phys. 1997. Vol. 59. P. 1225–1232.
35. Tinsley B. A. and Deen G. M. Apparent tropospheric response to MeV-GeV particle flux variations: a connection via electro Freezing of supercold water in high-level clouds, J. Geophys. Res. 1991. Vol. 96, № D12. P. 2283.
36. Varshneya N. C. Detecting radiation with a super-cooled liquid. Nature, 1969. Vol. 233. P. 826–827.

**В. Ф. Логинов**

### **РОЛЬ ГЕЛИОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ В ТРОПОСФЕРЕ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ**

Показано, что пространственно-временные закономерности глобальных изменений температуры не могут быть интерпретированы только на основе главенствующей роли парниковых газов в изменении современного климата. Сравнение величин трендов в зависимости от широты для облачной атмосферы со значениями индекса напряженности меридиональной циркуляции свидетельствует о наличии их связи. Ряд широтных особенностей изменения индекса атмосферной возмущенности и космических лучей совпадает.

Установлено, что самые значительные по величине тренды температуры имеют место в холодное время года, когда инсоляция мала или вообще отсутствует, в районах расположения полярного климатологического фронта, где отмечаются резкие изменения тропопаузы по высоте и осуществляется интенсивный воздухообмен между стратосферой и тропосферой. Последний результат не противоречит давно высказанной идеи о стратосферном управлении климатом посредством известных механизмов солнечно-атмосферных связей (озонный механизм и механизм формирования дополнительной облачности в верхней тропосфере, нижней и средней стратосфере).

V. F. Loginov

**ROLE OF GEOPHYSICAL FACTORS AND INITIAL CONDITIONS IN TROPOSPHERE IN THE FORMATION OF SPATIAL-TEMPORAL REGULARITIES OF GLOBAL TEMPERATURE CHANGES**

*It has been shown that spatial-temporal regularities of global temperature variation can not be interpreted only due to prevailing greenhouse gases role in modern climate change. The comparison of trends values depending on the latitude for cloudy atmosphere with tension index values of meridian circulation testifies their link presence. A series of latitude particular features of the atmospheric disturbance index variation and cosmic rays coincides.*

*It has been found that most great by value temperature trends are observed in cold season, when insolation is small or lacks at all, in regions of polar climatological front location , where sharp tropopauses variations by the height are marked and intensive air exchange between the stratosphere and troposphere is done. The last result does not contradicts a long ago said idea about stratospheric climate control through known mechanisms of solar-atmospheric relations (an ozone mechanism and a mechanism of additional cloudiness formation in top troposphere, lower and mid stratosphere).*

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

## **ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГРОЗ И ШКВАЛОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

*В работе рассмотрены закономерности формирования гроз и шквалов на территории Беларуси. Выполнен анализ их пространственной и временной изменчивости, выделены аномальные зоны, дана оценка влияния различных ландшафтов на распределение гроз и шквалов по территории.*

Грозы и шквалы относятся к опасным метеорологическим явлениям, которые способны наносить серьезный экономический ущерб не только отдельным территориям, но и стране в целом. Их повторяемость определяется синоптической ситуацией, а также свойствами подстилающей поверхности. Тем не менее, эти опасные метеорологические явления изучены недостаточно с как точки зрения их формирования, так и географического проявления.

Задача исследования – анализ статистической структуры пространственно-временных колебаний количества гроз и шквалов на территории Беларуси.

Основными исходными материалами при исследовании пространственно-временной структуры гроз и шквалов в республике послужили среднемесячные данные Департамента гидрометеорологии Беларуси по 47 метеостанциям за период с 1975 по 2005 г.

Пространственная изменчивость характеристики гроз Беларуси оценивалась с помощью картирования этих характеристик. Временные ряды количества дней в году с грозами и шквальми исследовались с помощью стандартных статистических методов (средних значений по метеостанциям, коэффициентов вариации, асимметрии, автокорреляции и др.).

Грозы – часто наблюдаемое опасное локальное явление. Район, охватываемый грозой, достигает в среднем 500–600 км<sup>2</sup>. Опасность гроз усугубляется тем, что они обычно сопровождаются обильными дождями, иногда шквалами. В среднем в отдельном пункте по республике в течение года наблюдается 25–30 дней с грозой. Количество таких дней несколько возрастает к югу, что связано с повышением в этом направлении температуры воздуха в теплый период года, ростом влагосодержания воздуха над территорией Полесской низменности, большей ее залесенностью. Свыше 99 % гроз приходится на теплый период года: с апреля по сентябрь.

Шквалом называется резкое, в течение короткого времени увеличение скорости ветра, сопровождающееся изменением его направления [1]. В отличие от гроз шквалы – явление достаточно редкое. Нарастание ветра происходит

обычно в течение нескольких секунд. Скорость ветра при шквале значительно больше градиентной и нередко достигает 20–40 м/сек, а иногда и более. Продолжается шквал несколько минут, как правило, в виде одиночного явления. Значительно реже шквалы следуют друг за другом в одном и том же районе. Возникновение шквала связано с развитием кучево-дождевых облаков. Перед шквалом почти всегда наблюдается быстрое падение давления; при появлении шквала отмечается резкий рост давления; после окончания шквала и прекращения ливня давление снова падает; примерно в течение часа или менее. При шквале температура воздуха резко понижается и затем, остается более низкой по сравнению с температурой до шквала.

Так как шквалы непосредственно связаны с появлением термодинамической энергии неустойчивости, наиболее часто они возникают во второй половине дня, когда конвективная облачность достигает наибольшего развития. Теми же причинами (высокая температура и влажность) объясняется и годовой ход шквалов. Над сушей они наблюдаются преимущественно в теплое время года, в период с апреля по август, в южных районах отдельные шквалы отмечаются в марте и сентябре. Над теплыми морями шквалы регистрируются и зимой, развиваясь в неустойчиво стратифицированных холодных воздушных массах, а также при прохождении холодных фронтов. В некоторых случаях холодный воздух, вторгающийся на континент осенью или зимой с теплого моря, вызывает ливни и шквалы в прибрежных областях, однако эти явления быстро прекращаются по мере продвижения воздуха в глубь континента.

В среднем за месяц (с апреля по сентябрь) наблюдаются 4–7, а на юге 5–8 дней с грозой, за год – около 24 дней. Шквалы встречаются на территории республики значительно реже, – около 4 дней за теплый период, и охватывают отдельные хозяйства 5–10 административных районов.

Анализ временной изменчивости среднегодового суммарного числа дней со шквалами и грозами по метеостанциям Беларуси за последние 30 лет показал их значительную изменчивость.

Рассмотрим изменения количества гроз и шквалов в различные месяцы года и в целом за год, как применительно к областям, так и по республике в целом.

С декабря по февраль грозы – достаточно редкое явление, их повторяемость в январе–феврале не превышает 1–2 случаев за пятилетие; в декабре грозы наблюдаются крайне редко – 1 случай за 10 лет. Следует отметить, что повторяемость зимних гроз, начиная с середины 80-х годов XX в. до начала XXI в. существенно возросла; ранее наблюдался лишь один случай с грозой (январь 1975 г.). Эпоха активной грозовой деятельности зимой совпала с потеплением климата. В марте–апреле повторяемость гроз возрастает в среднем до 3–5 случаев за пятилетний период. Исключение составили 1996–2000 гг., когда наблюдалось более 10 гроз (1998 г. – 8 гроз). С мая по август количество гроз существенно увеличивается и в отдельные годы достигает 22 случаев (июль 2001 г.: 22 – в Пружанах, 21 – в Лельчицах, Житковичах, 20 – в Гродно, Лиде и Ивацевичах). В мае, июне и августе отмечается слабый отрицательный тренд в количестве гроз, в июле – положительный. Однако обнаруженные тренды статистически незначимы. В сентябре–октябре количество гроз уменьшается и составляет в среднем 7–10 случаев за пятилетний период. Тренды количества гроз, как и в другие месяцы года, выражены слабо. В ноябре отмечаются в среднем 1–2 случая с грозой, генеральные особенности изменения гроз в этом месяце напоминают особенности изменения гроз в январе и феврале.

С октября по февраль шквалы регистрируются на территории Беларуси редко – 1–2 случая

в 15–20 лет. Так, в январе за 30-летний период шквалы регистрировались 2 раза (1975, 1993 гг.), 3 раза (1974, 1983, 1995 гг.) – в декабре, 4 раза (1974, 1979, 1993, 1997 гг.) – в феврале (рис. 1). С марта по сентябрь повторяемость шквалов возрастает в среднем до 4 – 6 случаев в год. В отдельные годы в июне–июле количество шквалов доходит до 10 в год.

За исследуемый период трендов в сторону увеличения или уменьшения гроз не отмечается, чего нельзя сказать о шквалах.

Выявлены два максимума повторяемости гроз: в середине 80-х и в конце 90-х годов – начале XXI в. (рис. 1, а). Отчетливый минимум в повторяемости гроз приходится на начало 90-х годов XX в. В последнее время (2002–2003 гг.) имеет место уменьшение повторяемости гроз как на западе, так и на востоке страны (рис. 2, а, б). На северо-западе и юго-западе количество гроз было максимальным в середине 80-х и конце 90-х годов прошлого столетия. В нынешнем столетии количество гроз в этих районах уменьшилось. Подобная закономерность, хотя и менее отчетливо, выражена на северо-востоке и юго-востоке Беларуси.

Минимальные значения числа дней со шквалами отмечались во второй половине 70-х и первой половине 90-х годов XX в. (рис. 1, б). Они совпали с уменьшением облачности, меньшим количеством осадков, низкой температурой во второй половине 70-х годов и небольшим снижением температуры в большинстве месяцев теплого времени года в начале 90-х годов. Наибольшая скорость роста числа шквалов пришлась на период начала 80-х XX в. и 2000-х годов XXI в.

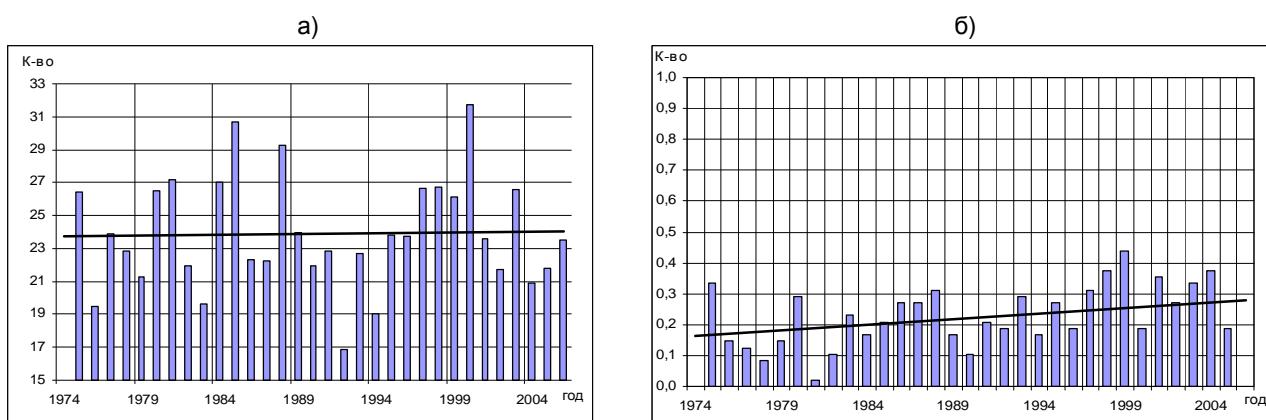
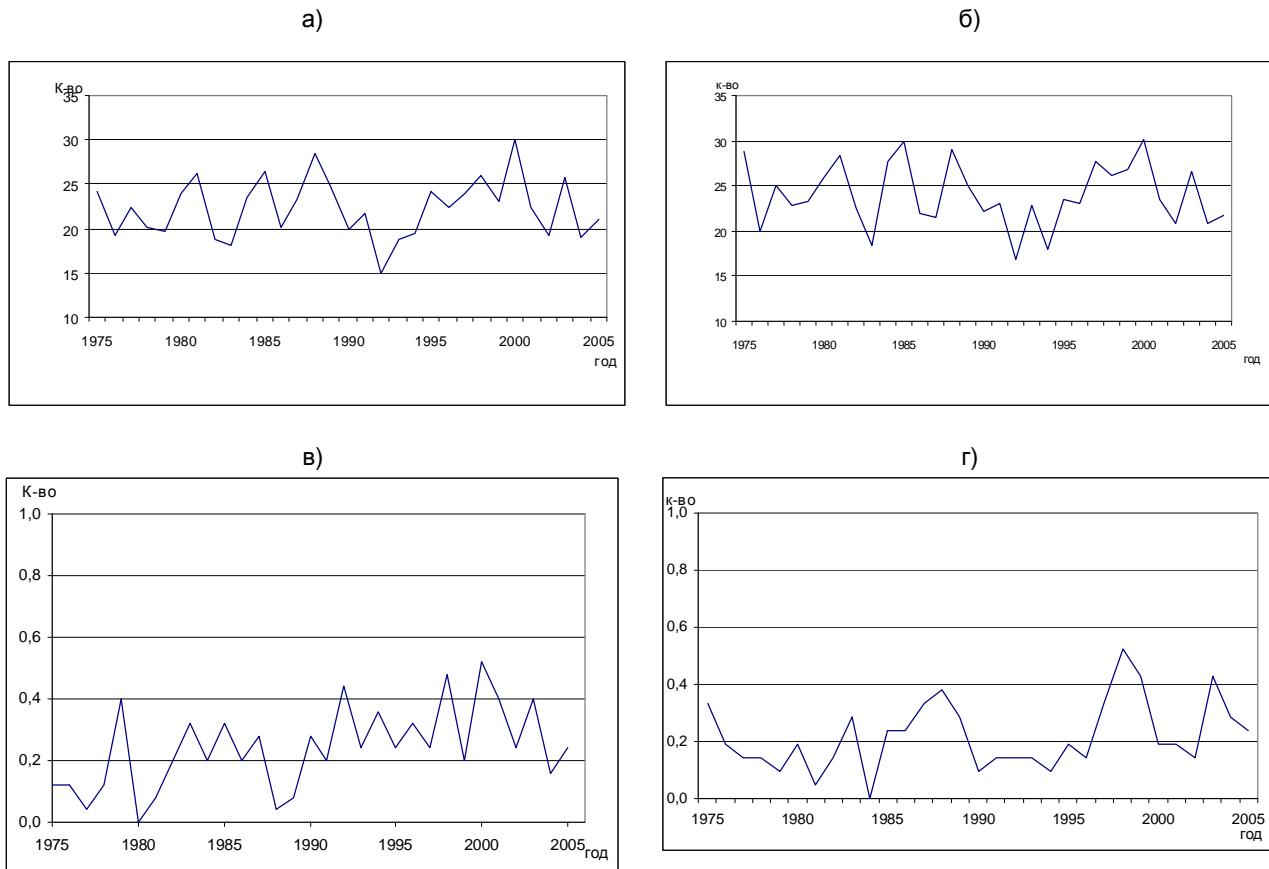


Рис. 1. Годовой ход среднего количества дней с грозами (а) и шквалами (б) в году, приходящихся на метеостанцию на территории Беларуси

В настоящее время повторяемость гроз уменьшается по всей территории Беларуси, а повторяемость шквалов увеличивается. Увеличение количества шквалов наблюдается как в западной, так и в восточной части республики (рис. 2 в, г). Если на западе интенсивность шквалов за 30-летний период исследований практи-

чески не изменилась, то в восточной части имеет место увеличение количества шквалов. В восточной части страны отмечается две волны увеличения: вторая половина 80-х и 90-х годов XX в. В настоящее время наблюдается незначительное уменьшение количества шквалов в северо-восточной части Беларуси.



**Рис. 2. Годовой ход среднего количества дней с грозами (а – запад, б – восток) и шквалами (в – запад, г – восток) в году, приходящихся на различные районы на территории Беларуси**

Анализ повторяемости шквалов по областям показал, что в Витебской области шквалистые усиления ветра отмечаются практически ежегодно, из 30 лет исследований в 28 годах, или в 93 % случаев, отмечались шквалы в различных районах, или в 140 случаях (41 %) за 30-летний период, в 24 и 23 годах (80 и 76 % соответственно) – в Минской и Брестской областях, в 18 годах (60 %) – в Гродненской, Могилевской и Гомельской областях.

В месячном разрезе также можно отметить лидирующие позиции Витебской и Брестской областей. Так, в январе за 30-летний период исследований 7 раз отмечались шквалы, из которых по 2 приходится на Витебскую и Брестскую области. В Гомельской области в январе шквалы не регистрировались. В феврале из 5 случаев, когда регистрировались шквалы, по 3 и 2 приходится на Витебскую и Брестскую области соответственно. В марте из 11 случаев 5 приходится на Витебскую, 3 – на Гродненскую, 2 – на Могилевскую, 1 – на Гомельскую области. В апреле из 17 случаев, когда регистрировались шквалы, 8 приходится на Витебскую, 4 – на Гродненскую, 2 – на Могилевскую и Брестскую, 1 – на Гомельскую область. В мае из 77 случаев 29 (37 %) приходится на Витебскую, 13, 12, 10 – на Брестскую,

Минскую и Гомельскую, 8 и 6 – Могилевскую и Гродненскую область. В июне из 92 случаев 35 отмечается в Витебской, 16 – в Брестской, 11 – в Гомельской и Гродненской, 10 – в Минской и 5 – в Могилевской области. В июле из 88 случаев 33 (38 %) приходится на Витебскую, 26 – на Брестскую, 9 – на Минскую и Гомельскую, 5 – на Гродненскую область. В августе из 42 случаев 18 (42 %) отмечались в Витебской, 10 – в Брестской, 6 – в Гомельской, 4, 3, 1 – в Гродненской, Минской и Могилевской областях соответственно. В сентябре из 12 случаев регистрации шквалов 6 (50 %) имели место в Брестской, 3 – в Витебской, по 1 – в Минской, Гродненской, Гомельской областях. В октябре зарегистрировано 8 шквалов, из них 4 – в Витебской, по 1 – в Минской, Могилевской, Брестской, Гомельской областях. В ноябре отмечено 5 случаев шквала за 30-летний период, из них 3 – в Витебской, 2 – в Гродненской, 1 – в Минской области.

Влияние физико-географических факторов на формирование гроз и шквалов неоспоримо. Например, грозовая деятельность на наветренных склонах сильно возрастает, к тому же четко прослеживается суточный ход. Различные водные объекты также оказывают влияние на развитие и размещение гроз. При приближении холода-

ного фронта к реке происходит затухание грозовой деятельности, которая, как правило, возникает снова после того, как фронт продвинулся за реку на расстояние до 30 км. Озера разрушают облака, поэтому над озерами сохраняется ясная, малооблачная погода, хотя в близлежащих районах в это время отмечается сильная грозовая деятельность. На формирование шквалов оказывает влияние растительность, т. е. та территория, не покрытая лесом, больше подвержена шквалистому усилению ветра. На наветренных склонах также усиливается деятельность ветра.

**Таблица 1. Количество гроз и шквалов на метеорологических станциях северной и центральной частей территории Беларуси**

Равнинная территория			Возвышенная территория				
Метеостанция	Высота пункта, м	Количество		Метеостанция	Высота пункта, м	Количество	
		гроз (среднее)	шквалов (сумма)			гроз (среднее)	шквалов (сумма)*
Верхнедвинск	132	16,6	16	Борисов	188	20,3	7
Жлобин	140	22,0	1	Марьина Горка	175	22,8	3
Нарочь, Озерная	170	18,6	0	Минск	222	23,5	5
Сенно	173	19,0	2	Могилев, АМСГ	190	24,6	3
Полоцк	132	20,3	0	Горки	200	24,2	7
Лепель	173	21,4	3	Новогрудок	278	24,5	0
Столбцы	172	21,8	7	Езерище	172	26,2	44
Шарковщина	130	23,2	21	Колодищи	200	25,7	3
<b>Средняя высота станции над уровнем моря и среднее число гроз и шквалов</b>	<b>152,8</b>	<b>20,4</b>	<b>6,3</b>	<b>Средняя высота станции над уровнем моря и среднее число гроз и шквалов</b>			
						<b>203,1</b>	<b>23,97</b>
							<b>9</b>

\* Общее количество шквалов за 30-летний период.

**Таблица 2. Количество гроз на метеорологических станциях Полесья**

Метеостанция	Высота пункта, м	Среднегодовое количество гроз	Количество шквалов*
Ганцевичи	157	28,1	8
Октябрь	141	28,0	18
Пружаны	159	28,5	11
Брест	141	23,5	3
Василевичи	139	28,9	1
Полесская болотная	141	26,5	5
Гомель	138	26,4	0
Брагин	114	27,7	7
Ивацевичи	153	26,5	2
Высокое	163	27,4	5
Лельчицы	141	27,9	3
Житковичи	135	29,0	5
Мозырь, АМСГ	162	28,4	3
<b>Средняя высота станции над уровнем моря и среднее число гроз</b>	<b>144,9</b>	<b>27,5</b>	<b>5,46</b>

\* Общее количество шквалов за 30-летний период.

В то же время на Полесской низменности количество гроз существенно больше, чем на возвышенностях северной и центральной частей Беларуси (табл. 2), чего нельзя сказать о шквалах. Это свидетельствует о том, что вклад неустойчивой стратификации атмосферы, сильной конвекции и большей водности облаков в фор-

мировании гроз на Полесской низменности является более существенным, чем такого географического фактора, как высота над уровнем моря.

Лесные массивы и отдельные островки леса на пути воздушного потока играют роль возвышенностей на равнине и способствуют повышению турбулентности, особенно если лесной

массив с вырубками и просеками. В районах, где лесистость превышает 45 %, количество дней с грозой, как правило, около 30 или более; на западе и северо-западе Беларуси, где лесистость меньше, – менее 25 (табл. 3). Противоположная

ситуация со шквалами. Территория с меньшей лесистостью чаще подвержена воздействию шквала. В районах, где лесистость менее 25 %, число дней со шквалами составляет около 9, а там где лесистость превышает 45 %, – 5,9.

**Таблица 3. Зависимость количества гроз от шквалов от лесистости территории**

Минимальное количество гроз и максимальное количество шквалов				Максимальное количество гроз и минимальное количество шквалов			
Станция	Среднегодовое количество гроз	Количество шквалов	Лесистость, %	Станция	Среднегодовое количество гроз	Количество шквалов	Лесистость, %
Шарковщина	23,3	21	20	Полесская Болотная	26,5	5	35
Барановичи	24,4	15	25	Пружаны	28,5	11	35
Витебск	21,4	9	25	Березино	24,0	3	45
Волковыск	26,5	21	25	Василевичи	28,9	1	45
Лида	24,0	1	25	Ганцевичи	28,1	8	45
Минск	23,5	5	25	Ивацевичи	26,5	2	45
Могилев, АМСГ	24,6	3	25	Житковичи	29,0	5	55
Орша	22,1	3	25	Мозырь, АМСГ	28,4	3	55
Пинск	21,7	3	25	Октябрь	28,0	18	55
Слуцк	23,6	12	25	Лельчицы	27,9	3	60
Жлобин	25,7	1	30				
<b>Среднее значение числа гроз и лесистости</b>	<b>23,7</b>	<b>8,55</b>	<b>25</b>	<b>Среднее значение числа гроз и лесистости</b>	<b>27,58</b>	<b>5,9</b>	<b>47,5</b>

Временная изменчивость числа дней с грозами и шквалами на территории Беларуси достаточно велика. Она оценивается средним коэффициентом вариации (табл. 4): для гроз  $Cv = 0,25$ , который колеблется от 0,5 (метеостанция Любань) до 0,19 (метеостанции Лынтупы, Воложин, Минск, Бобруйск); для шквалов  $Cv = 2,9$ , который колеблется от  $Cv = 0,8$  в Езерище до  $Cv = 5,3$  в Жлобине, Василевичах.

Для корректного определения коэффициента асимметрии выполнено пространственно-

временное объединение временных рядов числа дней с грозами и шквалами в году в один вариационный. В результате установлено, что временной ряд имеет коэффициент асимметрии для гроз  $Cs = 0$ , т. е. подчиняется закону нормального распределения. Коэффициент асимметрии для шквалов составляет 2,79, что гораздо выше, чем изменчивость других метеорологических характеристик.

**Таблица 4. Основные статистические характеристики числа дней с грозой и шквалами на территории Беларуси**

Метеостанции	Среднее число дней		Коэффициенты					
	грозы	шквалы	Вариации		асимметрии		автокорреляции	
Верхнедвинск	16,6	0,5	0,33	1,60	0,04	1,55	0,11	-0,10
Езерище	26,2	1,4	0,27	0,82	0,6	0,49	-0,05	0,03
Полоцк	20,3	0,0	0,22	0,00	0,76	0,00	0,24	0,00
Шарковщина	23,3	0,7	0,23	1,84	0,28	2,54	0,4	-0,19
Витебск	21,4	0,3	0,25	1,85	0,39	1,67	-0,1	0,28
Лынтупы	22,3	0,2	0,19	2,85	-0,61	2,82	0,21	-0,13
Докшицы	22,9	0,8	0,25	1,48	-0,35	1,92	-0,01	0,26
Лепель	21,4	0,1	0,23	3,15	0,22	2,87	-0,09	-0,11
Сенно	19	0,1	0,29	5,65	0,34	5,57	0,23	-0,03
Березинский заповедник	23,3	0,4	0,29	3,01	-1,22	4,26	0,22	0,40
Орша	22,1	0,1	0,26	4,16	-0,06	4,36	0,18	0,89
Нарочь, Озерная	18,6	0,0	0,32	0,00	0,17	0,00	0,5	0,00
Вилейка	18,6	0,0	0,31	0,00	0,08	0,00	0,24	0,00
Борисов	20,3	0,2	0,21	2,24	0,73	2,21	-0,17	-0,19

Окончание табл. 4

Метеостанции	Среднее число дней		Коэффициенты					
			Вариации		асимметрии		автокорреляции	
	грозы	шквалы	грозы	шквалы	грозы	шквалы	грозы	шквалы
Воложин	21,5	0,1	0,19	3,15	-0,26	2,87	0,12	-0,11
Минск	23,5	0,2	0,19	3,67	0,79	4,31	-0,08	-0,08
Колодищи	25,7	0,1	0,2	3,15	0,46	2,87	0,01	-0,11
Березино	24	0,1	0,22	3,15	-0,28	2,87	0,16	-0,11
Столбцы	21,8	0,2	0,26	2,70	0,18	3,85	0,12	0,33
Марьина Горка	22,8	0,1	0,2	3,15	0,45	2,87	-0,23	-0,11
Слуцк	23,6	0,4	0,22	2,21	0,24	2,34	-0,34	-0,08
Ошмяны	21,5	0,2	0,27	2,24	1,24	2,21	0,07	-0,08
Лида	24	0,0	0,21	5,65	0,91	5,57	0,29	-0,03
Гродно, АМСГ	23,9	0,1	0,28	4,42	0,1	4,86	0,4	-0,05
Новогрудок	24,5	0,0	0,28	0,00	0,73	0,00	0,22	0,00
Волковыск	26,5	0,7	0,2	1,52	0,3	1,33	0,29	0,12
Горки	24,2	0,2	0,27	1,68	0,19	1,94	-0,33	0,19
Могилев, АМСГ	24,6	0,1	0,22	3,15	-0,23	2,87	-0,13	-0,11
Кличев	24,7	0,1	0,26	3,93	0,9	3,73	0,04	-0,07
Костюковичи	24,5	0,1	0,27	3,15	0,01	2,87	0,03	-0,11
Бобруйск, АМСГ	22,5	0,8	0,19	1,29	0,44	1,35	0,05	0,11
Барановичи	24,4	0,5	0,23	1,51	0,25	2,02	0,12	0,10
Ганцевичи	28,1	0,3	0,2	2,26	0,32	2,20	-0,07	0,02
Ивацевичи	26,5	0,1	0,26	3,93	0,41	3,73	0,46	-0,07
Пружаны	28,5	0,3	0,26	2,03	0,18	2,35	-0,32	-0,04
Высокое	27,4	0,2	0,24	4,63	0,59	5,12	-0,25	0,20
Полесская, Болотная	26,5	0,2	0,24	2,86	-0,22	2,99	0,09	0,19
Брест	23,5	0,1	0,33	3,15	1,39	2,87	0,38	-0,11
Пинск	21,7	0,1	0,38	4,16	0,4	4,36	0,28	-0,06
Жлобин	25,7	0,0	0,26	5,65	0,95	5,57	0,12	-0,03
Октябрь	28	0,6	0,24	1,61	0,66	1,52	-0,01	0,16
Гомель	26,4	0,0	0,2	0,00	0,3	0,00	0,11	0,00
Василевичи	28,9	0,0	0,21	5,65	0,52	5,57	0,12	-0,03
Житковичи	29,9	0,2	0,23	2,86	1,17	2,99	-0,28	0,52
Мозырь, АМСГ	28,4	0,1	0,2	3,15	-0,37	2,87	-0,16	-0,11
Лельчицы	27,9	0,1	0,23	2,62	-0,3	3,73	0,38	-0,09
Брагин	27,7	0,2	0,23	2,62	-0,22	4,31	0,4	0,76
<b>В среднем по территории</b>	<b>24,03</b>	<b>0,24</b>	<b>0,25</b>	<b>2,67</b>	<b>0,29</b>	<b>2,79</b>	<b>0,08</b>	<b>0,05</b>

Особый интерес представляет анализ особенностей пространственного распределения гроз и шквалов на территории Беларуси (рис. 3, 4).

Как видно из рис. 3, на территории Белорусского Полесья среднее количество дней с грозой наибольшее. Уменьшение числа гроз с юга на север связано с уменьшением водности облаков к северу республики, которая убывает с ростом широты вследствие понижения температуры. Наряду с указанной широтной генеральной особенностью заметны и долготные особенности в распределении гроз: полюса малого количества дней с грозой отмечаются между 27° и 29° долготы на севере Беларуси. Второй минимум грозовой активности отмечается в северо-восточной части Беларуси (Вилейский, Докшицкий и Ошмянский районы).

Максимальные значения количества шквалов отмечены в районе метеостанций Езерище, Докшицы, Волковыск, Бобруйск АМСГ, что видно на рис. 4, на котором представлена пространственная структура распространения среднего значения числа дней со шквалами в году на территории Беларуси.

В результате анализа различных факторов на формирование грозы и шквала установлено, что рельеф, лесистость и другие факторы влияют на распределение гроз и шквалов на территории Беларуси. Прослеживается закономерность: территория с максимальным количеством шквалов одновременно является территорией с максимальным количеством гроз. На станции Езерище отмечаются в среднем 26,1 (831 случай) грозы за год и 1,4 (44 случая) шквала, на западе и северо-западе Витебской и Брестской областей – в среднем от 21 до 26 явлений грозы и от 0,8 до 0,3 шквала. В то же время территория, на которой не отмечались шквалы, меньше подвержена и влиянию грозы. На станциях Вилейка, Нарочь Озерная, Погоцк шквалы не регистрировались. По количеству гроз эта территория также не выделяется: Вилейка – в среднем 18,7 грозы, Нарочь Озерная – 18,9, Погоцк – 20.

Есть основания считать, что максимальная величина гроз приурочена к территориям с гравитационными аномалиями и повышенной электропроводностью земной коры и верхней мантии [2].

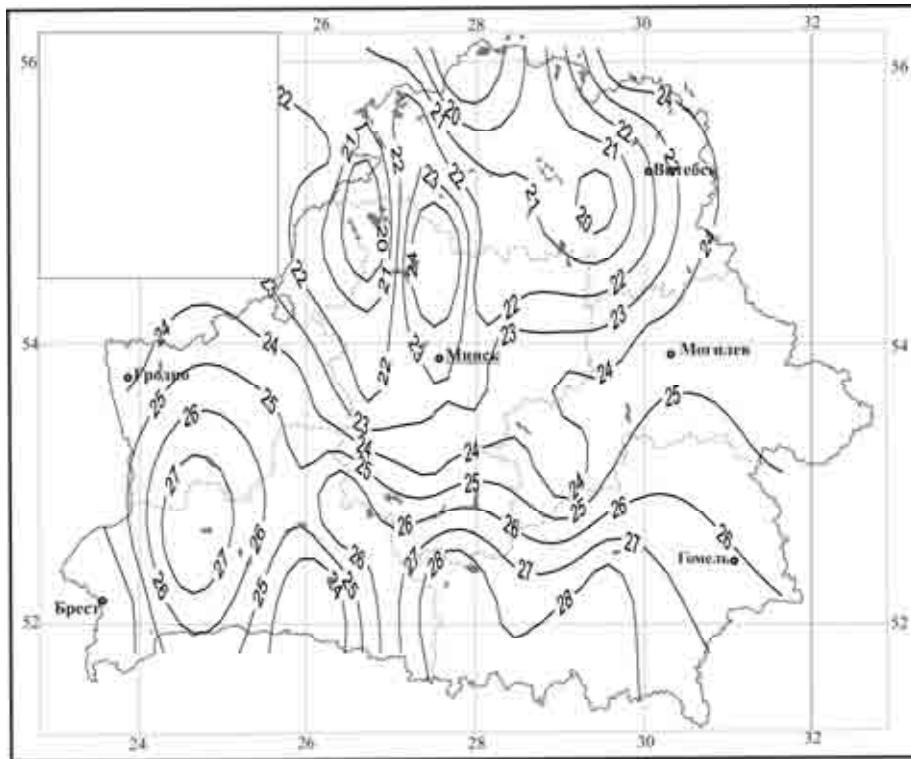


Рис. 3. Средние годовые значения числа дней с грозами на территории Беларуси

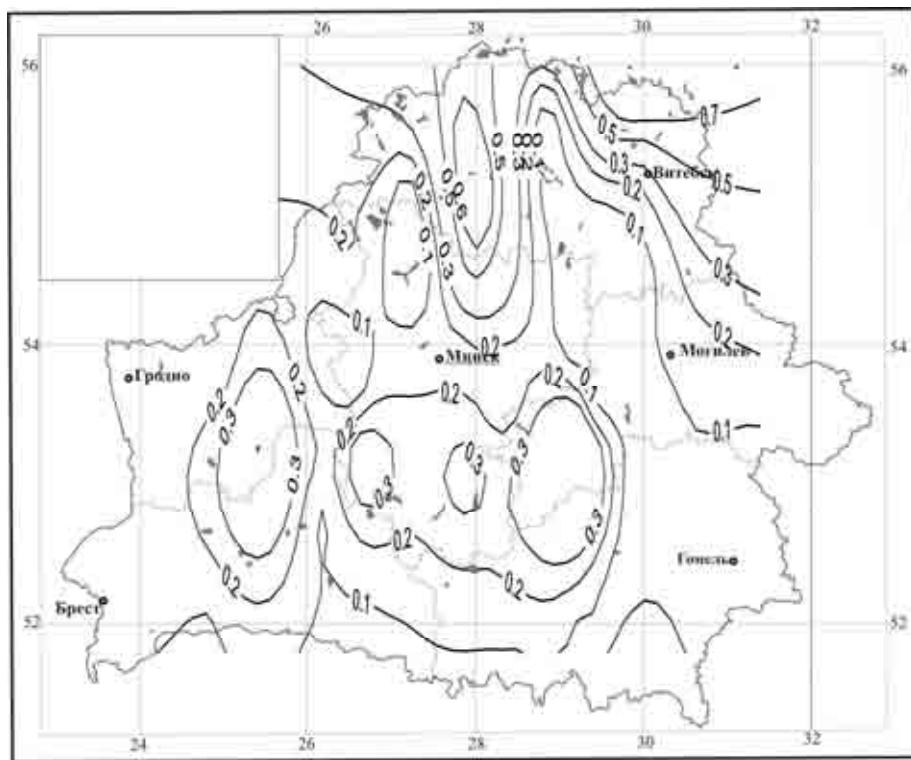


Рис. 4. Средние годовые значения числа дней со шквалами на территории Беларуси

Отрицательная магнитная аномалия, простирающаяся от северных границ Беларуси до границы Минской области, совпадает с низкими значениями числа дней с грозами (Верхнедвинск, Полоцк, Лепель, Нарочь, Вилейка, Сенно – 16–19) и, за небольшим исключением (Верхн-

двинск), с низкими значениями количества дней со шквалами (0–0,1).

Максимальное число гроз приурочено к территориям с гравитационными аномалиями. В Беларуси выделяются три крупные гравитационные аномалии: Новгородская аномалия на севере стра-

ны, в которой прослеживаются широтные и северо-восточные направления изоаномал (Езерище – 26,1 грозы, 1,4 шквала), и две крупные аномалии на юге Беларуси широтного простирания: Подлясско-

Брестская впадина и Припятский прогиб (на территории Белорусского Полесья число гроз – 25–30,1, в Брестской области – 1,6 шквала, в Гомельской области – 1,2 шквала).

### Л и т е р а т у р а

1. Климат Беларуси / Под ред. В. Ф. Логинова. Мин., 1996.
2. Геология Беларуси / Под ред. А. С. Махнача. Мин., 2001.

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

### **ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГРОЗ И ШКВАЛОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

*В работе рассмотрены грозы и шквалы как опасное метеорологическое явление, дана оценка пространственной и временной изменчивости количества дней с грозой и шквалами на территории Беларуси.*

*Материалами для исследования послужили данные Департамента гидрометеорологии Беларуси по 47 метеостанциям в месячном разрезе. В результате были построены карты характеризующие пространственную и временную изменчивость количества дней с грозами и шквалами. Структура пространственной изменчивости исследовалась с помощью пространственных корреляционных функций (ПКФ).*

*Выполненные исследования изменения числа дней с грозами и шквалами на территории Беларуси показали, что статистическая структура количества гроз и шквалов имеет существенную как временную, так и пространственную изменчивость. Среднее количество дней с грозами в году составляет 24,03, а шквалами – 0,23, коэффициент вариации для гроз 0,25, для шквалов – 2,9, что гораздо выше, чем изменчивость других метеорологических характеристик.*

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

### **GEOGRAPHICAL FEATURES OF THUNDER-STORMS AND SQUALLS DISTRIBUTION IN THE TERRITORY OF BELARUS**

*Thunder-storms and squalls as a dangerous meteorological phenomenon are considered in the work, the estimation of spatial and temporal variability of the quantity of days with a thunder-storm and squalls in the territory of Belarus has been given.*

*As research materials, 47 meteorological stations data of the Department of Hydrometeorology of Belarus have served in a monthly cut. As a result cards characterizing spatial and temporal variability of quantity of days with thunder-storms and squalls have been compiled. The structure of spatial variability has been investigated by means of spatial correlation functions (SCF).*

*The executed researches of change of number of days with thunder-storms and squalls in the territory of Belarus have shown, that the statistical structure of the quantity of thunder-storms and squalls has essential both temporal and spatial variability. An average quantity of days with thunder-storms in a year makes up 24,03, and squalls – 0,23, a variation coefficient for thunder-storms is 0,25, for squalls – 2,9, that is much higher, than variability of other meteorological characteristics.*

**Е. В. Санец**

## **МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ СУЛЬФАТОВ В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ В БЕЛАРУСИ**

*На основании данных мониторинговых наблюдений рассматриваются пространственно-временные особенности содержания сульфатов в атмосферных осадках в Беларуси. Исследуется трансформация химического состава атмосферных осадков с течением времени.*

Научный интерес к химическому составу атмосферных осадков возник во второй половине XX в. в связи с необходимостью изучения физико-химических свойств различных примесей, находящихся в атмосфере в виде аэрозолей и газов, а также происходящих в ней химических процессов. В бывшем СССР систематическое изучение химического состава атмосферных осадков началось в период Международного геофизического года и следующего за ним Международного года Солнца (1957–1959 гг.). Тогда же начала создаваться сеть станций по наблюдению за химическим составом атмосферных осадков. На территории Беларуси первая такая станция стала вести наблюдения в 1962 г. (станция Березино). С начала 1970-х годов изучение химического состава атмосферных осадков входит в обязательную программу наблюдений международной сети фонового мониторинга атмосферы (в настоящее время – сеть Глобальной службы атмосферы ВМО). В Беларуси фоновый мониторинг химического состава атмосферных осадков начал осуществляться в 1981 г. в Березинском биосферном заповеднике.

В настоящее время мониторинг химического состава атмосферных осадков в Беларуси ведется Республиканским центром радиационного контроля и мониторинга окружающей среды Департамента по гидрометеорологии (РЦРКМ) на 19 пунктах. Кроме станций в Березино и в Березинском заповеднике еще 11 станций были организованы в городах страны в 1990–1992 гг., 5 станций – в 2002–2007 гг. Кроме того, в 2001 г. возобновлены наблюдения за химическим составом атмосферных осадков на станции Высокое (организована в 1979 г. как часть европейской сети наблюдения за трансграничными атмосферными потоками загрязняющих веществ) [13]. В пробах атмосферных осадков определяют содержание основных макрокомпонентов – анионов  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  и катионов  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , показатель кислотности pH, а также удельную электропроводность.

Несмотря на то, что наблюдения за химическим составом атмосферных осадков в Беларуси ведутся достаточно давно, их результаты представлены в научной литературе отрывочно. Так, некоторые сведения о химическом составе

атмосферных осадков на станции Березино в первые годы ее функционирования отражены в работах О. П. Петренчук [9] и Е. В. Порохова [10], а также представлены в обобщающих материалах [3, 14]. Данные наблюдений за химическим составом атмосферных осадков в Беларуси за период 1990–1999 гг. обобщены С. В. Какарека и Т. Б. Евстафьевой [5]. Начиная с 1991 г., результаты мониторинга химического состава атмосферных осадков в Беларуси публикуются в ежегодных информационно-аналитических изданиях «Состояние природной среды Беларусь: экологический бюллетень» [13]. В последние годы экспериментальные исследования химического состава атмосферных осадков в г. Минске ведутся О. Е. Белькович; некоторые результаты этих исследований представлены в работах [2, 4].

Из основных компонентов химического состава атмосферных осадков наиболее изученными являются сульфаты. Существенное увеличение выбросов соединений серы в атмосферу во второй половине XX в. и возрастание угрозы закисления природной среды инициировали многочисленные научные исследования на эту тему как в бывшем СССР, так и в других странах. В Беларуси исследования содержания серы в атмосферных осадках велись в основном в связи с необходимостью оценки атмосферных выпадений закисляющих соединений и касались главным образом содержания сульфатов в снежном покрове [6]. Сульфаты собственно в атмосферных осадках изучались в рамках исследования влияния аэротехногенных потоков серы на геохимическую трансформацию геосистем Беларуси [7, 12, 16].

Содержание сульфатов в природных водах и, в частности, в атмосферных осадках служит своеобразным индикатором техногенного воздействия на окружающую среду. Химический состав атмосферных осадков очень изменчив в пространстве и во времени и находится под влиянием значительного количества как природных, так и антропогенных факторов локального, регионального и глобального уровней. И если концентрации сульфатов в осадках в фоновых условиях формируются в основном под влиянием регионального и дальнего атмосферного переноса, то в городах и в зонах влияния источни-

ков выбросов на формирование концентраций сульфатов в осадках в значительной степени влияют местные условия.

Уменьшение выбросов соединений серы в атмосферу в конце XX в. во многих странах Европы и в Беларуси привело к снижению содержания серы в воздухе, к уменьшению ее выпадений с атмосферными осадками и несколько ослабило угрозу закисления природной среды, однако интерес к атмосферным потокам серы остается по-прежнему высоким.

Изучение химического состава атмосферных осадков и, в частности, содержания в них сульфатов имеет как научный, так и практический интерес. Актуальность данной тематики поддерживается необходимостью установления поступления серы с атмосферными осадками в различные типы геосистем, прежде всего сельскохозяйственных, для расчета балансов питательных элементов, а также выявления источников засоления и загрязнения почв. Знания о химическом составе атмосферных осадков необходимы и для расчета гидрохимических балансов территории. Кроме того, атмосферные осадки с высоким содержанием некоторых химических веществ, прежде всего гидрокарбонатов и сульфатов, являются агрессивными по отношению к различным бетонным конструкциям и сооружениям: взаимодействуя с различными компонентами строительных материалов, эти вещества способны разрушать их.

Не следует также оставлять без внимания вероятность изменения структуры топливно-энергетического баланса Беларуси в сторону увеличения объемов использования вторичных энергетических ресурсов, а также местных видов топлива, что, несомненно, приведет к увеличению эмиссии соединений серы в атмосферу [8, 11].

Изучение пространственно-временной динамики содержания сульфатов в атмосферных осадках в Беларуси имеет научное и практическое значение, особенно в свете появления новых данных мониторинга химического состава атмосферных осадков в 2000-е годы.

Для выявления пространственно-временной динамики содержания сульфатов в атмосферных осадках в Беларуси использованы данные мониторинга химического состава атмосферных осадков, проводимого Республиканским центром радиационного контроля и мониторинга окружающей среды Департамента по гидрометеорологии, ежегодно публикуемые в информационно-аналитическом сборнике «Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень» [13].

#### *Выявление временной динамики содержания сульфатов в атмосферных осадках*

Для анализа временной динамики содержания сульфатов в атмосферных осадках использовались ряды наблюдений протяженностью

не менее 16 лет. Подобные ряды наблюдений имеют 13 станций мониторинга: Березинский биосферный заповедник, Березино, Бобруйск, Брест, Гомель, Минск, Могилев, Мозырь, Нарочь, Орша, Пинск, Полоцк и Пружаны. Рассматривалась многолетняя динамика содержания сульфатов в атмосферных осадках без учета его сезонного распределения.

Для выделения периодов с относительно однородными колебаниями содержания сульфатов в атмосферных осадках использовался метод разностно-интегральных кривых, фиксирующих отклонение средней концентрации изучаемого компонента за конкретный год от его среднего значения, рассчитанного для всего ряда наблюдений. Статистическая достоверность различий средних значений для выделенных периодов определялась на основании критерия Стьюдента. Значение критерия Стьюдента признавалось достоверным при имеющемся числе степеней свободы и уровне вероятности 0,95 и выше [15].

Как известно, наиболее интенсивное техногенное воздействие на природную среду в Беларуси, в частности максимальные выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников (которые являются основным антропогенным источником поступления соединений серы в атмосферу), пришлось на 1970–1980-е годы. Логично предположить, что и содержание сульфатов в атмосферных осадках в этот период должно быть максимальным. В 1990-е годы в связи со спадом промышленного производства и применением более совершенных технологий очистки промышленных газов выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в целом и соединений серы, в частности, сократились, что, очевидно, должно было привести к уменьшению содержания сульфатов в атмосферных осадках. Данное предположение подтверждается разностно-интегральными кривыми содержания сульфатов в осадках, полученными для станций с наиболее длинными рядами наблюдений – Березино и Березинский заповедник (рис. 1).

Наиболее показательным в этом отношении является распределение среднегодового содержания сульфатов в атмосферных осадках в Березинском заповеднике: на разностно-интегральной кривой отчетливо выделяются два временных интервала с различными вариациями содержания сульфатов по отношению к их среднемноголетнему значению. Первый отрезок времени, датируемый 1981–1991 гг., характеризуется концентрациями сульфатов выше их среднемноголетней величины – средняя за период 4,58 мг/дм<sup>3</sup> при средней многолетней 3,28 мг/дм<sup>3</sup>. Во второй отрезок времени (1992–2007 гг.) среднегодовые концентрации сульфатов находились главным образом ниже их среднемноголетней величины (за исключением 1996 г.) – в среднем

2,38 мг/дм<sup>3</sup>. Сравнение средних концентраций сульфатов, рассчитанных для этих периодов, с использованием критерия Стьюдента показало, что они не относятся к одной генеральной совокупности, и это свидетельствует о существенном

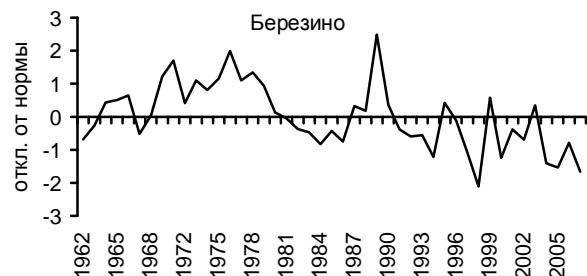


**Рис. 1. Разностно-интегральные кривые среднегодовой концентрации сульфатов в атмосферных осадках в Березинском биосферном заповеднике и Березино**

Станция Березино располагается в населенном пункте и, таким образом, больше подвержена влиянию локальных условий. Выявленная для нее тенденция изменения среднегодовых концентраций сульфатов в атмосферных осадках в целом соответствует описанной выше. Так, установлены значимые статистические различия для рассматриваемого параметра для периодов 1962–1990 и 1991–2007 гг. Если в первом из указанных периодов среднегодовые концентрации сульфатов в большинстве лет превышают среднемноголетнюю величину (средняя за период 9,72 мг/дм<sup>3</sup> при средней многолетней 8,69 мг/дм<sup>3</sup>), то во втором находятся на уровне, как правило, ниже нее (в среднем за период 7,01 мг/дм<sup>3</sup>) (табл. 1). При этом первый из выделенных периодов характеризуется наличием более коротких «субпериодов», для которых характерны статистически значимые различия (1962–1980, 1981–1986 и 1987–1990 гг.): субпериод 1981–1986 гг. характеризуется средней концентрацией сульфатов ниже их среднемноголетней величины (7,57 мг/дм<sup>3</sup>) и может быть отнесен к той же генеральной совокупности, что и период 1991–2007 гг.

Для станций мониторинга, расположенных в Бобруйске, Гомеле, Орше, Полоцке и Пружанах (период наблюдений составляет 17–18 лет), характерны схожие тенденции: повышенные среднегодовые концентрации сульфатов в начале периода наблюдений (первая половина 1990-х годов) и последующее их уменьшение (рис. 2). При этом для станций Гомель и Бобруйск статистически достоверные различия средних концентраций сульфатов выявлены для периодов 1990(1991)–1995 и 1996–2007 гг., для станций Орша, Полоцк и Пружаны – для 1990–1993 и 1994–2007 гг. (табл. 1). Интересно отметить, что для всех указанных станций (за исключением Гомеля в 2003 г.) среднегодовые концентрации

различии факторов, оказывающих влияние на концентрацию сульфатов в атмосферных осадках, в каждом из выделенных периодов и подтверждает описанную выше тенденцию (табл. 1).



сульфатов во втором из выделенных периодов находятся несколько ниже или приближаются к их среднемноголетней величине, не имея при этом ярко выраженной тенденции к уменьшению.

Несколько иные тенденции в распределении среднегодовых концентраций сульфатов в атмосферных осадках характерны для станций Мозырь, Нарочь и Пинск. В распределении рассматриваемого параметра во времени здесь можно выделить три периода (рис. 2). Первый из них характеризуется средней концентрацией сульфатов, приближенной к ее среднемноголетнему значению, второй – концентрацией, существенно превышающей среднемноголетнее значение, третий – концентраций ниже ее среднемноголетнего значения. Сравнение средних концентраций сульфатов, рассчитанных для выделенных периодов, с использованием критерия Стьюдента показало, что они относятся к разным генеральным совокупностям (табл. 1).

В распределении среднегодовых концентраций сульфатов в атмосферных осадках в Минске и Могилеве выделяют четыре периода (рис. 2). Средние концентрации сульфатов в первом и в третьем периодах находятся главным образом выше их среднемноголетнего значения, во втором и в четвертом – ниже. При этом первый и третий периоды относятся к одной генеральной совокупности, а второй и четвертый – к другой (табл. 1).

Что касается станции мониторинга, расположенной в Бресте, то для нее характерны весьма значительные межгодовые колебания концентраций сульфатов (рис. 2). Однако и здесь можно выделить два периода, различающихся средними концентрациями рассматриваемого компонента: 1990–2000 гг. со средней концентрацией выше среднемноголетнего значения и 2001–2007 гг. со средней концентрацией ниже среднемноголетнего значения (табл. 1).

**Таблица 1. Достоверность различия средних концентраций сульфатов в атмосферных осадках для выделенных периодов**

Пункт наблюдения	Периоды, годы	Средняя концентрация сульфатов за период, мг/дм <sup>3</sup>	Среднемноголетняя концентрация сульфатов, мг/дм <sup>3</sup>	Критерий Стьюдента	Число степеней свободы	Достоверность*		
						уровни вероятности		
						0,95	0,99	0,999
Березинский заповедник	1981–1991 / 1992–2007	4,58 / 2,38	3,28	8,06	25	+	+	+
Березино	1962–1990 / 1991–2007	9,72 / 7,01	8,69	4,65	43	+	+	+
Бобруйск	1991–1995 / 1996–2007	8,89 / 4,64	5,92	4,47	15	+	+	+
Гомель	1990–1995 / 1996–2007	8,18 / 5,20	6,19	4,57	16	+	+	+
Орша	1990–1993 / 1994–2007	9,54 / 5,08	6,07	3,60	16	+	+	–
Полоцк	1990–1993 / 1994–2007	11,18 / 6,39	7,46	5,27	16	+	+	+
Пружаны	1990–1993 / 1994–2007	8,67 / 4,66	5,55	5,11	16	+	+	+
Мозырь	1991–1998 / 1999–2000	6,92 / 15,39	5,92	3,56	8	+	+	–
	1999–2000 / 2001–2007	15,39 / 4,65		4,75	7	+	+	–
	1991–1998 / 2001–2007	6,92 / 4,65		2,19	13	+	–	–
Нарочь	1990–2001 / 2002–2003	4,96 / 7,65	4,89	2,96	12	+	–	–
	2002–2003 / 2004–2007	7,65 / 3,30		3,05	4	+	–	–
	1990–2001 / 2004–2007	4,96 / 3,30		3,39	14	+	+	–
Пинск	1990–1996 / 1997–2002	7,88 / 10,57	8,23	3,39	11	+	+	–
	1997–2002 / 2003–2007	10,57 / 5,90		4,83	9	+	+	+
	1990–1996 / 2003–2007	7,88 / 5,90		2,91	10	+	–	–
Минск	1990–1993 / 1994–1998	7,14 / 3,78	4,52	5,78	7	+	+	+
	1994–1998 / 1999–2000	3,78 / 5,91		3,80	5	+	–	–
	1999–2000 / 2001–2007	5,91 / 3,16		4,08	7	+	+	–
	1990–1993 / 1999–2000	7,14 / 5,91		1,54	4	–	–	–
	1994–1998 / 2001–2007	3,78 / 3,16		1,29	10	–	–	–
	1990–1993 / 2001–2007	7,14 / 3,16		6,76	9	+	+	+
Могилев	1992–1996 / 1997–2001	7,15 / 4,35	5,18	2,62	8	+	–	–
	1997–2001 / 2002–2003	4,35 / 6,89		2,74	5	+	–	–
	2002–2003 / 2004–2007	6,89 / 2,89		3,69	4	+	–	–
	1992–1996 / 2002–2003	7,15 / 6,89		0,15	5	–	–	–
	1997–2001 / 2004–2007	4,35 / 2,89		1,95	7	–	–	–
	1992–1996 / 2004–2007	7,15 / 2,89		3,50	7	+	+	–
Брест	1990–2000 / 2001–2007	7,58 / 5,54	6,79	2,84	16	+	–	–

\* (+) – достоверное различие средних, (–) – недостоверное различие средних.

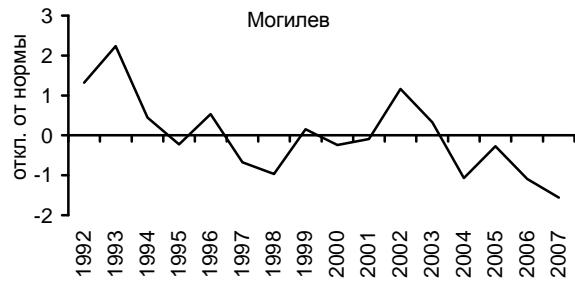
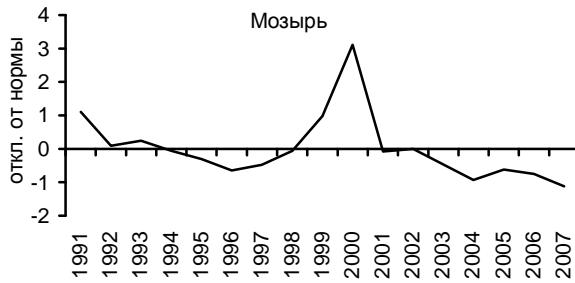
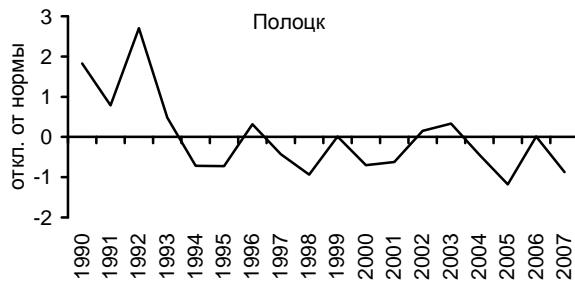
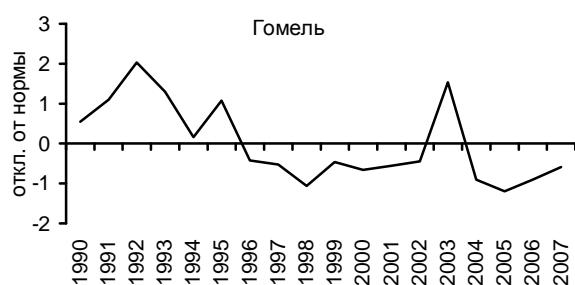
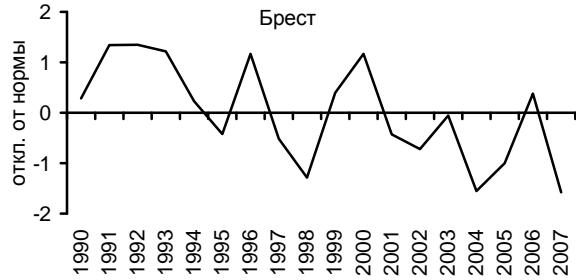
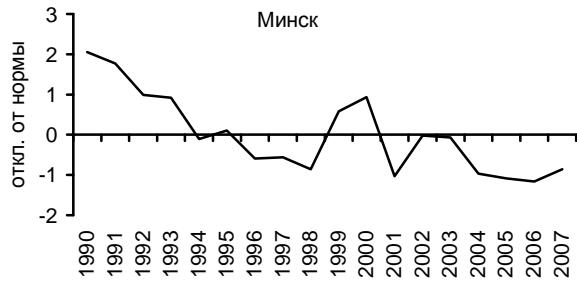
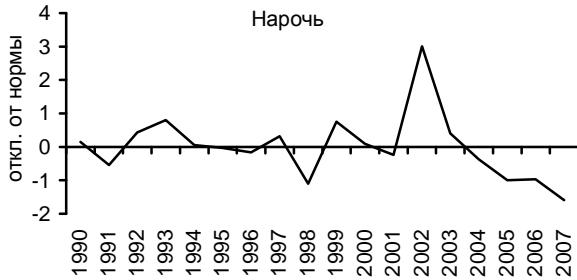
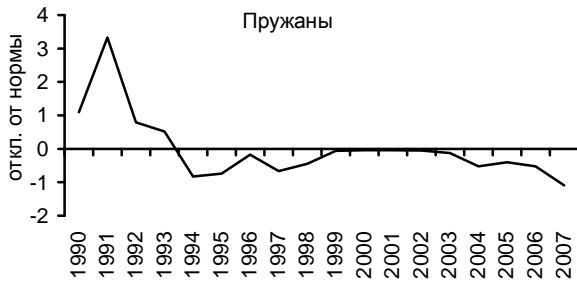
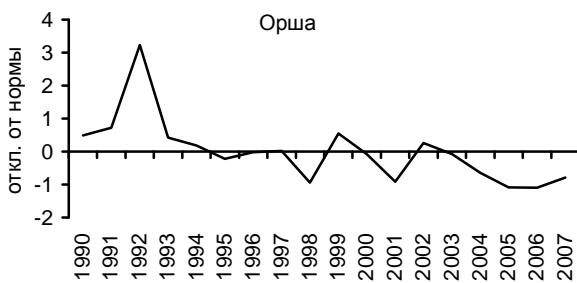
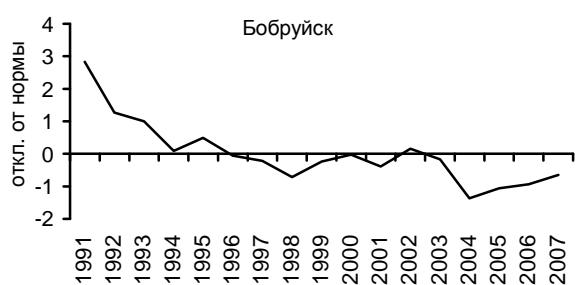


Рис. 2. Разностно-интегральные кривые среднегодовой концентрации сульфатов в атмосферных осадках в городах Беларуси

В табл. 2 представлено изменение химического состава атмосферных осадков по выделенным периодам. Как показывают приведенные данные, в большинстве городов Беларуси в химическом составе атмосферных осадков сульфаты являются доминирующим (или одним из доминирующих с содержанием 25 %-экв и выше) анионом, определяющим химический класс воды. Так как уменьшение содержания сульфатов в атмосферных осадках на протяжении рассматриваемого времени чаще всего происходит на фоне уменьшения содержания других макрокомпонентов и в большинстве случаев коррелирует с общей минерализацией (коэффициенты корреляции 0,47–0,89, достоверны при уровне значимости 0,95; корреляция отсутствует для Бобруйска, Бреста и Пинска), существенного изменения в соотношении ионов в воде осадков от одного выделенного периода к другому не наблюдается.

Наиболее заметное уменьшение содержания сульфатов в атмосферных осадках (на 6–18 %-экв), которое привело к изменению класса вод, произошло в Бобруйске, Орше, Полоцке, Могилеве и Бресте, где в анионном составе стали доминировать гидрокарбонаты (а в Бресте еще и хлориды). Класс вод атмосферных осадков в указанных городах изменился с сульфатного и гидрокарбонатно-сульфатного на сульфатно-гидрокарбонатный, а в Бресте – на сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный. При этом в Полоцке гидрокарбонаты устойчиво доминируют в анионном составе атмосферных осадков, начиная с 1994 г., в Бобруйске – с 1996 г. (исключение составили 2000 и 2003 гг.), в Орше и Могилеве – с 1997 г. (кроме 2006 г. в Орше, 1999 и 2006 гг. в Могилеве), в Бресте – с 1998 г. (кроме 1999–2000 гг.). Кроме того, в Бресте в 2005–2006 гг. в анионном составе атмосферных осадков преобладали хлориды, а в 2007 г. – нитраты.

В Пинске уменьшение содержания сульфатов в атмосферных осадках в третьем из выделенных периодов сопровождалось изменением класса воды с гидрокарбонатно-сульфатного на гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридный, а в Нарочи – с хлоридно-сульфатного в 1990–2001 гг. и сульфатного в 1997–2002 гг. на хлоридно-сульфатно-нитратный.

Уменьшение содержания сульфатов в атмосферных осадках для большинства станций мониторинга сопровождалось уменьшением кислотности осадков. Однако достоверная обратная корреляция между концентрацией сульфатов в осадках и их кислотностью выявлена только для Березинского заповедника, Пинска и Пружан (коэффициенты корреляции –0,57...–0,76), что свидетельствует о существовании других факторов, влияющих на кислотность атмосферных осадков помимо содержания в них сульфатов.

#### *Пространственные особенности содержания сульфатов в атмосферных осадках*

Выполнить пространственную оценку содержания сульфатов в атмосферных осадках достаточно сложно, так как химический состав осадков в значительной степени подвержен влиянию локальных условий, в частности воздействию местных источников выбросов загрязняющих веществ. Так же сложно оценить природный (фоновый) состав атмосферных осадков без учета антропогенных воздействий на него. В условиях Беларуси имеет смысл говорить не о природном составе атмосферных осадков, а о составе атмосферных осадков в условиях регионального природно-техногенного фона. Подобный состав осадков характерен для территории Березинского биосферного заповедника [7].

Для оценки пространственных различий в содержании сульфатов в атмосферных осадках в Беларуси использовались усредненные данные мониторинговых наблюдений по всем станциям за последние пять лет (2003–2007 гг.). Для тех станций, где наблюдения за химическим составом атмосферных осадков начали проводиться после 2003 г., использовались более короткие ряды данных (от 1 до 4 лет).

В Березинском биосферном заповеднике среднегодовая концентрация сульфатов в атмосферных осадках в 2003–2007 гг. изменялась от 1,24 до 2,52 мг/дм<sup>3</sup>, составляя в среднем 1,68 мг/дм<sup>3</sup>. Данное значение условно можно принять в качестве фонового для территории Беларуси.

В городах страны среднегодовое содержание сульфатов в рассматриваемый период изменилось в довольно значительных пределах – от 1,62 до 11,99 мг/дм<sup>3</sup>. Минимальное значение было зафиксировано в Могилеве в 2007 г., максимальное – в Гродно в 2003 г. Таким образом, превышения фонового значения изменяются от 1,3 до 7,1 раза, составляя в среднем 2,8 раза. Наиболее высокие средние за период концентрации сульфатов в атмосферных осадках характерны для Березино и Полоцка – соответственно 6,37 и 6,35 мг/дм<sup>3</sup>, наиболее низкие – для Минска, Мстиславля и Браслава (соответственно 3,00; 3,09 и 3,29 мг/дм<sup>3</sup>).

На картосхеме (рис. 3) показано соотношение основных анионов в химическом составе атмосферных осадков на станциях мониторинга. Как показывают имеющиеся данные, в настоящее время (в период 2003–2007 гг.) в условиях регионального природно-техногенного фона (Березинский биосферный заповедник) в составе атмосферных осадков сульфаты являются доминирующим анионом. Их содержание в рассматриваемый период составляло в среднем 33 %-экв, хотя в 2007 г. уменьшилось до 21 %-экв. В среднем за период 2003–2007 гг. для Березинского заповедника характерен нитратно-сульфатный класс воды атмосферных осадков.

Таблица 2. Химический состав атмосферных осадков в Беларуси по выделенным периодам

Пункт наблюдения	Период, годы	Ионный состав воды атмосферных осадков, %-экв	Общая минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	pH	Тип воды атмосферных осадков*
Березинский заповедник	1981–1991	$\text{SO}_4^{2-}$ (59) $\text{NO}_3^-$ (27) $\text{Cl}^-$ (12) $\text{HCO}_3^-$ (2) $\text{NH}_4^+$ (57) $\text{Ca}^{2+}$ (16) $\text{Na}^+$ (16) $\text{K}^+$ (6) $\text{Mg}^{2+}$ (4)	10,78	4,95	Нитратно-сульфатная аммонийная
	1992–2007	$\text{SO}_4^{2-}$ (40) $\text{NO}_3^-$ (24) $\text{Cl}^-$ (23) $\text{HCO}_3^-$ (14) $\text{NH}_4^+$ (44) $\text{Ca}^{2+}$ (32) $\text{Na}^+$ (9) $\text{Mg}^{2+}$ (9) $\text{K}^+$ (6)			
Березино	1962–1990	$\text{SO}_4^{2-}$ (52) $\text{HCO}_3^-$ (23) $\text{Cl}^-$ (17) $\text{NO}_3^-$ (7) $\text{NH}_4^+$ (29) $\text{Ca}^{2+}$ (24) $\text{Na}^+$ (21) $\text{Mg}^{2+}$ (20) $\text{K}^+$ (7)	28,36	6,05	Сульфатная аммонийная
	1991–2007	$\text{SO}_4^{2-}$ (46) $\text{Cl}^-$ (22) $\text{NO}_3^-$ (17) $\text{HCO}_3^-$ (15) $\text{Ca}^{2+}$ (42) $\text{NH}_4^+$ (18) $\text{Na}^+$ (17) $\text{Mg}^{2+}$ (14) $\text{K}^+$ (10)			
Бобруйск	1991–1995	$\text{SO}_4^{2-}$ (45) $\text{HCO}_3^-$ (21) $\text{Cl}^-$ (18) $\text{NO}_3^-$ (16) $\text{Ca}^{2+}$ (48) $\text{NH}_4^+$ (23) $\text{Mg}^{2+}$ (15) $\text{Na}^+$ (8) $\text{K}^+$ (6)	28,48	6,08	Сульфатная кальциевая
	1996–2007	$\text{HCO}_3^-$ (47) $\text{SO}_4^{2-}$ (28) $\text{Cl}^-$ (16) $\text{NO}_3^-$ (9) $\text{Ca}^{2+}$ (35) $\text{NH}_4^+$ (35) $\text{Na}^+$ (13) $\text{Mg}^{2+}$ (9) $\text{K}^+$ (8)			
Гомель	1990–1995	$\text{SO}_4^{2-}$ (44) $\text{Cl}^-$ (28) $\text{NO}_3^-$ (18) $\text{HCO}_3^-$ (10) $\text{Ca}^{2+}$ (39) $\text{NH}_4^+$ (28) $\text{K}^+$ (14) $\text{Mg}^{2+}$ (12) $\text{Na}^+$ (7)	27,59	5,44	Хлоридно-сульфатная аммонийно-кальциевая
	1996–2007	$\text{SO}_4^{2-}$ (44) $\text{Cl}^-$ (22) $\text{NO}_3^-$ (18) $\text{HCO}_3^-$ (15) $\text{Ca}^{2+}$ (44) $\text{NH}_4^+$ (20) $\text{Mg}^{2+}$ (14) $\text{Na}^+$ (10) $\text{K}^+$ (10)			
Орша	1990–1993	$\text{SO}_4^{2-}$ (40) $\text{HCO}_3^-$ (28) $\text{Cl}^-$ (18) $\text{NO}_3^-$ (14) $\text{Ca}^{2+}$ (36) $\text{NH}_4^+$ (28) $\text{Mg}^{2+}$ (22) $\text{Na}^+$ (9) $\text{K}^+$ (5)	36,09	6,32	Гидрокарбонатно-сульфатная аммонийно-кальциевая
	1994–2007	$\text{HCO}_3^-$ (40) $\text{SO}_4^{2-}$ (30) $\text{Cl}^-$ (20) $\text{NO}_3^-$ (10) $\text{Ca}^{2+}$ (43) $\text{NH}_4^+$ (22) $\text{Mg}^{2+}$ (14) $\text{Na}^+$ (10) $\text{K}^+$ (10)			
Полоцк	1990–1993	$\text{SO}_4^{2-}$ (36) $\text{HCO}_3^-$ (35) $\text{Cl}^-$ (19) $\text{NO}_3^-$ (9) $\text{Ca}^{2+}$ (52) $\text{Mg}^{2+}$ (20) $\text{NH}_4^+$ (11) $\text{K}^+$ (11) $\text{Na}^+$ (6)	45,79	6,68	Гидрокарбонатно-сульфатная кальциевая
	1994–2007	$\text{HCO}_3^-$ (42) $\text{SO}_4^{2-}$ (30) $\text{Cl}^-$ (19) $\text{NO}_3^-$ (9) $\text{Ca}^{2+}$ (51) $\text{Mg}^{2+}$ (15) $\text{Na}^+$ (14) $\text{NH}_4^+$ (11) $\text{K}^+$ (8)			
Пружаны	1990–1993	$\text{SO}_4^{2-}$ (52) $\text{NO}_3^-$ (19) $\text{Cl}^-$ (18) $\text{HCO}_3^-$ (11) $\text{Ca}^{2+}$ (36) $\text{NH}_4^+$ (35) $\text{Mg}^{2+}$ (15) $\text{Na}^+$ (8) $\text{K}^+$ (6)	24,73	5,41	Сульфатная аммонийно-кальциевая
	1994–2007	$\text{SO}_4^{2-}$ (35) $\text{HCO}_3^-$ (31) $\text{Cl}^-$ (18) $\text{NO}_3^-$ (16) $\text{Ca}^{2+}$ (37) $\text{NH}_4^+$ (30) $\text{Na}^+$ (18) $\text{K}^+$ (8) $\text{Mg}^{2+}$ (8)			
Мозырь	1991–1998	$\text{SO}_4^{2-}$ (41) $\text{Cl}^-$ (25) $\text{HCO}_3^-$ (19) $\text{NO}_3^-$ (16) $\text{Ca}^{2+}$ (46) $\text{NH}_4^+$ (16) $\text{K}^+$ (14) $\text{Na}^+$ (12) $\text{Mg}^{2+}$ (12)	26,56	5,75	Хлоридно-сульфатная кальциевая
	1999–2000	$\text{SO}_4^{2-}$ (46) $\text{HCO}_3^-$ (36) $\text{Cl}^-$ (13) $\text{NO}_3^-$ (5) $\text{Ca}^{2+}$ (44) $\text{NH}_4^+$ (29) $\text{Na}^+$ (11) $\text{Mg}^{2+}$ (8) $\text{K}^+$ (7)			
Нарочь	2001–2007	$\text{SO}_4^{2-}$ (41) $\text{HCO}_3^-$ (28) $\text{NO}_3^-$ (16) $\text{Cl}^-$ (15) $\text{NH}_4^+$ (38) $\text{Ca}^{2+}$ (34) $\text{Mg}^{2+}$ (12) $\text{Na}^+$ (9) $\text{K}^+$ (7)	18,46	5,91	Гидрокарбонатно-сульфатная кальциево-аммонийная
	2002–2003	$\text{SO}_4^{2-}$ (41) $\text{Cl}^-$ (26) $\text{NO}_3^-$ (19) $\text{HCO}_3^-$ (15) $\text{Ca}^{2+}$ (39) $\text{NH}_4^+$ (22) $\text{Na}^+$ (17) $\text{Mg}^{2+}$ (16) $\text{K}^+$ (7)			
Пинск	2004–2007	$\text{SO}_4^{2-}$ (49) $\text{Cl}^-$ (23) $\text{HCO}_3^-$ (16) $\text{NO}_3^-$ (13) $\text{Ca}^{2+}$ (38) $\text{Na}^+$ (22) $\text{Mg}^{2+}$ (15) $\text{NH}_4^+$ (14) $\text{K}^+$ (11)	22,53	5,20	Сульфатная кальциевая
	1990–1996	$\text{NO}_3^-$ (35) $\text{SO}_4^{2-}$ (31) $\text{Cl}^-$ (25) $\text{HCO}_3^-$ (10) $\text{Ca}^{2+}$ (29) $\text{Na}^+$ (28) $\text{NH}_4^+$ (18) $\text{Mg}^{2+}$ (14) $\text{K}^+$ (11)			
Пинск	1997–2002	$\text{SO}_4^{2-}$ (35) $\text{HCO}_3^-$ (33) $\text{Cl}^-$ (19) $\text{NO}_3^-$ (13) $\text{Ca}^{2+}$ (41) $\text{NH}_4^+$ (27) $\text{K}^+$ (13) $\text{Mg}^{2+}$ (13) $\text{Na}^+$ (7)	36,65	6,00	Гидрокарбонатно-сульфатная аммонийно-кальциевая
	2003–2007	$\text{SO}_4^{2-}$ (41) $\text{HCO}_3^-$ (38) $\text{Cl}^-$ (16) $\text{NO}_3^-$ (5) $\text{Ca}^{2+}$ (43) $\text{NH}_4^+$ (29) $\text{K}^+$ (12) $\text{Na}^+$ (9) $\text{Mg}^{2+}$ (7)			
	2003–2007	$\text{Cl}^-$ (33) $\text{SO}_4^{2-}$ (27) $\text{HCO}_3^-$ (27) $\text{NO}_3^-$ (13) $\text{K}^+$ (34) $\text{Ca}^{2+}$ (26) $\text{NH}_4^+$ (20) $\text{Na}^+$ (14) $\text{Mg}^{2+}$ (7)	35,12	6,27	Гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридная кальциево-калиевая

Окончание табл. 2

Пункт наблюдения	Период, годы	Ионный состав воды атмосферных осадков, %-экв	Общая минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	pH	Тип воды атмосферных осадков*
Минск	1990–1993	$\text{SO}_4^{2-}$ (43) $\text{HCO}_3^-$ (20) $\text{Cl}^-$ (19) $\text{NO}_3^-$ (18) $\text{Ca}^{2+}$ (44) $\text{NH}_4^+$ (33) $\text{Mg}^{2+}$ (17) $\text{Na}^+$ (4) $\text{K}^+$ (2)	24,23	6,27	Сульфатная аммонийно-кальциевая
	1994–1998	$\text{SO}_4^{2-}$ (34) $\text{HCO}_3^-$ (32) $\text{Cl}^-$ (20) $\text{NO}_3^-$ (14) $\text{Ca}^{2+}$ (53) $\text{NH}_4^+$ (22) $\text{Mg}^{2+}$ (12) $\text{Na}^+$ (8) $\text{K}^+$ (6)	18,62	6,09	Гидрокарбонатно-сульфатная кальциевая
	1999–2000	$\text{SO}_4^{2-}$ (41) $\text{HCO}_3^-$ (34) $\text{Cl}^-$ (17) $\text{NO}_3^-$ (8) $\text{Ca}^{2+}$ (59) $\text{NH}_4^+$ (25) $\text{Mg}^{2+}$ (8) $\text{Na}^+$ (5) $\text{K}^+$ (3)	21,52	6,53	Гидрокарбонатно-сульфатная аммонийно-кальциевая
	2001–2007	$\text{SO}_4^{2-}$ (33) $\text{HCO}_3^-$ (30) $\text{Cl}^-$ (21) $\text{NO}_3^-$ (16) $\text{Ca}^{2+}$ (37) $\text{NH}_4^+$ (26) $\text{Na}^+$ (16) $\text{Mg}^{2+}$ (16) $\text{K}^+$ (6)	13,79	6,40	Гидрокарбонатно-сульфатная аммонийно-кальциевая
Могилев	1992–1996	$\text{SO}_4^{2-}$ (39) $\text{HCO}_3^-$ (31) $\text{Cl}^-$ (19) $\text{NO}_3^-$ (11) $\text{Ca}^{2+}$ (42) $\text{NH}_4^+$ (23) $\text{Na}^+$ (15) $\text{Mg}^{2+}$ (13) $\text{K}^+$ (7)	31,67	6,46	Гидрокарбонатно-сульфатная кальциевая
	1997–2001	$\text{HCO}_3^-$ (44) $\text{SO}_4^{2-}$ (28) $\text{Cl}^-$ (20) $\text{NO}_3^-$ (9) $\text{Ca}^{2+}$ (37) $\text{NH}_4^+$ (33) $\text{K}^+$ (13) $\text{Mg}^{2+}$ (11) $\text{Na}^+$ (6)	24,33	6,34	Сульфатно-гидрокарбонатная аммонийно-кальциевая
	2002–2003	$\text{HCO}_3^-$ (47) $\text{SO}_4^{2-}$ (34) $\text{Cl}^-$ (12) $\text{NO}_3^-$ (7) $\text{Ca}^{2+}$ (36) $\text{NH}_4^+$ (36) $\text{Na}^+$ (11) $\text{Mg}^{2+}$ (10) $\text{K}^+$ (6)	30,69	6,64	Сульфатно-гидрокарбонатная аммонийно-кальциевая
	2004–2007	$\text{HCO}_3^-$ (40) $\text{SO}_4^{2-}$ (25) $\text{NO}_3^-$ (19) $\text{Cl}^-$ (15) $\text{Ca}^{2+}$ (35) $\text{NH}_4^+$ (31) $\text{Na}^+$ (14) $\text{Mg}^{2+}$ (14) $\text{K}^+$ (7)	16,43	6,01	Сульфатно-гидрокарбонатная аммонийно-кальциевая
Брест	1990–2000	$\text{SO}_4^{2-}$ (43) $\text{Cl}^-$ (23) $\text{HCO}_3^-$ (19) $\text{NO}_3^-$ (15) $\text{Ca}^{2+}$ (56) $\text{NH}_4^+$ (20) $\text{Mg}^{2+}$ (10) $\text{Na}^+$ (8) $\text{K}^+$ (6)	26,35	6,12	Сульфатная кальциевая
	2001–2007	$\text{HCO}_3^-$ (34) $\text{Cl}^-$ (28) $\text{SO}_4^{2-}$ (25) $\text{NO}_3^-$ (14) $\text{Ca}^{2+}$ (43) $\text{Na}^+$ (20) $\text{K}^+$ (20) $\text{NH}_4^+$ (9) $\text{Mg}^{2+}$ (8)	35,49	6,06	Сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатная кальциевая

\*В соответствии с классификацией О. А. Алекина [1].

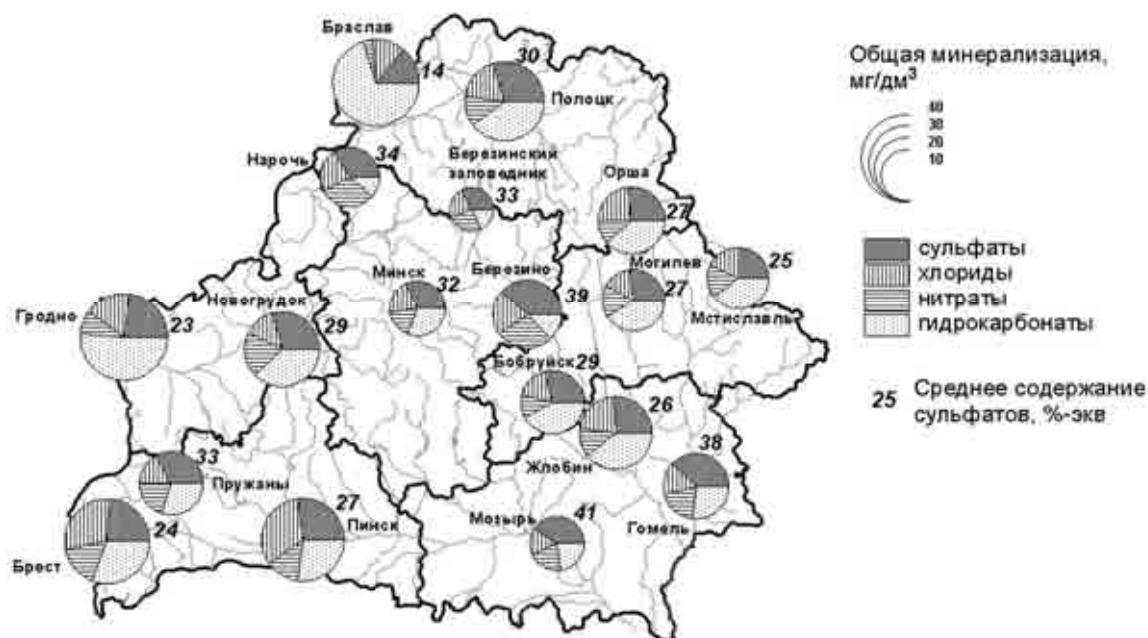


Рис. 3. Соотношение главных анионов в химическом составе воды атмосферных осадков в Беларусь (по усредненным данным 2003–2007 гг.)

В городах Беларуси химический состав атмосферных осадков в настоящее время достаточно разнообразен. Сульфаты в количестве менее 25 %-экв присутствуют в осадках только в Браславе, Бресте и Гродно. Осадки в данных городах характеризуются высоким содержанием гидрокарбонатов (а в Бресте еще и хлоридов) и самой высокой минерализацией (37,05–39,44 мг/дм<sup>3</sup>), класс воды – гидрокарбонатный (Браслав, Гродно) и хлоридно-гидрокарбонатный (Брест).

В остальных городах сульфаты являются одним из анионов, определяющих класс воды атмосферных осадков. Их содержание изменяется от 25 (Мстиславль) до 41 %-экв (Мозырь). В тех городах, где сульфаты – доминирующий анион (32–41 %-экв), класс воды осадков в рассматриваемый период был нитратно-сульфатным (Березино, Нарочь), гидрокарбонатно-сульфатным (Гомель, Минск, Пружаны) и сульфатным (Мозырь). В Бобруйске, Жлобине, Могилеве, Мстиславле, Новогрудке, Орше и Полоцке в составе атмосферных осадков доминировали гидрокарбонаты, содержание сульфатов составляло 25–30 %-экв, класс воды – сульфатно-гидрокарбонатный. В Пинске в составе атмосферных осадков доминировали хлориды, содержание сульфатов составляло 27 %-экв, класс воды – гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридный.

Таким образом, для всех станций мониторинга химического состава атмосферных осадков в Беларуси характерно уменьшение среднегодовых концентраций сульфатов с течением времени. При этом наиболее выраженный нисходящий тренд установлен для станции, расположенной в условиях регионального природно-техногенного фона в Березинском биосферном заповеднике. Существенное уменьшение средних концентраций сульфатов происходит здесь начиная с 1992 г.

Многолетнее распределение средних концентраций сульфатов в атмосферных осадках в городах характеризуется существенным разнообразием, тем не менее, в нем можно выделить некоторые общие черты. Так, для большинства станций мониторинга максимальные среднегодовые концентрации сульфатов пришлись на начало 1990-х годов (Березино – конец 1980-х). После этого в Березино, Бобруйске, Гомеле, Орше, Полоцке, Пружанах, Минске и Могилеве содержание сульфатов в атмосферных осадках уменьшилось до значений, приближенных или несколько ниже их среднемноголетней величины, и сохраняется на этом уровне до настоящего вре-

мени. При этом в начале 2000-х годов в Гомеле, Минске и Могилеве выделяются небольшие (1–2 года) временные отрезки с существенным увеличением средних концентраций сульфатов. Для трех станций мониторинга – Мозырь, Нарочь и Пинск – максимальные среднегодовые концентрации сульфатов приходятся на конец 1990-х–начало 2000-х годов, после чего отмечалось их уменьшение до значений ниже среднемноголетней величины.

В химическом составе атмосферных осадков на всех станциях мониторинга в многолетнем аспекте сульфаты являются доминирующим (или одним из доминирующих) анионом, определяющим химический класс вод. В первые годы наблюдений (первая половина 1990-х годов) сульфаты преобладали в химическом составе воды осадков на всех без исключения станциях мониторинга. По мере уменьшения их содержания в химическом составе атмосферных осадков в Бобруйске, Орше, Полоцке, Могилеве и Бресте устойчиво начали преобладать гидрокарбонаты, а в Пинске и Нарочи – даже хлориды и нитраты. При этом в последнем из выделенных периодов произошло изменение класса вод осадков с сульфатного и гидрокарбонатно-сульфатного на сульфатно-гидрокарбонатный (Бобруйск, Орша, Полоцк, Могилев), сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный (Брест), гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридный (Пинск) и хлоридно-сульфатно-нитратный (Нарочь).

В настоящее время химический состав атмосферных осадков на территории Беларуси отличается значительным разнообразием. Так, по усредненным за 2003–2007 гг. данным, в условиях регионального природно-техногенного фона осадки принадлежат к нитратно-сульфатному классу. Этот же класс воды атмосферных осадков характерен для Березино и Нарочи. В Гомеле, Минске и Пружанах осадки принадлежат к гидрокарбонатно-сульфатному классу, в Мозыре – к сульфатному. Сульфатно-гидрокарбонатный класс характерен для воды атмосферных осадков в Бобруйске, Жлобине, Могилеве, Мстиславле, Новогрудке, Орше и Полоцке, гидрокарбонатный – в Браславе и Гродно. В химическом составе атмосферных осадков в Бресте и Пинске велика доля хлоридов. Там сформировались соответственно хлоридно-гидрокарбонатный и гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридный классы вод осадков.

## Л и т е р а т у р а

1. Алекин О. А. Гидрохимия. Л., 1952.
2. Белькович О. Е., Чудук В. Н., Бокая Г. М. Исследование динамики атмосферных выпадений в городе Минске // Региональные проблемы экологии: пути решения: материалы IV Междунар. экологического симпозиума, Новополоцк, 21–23 ноябр. 2007 г.: в 3 т. Новополоцк, 2007. Т. 1. С. 15–18.

3. Глобальный биогеохимический цикл серы и влияние на него деятельности человека / Под ред. Г. К. Скрябина. М., 1983.
4. 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., Минск, 17–18 мая 2007 г. Мин., 2007.
5. **Какарека С. В., Евстафьев Т. Б.** Химический состав атмосферных осадков // Природная среда Беларуси / Под ред. В. Ф. Логинова. Мин., 2002. С. 118–123.
6. **Какарека С. В., Хомич В. С.** Пространственная структура выпадения сульфатов и закисления снежного покрова на территории г. Минска // Литосфера. 1995. № 3. С. 163–166.
7. Ландшафтные воды в условиях техногенеза / О. В. Кадацкая [и др.]. Мин., 2005.
8. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. / Национальная комиссия по устойчивому развитию Республики Беларусь. Мин., 2004.
9. **Петренчук О. П.** Экспериментальные исследования атмосферного аэрозоля. Л., 1979.
10. **Посохов Е. В.** Ионный состав природных вод. Генезис и эволюция. Л., 1985.
11. Прогноз изменения окружающей природной среды Беларуси на 2010–2020 гг. / Под ред. В. Ф. Логинова. Мин., 2004.
12. **Санец Е. В.** Аэротехногенные потоки серы как фактор геохимической трансформации геосистем Беларуси: Автoref. дис. ... канд. геогр. наук. Мин., 2005.
13. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень / Под ред. В. Ф. Логинова. Мин., 1992–2008.
14. Химический состав атмосферных осадков на Европейской территории СССР. Л., 1964.
15. **Чертко Н. К.** Математические методы в физической географии. Мин., 1987.
16. **Sanets E. V., Chuduk V. N.** Sulphur atmospheric deposition in areas with different anthropogenic loads in Belarus // Atmospheric Research. 2005. Vol. 77, № 1–4: Precipitation in Urban Areas / Ed. by Einfalt T., Molnar P., Schmid W. P. 88–99.

**E. V. Санец**

### **МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ СУЛЬФАТОВ В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ В БЕЛАРУСИ**

Сульфаты являются одним из основных компонентов химического состава атмосферных осадков, служащих своеобразным индикатором техногенного воздействия на окружающую среду. С помощью разностно-интегральных кривых среднегодовых концентраций сульфатов исследуется многолетняя динамика содержания рассматриваемого компонента в атмосферных осадках в Беларуси. Установлено, что для большинства станций мониторинга максимальное содержание сульфатов в осадках по времени совпадает с периодом наибольшего техногенного воздействия на окружающую среду и максимальных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. В конце 1990-х – начале 2000-х годов содержание сульфатов в атмосферных осадках снижается. Одновременно происходит трансформация химического состава атмосферных осадков, проявляющаяся в уменьшении доли сульфатов в анионном составе воды осадков, а для некоторых станций мониторинга – в изменении химического класса воды осадков.

**E. V. Sanets**

### **LONG-TERM DYNAMICS OF SULFATES CONTENT IN PRECIPITATION IN BELARUS**

Sulfates are one of the main components of chemical composition of precipitation. At the same time they are a specific indicator of anthropogenic influence on the environment. In the article a long-term dynamics of average annual concentrations of sulfate in precipitation in Belarus is analyzed with the help of method of integrated-difference curves. A coincidence of the maximal sulfate content in precipitation and the highest anthropogenic influence on the environment (including the highest industrial emissions) was determined for the most of monitoring stations. In the late nineties or in the early two-thousandth sulfate content in precipitation has been reduced. At the same time the chemical composition of precipitation has been changed. These changes were the reduction of sulfate share in chemical composition of precipitation and the transformation of chemical type of precipitation water for some of monitoring stations.

**С. В. Какарека, О. Е. Белькович, В. Н. Чудук, С. В. Саливончик**

## ВНУТРИГОДОВАЯ ДИНАМИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ МИНСКА

*Приведены результаты исследования химического состава атмосферных осадков на территории Минска в 2008 г. Исследована сезонная динамика состава, проанализирована связь состава атмосферных осадков с метеоусловиями. Оценено влияние типа осадков на содержание основных химических загрязнителей, а также средняя интенсивность атмосферных выпадений загрязняющих веществ.*

Выпадения с атмосферными осадками составляют основную часть атмосферных нагрузок загрязняющих веществ, определяя состояние почвенного покрова, экосистем и во многом поверхностных вод; через эти компоненты они оказывают влияние на здоровье человека.

Для изучения различных аспектов химического состава атмосферных осадков и снежного покрова на урбанизированных территориях Институтом природопользования НАН Беларуси организована постоянная площадка наблюдений в черте города Минска. Методика исследования описана в работе [5].

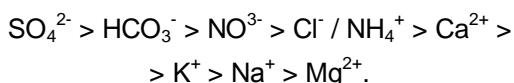
Данная статья посвящена анализу наблюдений за химическим составом атмосферных осадков на территории Минска в 2008 г. с привлечением ранее полученных результатов [2, 4, 5, 12, 14]. Основное внимание уделено сезонной динамике химического состава атмосферных осадков, изучению его связи с метеопараметрами.

*Показатели химического состава атмосферных осадков в Минске в 2008 г.*

Средняя минерализация атмосферных осадков в Минске в 2008 г. составила 9,9 мг/дм<sup>3</sup>. Отмечено существенное колебание показателя минерализации недельных проб – от 3,5 до 27,8 мг/дм<sup>3</sup>. Экспериментальные значения удельной электропроводности варьировали в пределах 5,2–44,0 мкСм/см, среднее значение показателя – 17,0 мкСм/см.

Среднее значение pH атмосферных осадков составило 6,1, что превышает равновесную величину для атмосферных осадков (5,6). Около 10 % проб имели pH ниже 5,6. Кислотность варьировала в пределах 4,5–7,0.

Соотношение ионов в атмосферных осадках в течение года имело вид:



Доля кислотообразующих ионов ( $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{NO}_3^-$ ) составила 27 % общей суммы ионов.

Рассчитаны статистические характеристики химических элементов атмосферных осадков (табл. 1). Для всех исследуемых элементов отмечается большой разброс значений. Особенно сильно варьирует содержание ионов калия и натрия (рис. 1). Стандартные отклонения содержания хлорид-ионов, ионов натрия и калия выше их средних значений. Коэффициенты вариации весьма высоки.

Выявлена тесная линейная корреляционная связь между содержанием в атмосферных осадках иона натрия и хлорида ( $r = 0,97$ ), сульфат-иона и иона аммония ( $r = 0,76$ ), гидрокарбонат-иона и иона кальция ( $r = 0,70$ ). Высокие коэффициенты корреляции указывают на вероятность единого источника поступления в атмосферу для этих групп элементов.

*Сезонные различия химического состава атмосферных осадков*

При исследовании сезонных различий использованы экспериментальные данные о составе атмосферных осадков за 2006–2008 гг. Средняя минерализация атмосферных осадков в летний период за этот промежуток составила 9,4 мг/дм<sup>3</sup>, в зимний период – 12,3 мг/дм<sup>3</sup>. Увеличение минерализации в зимний период свидетельствует о повышении влияния антропогенных факторов. Наибольшие сезонные колебания в атмосферных осадках претерпевают концентрации хлорид-ионов, ионов натрия и калия (рис. 2).

**Таблица 1. Статистические параметры основных макрокомпонентов атмосферных осадков (Минск, 2008 г.), мг/дм<sup>3</sup>**

Параметр	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$
Минимум	0,40	0,24	0,15	0,16	0,03	0,02	0,21	0,05
Максимум	9,20	8,27	7,60	3,55	5,90	7,50	2,14	1,12
Среднее	2,85	1,04	2,43	1,19	0,59	1,09	0,85	0,25
Стандартное отклонение	2,07	1,35	1,58	0,75	1,05	1,68	0,51	0,22
Коэффициент вариации, %	73	130	65	63	176	154	59	86

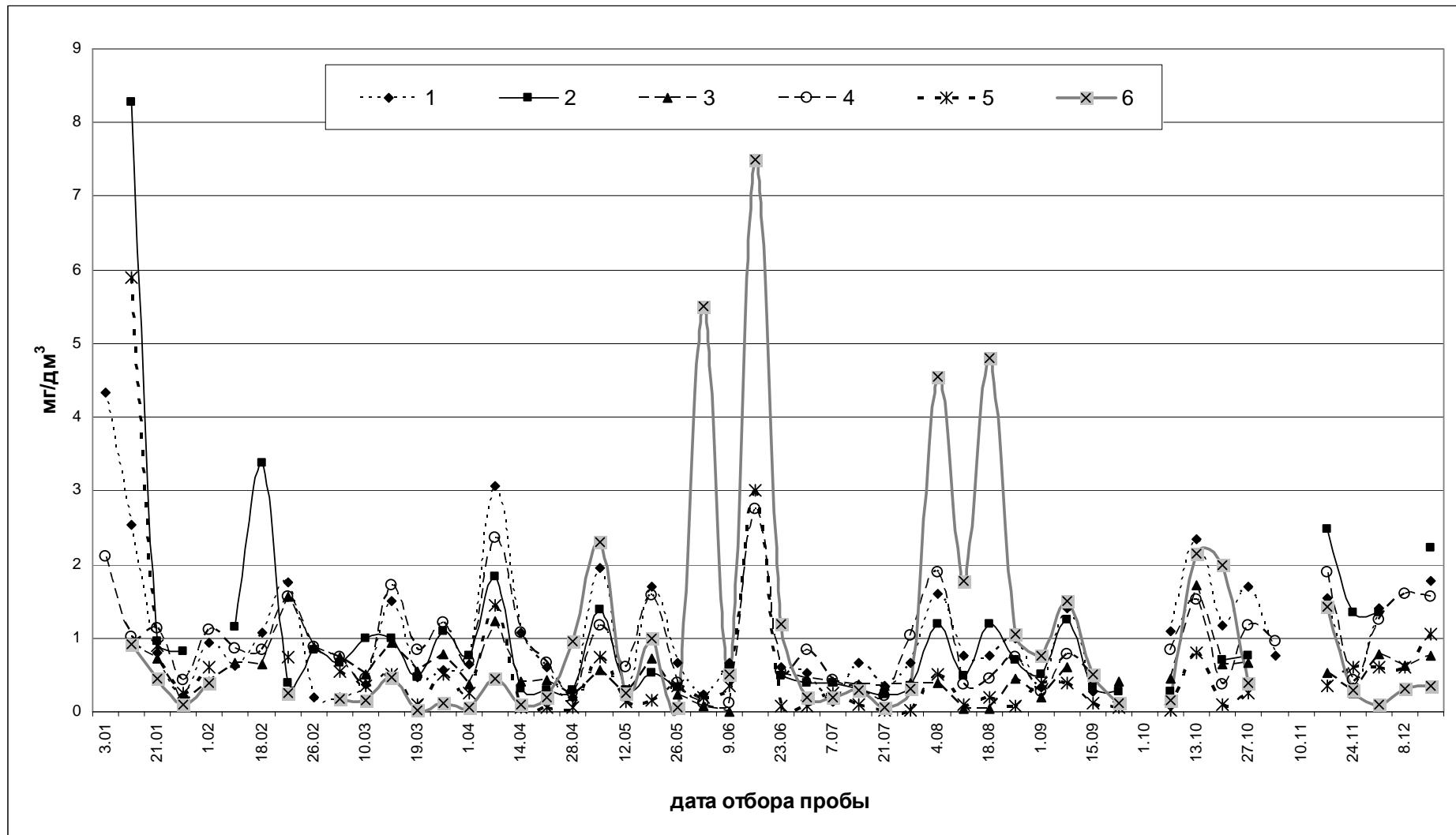
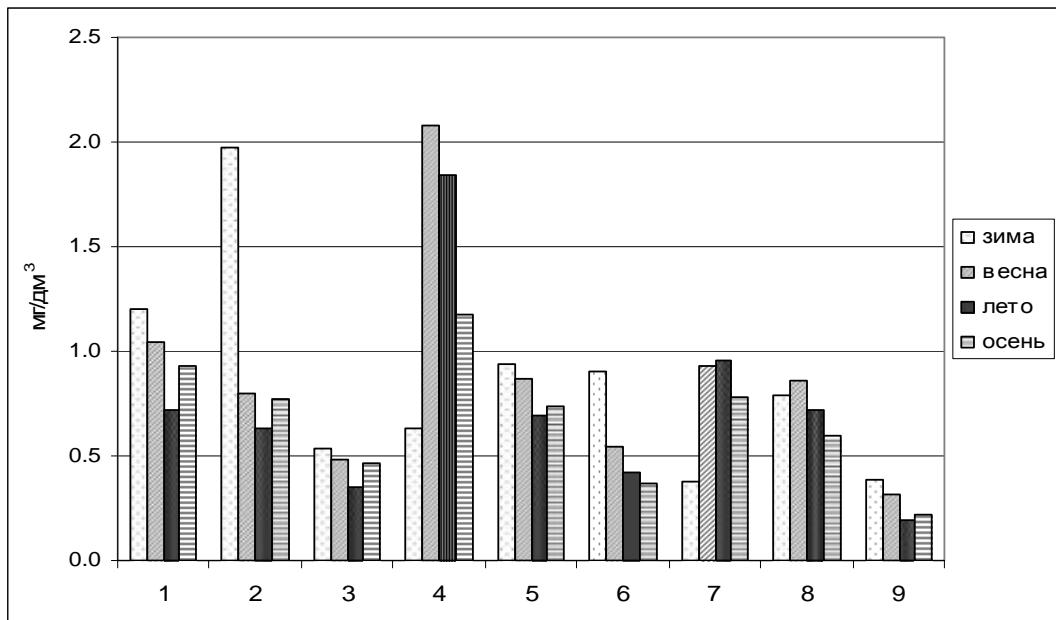


Рис. 1. Динамика химического состава атмосферных осадков в 2008 г.:  
1 –  $\text{SO}_4^{2-}$  (S); 2 –  $\text{Cl}^-$ ; 3 –  $\text{NO}_3^-$  (N); 4 –  $\text{NH}_4^+$  (N); 5 –  $\text{Na}^+$ ; 6 –  $\text{K}^+$



**Рис. 2. Сезонная динамика основных ионов в атмосферных осадках Минска:**  
 1 –  $\text{SO}_4^{2-}$  (S); 2 –  $\text{Cl}^-$ ; 3 –  $\text{NO}_3^-$  (N); 4 –  $\text{HCO}_3^-$ ; 5 –  $\text{NH}_4^+$  (N); 6 –  $\text{Na}^+$ ; 7 –  $\text{K}^+$ ; 8 –  $\text{Ca}^{2+}$ ; 9 –  $\text{Mg}^{2+}$

Содержание иона калия в зимний период составило 0,4 мг/дм<sup>3</sup>, в летний – 0,9 мг/дм<sup>3</sup>, гидрокарбонат-иона – соответственно 0,6 мг/дм<sup>3</sup> и 1,8 мг/дм<sup>3</sup>. В зимний период снежный покров выступает в качестве фактора, лимитирующего почвенно-эрзационные и биогенные процессы, являющиеся основным источником данных элементов в осадках.

Концентрация сульфат-иона и нитрат-иона в летний период более чем в 1,5 раза меньше по сравнению с зимним сезоном. Уменьшение содержания окисленных серы и азота в весенне-летний период может объясняться окончанием отопительного сезона и, как следствие, меньшим выбросом соединений серы и азота в атмосферу на местном и региональном уровнях.

Сезонные изменения в сторону уменьшения содержания элементов в летний период характерны также для ионов натрия и хлорид-ионов. Концентрация ионов натрия и хлорид-ионов в летний период по сравнению с зимним меньше более чем в 2 раза, что в значительной степени может быть связано с более интенсивным поступлением этих элементов зимой вследствие внесения противогололедных солевых смесей.

Проведен сравнительный анализ сезонных различий состава атмосферных осадков в Минске и на СКФМ Березинский заповедник (рис. 3). Сезонная динамика концентраций сульфат-, нитрат- и хлорид-ионов в Минске в высокой степени коррелирует с сезонной динамикой аналогичных показателей для Березинского заповедника. Это свидетельствует о превалирующем вкладе региональных факторов в содержание данных компонентов в атмосферных осадках.

Наименьшее содержание сульфат-, нитрат- и хлорид-ионов и ионов натрия зафиксировано в летний период, а наибольшее – в зимний как для Минска, так и для СКФМ. Для ионов аммония и калия характерен низкий уровень корреляции сезонных различий.

#### Влияние метеорологических параметров на состав атмосферных осадков

Метеоклиматические условия в значительной степени влияют на процессы переноса и вымывания примесей из атмосферы. Химический состав атмосферных вод во многом зависит от условий, предшествующих выпадению осадков и сопутствующих ему [6]. Благоприятными для повышения минерализации осадков являются продолжительные засухи с сильными ветрами и штиль – непосредственно перед выпадением осадков; во время выпадения осадков обогащению их химического состава способствуют сильный ветер и тепловая конвекция [3]. Изучается влияние синоптических процессов на формирование химического состава растворимой фракции атмосферных осадков в районе оз. Байкал [11]. Предпринимаются попытки установления связи между составом и видом выпадающих атмосферных осадков [1], но единого мнения по этому вопросу не сформировалось. Отмечается, что осадки в виде снега имеют меньшую скорость падения, большую площадь захвата, чем капли дождя, и лучше сорбируют аэрозольные частицы [6]. В то же время результаты наблюдений в Ростовской области свидетельствуют о том, что за один и тот же промежуток времени на единицу земной поверхности наибольшее количество растворимых веществ приносится с жидкими осадками [4].

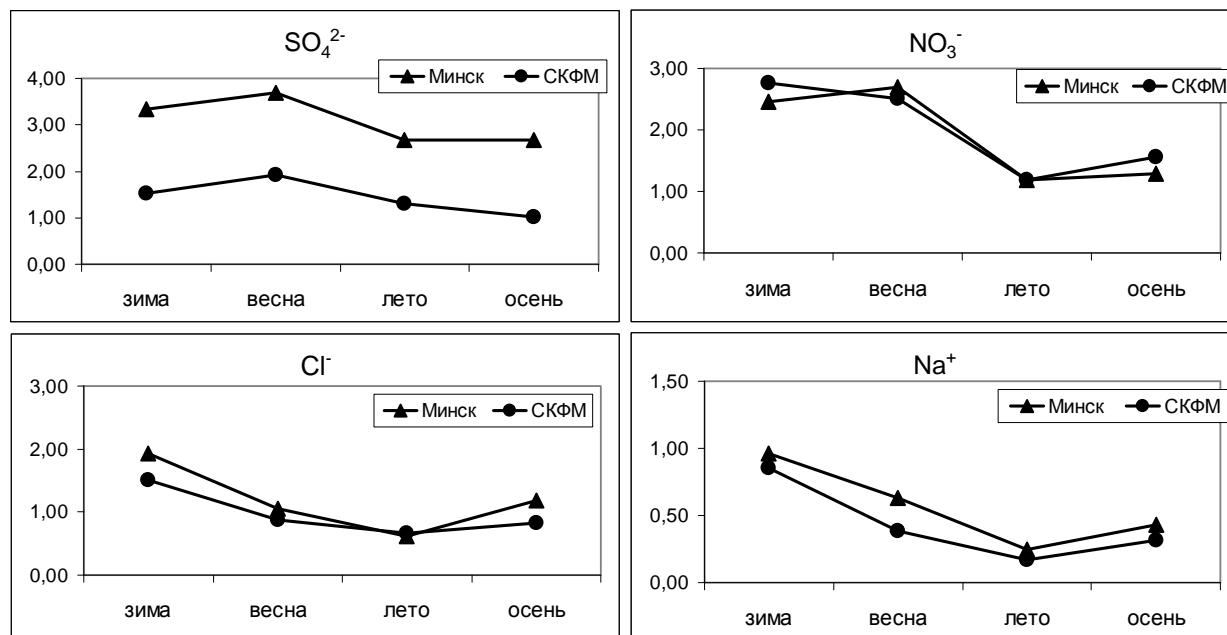


Рис. 3. Сезонные различия химического состава атмосферных осадков в Минске и на СКФМ Березинский заповедник, 2006–2007 гг.

В качестве параметров, оказывающих влияние на состав атмосферных осадков в Минске, нами рассмотрены количество выпавших осадков и направление ветра в приземном слое воздуха.

Между количеством выпавших осадков и концентрацией химических веществ прослеживается значимая обратная связь, коэффициент корреляции -0,45. С увеличением количества осадков концентрации исследуемых компонентов, как правило, уменьшаются, наиболее концентрированными являются пробы осадков с малым объемом (рис. 4).

Влияние направления ветра в приземном слое тропосферы на состав атмосферных осадков исследовалось на основании анализа разовых и недельных проб.

При отборе разовых проб направление ветра отмечалось по информации Департамента по гидрометеорологии. Пробы группировались в соответствии с основными направлениями ветра, и для каждой выборки рассчитывался средний химический состав (табл. 2).

Наибольшие концентрации исследуемых компонентов зафиксированы при ветрах западного и южного направлений, наименьшее содержание ионов в атмосферных осадках – при ветрах северного и восточного направлений. Эти различия, вероятно, могут быть обусловлены расположением площадки наблюдений на северо-восточной окраине города, когда при северном и восточном направлениях ветра оказывается минимальное влияние промышленных районов Минска.

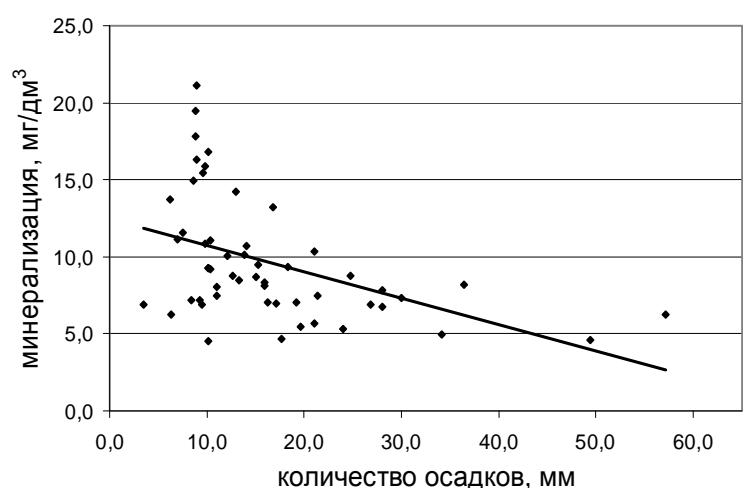


Рис. 4. Связь минерализации и количества атмосферных осадков

**Таблица 2. Среднее содержание основных макрокомпонентов в разовых пробах атмосферных осадков в 2008 г. по румбам, мг/дм<sup>3</sup>**

Направление ветра	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (S)	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (N)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (N)	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
С	0,64	0,51	0,31	0,65	0,18	0,12
СВ	0,57	0,53	0,42	0,25	0,08	0,15
В	0,40	0,40	0,11	0,18	0,26	0,05
ЮВ	1,02	0,52	0,43	1,10	0,27	0,37
Ю	0,72	0,87	0,30	1,03	0,50	0,62
ЮЗ	1,31	0,44	0,57	1,56	0,25	0,63
З	1,50	0,54	0,67	1,27	0,21	0,28
СЗ	0,83	0,26	0,70	1,07	0,26	0,54

Связь между направлением ветра и составом атмосферных осадков по данным недельных проб устанавливалась по иной методике. Использовались данные Департамента по гидрометеорологии о скорости и направлении ветра в приземном (10 м) слое воздуха, представленные на каждые 3 часа. Длительность периода пробоотбора и частые смены направления ветра позволили для каждой пробы установить лишь преобладающее направление ветра. Оно рассчитывалось суммированием векторов для каждого периода пробоотбора. В качестве скалярной величины вектора выступала скорость ветра, направления – румбы, пересчитанные в радианы. Характеристики ветра принимались во внимание лишь в том случае, если на данный срок отмечались атмосферные осадки. За начало отсчета принято восточное направление. Первоначально с использованием тригонометрических функций каждый вектор был разложен на северную (Х) и восточную (Y) компоненты:

$$X = r^* \cos \alpha, \quad Y = r^* \sin \alpha,$$

где  $r$  – скорость ветра;  $\alpha$  – направление ветра, выраженное в радианах.

Затем для каждого периода пробоотбора вычисляли средние значения северной и восточной компонент. Направление результирующего вектора определялось по простым тригонометрическим функциям тангенса и котангенса. Результирующее направление ветра, выраженное в радианах, было пересчитано в градусы. Так как за начало отсчета принято восточное направление, румбы устанавливались по направлению результирующего вектора,енному в градусах, исходя из следующих критериев: В ( $0 \pm 22,5$ ), СВ ( $45 \pm 22,5$ ), С ( $90 \pm 22,5$ ), СЗ ( $135 \pm 22,5$ ), З ( $180 \pm 22,5$ ), ЮЗ ( $225 \pm 22,5$ ), Ю ( $270 \pm 22,5$ ), ЮВ ( $315 \pm 22,5$ ).

Таким образом, были получены выборки проб атмосферных осадков в соответствии с преобладанием ветра по 8 основным направлениям. Для каждой выборки рассчитан средний химический состав атмосферных осадков, а также повторяемость превышений средних концентраций макрокомпонентов. Из-за особенностей разрозненности ветров объем выборок по некоторым на-

правлениям был недостаточен для проведения статистических обобщений, поэтому исследование выполнено на основании данных 3-летнего периода наблюдений: 2006–2008 гг.

Как и для разовых проб, наибольшие концентрации макрокомпонентов, особенно сульфат-, хлорид-ионов и ионов натрия, в недельных пробах осадков зафиксированы при ветрах западного и южного направлений (рис. 5). Однако это превалирование менее выражено, чем в случае с разовыми пробами, что, вероятно, может быть объяснено более длительным периодом отбора проб и достаточно условной группировкой по румбам. Кроме того, в недельных пробах отмечаются большие, чем в разовых пробах, концентрации макрокомпонентов при ветрах юго-восточного направления. В первую очередь это относится к содержанию сульфатной серы и нитратного азота. Возможно, при достаточно длительном периоде пробоотбора сказывается влияние промышленной зоны Заводского района Минска.

Превышение средних концентраций сульфат-, нитрат-ионов и ионов аммония вероятнее при ветрах юго-восточного и южного направлений. Реже всего повышенные концентрации этих компонентов наблюдаются при ветрах восточно-го, северного и северо-западного направлений. Частота превышений средних концентраций хлорид-ионов и ионов натрия в атмосферных осадках в зависимости от направления ветра изменяется незначительно (табл. 3).

При анализе разовых проб отмечено, что кислотность осадков близка к нейтральной для атмосферных вод при ветрах западного и юго-восточного направлений ( $\text{pH} = 5,6\text{--}5,7$ ). Наименьшая кислотность получена для осадков при ветрах южного и восточного направлений ( $\text{pH} = 6,0\text{--}6,1$ ).

Для осадков, опробованных с недельным периодом, близкая к нейтральной кислотность ( $\text{pH} = 5,5\text{--}5,9$ ) зафиксирована при превалировании ветров восточного, северо-восточного и юго-восточного направлений. При ветрах западного, северо-западного, южного и юго-западного направлений отмечалось снижение кислотности атмосферных вод ( $\text{pH} = 6,1\text{--}6,2$ ).

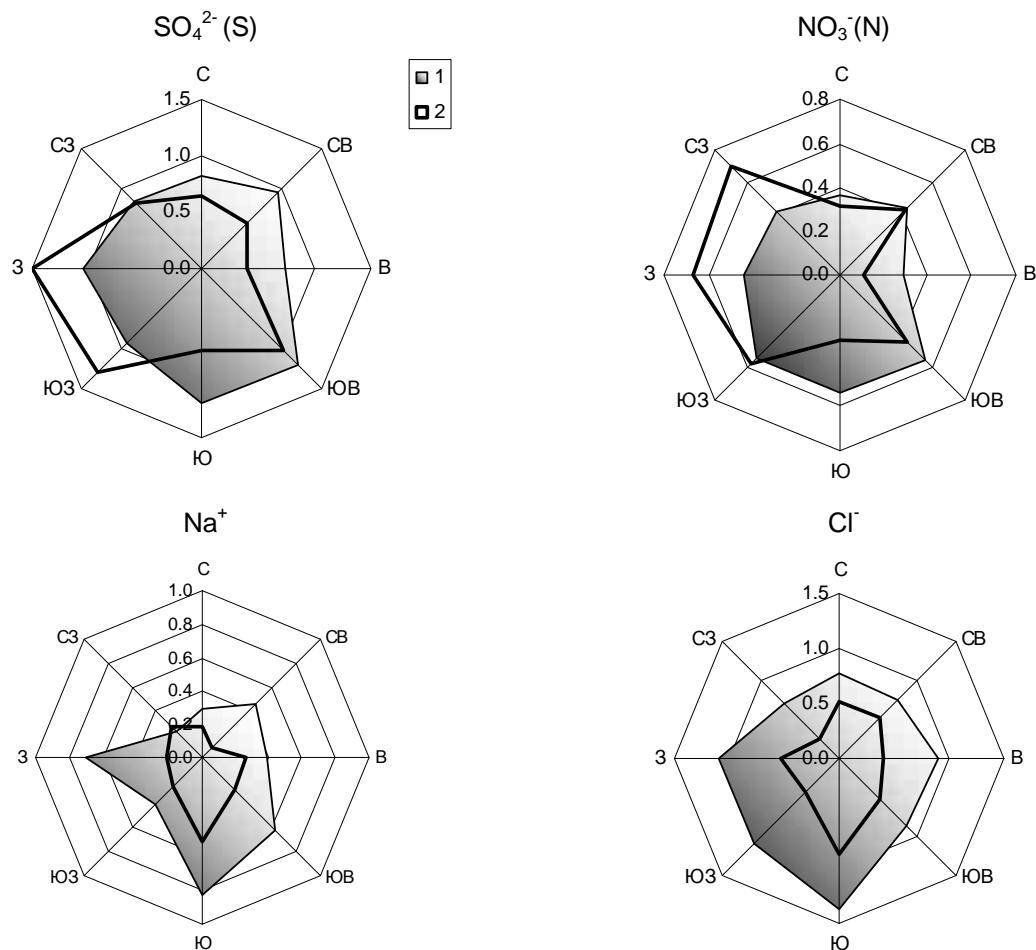


Рис. 5. Содержание основных ионов в недельных (1) и разовых пробах (2) атмосферных осадков по румбам, мг/дм<sup>3</sup>

Таблица 3. Повторяемость превышений средних концентраций макрокомпонентов в недельных пробах атмосферных осадков за период 2006–2008 г. по румбам, %

Направление ветра	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (S)	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (N)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (N)	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
С	20	33	22	50	20	10
СВ	50	20	30	22	30	10
В	33	33	0	25	33	0
ЮВ	50	36	60	55	40	10
Ю	58	33	62	67	35	30
ЮЗ	33	39	60	46	26	22
З	41	41	29	31	36	24
С3	31	25	38	31	0	23

#### Зависимость химического состава от типа атмосферных осадков

Влияние типа осадков на концентрацию в них загрязнителей исследовалось на основании анализа химического состава недельных (за 2006–2008 г.) и разовых проб (за 2008 г.). Чтобы исключить влияние сезонных различий на состав атмосферных вод, к рассмотрению принимались пробы только холодного периода года (с октября по март). Из разовых и недельных проб были сформированы три выборки в соответствии с

формой выпадения осадков: снег, дождь и мокрый снег (или снег с дождем), для каждой из которых рассчитан средний химический состав (табл. 4). При отнесении недельной пробы к определенной выборке учитывались формы выпадения осадков на протяжении всего периода отбора. К выборке «снег с дождем» в этом случае отнесены все пробы, на протяжении отбора которых происходило чередование осадков разного типа. Две другие выборки сформированы только из мокрых или твердых выпадений.

**Таблица 4. Химический состав атмосферных осадков разного типа в зимний период, мг/дм<sup>3</sup>**

Тип осадков	$\text{SO}_4^{2-}$ (S)	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$ (N)	$\text{NH}_4^+$ (N)	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	pH
Разовые пробы, 2008 г.							
Снег	0,86	1,86	0,53	0,80	1,03	0,19	5,68
Мокрый снег	1,83	1,79	0,84	1,25	0,68	0,23	5,60
Дождь	1,87	0,73	0,91	1,70	0,40	0,42	4,97
Недельные пробы, 2008 г.							
Снег	1,42	4,64	0,68	0,95	3,52	0,55	6,09
Снег с дождем	0,71	1,00	0,64	0,90	0,54	0,22	5,93
Дождь	1,24	1,04	0,81	1,24	0,40	0,96	5,86
Недельные пробы, средние за 2006-2008 гг.							
Снег	1,14	2,08	0,49	0,69	1,42	0,61	5,59
Снег с дождем	1,27	1,57	0,63	1,00	1,07	0,41	5,97
Дождь	1,23	1,56	0,57	0,99	0,49	1,26	6,24

По результатам исследования разовых и недельных проб в твердых выпадениях отмечается увеличение концентрации хлорид-ионов и ионов натрия, а в дождевой воде – нитратного и аммонийного азота, а также ионов калия.

Концентрации хлорид-ионов и ионов натрия имеют большой разброс значений в осадках в виде снега. Дисперсии для хлорид-ионов в осадках в виде снега – 3,32, в виде дождя – 1,16; для натрия – 1,96 и 0,13 соответственно. Это обстоятельство может косвенно указывать на антропогенный источник поступления данных веществ, вероятно, с противогололедными смесями.

#### Химический состав снежного покрова

В зимний период 2007–2008 гг. снежный покров был неустойчивым, с кратковременными

периодами залегания. В связи с этим, данные, полученные в ходе анализа проб, характеризуют лишь часть зимнего периода. За январь–март 2008 г. отобрано 18 проб снежного покрова, из них 6 – по слоям снега и 12 – на всю толщину снежного покрова. В табл. 5 представлены данные о химическом составе снежного покрова, опробованного в конце марта 2008 г. Продолжительность его залегания составила 6 дней (с 25.03.08 по 30.03.08).

В снежном покрове была четко выражена слоистость по плотности: первый слой толщиной 6 см, второй – 8 см. Различий в составе снега по слоям не выявлено, что может объясняться кратковременным периодом образования и залегания снежного покрова.

**Таблица 5. Химический состав снежного покрова на территории экспериментальной площадки, мг/дм<sup>3</sup>**

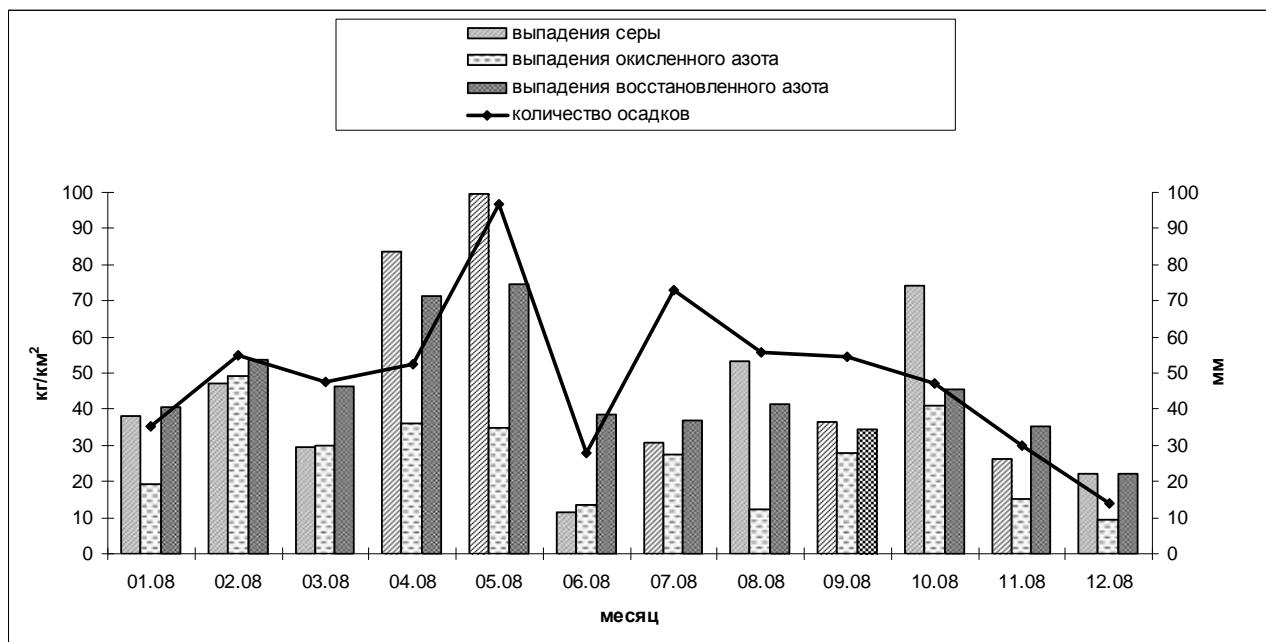
Тип пробы	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$
Слой снега 0–6 см	1,29	0,59	1,11	0,45	0,34	0,08	0,45	0,20
Слой снега 7–14 см	2,09	0,51	1,15	0,65	0,20	0,10	0,51	0,14
Снег отобран по всей толщине	1,58	0,54	1,20	0,58	0,28	0,09	0,57	0,19

*Динамика атмосферных выпадений в Минске в 2008 г.*

Химический состав атмосферных осадков позволяет получить информацию о выпадениях загрязняющих веществ [8]. Интенсивность потока влажного осаждения за месяц рассчитывалась

как функция взвешенной средней концентрации вещества в осадках и количества осадков.

Внутригодовая динамика выпадений загрязняющих веществ представлена на рис. 6. Наиболее высокие значения влажных выпадений приходятся на периоды с большим количеством осадков.



**Рис. 6. Динамика влажных выпадений окисленной серы, окисленного и восстановленного азота по данным измерений на экспериментальной площадке**

По результатам наблюдений за химическим составом осадков рассчитаны годовые значения потока влажного осаждения серы и азота. Результаты расчета приведены в табл. 6.

**Таблица 6. Выпадения соединений серы и азота в Минске, кг/км<sup>2</sup>/год**

Год	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (S)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (N)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (N)
2006	723,6	363,8	564,5
2007	600,7	213,2	317,5
2008	578,1	311,8	539,2

Средняя годовая интенсивность влажного осаждения серы для Беларуси за 2005–2007 гг. – 672,4 кг/км<sup>2</sup>/год, окисленного азота – 386,7 кг/км<sup>2</sup>/год, аммонийного азота – 451,3 кг/км<sup>2</sup>/год [9, 10]. В 2008 г. по результатам наших исследований в Минске выпадения аммонийного азота немногим превышали среднегодовые значения потока для территории Беларуси, а выпадения окисленного азота и серы были ниже средних значений.

#### Заключение

Таким образом, в результате анализа проб атмосферных осадков на экспериментальной площадке Института природопользования НАН Беларуси выявлена связь между минерализацией и количеством атмосферных выпадений, которая выражалась в снижении концентрации загрязнителей при увеличении количества осадков. Установлены сезонные различия в составе атмосферных вод, характеризующиеся возрастанием в зимний период общей минерализации и концентрации хлорид-ионов и ионов натрия, а также уменьшением содержания гидрокарбонат-ионов и ионов калия. Зафиксирован рост концентраций сульфат-, хлорид-ионов и ионов натрия при ветрах западного и южного направлений. Выявлено увеличение концентрации ионов натрия в составе твердых выпадений, аммонийного азота в составе дождевых вод; увеличение варьирования содержания хлорид-ионов и ионов натрия в осадках в виде снега. В ходе анализа средней интенсивности атмосферных выпадений в 2008 г. в Минске отмечено, что нагрузки аммонийного азота несколько выше, а окисленного азота и серы – ниже средних значений для территории Беларуси.

#### Литература

1. Атмосферные выпадения в Прихубсугулье и на юге Восточного Саяна / Л. П. Голобокова [и др.] // География и природные ресурсы. 2004. № 2. С. 69–75.
2. 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. симпоз., в 3 т. Новополоцк, 2007. Т. 1. С. 15–18.

3. Гиренко А. Х. Некоторые закономерности в химии вод атмосферы // Гидрохимические материалы. М., 1959. Т. 28. С. 101–111.
4. 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. Мин., 2008. Вып. 14. С. 57–62.
5. Ландшафтные воды в условиях техногенеза / О. В. Кадацкая и др. Мин., 2005.
6. Порохов Е. В. Факторы формирования химического состава атмосферных осадков // Гидрохимические материалы. 1968. Т. 46. С. 15–31.
7. Порохов Е. В. Ионный состав природных вод. Генезис и эволюция. Л., 1964.
8. Природная среда Беларуси / Под ред. В. Ф. Логинова. Мин., 2002.
9. Состояние природной среды Беларусь: эколог. бюл. 2006 / Под ред. В. Ф. Логинова. Мин., 2007.
10. Состояние природной среды Беларусь: эколог. бюл. 2007 / Под ред. В. Ф. Логинова. Мин., 2008.
11. Ходжер Т. В. Химический состав атмосферных осадков и их роль в химическом балансе оз. Байкал: Дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 1988.
12. Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И. Экогохимия городских ландшафтов Беларусь. Мин., 2004.
13. 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.
14. Sanets E. V., Chuduk V. N. Sulphur atmospheric deposition in areas with different anthropogenic loads in Belarus // Atmospheric Research. 2005. Vol. 77, № 1–4: Precipitation in Urban Areas / Ed. by T. Einfalt, P. Molnar, W. Schmid. P. 88–99.

**C. В. Какарека, О. Е. Белькович, В. Н. Чудук, С. В. Саливончик**

### **ВНУТРИГОДОВАЯ ДИНАМИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ МИНСКА**

Приведены результаты исследования химического состава атмосферных осадков на территории Минска в 2008 г. по данным опробования атмосферных осадков и снежного покрова на постоянной площадке Института природопользования НАН Беларусь. Основное внимание удалено сезонной динамике химического состава атмосферных осадков и изучению его связи с метеопараметрами.

Показано, что сезонные различия в составе атмосферных осадков характеризуются возрастанием в зимний период общей минерализации и содержания большинства компонентов, особенно хлорид-ионов и ионов натрия. Летний период отличается повышенным содержанием гидрокарбонат-ионов, ионов кальция и калия.

Исследована связь между преобладающим направлением ветра и составом атмосферных осадков.

Выявлены различия химического состава атмосферных осадков холодного периода в зависимости от их типа.

Оценены годовые значения потока влажного осаждения серы и азота на территории Минска по данным опробования атмосферных осадков на постоянной площадке.

**S. V. Kakareka, O. E. Belkovich, V. N. Chuduk, S. V. Salivonchik**

### **INTERANNUAL DYNAMICS OF CHEMICAL COMPOSITION OF PRECIPITATION ON THE TERRITORY OF MINSK**

*In the paper results of investigation of chemical composition of atmospheric precipitates on the territory of Minsk in 2008 are given. Precipitation sampling is fulfilled on the sampling site of the Institute for Nature Management. Main attention in the paper is given to study of seasonality of precipitation composition and its connections to meteorological conditions.*

*It was found that in winter season solute content and content of the most components in precipitation is more high; precipitation in summer have more high content of hydrocarbons, calcium and potassium.*

*It was found that during periods with prevailing winds of west and south directions content of most of chemical components in precipitation is increased.*

*Differences of chemical composition of precipitation in winter period between precipitation of different types were found.*

*Monthly and yearly averaged fluxes of wet deposition of sulfur and nitrogen on the territory of Minsk by results of precipitation sampling on the sampling site were estimated.*

**С. В. Какарека, А. В. Мальчихина**

## ИСТОЧНИКИ И УРОВНИ ПОСТУПЛЕНИЯ АММИАКА В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Дана характеристика источников и оценка поступления аммиака в окружающую среду на территории Беларуси. Описаны основные риски, связанные с поступлением аммиака в атмосферный воздух, поведение аммиака в окружающей среде. Приведены нормативы содержания в атмосферном воздухе, критические нагрузки аммонийного азота. Описана методология инвентаризации выбросов аммиака Программы ЕМЕП. Показаны основные источники и дана оценка выбросов аммиака для 2006 г., а также тренд выбросов в 1990–2006 гг. Выполнено сравнение полученных результатов с уровнями выбросов аммиака в других странах.

Аммиак – одно из химических соединений, привлекающее к себе пристальное внимание в связи с его важной ролью в глобальных биогеохимических циклах, а также с рисками, связанными с поступлением аммиака в окружающую среду как на локальном, так и на региональном и глобальном уровнях.

К региональным эффектам воздействия аммиака относят выпадения восстановленного (аммонийного) азота, которые являются частью нагрузок азота на экосистемы, вызывающих нарушение баланса питательных веществ и изменение видового состава растительности.

К глобальным эффектам воздействия аммиака относят формирование вторичного аэрозоля и влияние на климат. Высокое содержание аммония в атмосферных осадках и закисление природной среды также могут вызвать глобальные изменения в окружающей среде.

Выбросы аммиака приводят к краткосрочной нейтрализации атмосферных осадков, а в долгосрочной перспективе – к отсроченному закислению водных экосистем, которое сопоставимо с влиянием таких кислотообразующих газов, как оксиды азота и диоксид серы [1].

Поступление аммиака в окружающую среду в масштабе Европы регулируется Гетеборгским протоколом 1999 г. к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния. Актуальна также проблема содержания аммиака в атмосферном воздухе Беларуси. Так, согласно данным мониторинга, в таких городах, как Гомель, Речица, Витебск, Полоцк, Гродно, Могилев и Минск, аммиак является одним из приоритетных загрязнителей воздуха. Максимальная концентрация аммиака в 2006 г. в Гомеле составляла 1,6, в Минске – 2,4, в Могилеве – 6,7 ПДК [7].

Аммиак в окружающей среде. Аммиак – наиболее распространенный в атмосфере щелочногаз с периодом полувыведения из нее около одной недели [16]. Содержание аммиака в атмосфере формируется в результате динами-

ческого равновесия между источниками и стоками. В большинстве случаев концентрация частиц аммония в атмосферном воздухе сопоставима с содержанием газообразного аммиака. На поведение и уровень аммиака в атмосфере сильно влияют погодные условия (влажность, температура, ветер).

Большая часть аммиака, поступающего в атмосферу, попадает обратно на землю в виде влажных и сухих выпадений (около 95 %). Влажное осаждение включает вымывание твердыми и жидкими осадками, сухое осаждение в основном затрагивает газообразный аммиак и соли аммония в виде твердых частиц и включает как гравитационное осаждение частиц солей аммония, так и поглощение газообразного аммиака подстилающей поверхностью.

К важным атмосферным химическим взаимодействиям относятся взаимопревращения между газообразным аммиаком и солями аммония (в виде аэрозолей), реакции с облаками, вымывание с осадками, и взаимодействия между загрязнителями при сухом осаждении. Попадая в атмосферу, аммиак может существовать в равновесии с водным аммиаком или взаимодействовать с оксидами азота и серы с формированием кислот ( $\text{HNO}_3$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Реакция между аммиаком и кислотами, содержащимися в атмосфере (такими как  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ), приводит к образованию твердых частиц. Следует отметить, что ранее основным загрязнителем, реагирующим с аммиаком, являлся оксид серы ( $\text{SO}_2$ ), однако с уменьшением выбросов данного соединения взаимодействие аммиака с азотной кислотой стало более значимым [18].

Известно, что аммоний в дождевой воде, тумане и облаках оказывает существенное прямое воздействие на растительность. Высокие концентрации аммиака вызывают необратимые изменения обмена веществ, сопровождающиеся накоплением в тканях аммиачного азота и аминов, в результате чего листья меняют цвет – от тусклого темно-зеленого до черного [6].

Уровень содержания аммиака в атмосферном воздухе зависит от характера использования земель и присутствия источников. В городах концентрации находятся обычно в диапазоне 5–25 мкг/м<sup>3</sup>, в сельской местности – 2–6 мкг/м<sup>3</sup> [10]. В районах с интенсивным производством животноводческой продукции или использованием органических удобрений концентрации могут достигать 100–200 мкг/м<sup>3</sup>. По данным измерений на станциях ЕМЕП среднее содержание в фоновых условиях в Европе за период с 1988 по 2006 г. варьировало в диапазоне от 0,6 до 6,2 мкг/м<sup>3</sup> при среднеевропейском значении 1,9 мкг/м<sup>3</sup> [8].

*Влияние на человека и нормирование.* Человек чувствует запах аммиака в воздухе уже в концентрации 0,5 мг/м<sup>3</sup>, когда еще нет опасности для здоровья. Указывается [10], что воздействие аммиака в концентрации 280 мг/м<sup>3</sup> приводит к раздражению горлани; концентрация 1200 мг/м<sup>3</sup> вызывает кашель; при концентрации 1700 мг/м<sup>3</sup> возникает угроза для жизни; при концентрации выше 3500 мг/м<sup>3</sup> возникает непосредственная угроза для жизни.

При остром отравлении аммиаком наблюдается поражение слизистой оболочки глаз и дыхательных путей, одышка и воспаление лёгких. При хроническом отравлении аммиаком появляются такие симптомы, как расстройство пищеварения, катары верхних дыхательных путей и ослабление слуха.

В Республике Беларусь аммиак относится к 4 классу опасности. Критериями качества атмосферного воздуха, принятыми в Республике Беларусь для аммиака, являются ПДКс.с. 40 мкг/м<sup>3</sup> и ПДКм.р 200 мкг/м<sup>3</sup> [4].

В Республике Беларусь определены следующие предельно допустимые концентрации аммиака [3]:

в воздухе рабочей зоны производственного помещения – 20 мг/м<sup>3</sup>;

в атмосферном воздухе территории промышленного предприятия – 7 мг/м<sup>3</sup>.

Предел содержания аммиака в воздухе рабочей зоны в различных странах варьирует от 18 до 40 мг/м<sup>3</sup>. Так, Американская промышленная гигиеническая ассоциация установила для аммиака пороговую концентрацию в воздухе рабочей зоны, равную 25 ppm (20,3 мг/м<sup>3</sup>) (среднее за 8 часов); Администрация безопасности проживания и здоровья установила допустимый уровень воздействия аммиака, равный 50 ppm (40,6 мг/м<sup>3</sup>) [9].

*Источники поступления в окружающую среду.* Существуют как природные, так и антропогенные источники поступления аммиака в окружающую среду. К первым относят различные микробиологические процессы в почвах (процессы разложения, продукт жизнедеятельности почвенных организмов и др.). Вклад этих источников

в валовое поступление аммиака составляет порядка 7 % [17]. Основные антропогенные источники связаны с сельским хозяйством, а также промышленностью и сжиганием топлива.

Вклад сельского хозяйства в валовые выбросы аммиака составляет 70–80 %. К сельскохозяйственным источникам относятся животноводство, использование минеральных удобрений, компостирование.

*Животноводство.* Выбросы аммиака в животноводстве связаны с метаболическими и микробиологическими процессами, происходящими в отходах жизнедеятельности животных. Азот выделяется в форме мочевины или мочевой кислоты в моче животных и птиц, а также в составе сложных органических соединений в помете. При разложении данных соединений азот выбрасывается в основном в форме аммония и аммиака. Соотношение между этими соединениями зависит от кислотности среды; при повышении pH увеличивается доля аммиака, а следовательно, и его выбросы. Вклад животноводства в сельскохозяйственные выбросы аммиака в среднем по Европе составляет 83 % [5].

Выбросы от животноводства условно можно разделить на две части: выбросы непосредственно от мест содержания животных и выбросы от обращения с навозом (уборка, хранение, использование в качестве удобрений).

Выбросы аммиака от содержания животных зависят от большого количества факторов, в том числе:

содержания азота в корме;

вида, возраста и производительности животного (удой, вес);

доли азота, переходящего из корма в продукцию (молоко, мясо, яйца и др.), что определяет концентрацию азота в экскрементах;

системы содержания животных, включая методы хранения навоза внутри зданий;

климатических условий (как внутри здания, так и снаружи), например температуры и влажности;

периода времени, проводимого животными внутри и вне зданий (выпас).

Выбросы аммиака от обращения с навозом зависят от следующих факторов:

систем уборки/хранения навоза вне зданий;

методов внесения навоза, поверхности почвы;

свойств животноводческих отходов, включая вязкость, содержание аммонийного азота и pH;

метеорологических условий, включая осадки, температуру, влажность, скорость ветра;

методов и частоты использования животноводческих отходов, в том числе для пахотных земель, времени между внесением и запашкой;

высоты и густоты растительности.

В настоящее время при описании выбросов аммиака от животноводства чаще всего используют удельные показатели выбросов, характеризующие как содержание животных, так и процессы обращения с навозом. В последнее время все больше развивается подход, основанный на разделении этих процессов (например, метод N-потока). В табл. 1 представлен диапазон удельных показателей выбросов аммиака в атмосферу от животноводства (эти показатели учитывают все процессы животноводства – от содержания животных до использования навоза в качестве удобрений).

Как видно из табл. 1, удельные выбросы с учетом всех стадий – от содержания животных до внесения органических удобрений – могут различаться в 10 и более раз.

**Использование удобрений.** Выбросы аммиака от использования минеральных удобрений связаны с неполным усвоением растительностью азотсодержащих удобрений. Это второй по значимости сельскохозяйственный источник поступления аммиака в атмосферу, вклад которого в сельскохозяйственные выбросы в среднем по Европе составляет 17 % [5].

Выбросы аммиака от внесения азотных удобрений выражаются как процентная доля потерь азота в виде аммиака от содержания азота в использованных удобрениях и лежат в пределах от 1 до 15 %. В табл. 2 приведены удельные показатели выбросов для наиболее распространенных видов удобрений [5].

Выбросы аммиака от внесения минеральных удобрений зависят не только от типа удобрений, но и от метода их внесения, типа почвы и климатических условий. Так, выбросы аммиака от использования одного типа удобрения в различных климатических зонах могут меняться в пределах 5 % [11].

**Компостирование.** В последнее время объем компостируемых отходов увеличивается, что обусловлено необходимостью снижения количества отходов, размещаемых на свалках. Компостирование включает аэробные и анаэробные биологические процессы. В результате анаэробного разложения образуются такие соединения, как метан, аммиак, восстановленные соединения серы и летучие органические соединения.

В зависимости от состава компостируемых отходов выбросы аммиака могут составлять от 0,15 до 1,5 кг/т отходов в год. Для территорий с интенсивным сельским хозяйством вклад компостирования может составлять до 4 % валового выброса аммиака [13].

**Таблица 1. Удельные показатели выбросов аммиака для различных категорий животных, кг/голову [11]**

Категория источника	Диапазон удельных показателей выбросов
Молочные коровы	43–101
Прочий крупный рогатый скот	18–103
Свиньи	2,4–24
Овцы	0,88–3,3
Лошади	11–44
Птицы	0,22–0,71

**Таблица 2. Удельные показатели выбросов аммиака при выращивании сельскохозяйственных культур с использованием удобрений, % потерь азота в виде аммиака**

Вид удобрений	Удельный показатель выбросов
Азотные удобрения в целом	5
Нитрат аммония	2
Сульфат аммония	8
Мочевина	15
Комплексные удобрения	2

**Сжигание топлива.** Аммиак выбрасывается при сжигании топлива как побочный продукт неполного сгорания и при использовании установок селективного каталитического и селективного некatalитического восстановления для снижения выбросов оксидов азота [15].

Для оценки выбросов от сжигания топлива применяются удельные показатели выбросов, выраженные на единицу используемого топлива (табл. 3). Как видно из табл. 3, при использовании таких установок по снижению выбросов оксидов азота выбросы аммиака резко увеличиваются.

**Таблица 3. Удельные показатели выбросов аммиака при сжигании топлива, кг/т топлива [5, 15]**

Вид топлива	Удельный показатель выбросов		
	Без систем очистки выбросов	Селективное каталитическое восстановление	Селективное некаталитическое восстановление
Уголь	0,01	6,2	12,6
Дрова	0,01	10,3	2,9
Торф	0,01	нет данных	нет данных

К одним из значимых источников выбросов аммиака в пределах города относится транспорт. Основной причиной увеличения выбросов аммиака от транспорта является установка катализических конверторов для снижения выбросов NO<sub>x</sub>. Выбросы аммиака от передвижных источников зависят в первую очередь от технологии контроля выбросов, а также от типа топлива и параметров двигателя. Вклад выбросов аммиака от передвижных источников на уровне города может достигать 48 % [13].

**Промышленность.** К промышленным источникам относятся производство минеральных удобрений и аммиака, производство нитрата аммония, переработка нефти, бумаги и целлюлозы, производство цемента. Аммиак выбрасывается в первую очередь вследствие потерь в производственных процессах.

Производство аммиака и азотных удобрений является одним из основных промышленных источников выбросов аммиака. Объем поступления аммиака в атмосферу от предприятия по производству удобрений зависит от профиля завода, времени его действия, наличия и типа очистного оборудования, а также типа технологического процесса. Аммиак может выбрасываться на различных стадиях производства удобрений, например при превращении аммиака в азотную кислоту, при образовании нитрата аммония, от резервуаров для охлаждения и сушки, в конце производственного процесса [15]. Выбросы от предприятий по производству удобрений лежат в пределах от 0,01 до 12,5 кг/т произведенных удобрений и зависят от ряда факторов: профиля предприятия, продолжительности его функционирования, установок по снижению выбросов, типа технологического процесса. Удельные показатели выбросов для производства различных удобрений представлены в табл. 4.

**Таблица 4. Удельные показатели выбросов аммиака для производства азотсодержащих соединений, кг/тыс. т N [15]**

Вид удобрений	Диапазон удельных показателей выбросов
Аммиак	0,6–1,3
Нитрат аммония	0,01–1,75
Азотные минеральные удобрения	0,01–12,5
Азотная кислота	0,01–0,23
Мочевина	0,5–9,33

**Прочие источники.** Источниками аммиака являются также использование продукции, содержащей аммиак; очистка сточных вод; захоронение бытовых отходов и человек.

Аммиак – единственный хладагент, который не входит в группу галоидоуглеродов, ис-

пользуемую в настоящее время в больших количествах. Из-за превосходных тепловых характеристик аммиак является доминирующим хладагентом в пищевой промышленности [2]. Выбросы аммиака от охлаждения происходят в результате утечек при монтаже, эксплуатации и демонтаже холодильных установок. Утечки выражаются как доля рабочего количества охладителя. В некоторых странах аммиак добавляется в краски на водной основе (например, латекс) для корректировки кислотности [13].

Выбросы аммиака при очистке сточных вод происходят при абсорбировании свободных водных (неионизированных) форм аммиака из сточных вод. Количество аммиака в этих формах зависит от кислотности и температуры [13]. Вклад данного источника в валовые выбросы аммиака составляет около 2 % [15].

Бытовые отходы содержат значительное количество азота, часть которого выбрасывается в виде аммиака. Выбросы азота составляют около 7,3 % потерь метана от свалок; примерно 10 % этого азота может выбрасываться в виде аммиака [15].

У человека аммиак выделяется в результате обычных процессов метаболизма (дыхание, пот, выделения). Оценки выбросов от этого источника варьируют от 0,04 до 1,3 кг/человека в год.

**Выбросы аммиака на территории Беларуси по данным статистической отчетности.** Методология учета и инвентаризации выбросов аммиака, как и других загрязняющих веществ, в странах СНГ на национальном уровне в настоящее время базируется на подходе «снизу-вверх», т. е. основана на суммировании выбросов от единичных источников. Такая форма отчетности была введена в начале 1970-х гг. в СССР; основные ее элементы сохранились во всех странах СНГ и до сих пор.

Основным источником информации о выбросах аммиака, как и других загрязняющих веществ, является годовой отчет, предоставляемый предприятиями по форме № 2-ос (воздух). Данные отчетов обобщаются в Министерстве статистики и анализа по городам, отраслям, министерствам и по стране в целом.

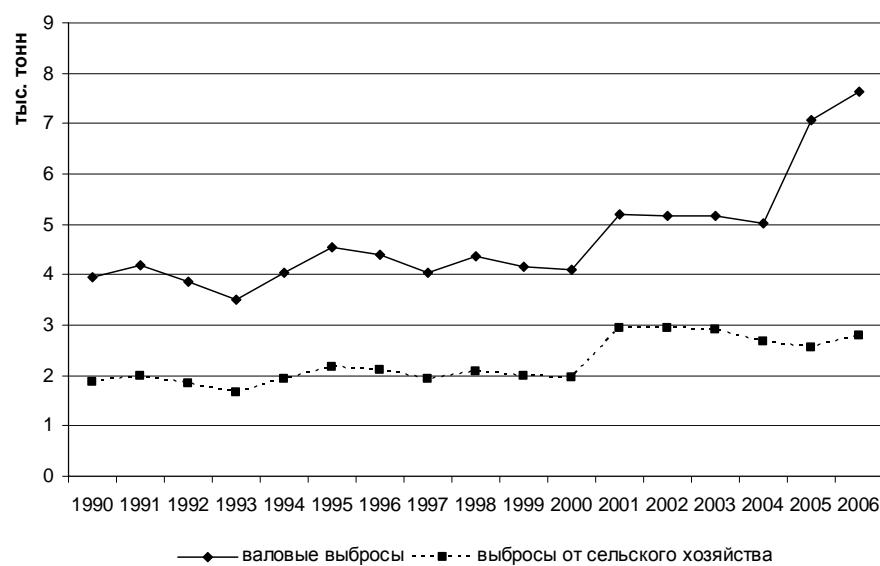
В 2006 г. из общего объема выбросов аммиака, равного согласно статистическим данным, 7,6 тыс. т, 36,5 % приходилось на сельское хозяйство, 40,9 % – на промышленность, 21,6 % – на жилищно-коммунальный сектор (табл. 5). В сельском хозяйстве основной выброс приходится на птицеводство. В промышленности основной вклад в выбросы аммиака вносит химическая и нефтехимическая (55,6 % выбросов промышленного комплекса), а также пищевая промышленность (33,2 %).

**Таблица 5. Выбросы аммиака на территории Республики Беларусь в 2006 г. (по данным Министерства статистики и анализа), тыс. т**

Источник	Выбросы
Промышленность (всего)	3,127
Электроэнергетика	0,028
Топливная промышленность	0,096
Черная металлургия	0,002
Химическая и нефтехимическая промышленность	1,740
Машиностроение и металлообработка	0,102
Лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность	0,048
Промышленность строительных материалов	0,003
Стекольная и фарфоро-фаянсовая промышленность	0,014
Легкая промышленность	0,021
Пищевая промышленность	1,038
Другие промышленные производства	0,035
Сельское хозяйство	2,789
Животноводство	2,756
Птицеводство	2,305
Транспорт и связь	0,008
Строительство	0,008
Жилищно-коммунальное хозяйство	1,649
Прочие отрасли народного хозяйства	0,057
<b>Всего</b>	<b>7,638</b>

Выбросы аммиака, по статистическим данным с 1990 по 2006 г., изменились от 3,5 до 7,6 тыс. т (рис. 1). Выбросы от сельского хозяйства в этот период составляли от 36 до 57 % валовых выбросов; однако с учетом удельных по-

казателей выбросов, описанных выше, и поголовья скота и птицы можно сделать вывод, что данные статистики по выбросам аммиака от сельского хозяйства неполны.



**Рис. 1. Динамика выбросов аммиака в Беларуси по данным статистической отчетности**

**Инвентаризация выбросов аммиака по методологии Программы ЕМЕП.** Для информационного обеспечения моделирования переноса и рассеяния аммиака; оценки рисков, связанных с поступлением аммиака в атмосферу; разработки планов действий по снижению выбросов аммиака и предотвращению негативных последст-

вий важна точность данных об источниках и уровнях поступления аммиака в атмосферный воздух. В связи с этим нами проведена инвентаризация выбросов аммиака. Использованы методология Программы ЕМЕП и удельные показатели, приведенные в Руководстве по инвентаризации выбросов в атмосферу ЕМЕП/КОРИНЭЙР

(2006), а также в ряде других изданий [13, 15]. Расчет выбросов осуществлялся с использованием производственно-статистических данных Министерства статистики и анализа.

Оценивались следующие источники выбросов: процессы сжигания топлива (в энергетике, перерабатывающей промышленности, в частном секторе), дорожный транспорт и другие передвижные источники, обработка и накопление отходов, человек, сельское хозяйство. Данные о выбросах аммиака от производственных процес-

сов были взяты из статистического отчета по выбросам по форме №2-ос (воздух); в целом источники данной категории составляют незначительную долю от общих выбросов аммиака (порядка 6 %).

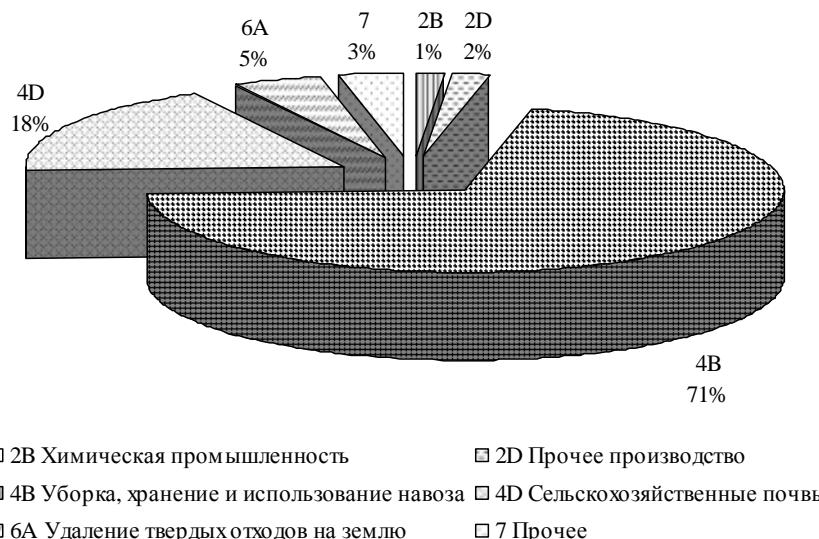
**Результаты инвентаризации.** Итоговые значения выбросов аммиака в 2006 г. на территории Республики Беларусь в разрезе категорий источников НПО (Номенклатура предоставления отчетности) приведены в табл. 6. Выбросы аммиака в 2006 г. составили 133,7 тыс. т.

**Таблица 6. Выбросы аммиака в Республике Беларусь в 2006 г. по категориям НПО, тыс. т**

Категория источника по НПО	Источник	Выбросы
1A2	Обрабатывающая промышленность и строительство	0,021
1A3b	Автомобильный транспорт	0,014
1A3c	Железнодорожный транспорт	0,002
1A4a	Коммерческий/Институциональный сектор	0,004
1A4b	Жилой сектор	0,022
1A4c	Сельское хозяйство/Лесное хозяйство/Рыболовство	0,005
1B2	Нефть и природный газ	0,096
2B	Химическая промышленность	1,740
2C	Производство металлов	0,102
2D	Прочее производство	2,892
4B	Уборка, хранение и использование навоза	94,471
4D	Сельскохозяйственные почвы	23,965
6A	Удаление твердых отходов на землю	6,120
6D	Прочие отходы	4,224
<b>Всего</b>		<b>133,678</b>

По итоговым данным выбросы от сельского хозяйства значительно превышали данные статистической отчетности и составляли в 2006 г. 118,4 тыс. т. Основной вклад в поступление аммиака в окружающую среду внесла такая катего-

рия источников, как «Уборка, хранение и использование навоза» (71 % общих эмиссий). Следующим по значению источником аммиака является категория «Сельскохозяйственные почвы» (18 % общего выброса) (рис. 2).



**Рис. 2. Основные источники выбросов аммиака на территории Беларуси по категориям НПО**

В животноводстве основным источником выбросов аммиака является выращивание молочных коров (39 % выбросов животноводства) и прочего рогатого скота (32 %) (рис. 3).

*Тренды выбросов аммиака.* Оценка выбросов аммиака по агрегированным категориям источников за период с 1990 по 2006 г. представлена на рис. 4.

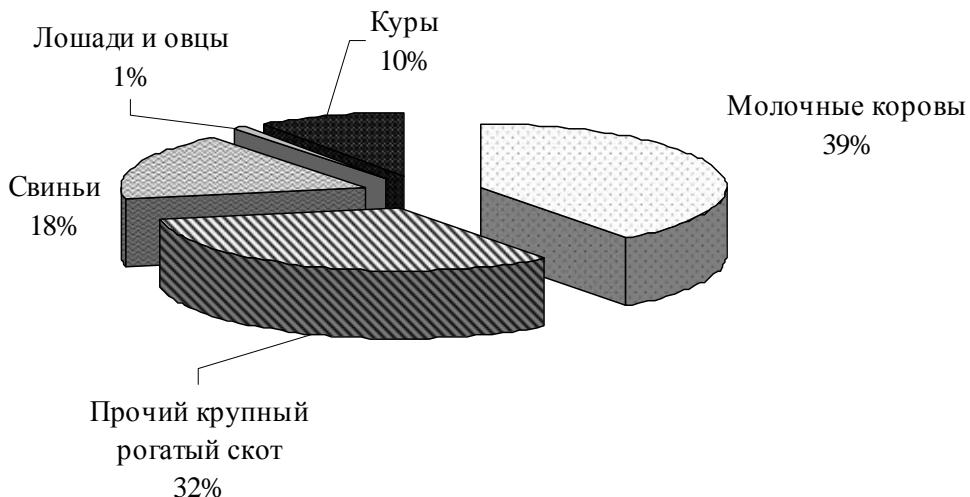


Рис. 3. Структура выбросов аммиака от животноводства на территории Беларуси

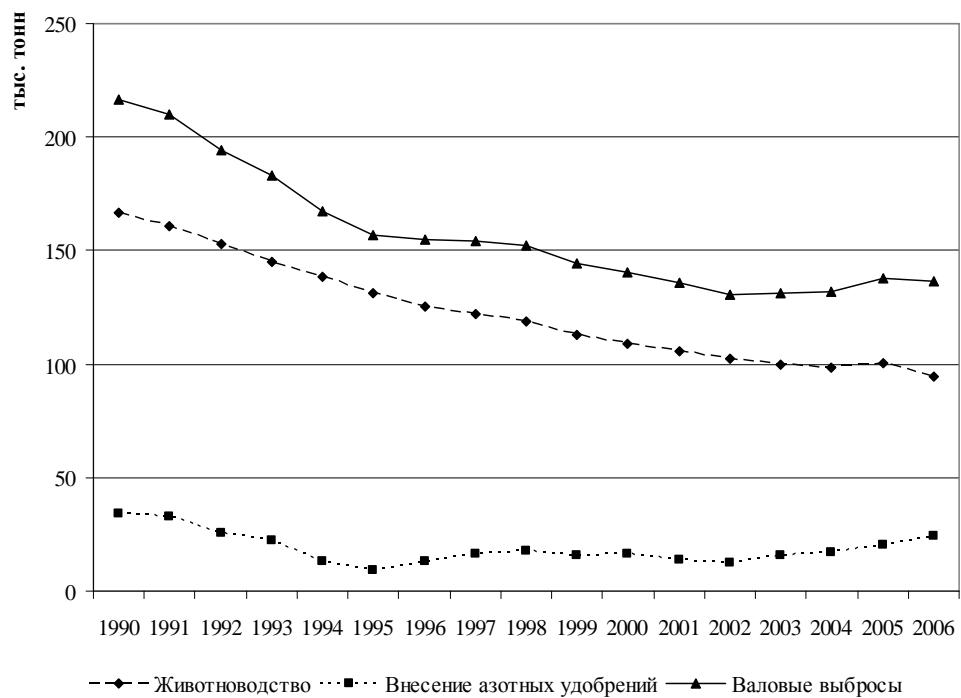


Рис. 4. Динамика выбросов аммиака на территории Беларуси за период 1990–2006 гг.

За этот период выбросы аммиака достигали максимального уровня в 1990 г. (214,9 тыс. т). К 1995 г. они снизились до 154,5 тыс. т, в первую очередь вследствие сокращения поголовья скота

и снижения использования минеральных удобрений. Снижение выбросов продолжалось и в последующие годы, но более медленными темпами, и достигло минимальных значений в

2003 г. (120,3 тыс. т). В последующие годы отмечается некоторый рост выбросов аммиака (в 2005 г. они составили 135,5 тыс. т – 63 % уровня 1990 г.).

Выбросы от животноводства за рассматриваемый период снизились с 167 до 94 тыс. т, что обусловлено уменьшением поголовья крупного рогатого скота и овец. Выбросы от использования минеральных удобрений колебались в пределах от 9,37 до 34,2 тыс. т, с минимумом в 1995 г. и максимумом в 1990 г.

*Сравнение полученных данных с уровнями выбросов аммиака в других странах.* В 2006 г. выбросы аммиака в Европе, согласно отчетности по Программе ЕМЕП, достигли 4,5 млн т; вклад Беларуси в валовые выбросы в Европе составил 3 %.

Максимальный объем выбросов аммиака приходится на страны с развитым сельским хозяйством – Францию (740,1 тыс. т), Германию (620,8 тыс. т), Испанию (424,3 тыс. т), Италию (408,5 тыс. т). Беларусь занимает 9-ю позицию по выбросам аммиака в Европе (рис. 5).

Указывается [12], что выбросы аммиака в Европе после принятия Женевской конвенции сократились в среднем на 20 %; наибольшее сокращение характерно для стран Восточной Европы, в то время как в остальной части Европы сокращение не превышало в среднем 10 %. Около 65 % стран сократили выбросы аммиака в соответствии с установленными потолками; для достижения региональных потолков необходимо сокращение еще на 3 %.

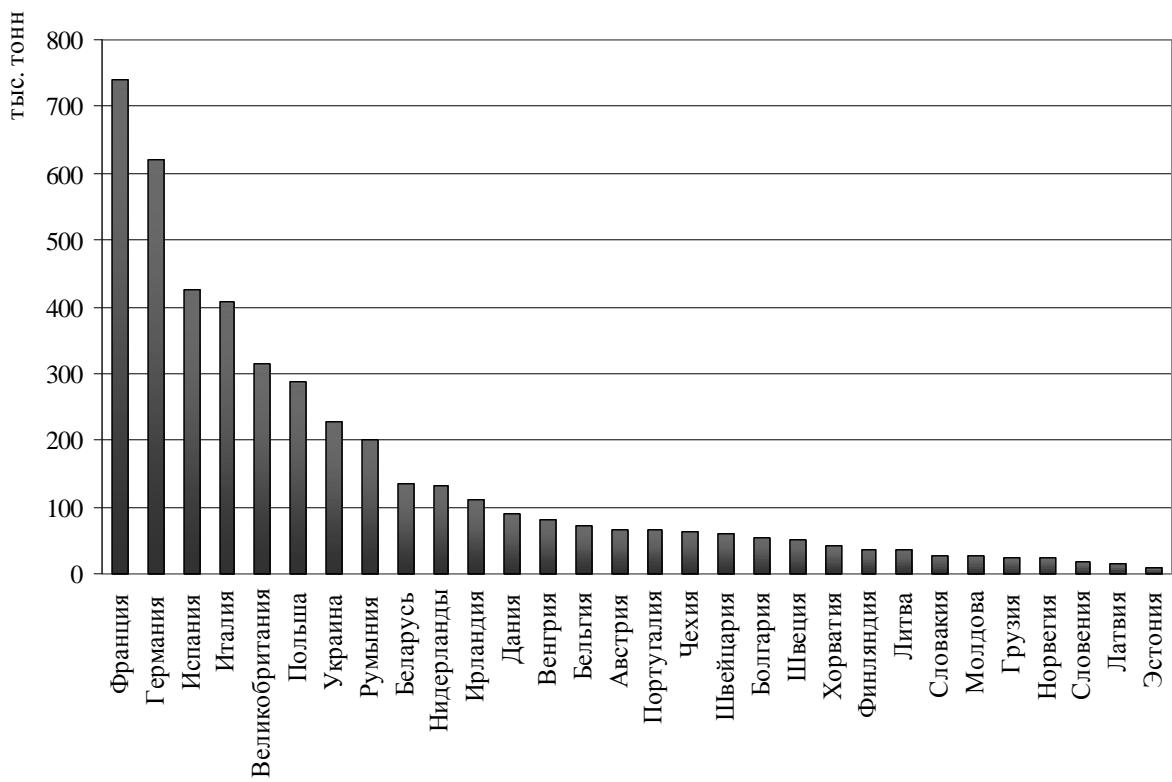


Рис. 5. Выбросы аммиака в странах Европы в 2006 г. (данные Программы ЕМЕП)

Проведенная инвентаризация источников выбросов аммиака позволила существенно дополнить имеющиеся данные. Показано, что выбросы аммиака на территории Беларуси снижались на протяжении 1990-х гг. Сокращение к 2006 г. составило 37 %, что превышает среднее для Европы (около 20 %). В то же время это сокращение было обусловлено в первую очередь снижением поголовья скота и объемов использо-

вания минеральных удобрений, а не мероприятиями по снижению выбросов. Также стоит отметить, что в последние годы наметился некоторый рост выбросов аммиака.

Территориальная структура поступления аммиака в атмосферу весьма неоднородна и в районах размещения крупных животноводческих комплексов существенно превышает средние уровни.

В основном диффузный характер источников поступления аммиака делает сокращение его выбросов весьма сложным. Главный источник выбросов аммиака в Беларуси, как и в других странах Европы, – сельское хозяйство, в первую очередь животноводство, поэтому основные возможности снижения выбросов аммиака связаны с этим сектором. В качестве мероприятий по сокращению выбросов аммиака можно предложить заделку органических удобрений непосредственно после их разбрасывания на почву, оборудование закрытых навозохранилищ, более

эффективное использование минеральных удобрений и т. п.

Необходимо совершенствование учета источников аммиака и улучшение качества отчетности в части, касающейся выбросов аммиака. Важным является дальнейшее исследование источников поступления аммиака для разработки методов снижения его выбросов с учетом требований Гетеборгского протокола к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния.

*Работа выполнена в рамках задания 1.13 ГНТП «Экологическая безопасность».*

### Л и т е р а т у р а

1. **Моисеенко Т. И.** Закисление вод. Факторы, механизмы и экологические последствия. М., 2003.
2. Параметры R-717 (аммиак) [Электронный ресурс] / ООО «ХолодПроСервис». М., 2007. Режим доступа: <http://www.hardholod.ru/coolant/parametry-r717-ammiak>. Дата доступа 4.01.2009.
3. Правила безопасности для надземных складов жидкого аммиака и аммиака водного: утв. Госпроматомнадзор Республики Беларусь 07.07.1994. Мн., 2004.
4. Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест: Гигиенические нормативы 2.1.6.12-46-2005: утв. пост. Гл. государственного врача РБ 19.12.05. №231 // Сб. офиц. док. по коммунальной гигиене / Министерство здравоохранения РБ. Ч. 5. Мн., 2006.
5. Руководство инвентаризации выбросов ЕМЕП/КОРИНЭЙР / Европейское агентство по охране окружающей среды. Копенгаген, 2006.
6. **Сергейчик С. А.** Устойчивость древесных растений в техногенной среде. Мн., 1994.
7. Состояние природной среды Беларусь: Экол. бiol. 2006 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. Мн., 2007.
8. AirBase – the European Air Quality database [Electronic resource] / EioNET. Netherlands, 2009. Mode of access [http://air-climate.eionet.europa.eu/databases/airbase/index\\_html](http://air-climate.eionet.europa.eu/databases/airbase/index_html). Date of access: 14.12.2008.
9. Air Occupational IPCS International Programme on Chemical Safety Health and Safety Guide No. 37 Ammonia Health and Safety Guide [Electronic resource] / World Health Organization. Geneva 1990. Mode of access <http://www.inchem.org/documents/hsg/hsg/hsg037.htm#SectionNumber:6.1>. Date of access: 15.12.2008.
10. AmmoniaEnvironmental Health Criteria 54 / WHO, 1986.
11. **Chinkin L. R.** Recommended Improvements to the CMU Ammonia Emission Inventory Model for Use by LADCO / L. R. Chinkin, P. A. Ryan, D. L. Coe. Petaloma: Sanoma Technology Inc., 2003.
12. EMEP Assessment Report / Meteorological Synthesizing Centre. West., 2005.
13. Estimating Ammonia Emissions From Anthropogenic Nonagricultural Sources: Draft Final Report April 2004 / Prepared by: Stephen M. Roe [et all]. EPA., 2004.
14. **Kimpe Ch., Lillyman C.** Report of the 1<sup>st</sup> Workshop on the Science of Agriculturally Produced Gas-phase Ammonia. Canada, 2003.
15. **Klimot Z., C. Brink.** Modeling of Emissions of Air Pollutants and Greenhouse Gases from Agricultural Sources in Europe. Luxenburg: IASA, 2004.
16. Public Health Statement Ammonia / Agency for Toxic Substances and diseases. 2004.
17. Research and Development of Ammonia Emission Inventories for the Central States Regional Air Planning Association / St. B. Reid [et all] Petaloma: Sanoma Technology Inc., 2004.
18. Working Group 2: Making the Link Between Ammonia Emissions Concentrations and Deposition / M. A. Sutton // UNECE Ammonia Expert Group Proceedings, Berne, 18-20 Sept 2000. / Swiss Agency for Environment, Forest and Landscape, Bern; Eds: Menzi H. Bern, 2001. P. 19–34.

**С. В. Какарека, А. В. Мальчихина**

**ИСТОЧНИКИ И УРОВНИ ПОСТУПЛЕНИЯ АММИАКА  
В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

Статья посвящена характеристике источников и оценке поступления аммиака в окружающую среду на территории Беларуси. Описаны основные риски, связанные с поступлением аммиака в атмосферный воздух: образование тонкодисперсных взвешенных частиц, закисление, эутрофикация, воздействие на человека. Приведены нормативы содержания аммиака в атмосферном воздухе. Описаны источники поступления аммиака в атмосферный воздух с указанием удельных показателей выбросов. Проведен анализ данных статистической отчетности по выбросам аммиака. Описана методология инвентаризации выбросов аммиака Программы ЕМЕП.

Авторами выполнена оценка выбросов аммиака в 1990–2006 гг., которая позволила существенно дополнить статистические данные по выбросам аммиака. Показано, что выбросы аммиака на территории Беларуси снижались на протяжении 1990-х гг. Сокращение к 2006 г. составило 37 %, что превышает среднее для Европы (около 20 %). В то же время это сокращение было обусловлено в первую очередь снижением поголовья скота и объемов использования минеральных удобрений, а не мероприятиями по снижению выбросов.

Основной источник выбросов аммиака в Беларуси, как и в других странах Европы – сельское хозяйство, в первую очередь животноводство. В связи с этим основные возможности снижения выбросов аммиака также связаны с этим сектором. В качестве мероприятий по снижению выбросов аммиака можно предложить более эффективное использование минеральных удобрений, заделку органических удобрений непосредственно после их разбрасывания на почву, оборудование закрытых навозохранилищ, более эффективное использование минеральных удобрений и т. п.

**S. V. Kakareka, A. V. Malchykhina**

**AMMONIA EMISSIONS SOURCES AND  
EMISSIONS LEVEL INTO ENVIRONMENT IN BELARUS**

*The article is devoted to ammonia emission sources and ammonia emission inventory in Belarus environment. The main risks connected to ammonia emissions to atmosphere are described. These risks are particulate matter formation, acidification, and eutrophication, impact on a man. The limits of air contamination by ammonia are shown.*

*The ammonia emission sources are described with indication of emission factors. The analysis of emission statistical data for Belarus was made. The EMEP methodology on emission assessment is outlined.*

*Authors made the ammonia emission inventory for 1990–2006 years. Current level of emission is 133.7 thousand tons. The main source of ammonia emissions is agriculture; it contributes around 70 % to total emissions. The inventory allowed to improve existing statistical emission data. It has been shown that ammonia emissions in Belarus have been reduced in 1990-s; by 2006 year the reduction was 37 %. This value exceeds mean reduction across the Europe, which is 20 %. It should be mentioned that the reduction of ammonia emission in Belarus was due to decreasing livestock population and mineral fertilizers consumption, rather than abatement of techniques implementation.*

*As in Europe, main source of ammonia in Belarus is a livestock. Due to this, main opportunities to reduce emission relate to this source. The primary abatement measures include: maintenance of closed store manure, tillage right after manure spreading, effective use of mineral fertilizers, etc.*

**О. В. Лукашёв, В. М. Натаров, В. В. Савченко,  
Н. Г. Лукашёва, С. В. Савченко, Д. Л. Творонович-Севрук**

## ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД И РЕЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ БЕРЕЗИНСКОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

*Дана оценка эколого-геохимического состояния озерных и речных вод и речных отложений на территории ГПУ «Березинский биосферный заповедник» по данным опробования 2008 г. Установлено, что гидрохимические показатели водных объектов в весенний и летний период имеют значительные различия. В летний период наблюдается рост pH и общей минерализации за счет повсеместного увеличения концентрации  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{HCO}_3^-$ , а также снижение содержания ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{NO}_3^-$ . В донных отложениях р. Березины отмечено накопление за последние 10 лет Ti, Ni, Cu, Zr, Ba, Pb при снижении средней концентрации Cr, Mn и Y.*

В рамках задания ГНТП «Экологическая безопасность»<sup>1</sup> впервые за последнее десятилетие выполнено детальное геохимическое опробование территории Березинского биосферного заповедника. Отобраны воды и донные отложения ряда рек (Березина, Красногубка, Можанка, Смолянка, Бузянка) и озер (Палик, Пострежское), начато опробование почв и растительности по сети 2×2 км. В настоящей статье представлены основные результаты изучения вод и донных отложений р. Березины и ее притоков на основе данных, полученных в весенне-летний период 2008 г.

В водных пробах определялись pH, макрокомпонентный состав ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ), а также Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Hg, Pb. Химический анализ вод (макро- и микроэлементы) производился в Центральной лаборатории РУП «Белгеология» по стандартным методикам.

В пробах донных отложений и взвесях методом эмиссионного спектрального анализа определялись Be, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Ag, Ba, Yb, Pb и ряд других микроэлементов. Анализ проводился в Лаборатории физико-химических методов Института геохимии и геофизики НАН Беларусь.

**Речные воды.** Оценка гидрохимических параметров водных объектов на территории заповедника показала, что их химический состав существенно отличается и зависит от ряда факторов, определяемых местоположением, гидрологическим режимом, характером подстилающих пород, наличием или отсутствием источника загрязнения и т. д.

Состояние речных вод р. Березины в границах Березинского биосферного заповедника обусловлено тем, что основное количество загрязняющих веществ поступает в водоток далеко за пределами заповедной территории, главным образом ниже впадения р. Свисочи (32,77 млн м<sup>3</sup> сточных вод по данным 2006 г.) и ниже г. Светлогорска (56,32 млн м<sup>3</sup>) [7]. Вместе с тем водосбор верховья реки в зоне заповедника находится в густонаселенной местности с развитым сельскохозяйственным производством, что также может оказывать существенное влияние на гидрохимический режим реки.

Согласно данным регулярных мониторинговых наблюдений на участке 0,5 км выше н. п. Броды [8], расположенного в центральной части заповедника, пределы содержания приоритетных загрязняющих веществ в 2007 г. составили: азот аммонийный – 0,05–0,76 мгN/дм<sup>3</sup>, азот нитритный – 0,007–0,015 мгN/дм<sup>3</sup>, азот нитратный – 0,69–3,18 мгN/дм<sup>3</sup>, фосфор фосфатный – 0,005–0,022 мгP/дм<sup>3</sup>. В целом воды р. Березины в указанном пункте наблюдений могут быть классифицированы как «относительно чистые».

Данные о химическом составе поверхностных вод остальной части территории Березинского биосферного заповедника относятся к началу 1980-х [3] и середине 1990-х гг. (фоновые материалы заповедника).

Состав поверхностных вод Березинского биосферного заповедника формируется в условиях развития хорошо промытых, бедных растворимыми минеральными веществами четвертичных отложений и высокой заболоченности территории, что определяет низкий уровень минерализации этих вод [3]. Установленные пределы колебания минерализации составили 30,1–340,5 мг/дм<sup>3</sup> – для речных, 55,4–277,1 мг/дм<sup>3</sup> – для озерных вод. Питание р. Березины и ее притоков осуществляется за счет поверхностного стока болотных вод и подтока грунтовых вод. От их соотношения зависит химический состав кон-

<sup>1</sup> НИР 5.2 «Оптимизировать сеть научных стационаров и выполнить комплексную эколого-геохимическую оценку природных систем Березинского биосферного заповедника как территории фонового комплексного экологического мониторинга Республики Беларусь. Разработать маршруты экологического туризма» (2007–2010 гг.)

крайних водных проб. Следует также отметить, что заболоченность и залесенность территории Березинского биосферного заповедника способствуют поступлению в водоемы и водотоки большого количества органических веществ, в основном гумусового происхождения, которые придают водам желтую и темно-бурую окраску.

По классификации О. А. Алекина [1], воды рек бассейна р. Березины относятся к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, II типу, малой и средней минерализации. Основными ионами являются  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . Характерно низкое содержание  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , преобладание  $\text{Na}^+$  над  $\text{K}^+$ .

В 1981–1982 гг. в водах водных объектов Березинского биосферного заповедника был изучен ограниченный ряд микроэлементов (Ti, V, Mn, Ni, Cu, Mo, Pb) [3]. Результаты исследований свидетельствуют о том, что содержание перечисленных металлов в водах р. Березины не превышает соответствующих величин нормального геохимического поля Центральной геохимической провинции Беларуси [2, 6]. При интерпретации полученных данных В. А. Кузнецова и Л. М. Фоменко пришли к выводу, что на содержание большинства металлов существенное влияние оказывает вид дренируемых пород. Так, правые притоки р. Березины (Ускромский канал, реки Студенка и Мрай), дренирующие четвертичные отложения, представленные в основном разнозернистыми песками, супесями, галечником, имеют более низкие концентрации всех изученных элементов, чем левые притоки, дренирующие в основном болотные отложения.

Исследования 2008 г. позволили обновить и расширить представление о геохимических особенностях территории заповедника. Посезонное опробование (апрель, август; в течение 2 дней) речных и озерных вод и содержащихся в них взвесей проводилось на 9 стационарных пунктах наблюдений, приуроченных к следующим водным объектам: р. Березина (пункты отбора: д. Березино, д. Броды, выше оз. Палик); оз. Палик (центральная часть водоема); устье р. Красногубки (частично «болотная» река); устье р. Можанки (в зоне воздействия Бегомльской мелиоративной системы); р. Бузянка (пункт отбора у моста на шоссе Минск–Витебск); р. Смолянка («болотная» река); оз. Пострежское.

Как показал анализ полученных результатов, в весенний период 2008 г. величина pH, содержание  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  и значения общей минерализации вод р. Березины на территории заповедника уменьшались вниз по течению реки. Существенные отклонения от среднего для водных объектов заповедника состава вод отмечены только для малых «болотных» рек – Красногубки и Смолянки. Для них характерны относительно низкая величина pH (6,10 и 6,25 соответственно), что позволяет отнести воды этих рек к группе слабокислых, и существенно пониженное содержание большинства макрокомпонентов (за исключением  $\text{NH}_4^+$ ). Минимальные значения всех показателей макросостава вод выявлены в оз. Пострежском, расположенном в пределах верхового болота (табл. 1).

**Таблица 1. Содержание макрокомпонентов в водах водоемов и водотоков Березинского биосферного заповедника в весенний период, мг/дм<sup>3</sup>**

Водный объект, участок отбора проб	Макрокомпоненты, мг/дм <sup>3</sup>										$\Sigma_M$	
	pH	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{HCO}_3^-$		
р. Березина	д. Березино	7,55	3,8	1,5	0,2	55,5	15,2	8,1	28,0	17,2	192,2	0,05
	н. п. Броды	7,25	3,6	1,0	0,2	39,2	10,6	6,0	28,4	7,9	128,1	< 0,01
	выше оз. Палик	7,10	3,2	0,9	0,4	32,7	6,6	5,5	< 2,0	5,3	12,2	< 0,01
оз. Палик		7,30	3,6	1,0	0,4	35,9	7,9	6,0	18,5	2,9	145,9	< 0,01
р. Красногубка		6,10	1,3	0,3	1,2	12,0	4,0	3,5	23,0	3,5	23,0	0,02
р. Можанка		7,55	5,2	2,0	0,2	47,9	15,9	11,6	23,0	13,7	180,0	0,03
р. Бузянка		7,15	3,2	0,6	0,2	19,6	4,6	4,0	8,2	1,4	76,3	< 0,01
р. Смолянка		6,25	1,8	0,1	1,2	6,5	2,6	3,0	2,1	3,0	39,6	0,03
оз. Пострежское		5,60	1,3	0,4	0,7	4,4	1,3	2,0	< 2,0	2,2	18,3	< 0,01
											32,6	

Во второй половине лета 2008 г. наблюдавшаяся в весенний период картина распределения основных компонентов гидрохимического состава существенно изменилась (табл. 2). Во всех пробах воды отмечен рост величины pH, при этом воды р. Березины и оз. Палик, по классификации [4], из группы нейтральных перешли в слабощелочные, рек Красногубки и Смолянки –

из слабокислых в нейтральные, оз. Пострежского – из слабокислых в слабощелочные. Во всех исследованных водных объектах (кроме р. Можанки) выросла общая минерализация воды: в р. Красногубке – в 2,5 раза, р. Смолянке – 3,8, оз. Пострежском – в 3,7 раза. Меньшие колебания общей минерализации характерны для вод верхнего и среднего течения р. Березины в пре-

делах заповедника – 1,3 и 1,6 раза соответственно. Прирост общей минерализации в большинстве случаев произошел за счет повсеместного увеличения концентрации  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{HCO}_3^-$

( $\text{HCO}_3^-$  положительно коррелирует с ростом величины pH). С другой стороны, содержание ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  (в 7 случаях из 9) и  $\text{NO}_3^-$  (практически во всех водных объектах) уменьшилось в  $n$  раз.

**Таблица 2. Содержание макрокомпонентов в водах водоемов и водотоков Березинского биосферного заповедника в летний период, мг/дм<sup>3</sup>**

Водный объект, участок обзора проб	Макрокомпоненты, мг/дм <sup>3</sup>										$\Sigma M$		
	pH	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{HCO}_3^-$			
р. Березина	д. Березино	7,90	5,7	1,8	0,45	69,5	19,1	10,3	19,8	1,8	268,4	0,04	413,7
	н. п. Броды	8,03	5,6	1,5	0,4	65,2	16,5	9,2	11,9	2,8	250,1	< 0,01	363,3
	выше оз. Палик	7,88	5,0	1,0	0,5	60,8	15,8	9,2	11,5	1,9	231,8	< 0,01	337,6
оз. Палик		8,12	4,2	0,7	1,0	53,2	12,5	8,6	4,5	0,4	201,3	< 0,01	286,6
р. Красногубка		7,35	3,1	0,5	1,0	30,4	10,5	6,8	< 2,0	1,8	122,0	0,01	176,4
р. Можанка		8,37	6,1	1,5	0,1	52,1	12,5	11,4	8,6	3,9	195,2	0,03	294,5
р. Бузянка		7,35	3,1	< 0,5	1,2	25,0	7,2	4,6	< 2,0	0,2	109,8	< 0,01	150,6
р. Смолянка		7,15	1,8	< 0,5	1,2	45,6	7,9	9,2	< 2,0	2,0	152,5	0,02	226,1
оз. Пострежское		7,92	1,3	< 0,5	1,3	21,7	< 0,5	5,6	< 2,0	0,6	54,9	< 0,01	86,5

Похожая на распределение макрокомпонентов картина наблюдалась весной 2008 г. и в отношении микроэлементов (табл. 3). Максимальное содержание растворенных Ni, Zn и Pb установлено в воде р. Березины при входе на территорию заповедника. Минимальные значения концентрации всех определявшихся металлов отмечены в воде «болотной» р. Смолянки и оз. Пострежского (кроме Zn). Этот факт опровергает установившееся мнение (см. выше), что

присутствие органического вещества преимущественно определяет миграцию элементов-металлов в речных водах. Содержание As и Hg (ранее не определявшихся на территории Березинского биосферного заповедника) во всех пробах озерных и речных вод меньше 5 мкг/дм<sup>3</sup> и 0,5 мкг/дм<sup>3</sup> соответственно. Содержание Cr во всех исследованных водных пробах не превышает 20 мкг/дм<sup>3</sup>, Cd – 1,0 мкг/дм<sup>3</sup>.

**Таблица 3. Содержание растворенных микроэлементов в водах водоемов и водотоков Березинского биосферного заповедника, мкг/дм<sup>3</sup>**

Водный объект, участок обзора проб	Микроэлементы, мкг/дм <sup>3</sup>										
	Co		Ni		Cu		Zn		Pb		
	весна	лето	весна	лето	весна	лето	весна	лето	весна	лето	
р. Березина	д. Березино	4,1	3,6	9,4	7,1	3,80	2,27	23,4	9,8	20,0	25,5
	н. п. Броды	5,0	4,5	7,1	6,5	3,10	1,26	1,0	5,8	13,8	14,8
	выше оз. Палик	3,8	2,7	6,9	5,2	2,50	1,10	4,0	5,8	15,0	25,5
оз. Палик		5,0	2,9	6,9	3,5	2,50	1,14	6,6	6,7	13,8	22,7
р. Красногубка		0,6	< 1,0	4,1	3,3	2,50	1,48	8,1	9,0	3,8	39,9
р. Можанка		4,7	2,1	6,5	5,6	2,80	1,26	3,5	6,6	16,2	14,1
р. Бузянка		2,5	< 1,0	5,2	2,5	1,25	1,26	4,0	5,1	8,8	22,7
р. Смолянка		1,6	2,1	2,5	4,8	0,80	1,48	5,4	16,0	1,2	35,1
оз. Пострежское		2,2	< 1,0	3,1	< 1,0	0,80	1,25	13,0	11,2	1,2	14,1

Во второй половине лета 2008 г. отмечена тенденция к снижению концентрации растворенных Co, Ni, Cu во всех пробах воды, кроме р. Смолянки и оз. Пострежского (только Co и Ni) (см. табл. 3). Концентрация в воде растворенного Zn в среднем и нижнем течении р. Березины выросла до 5,8 раза, в р. Смолянке – в 3,0, р. Можанке – в 1,9 раза. Максимальные изменения содержания растворенного Pb характерны для малых «болотных» рек Красногубки (рост в

10,5 раза), Смолянки (29,3) и оз. Пострежского (11,8). При этом для данных водных объектов был характерен максимальный рост общей минерализации воды (в р. Красногубке в 2,5 раза, р. Смолянке – в 3,8, оз. Пострежском – в 3,7 раза).

Также изучено распределение в водах водных объектов на территории Березинского биосферного заповедника ряда микроэлементов-металлов во взвешенных формах (табл. 4, 5).

**Таблица 4. Содержание взвешенных форм микроэлементов в водах водоемов и водотоков Березинского биосферного заповедника в весенний период, мкг/дм<sup>3</sup>**

Водный объект, участок обзора проб		Микроэлементы, мкг/дм <sup>3</sup>								
		Be	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
р. Березина	д. Березино	0,0100	23,3	0,172	0,607	20,2	151,8	0,101	0,202	0,304
	н. п. Броды	0,0034	9,08	0,101	0,168	4,71	87,4	0,034	0,067	0,118
	выше оз. Палик	0,0010	3,07	0,036	0,092	3,58	43,0	0,012	0,043	0,174
	оз. Палик	0,0005	1,26	0,017	0,063	0,99	23,0	0,007	0,020	0,135
	р. Красногубка	0,0010	1,45	0,053	0,068	3,39	38,7	0,010	0,024	0,048
	р. Можанка	0,0010	2,58	0,028	0,084	8,40	32,3	0,014	0,037	0,136
	р. Бузянка	0,0004	0,656	0,010	0,039	3,09	23,9	0,007	0,019	0,062
	оз. Пострежское	0,0007	2,00	0,035	0,080	1,27	30,0	0,017	0,053	0,067
	Водный объект, участок обзора проб	Микроэлементы, мкг/дм <sup>3</sup>								
р. Березина	Zn	Sr	Y	Zr	Nb	Ag	Ba	Yb	Pb	
	д. Березино	3,04	2,02	0,182	2,43	0,091	—	9,11	0,020	1,52
	н. п. Броды	0,672	0,672	0,077	1,18	0,030	0,003	2,19	0,0084	0,202
	выше оз. Палик	0,410	0,256	0,020	0,369	0,010	0,001	1,23	0,0020	0,164
	оз. Палик	0,225	0,135	0,008	0,104	0,004	0,0005	0,585	0,0009	0,126
	р. Красногубка	0,121	0,145	0,019	0,0087	0,005	0,0005	0,315	0,0019	0,111
	р. Можанка	< 0,129	0,226	0,019	0,129	0,008	0,0012	0,775	0,0019	0,026
	р. Бузянка	0,270	0,116	0,007	0,089	0,004	0,0006	0,386	0,0007	0,116
	оз. Пострежское	0,226	0,200	0,017	0,246	0,007	0,0007	0,663	0,0017	0,133

Примечание. В залах взвесей не обнаружены Sc (чувствительность определения 5 мг/кг), Mo (3 мг/кг), Ge, W, Bi (10 мг/кг), Hf (20 мг/кг), Cd, Sb, Ta, Ti (100 мг/кг). Sn установлен в менее чем 50 % случаев в концентрации 0,005–0,047 мкг/дм<sup>3</sup>. «—» – не обнаружено.

**Таблица 5. Содержание взвешенных форм микроэлементов в водах водоемов и водотоков Березинского биосферного заповедника в летний период, мкг/дм<sup>3</sup>**

Участок обзора проб		Микроэлементы, мкг/дм <sup>3</sup>								
		Be	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
р. Березина	д. Березино	0,0028	5,58	0,075	0,112	22,3	75,4	0,020	0,056	0,279
	выше оз. Палик	—	6,11	0,175	0,109	39,3	231,3	0,065	0,096	0,131
оз. Палик	—	2,35	0,055	0,039	5,09	47,0	0,020	0,051	0,039	
р. Красногубка	—	0,751	0,038	0,023	14,1	56,3	0,047	0,075	0,047	
р. Можанка	0,0007	1,41	0,024	0,040	4,36	16,8	0,008	0,014	0,040	
р. Бузянка	—	2,09	0,052	0,035	13,1	78,4	0,017	0,031	0,096	
Водный объект, участок обзора проб	Микроэлементы, мкг/дм <sup>3</sup>									
р. Березина	Zn	Sr	Y	Zr	Nb	Ag	Ba	Yb	Pb	
	д. Березино	1,12	0,838	0,056	0,642	0,028	—	1,40	0,006	0,084
выше оз. Палик	0,873	0,873	0,087	0,786	0,044	—	4,37	0,0087	0,131	
оз. Палик	—	—	0,039	0,509	0,039	—	0,979	0,0039	0,090	
р. Красногубка	0,751	0,281	0,019	0,131	0,009	—	0,610	0,0019	0,042	
р. Можанка	0,134	0,134	0,020	0,188	0,008	—	0,302	0,0020	0,023	
р. Бузянка	0,697	0,348	0,035	0,436	0,017	—	1,045	0,0035	0,080	

В весенний период наблюдалось постепенное снижение содержания взвешенных форм большинства исследованных элементов на всем протяжении р. Березины (от д. Березино до оз. Палик) за счет разбавления вод основной реки «болотными» водами притоков. Снижение концентрации составило для Be, Mn, Y, Zr, Nb, Yb 20,0–23,4 раза, для Ti, V, Co, Ni, Zn, Sr, Ba, Pb – 10,0–15,6, для Cr, Fe, Cu – 2,3–9,6 раза. Содержание взвешенных форм перечисленных метал-

лов в водах малых рек по сравнению с р. Березиной относительно низкое или сопоставимое.

В летний период отмечалась тенденция к снижению содержания взвешенных форм изученных металлов (кроме Mn) в верховьях р. Березины в  $n=10$  раз при одновременном увеличении содержания большинства из них (кроме Cu и Pb) в  $n=10$  раз в южной части заповедника на участке впадения реки в оз. Палик (табл. 5). Изменение содержания металлов во взвешенном

состоянии в малых реках с их локальными водо-сборами не столь однозначно. Например, для р. Красногубки (частично «болотная» река) на фоне снижения содержания Ti, V, Cr, Pb и стабильного содержания Cu, Y, Yb установлено увеличение концентрации всех прочих металлов. В р. Можанке (влияние Бегомльской мелиоративной системы) наблюдается снижение содержания взвешенных форм Be, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Sr, Ba, Pb, стабильное содержание Y, Nb, Yb, увеличение содержания Zn и Zr. Третий вариант распределения микроэлементов наблюдается в р. Бузянке и т. д.

Следует отметить, что в реках бассейна Черного моря ряд металлов при низкой мутности воды мигрирует главным образом в растворенном состоянии. Так, согласно данным В. А. Кузнецова [5], в водах р. Припяти 81–92 % Mn, Ni, Co, Cu мигрирует в растворенном состоянии, тогда как для Fe этот показатель заметно ниже (72 %), а для Al и Ti составляет всего 5,9 % и 2,4 % соответственно.

При очень низкой мутности воды рек и озер Березинского биосферного заповедника (вес зоны взвесей, по данным весеннего опробования, не превышает 10 мг/дм<sup>3</sup>, по данным летнего – 5 мг/дм<sup>3</sup>, в ряде случаев составляя 0,5 мг/дм<sup>3</sup>) в них следует ожидать величину доли переноса ряда металлов во взвешенном состоянии порядка 0,п–п%. Действительно, оставляя в стороне влекомый сток (не более п%), получаем (табл. 6), что для р. Березины доля Со во взвешенном состоянии на входе реки в заповедник весной составляет 2,4 %, Ni – 2,1, Cu – 7,4, Pb – 7,1 %, тогда как на участке реки около н. п. Броды – 0,68 %, 0,93; 3,7 и 1,4 %, выше оз. Палик – 0,31 %, 0,62; 6,5 и 1,1 % соответственно. Непосредственно в оз. Палик данный ряд показателей составляет 0,14 %, 0,29; 5,1 и 0,90 % соответственно. Таким образом, за счет разбавления вод р. Березины водами «болотных» рек на территории заповедника в весенний период, по-видимому, происходит постепенное снижение в воде доли взвешенных форм указанных металлов.

**Таблица 6. Доля микроэлементов во взвешенном состоянии в водах водоемов и водотоков Березинского биосферного заповедника в различные периоды**

Водный объект, участок обзора проб		Микроэлементы, %							
		Co		Ni		Cu		Pb	
		весна	лето	весна	лето	весна	лето	весна	лето
р. Березина	д. Березино	2,4	0,55	2,1	0,78	7,4	10,9	7,1	0,33
	д. Броды	0,68	н. о.	0,93	н. о.	3,7	н. о.	1,4	н. о.
	выше оз. Палик	0,31	2,4	0,62	1,8	6,5	10,6	1,1	0,51
оз. Палик		0,14	0,68	0,29	1,4	5,1	3,3	0,90	0,39
р. Красногубка		1,6	4,5	0,58	2,2	1,9	3,1	0,80	0,18
р. Можанка		0,30	0,38	0,57	0,25	4,6	3,1	0,16	0,16
р. Бузянка		0,30	1,7	0,36	0,64	7,2	6,1	8,8	0,23

Примечание: «н.о.» – не определялось.

Согласно данным летнего опробования, в распределении взвешенных форм микроэлементов в водах р. Березины наблюдается следующая картина: по сравнению с весенним периодом доля Co, Ni, Pb во взвешенном состоянии на входе реки в заповедник существенно падает (в 2,7–21,5 раза), тогда как на выходе в районе оз. Палик для Co, Ni, Cu возрастает (в 1,6–7,7 раза). Распределение Co, Ni, Pb по сравнению с весной фактически меняется на обратное – р. Березина впадает в оз. Палик более обогащенной этими элементами (органо-минеральные коллоиды), чем на входе в северной части заповедника.

Доля взвешенных форм Co, Ni и Cu в водах малых рек – Красногубки и Бузянки летом также возрастает. Доля Pb в летний период существенно снижается (в 2,0–38,3 раза) или остается без изменения (р. Можанка).

**Донные отложения.** Последнее детальное изучение особенностей распределения микро-

элементов в аллювиальных отложениях Березинского биосферного заповедника выполнено В. В. Савченко в 1997 г. (табл. 7). Установлено, что их пространственное распределение в р. Березине в пределах территории заповедника (за исключением Mn и Pb) в целом однородное. В частности, отмечено более высокое среднее содержание Mn (5300 мг/кг, n = 11) на участке выше н. п. Броды, по сравнению с участком н.п. Броды – оз. Палик (2600 мг/кг, n = 9). Для Pb были выявлены два участка (протяженностью 20–25 км) относительно повышенного содержания: на севере в районе д. Березино (буферная зона заповедника) и в районе н. п. Броды (мелиоративный массив). Еще более ранние исследования (1989 г.) показали, что содержание Pb закономерно снижалось вниз по течению реки: выше н. п. Броды оно составляло 16 мг/кг (n = 11), ниже впадения Сергучского канала – 10 мг/кг (n = 11), в илах оз. Палик – 7,0 мг/кг (n = 5). В пробах 1997 г. Pb установлен только в 50 % случаев.

Отобранные в 2008 г. пробы донных отложений речной сети Березинского биосферного заповедника (табл. 8) в большинстве случаев

представляют собой илы с существенно варьирующим содержанием органического вещества (1,8–63,5 %).

**Таблица 7. Среднее валовое содержание микроэлементов в илах прирусловых отмелей р. Березины в Березинском биосферном заповеднике, мг/кг сухого вещества (1997 г., n = 20)**

Показатель	Гранулометрическая фракция		Соотношение а/b, раз
	менее 0,01 мм (а)	менее 1 мм (б)	
Зольность, %	70,0	84,0	0,83
Be	1,1	1,1	1,0
Sc	6,8	4,5	1,5
Ti	1700	1400	1,2
V	31	21	1,5
Cr	38	18	2,2
Mn	5400	4100	1,3
Co	6,5	5,1	1,3
Ni	16	7,7	2,1
Cu	33	10	3,3
Y	21	18	1,2
Zr	95	250	0,38
Nb	8,6	8,7	1,0
Mo	1,2	1,8	0,67
Ba	640	470	1,4
Yb	1,9	1,5	1,3
Pb	9,4	(50 % случаев)	—

**Таблица 8. Валовое содержание химических элементов в донных отложениях (фракция менее 1 мм) речной сети Березинского биосферного заповедника, мг/кг сухого вещества (лето, 2008 г.)**

Водный объект, участок отбора (число проб)	Микроэлементы, мг/кг															
	Be	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Yb	Pb	
р. Березина	выше н. п. Броды (11)	0,97	1875	21,1	11,5	991	4,98	11,6	13,3	187	11,5	502	7,3	568	1,22	19,7
	ниже н. п. Броды (10)	1,16	1528	21,9	12,8	607	6,35	12,5	17,3	187	15,6	382	7,4	557	1,53	19,3
р. Красногубка (1)	—	1200	25,7	10,3	770	—	10,3	11,1	—	8,6	470	6,0	385	0,86	20,6	
р. Можанка (1)	1,40	1670	25,4	15,9	1520	7,2	15,2	25,4	145	14,4	250	5,1	510	1,4	21,7	
р. Бузянка (1)	0,37	370	8,41	4,39	510	1,8	5,8	15,7	110	7,3	73	2,6	365	0,73	16,4	
Сергучский канал (1)	—	1080	13,7	9,81	200	4,9	11,8	10,8	—	9,8	270	9,8	520	0,98	19,6	

Примечание. В золах донных отложений не обнаружены Sc (чувствительность определения 5 мг/кг), Mo (3 мг/кг), Ge, Sn, W, Bi (10 мг/кг), Hf (20 мг/кг), Cd, Ta, Ti (100 мг/кг). Чувствительность определения Be, Ag – 1 мг/кг, Co – 5 мг/кг, Zn, Sr – 200 мг/кг. Ag и Zn обнаружены в единичных случаях. «—» – не обнаружено

Хотя доля органического компонента может быть очень высокой (р. Бузянка), большая часть образцов характеризуется его содержанием менее 20 %. В условиях отсутствия ярко выраженных техногенных источников поступления металлов органическое вещество донных осадков р. Березины определяет накопление только одного естественного компонента отложений – Fe (0,687–4,82 %;  $r = +0,762$ ,  $p < 0,0001$ ). Связь органического вещества и Cu проявлены в средней степени ( $r = +0,528$ ,  $p < 0,05$ ). Четко выявлена характерная природная ассоциация Y–Yb ( $r = +0,938$ ,  $p < 0,0001$ ).

Статистическая обработка данных валового содержания металлов, встречающихся в донных отложениях р. Березины в 100 % случаев, показала (табл. 9), что за прошедшее десятилетие в них повысилось среднее содержание *технофильных* (Cu, Ni, Pb; более чем в 1,5 раза) и *нетехнофильных* (Ti, Zr, Ba) элементов при снижении средней концентрации Mn и Cr, Y. Если ранее (1997 г.) Pb отмечался в донных отложениях в 50 % случаев, то в 2008 г. этот элемент при той же чувствительности определения был установлен повсеместно.

**Таблица 9. Статистические характеристики валового содержания микроэлементов в донных отложениях р. Березины в пределах Березинского биосферного заповедника (фракция менее 1 мм), мг/кг сухого вещества (n = 21, лето 2008 г.)**

Компонент	X <sub>2008</sub> /X <sub>1997</sub>	σ	S <sub>x</sub>
Органическое в-во, %	11,27/26,0	6,238	1,361
Ti	1710,0/1400,0	552,4	120,5
V	21,52/21,0	4,760	1,039
Cr	12,11/18,0	2,342	0,511
Mn	808,1/4100	392,1	85,56
Ni	12,04/7,7	2,016	0,440
Cu	15,20/10,0	5,876	1,282
Y	13,50/18,0	3,400	0,742
Zr	444,8/250,0	132,5	28,92
Ba	562,9/470,0	94,57	20,68
Yb	1,37/1,50	0,373	0,081
Pb	19,50/(50 % случаев)	2,780	0,607

Сравнение среднего валового содержания металлов во фракции менее 1 мм в донных отложениях р. Березины в пределах заповедника на участках выше ( $n = 11$ ) и ниже н. п. Броды ( $n = 10$ ) показало, что для лежащего выше по течению участка реки характерно более высокое содержание Ti (в 1,2 раза), Mn (в 1,6 раза), Zr (в 1,3 раза), тогда как для нижележащего – Cu (в 1,3 раза) и Y (в 1,4 раза). Содержание V, Cr, Co, Ni, Sr, Ba, Yb и Pb на обоих участках сопоставимо. Следует также отметить, что существовавшая в 1980–1990-е гг. тенденция к постепенному снижению валового содержания Pb в донных отложениях заповедника вниз по течению реки исследованиями 2008 г. не подтверждается.

#### Заключение

В 2008 г. на территории Березинского биосферного заповедника были произведены сезонный (апрель и август) отбор проб озерных и речных вод и опробование донных отложений.

В весенний период величина pH, содержание основных макрокомпонентов и общая минерализация вод р. Березины уменьшались вниз по течению. Существенные отклонения от средних для водных объектов заповедника значений гидрохимических показателей наблюдались только для рек Красногубки и Смолянки. Для них характерны низкая величина pH и пониженное содержание большинства макрокомпонентов (за исключением  $\text{NH}_4^+$ ). Минимальное содержание макрокомпонентов выявлено в воде оз. Пострежского. Во второй половине лета во всех водных объектах отмечены рост величины pH и увеличение минерализации от 1,3 раза (р. Березина) до 3,7 раза (оз. Пострежское).

Исследование растворенных в воде микроэлементов показало, что в весенний период максимальное содержание Ni, Zn и Pb установлено в р. Березине при входе на территорию заповедни-

ка. Минимальные значения концентрации всех изученных металлов отмечены в р. Смолянке и оз. Пострежском (кроме Zn). Во второй половине лета наблюдается тенденция к снижению концентрации растворенных Co, Ni, Cu во всех водных объектах (кроме р. Смолянки и оз. Пострежского) и повышение содержания растворенного Zn – до 5,8 раза. Максимальные изменения содержания растворенного Pb характерны для р. Красногубки, оз. Пострежского и р. Смолянки – рост в 10,5–29,3 раза.

В весенний период в водах р. Березины на территории заповедника наблюдалось постепенное снижение содержания взвешенных форм большинства исследованных элементов вниз по течению (от 2,3 до 23,4 раза). В летний период отмечена тенденция к снижению содержания в водах верховья р. Березины всех (кроме Mn) изученных металлов во взвешенном состоянии при одновременном увеличении содержания большинства из них (кроме Cu и Pb) на участке впадения реки в оз. Палик. Для других более мелких водных объектов определенных тенденций не выявлено.

Отобранные в 2008 г. пробы донных отложений речной сети в большинстве случаев представляют собой илы с существенно варьирующим содержанием органического вещества (от 1,8 до 63,5 %) и Fe (0,687–4,82 %). Сравнение полученных в 2008 г. значений с данными предыдущих исследований показало, что за прошедшее десятилетие в них повысилось среднее содержание технофильных (Cu, Ni, Pb) и нетехнофильных (Ti, Zr, Ba) элементов при снижении средней концентрации Mn и Cr, Y. Если ранее (1997 г.) Pb отмечался в донных отложениях в 50 % случаев, то в 2008 г. этот элемент при той же чувствительности определения был установлен повсеместно.

### Л и т е р а т у р а

1. Алекин О. А. Основы гидрохимии. Л., 1970.
2. Геохимические провинции покровных отложений БССР / Под ред. К. И. Лукашева. Мин., 1969.
3. Геохимическое изучение ландшафтов Березинского биосферного заповедника / Под ред. К. И. Лукашева. Мин., 1985.
4. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды / Под ред. Т. В. Гусевой. М., 2007.
5. Кузнецов В. А. Геохимия речных долин. Мин., 1986.
6. Кузнецов В. А. О содержании микроэлементов в поверхностных и грунтовых водах Центральной геохимической провинции Белоруссии / В. А. Кузнецов, Л. М. Фоменко, В. В. Довнар // Докл. АН БССР. 1981. Т. 25, № 7. С. 645–648.
7. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень. 2006 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. Мин., 2007.
8. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень. 2007 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. Мин., 2008.

*О. В. Лукашёв, В. М. Натаров, В. В. Савченко,  
Н. Г. Лукашёва, С. В. Савченко, Д. Л. Творонович-Севрук*

### **ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД И РЕЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ БЕРЕЗИНСКОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА**

В 2008 г. на территории Березинского биосферного заповедника были произведены сезонный (апрель и август) отбор проб поверхностных вод и опробование донных отложений.

В весенний период 2008 г. величина pH, содержание основных макрокомпонентов и общая минерализация вод р. Березины уменьшались вниз по течению реки. Для рек Красногубки, Смолянки и оз. Пострежского наблюдалась минимальная величина pH и пониженное содержание большинства макрокомпонентов (за исключением  $\text{NH}_4^+$ ). Во второй половине лета во всех водных объектах отмечены рост величины pH и увеличение минерализации в 1,3–3,7 раза.

Максимальное содержание растворенных Ni, Zn и Pb в весенний период наблюдалось в водах р. Березины на участке при входе на территорию заповедника. Минимальные значения отмечены в р. Смолянке и оз. Пострежском. Во второй половине лета наметилась тенденция к снижению концентрации растворенных Co, Ni, Cu, повышению растворенного Zn и Pb.

В весенний период в водах р. Березины на территории заповедника наблюдалось постепенное снижение содержания взвешенных форм большинства исследованных элементов вниз по течению реки. В летний период уменьшением металлов во взвешенном состоянии (кроме Mn) характеризовалось верховье р. Березины. При этом наблюдалось их увеличение (кроме Cu и Pb) на участке впадения в оз. Палик.

Анализ отобранных в 2008 г. донных отложений показал, что минимальное содержание большинства микроэлементов характерно для р. Бузянки. Максимальные значения Fe, Ti, Co, Y, Yb, Pb отмечаются в оз. Палик, V, Cr, Mn, Be, Ni, Cu – в р. Можанке.

Сравнение полученных в 2008 г. значений с данными предыдущих исследований свидетельствует о том, что за прошедшее десятилетие в донных отложениях р. Березины среднее содержание Cu, Ni, Pb, Ti, Zr, Ba повысилось более чем в 1,5 раза при снижении средней концентрации Mn, Cr и Y. Если ранее Pb отмечался в донных отложениях в 50 % случаев, то в 2008 г. этот элемент при той же чувствительности определения был установлен повсеместно.

**O. V. Lukashev, V. M. Natarov, V. V. Savchenko,  
N. G. Lukasheva, S. V. Savchenko, D. L. Tvoronovich-Sevruk**

**ECOLOGO-GEOCEMICAL STATUS OF SUPERFICIAL WATERS AND  
RIVER ADJOURNMENT ON TERRITORY OF BEREZINSKI BIOSPHERE RESERVE**

*In 2008 in the territory of the Berezinsky biosphere reserve was made seasonal (in April and August) sampling of surface waters and bottom sediments.*

*In the spring period of 2008 pH values, concentrations of basic macro elements and solute content in the Berezina river waters decreased downstream. For the Krasnogubka river and the Smolianka river and lake Postrezhskoe the minimal pH values and smallest content of the majority macro elements (with the exception of  $\text{NH}_4^+$ ) were observed. In the second half of summer in all water bodies pH values and solute increased 1.3–3.7 times.*

*The maximal content of dissolved Ni, Zn and Pb was observed in the Berezina waters in the spring period on the reach of river at an entrance to the reserve territory. The minimal values were marked in the Smolianka river and lake Postrezhskoe. In second half of summer the tendency to reduction in concentrations of dissolved Co, N, Cu, and increase in concentration of dissolved Zn and Pb began to show.*

*Within the reserve in the spring period the gradual decrease in the content of majority of the investigated elements in suspended matter in the Berezina waters downstream was found out. In the summer period the reduction in concentration of metals in suspended matter (except for Mn) was revealed in headwaters of the Berezina. Meanwhile the increase in metals content (except for Cu and Pb) in river waters on its reach of emptying into lake Palik was observed.*

*The analysis of the bottom sediments selected in 2008 has shown that the minimal content of the majority of microelements is characteristic for the Buzianka. The maximal values of Fe, Ti, Co, Y, Yb, Pb has been revealed in lake Palik, V, Cr, Mn, Be, Ni, Cu – in the Mozhanka river.*

*The comparison of the values, received in 2008 with the data of the previous researches testifies that for past decade in bottom sediments of the Berezina river the average content of Cu, Ni, Pb, Ti, Zr, Ba has increased more than 1.5 times, at decrease of average concentrations of Mn, Cr and Y. If earlier Pb was marked in bottom sediments 50 % of cases, in 2008 this element at the same sensitivity of definition was found everywhere.*

**В. П. Рогунович****СРЕДСТВА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ОБУСТРОЙСТВА БАССЕЙНОВ РЕК**

*Изложены результаты исследований и уникальный опыт математического моделирования водного режима. В качестве исходных используются обобщенные автором уравнения Сен-Венана, позволяющие в одномерной постановке создавать математические модели водного режима систем водотоков с широкими поймами. Представлены испытанные образцы гидрологической станции для автоматического измерения уровней и определения расходов воды в сложных сечениях водотоков. Создана многоканальная автоматическая измерительная информационная система (ИИС) для исследования в лабораториях разрывных и плавно изменяющихся течений жидкостей. ИИС может стать системным ядром Центра приема и обработки данных бассейнов рек.*

Хозяйственная деятельность приводит к деградации водного фонда – основного стратегического материального достояния Республики Беларусь. Сохраняется тенденция к ухудшению качества вод, учащаются случаи техногенного загрязнения. Чтобы сохранить и умножить водное достояние, необходимо повысить эффективность управления водными ресурсами, что возможно при ускорении перехода к бассейновому принципу управления [5]. Поскольку государственное управление строится по административно-территориальному принципу, при создании системы управления водными ресурсами бассейнов рек необходимо обеспечить эффективное сочетание бассейнового и территориального принципов, что и должно определять водную стратегию Республики Беларусь [4]. Эта концепция реализуется в сопредельных государствах и соответствует принятым нашей республикой международным обязательствам Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и озер. Следует отметить, что на территории Беларуси все большие водотоки трансграничные.

Эффективное управление водными ресурсами предполагает полное удовлетворение населения в качественной питьевой воде и бережное использование водных ресурсов. Для перехода к эффективному управлению водными ресурсами бассейнов рек необходимо располагать средствами контроля состояния вод (средствами измерений), средствами прогноза изменения состояния вод (средствами моделирования водного режима), а так же средствами сбора и обработки информации и обустроить ими бассейн.

Круг вопросов, связанных с научным обоснованием проектных решений и эффективной эксплуатацией водохозяйственных систем, расширяется. В Республике Беларусь по Программе строительства и восстановления объектов гидроэнергетики концерна «Белэнерго» восстанавливается, проектируется и планируется построить до 2020 г. более 20 гидроэлектростанций и других водохозяйственных объектов. Гидротех-

ническое строительство приводит к изменению водного режима бассейнов рек.

Несмотря на тысячелетний опыт строительства водохозяйственных сооружений, создание многочисленных систем защиты от затоплений, усовершенствование строительных технологий и выполнение больших объемов работ, чрезвычайные режимы уровней и расходов возникают даже там, где гидрологическая ситуация представлялась вполне прогнозируемой и обеспеченной. В последние десятилетия потепление, паводки и наводнения нанесли значительный ущерб многим странам [3, 6, 13–16]. Поймы рек используются интенсивно, но традиционно слабо организованно. Все чаще затапливаются обустроенные поймы. Ущербы от затоплений защищенных земель и обустроенных территорий продолжают увеличиваться во всех странах, в том числе в Беларуси. Среднегодовые ущербы от наводнений в Республике Беларусь оцениваются в 100 млн долл. США [12]. В мире возникла парадоксальная ситуация: чем выше уровень цивилизации, тем больше ущерб от затоплений. Поэтому, с одной стороны, необходимо выяснить причины современного обострения ситуации, а с другой – разработать мероприятия по снижению ущербов.

Основной причиной современного обострения ситуации можно назвать глобальное потепление. Последние четыре десятилетия приращение средних за десятилетие температур в Беларуси относительно средней многолетней составляет примерно  $+0,4^{\circ}\text{C}$  и в текущем десятилетии может составить  $+1,2^{\circ}\text{C}$  [8], что весьма существенно. Это привело к гидрологическим условиям формирования водного режима, отличного от расчетного, использованного при проектировании водохозяйственных объектов.

Второй причиной служит интенсивное хозяйственное использование долин рек, существенно переформирующих водный режим водотоков. Обе причины – совместно или порознь – приводят к новым условиям формирования водного

режима паводков и наводнений в бассейнах рек. Надежное восстановление естественных рядов стока, когда наблюдается систематическое влияние климатических факторов в условиях постоянно обустраивающихся территорий пойм, практически невозможно, следовательно, нельзя надежно планировать защитные мероприятия.

Представляется, что в складывающейся новой гидрологической и водохозяйственной ситуации на первом этапе можно в значительной мере повысить надежность проектирования водохозяйственных объектов и уменьшить ущербы от затоплений за счет повышения точности математического моделирования современной системы водотоков, прежде всего средствами своевременной идентификации параметров математических моделей обустраивющихся пойм.

Более надежный учет оперативно изменяющихся гидрологических условий в бассейне реки, вызванных потеплением климата, а также текущим обустройством пойм с изменяющимися по сезонам характеристиками, возможен на втором этапе за счет создания ИИС сначала в окрестности паводкоопасных участков рек, а затем в бассейнах рек в целом. ИИС смогут своевременно обеспечить информацией принятие оперативных эффективных управлеченческих решений в том числе и в чрезвычайных ситуациях.

Следует обратить внимание на существенную особенность движения воды в сложных бассейнах рек с относительно спокойным рельефом, прежде всего как в Беларуси. Во время паводков и наводнений потоки воды не редко выходят на широкие поймы и затапливают залесенные, закустаренные, использующиеся в сельском хозяйстве земли и обустроенные территории. На различных частях поймы (плотность поверхности которой значительно изменяется по сезонам года) из-за залесенности и закустаренности сопротивление движению воды существенно меняется, возникают непроточные, нетранзитные зоны, размеры которых зависят от глубины потока и состояния растительного покрова.

При обтекании сооружений на обустроенных поймах, например, за животноводческими комплексами, которых в поймах рек сотни, также возникают нетранзитные зоны, но они более стабильны, чем в закустаренной и залесенной пойме.

Все нетранзитные зоны фактически играют роль аккумулирующих емкостей, которые могут быть значительными. К примеру, в бассейне р. Припять ширина затапливаемой поймы, в окрестности устья Горыни достигает 20–30 км, причем при определенных уровнях воды нетранзитные зоны достигают  $\frac{3}{4}$  ширины водного сечения.

Также следует обратить внимание на существенную особенность формирования водного режима в бассейнах рек. Поскольку водный режим главного водотока формируется и на притоках, то на главном водотоке в устьях притоков

могут создаваться на определенном интервале времени существенные подпоры с большими и продолжительными затоплениями, приводящими летом к значительным, прежде всего экологическим ущербам. По этой причине создавать математические модели водного режима в бассейнах рек необходимо не на участках водотоков, а в системах водотоков бассейна реки, т. е. на графах.

Существенную особенность движения воды в сложных системах водотоков бассейнов рек невозможно учесть, используя в качестве исходной непосредственно систему уравнений движения Сен-Венана. Исследования В. С. Никифоровской [7] показали, что приемлемой точности моделирования не достичь как при условии учета всей поймы как аккумулирующей емкости (М. В. Эббот), так и при учете сечения поймы суммарно с сечением водотока по обычным гидравлическим зависимостям. Поэтому на основе работ школы академика РАН О. Ф. Васильева [1, 2], автором статьи была предложена обобщенная система одномерных уравнений движения [9]. При получении уравнения непрерывности использован закон сохранения массы. В него вошли, естественно, характеристики всего водного сечения водотока, включая русло и пойму. В динамическом уравнении движения предложено использовать только характеристики живого сечения, т. е. транзитных частей сечения, поскольку динамическое уравнение получено из закона сохранения импульса, который в нетранзитных зонах сечения равен нулю. Таким образом, получены следующие обобщенные уравнения нестационарного движения воды [9, 10], пригодные к использованию в случаях выхода потока на сложную широкую пойму:

$$\left\{ \begin{array}{l} B_0 \cdot \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial s} = q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + 2\beta v \cdot \frac{\partial Q}{\partial s} + (c^2 \cos \theta - \beta v^2) \cdot B \cdot \frac{\partial h}{\partial s} \\ = g A \sin \theta - g A \cdot \frac{Q|Q|}{K^2} + \beta v^2 \cdot \frac{\partial A}{\partial s} \Big| h, \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $Q$  – расход воды,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $A$  – площадь живого сечения,  $\text{m}^2$ ;  $B_0$  – ширина водного сечения,  $\text{m}$ ;  $B$  – ширина живого сечения,  $\text{m}$ ;  $h, s$  – гидравлическая ортогональная правая система координат, у которой ветвящаяся ось  $s$  проходит через минимальные отметки дна,  $\text{m}$ ;  $c = \sqrt{gA/B}$  – скорость распространения малых возмущений,  $\text{m}/\text{s}$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{m}/\text{s}^2$ ;  $t$  – время,  $\text{s}$ ;  $v$  – средняя в сечении скорость потока,  $\text{m}/\text{s}$ ;  $\beta$  – корректив удельного количества движения (коэффициент Буссинеска);  $\theta$  – угол наклона линии, соединяющей минимальные отметки дна характерных сечений водотока, отсчитываемый против часовой стрелки от положительного на-

правления оси  $s$  до горизонтальной плоскости на данном локальном участке бассейна реки, рад.

В случае отсутствия нетранзитных частей сечения  $B = B_0$  предложенные уравнения движения превращаются в одну из форм записи уравнений Сен-Венана.

Нетранзитные зоны сечений выделяются по специальной методике, итеративно учитывая локальное по сезонам сопротивление движению воды над каждым элементом периметра сечения по условию, что скорость движения воды над каждой нетранзитной зоной существенно меньше средней в сечении.

Казалось бы естественным использование для математического моделирования водного режима в сложных бассейнах рек программного комплекса SMS (SURFACE-WATER MODELING SYSTEM) или других зарубежных систем. В качестве исходной информации они используют данные Географической Информационной Системы и возможности одно- и двумерного моделирования водного режима в бассейнах рек. Однако в имеющихся описаниях SMS не излагаются важнейшие исходные научные положения, использованные при создании системы. К ним относятся следующие:

- как осуществляется интерполяция параметров уравнения движения во времени и пространстве при моделировании водного режима;
- как сопрягаются одно- и двумерные задачи при динамическом изменении нетранзитных зон по ширине и глубине потока на поймах;
- как оценены погрешности моделирования водного режима по измерениям на эталонных и реальных объектах.

Неясность этих, а также многих других вопросов мешает непосредственному использованию известных программных продуктов. По-

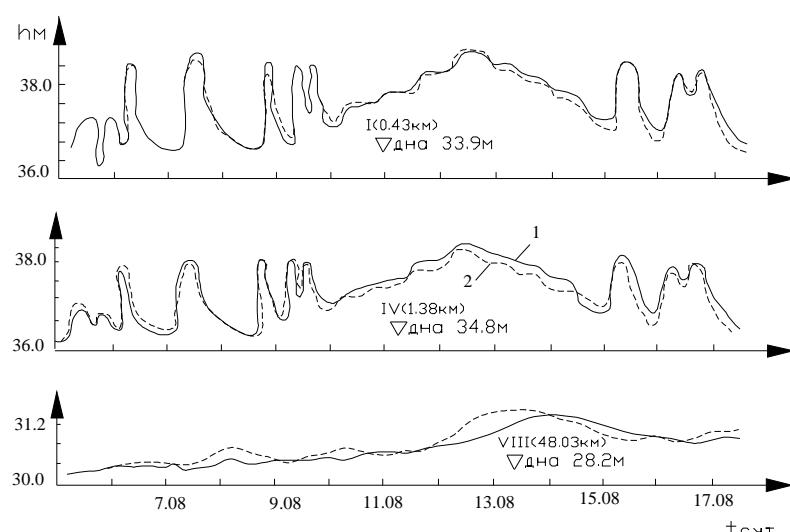
видимому, использование возможно с привлечением далеких разработчиков. Однако это ведет к постоянной научной зависимости, в чем нет для Беларуси никакой необходимости.

Без оценки погрешности математического моделирования водного режима ни один квалифицированный потребитель не воспользуется результатами моделирования. В связи с первостепенной важностью оценки погрешности моделирования с использованием в качестве исходной системы уравнений (1) было выполнено моделирование водного режима эталонного объекта (ГГИ, участок реки Тверцы) и систем водотоков бассейна р. Припять для четырех многоводных лет.

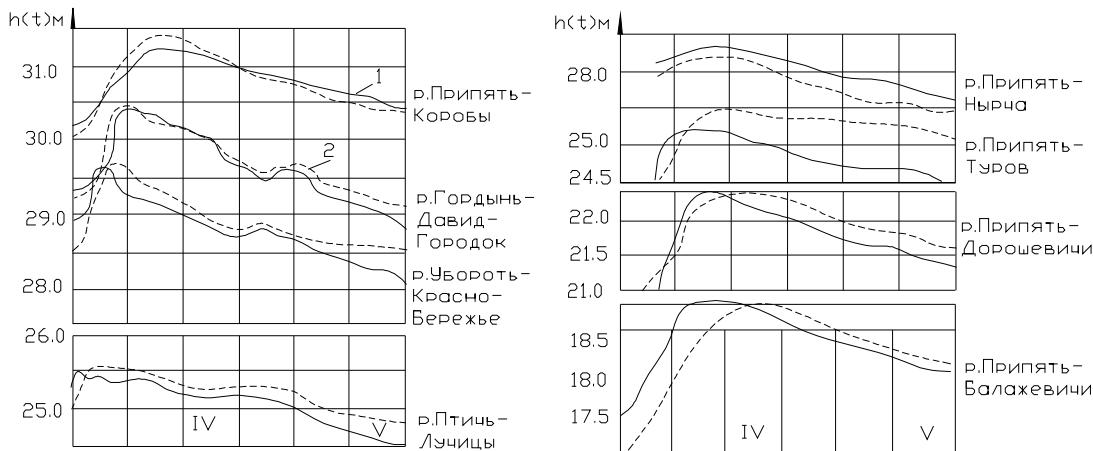
В статье приводятся обобщенные оценки погрешностей моделирования на основе сравнения результатов моделирования с эталонными измерениями Государственного гидрологического института и измерениями в системе водотоков бассейна р. Припять.

Интенсивное управление затворами Новотверецкой ГЭС, создающее многочисленные волны, которые повторяются математической моделью водного режима р. Тверцы с поймами на длине 48 км с погрешностью не более 0,2 м (рис. 1). Это погрешность вполне допустима при моделировании водного режима естественного водотока.

На рис. 2 представлены результаты математического моделирования водного режима системы водотоков в бассейне реки Припять. Средняя погрешность математического моделирования максимального уровня (суммарная длина системы водотоков около 1000 км) равна 0,1 м, а с вероятностью 0,99 она не превышает 0,25 м.



**Рис. 1. Результаты математического моделирования водного режима р. Тверцы:**  
1 – наблюденные уровни; 2 – вычисленные уровни



**Рис. 2. Результаты математического моделирования водного режима системы водотоков бассейна р. Припять**

Более детальные оценки погрешностей математического моделирования приведены в работе [10].

Отметим, что моделирование движения воды на графе типа «дерево» позволило объяснить интересную особенность движения воды в р. Припять в окрестности устья реки Горыни, а именно: в случае, если расход воды в устье Горыни соизмерим с расходом воды Припяти, то выше устья Горыни на значительном участке Припяти возникает такой подпор, что некоторое время Припять течет всipyть. Это подтвердили результаты математического моделирования, объяснив тем самым факты периодических больших затоплений широкой поимы Припяти в окрестностях устья Горыни. При большой ширине поймы (до 48 км) и наличии многих нетранзитных зон обнаружить движение воды всipyть инструментальными средствами невозможно. Дать научное объяснение этому явлению позволили методы математического моделирования.

Следует отметить существенную особенность математического моделирования водного режима пойм на городских территориях, которые, как правило, обустраиваются волевыми решениями. На многих водотоках необходимо выполнять моделирование, когда имеется верховое водохранилище, а также много водохранилищ второго порядка и гидроузлов на водотоках. В этом случае формулировка задачи существенно осложняется необходимостью выполнять математическое моделирование на графах счетом многих внутренних граничных условий, моделирующих работу гидротехнических сооружений.

При всех достоинствах и возможностях методов и средств математического моделирования они позволяют только уточнить водный режим обустроенных пойм. Надежность этой оцен-

ки не может быть высокой, так как обустраиваются территории, примыкающие к водотокам, изменяется климат. Это приводит к невозможности задания с высокой точностью граничных условий и боковой приторности при создании математической модели. Поэтому из-за невысокой точности моделей становится невозможным надежное прогнозирование водного режима, часто внезапно возникают экстремальные уровни и расходы и, как следствие, чрезвычайные ситуации.

Для надежного и высокоточного прогноза в таких условиях необходимо в окрестностях паводкоопасных объектов, а затем в бассейне реки в целом создавать автоматические ИИС. В настоящее время в Беларусь имеются необходимые предпосылки для их создания, а именно: математические модели, апробированные автоматические средства измерений уровней и расходов воды в сложных сечениях водотоков и средства сбора и обработки данных.

Создан матричный ультразвуковой измеритель для одновременного автоматического определения уровней и расходов воды. За счет матричного ультразвукового прозвучивания повышается точность измерений уровней и расходов воды. Опытные образцы ультразвукового измерителя с автоматической гидрологической станцией [11] демонстрировались в Белорусском павильоне на Всемирной выставке ЭКСПО-98 в Лиссабоне.

Сотрудниками кафедры гидротехнического и энергетического строительства БНТУ совместно с кафедрой радиофизики БГУ при поддержке Министерства образования Республики Беларусь по гранту № ГР2007905 создана лабораторная многоканальная автоматическая ИИС для изучения разрывных и плавно изменяющихся течений жидкостей и, следовательно, для решения многих актуальных задач. Она управляет из единого

го центра, работает в автоматическом режиме и способна выполнять прием и обработку данных с оценкой погрешности измерений от сотен разнородных датчиков. Если заменить в существующей системе передачу по проводам на передачу по радиоканалу, то созданная ИИС может стать Центром приема и обработки данных ИИС бассейнов рек.

В настоящее время сбор и передача в Беларусь цифровой информации средствами мобильной связи от автоматических средств измерений в центр приема и обработки данных проблем не вызывает. Даже для самых больших рек Сибири с малонаселенными и труднодоступными территориями можно относительно просто (мощность передатчика около 10 Вт) передать информацию через геостационарный спутник Земли. Такая единая система сбора и передачи информации функционирует на Американском континенте с 1975 г. В настоящее время к ней подключились Мексика, Канада, Колумбия, Бразилия, Чили и другие страны. Единый центр приема и обработки данных находится в Вашингтоне, к системе подключены несколько десятков тысяч автоматических гидрологических постов.

Математические модели при создании ИИС также играют важную роль. Во-первых, с их помощью можно оперативно прогнозировать водный режим на участке водотока или в бассейне реки. Во-вторых, они являются системным средством контроля измерений. В-третьих, они позволяют ответить на вопрос, где располагать автоматические гидрологические станции, чтобы оперативно идентифицировать математическую модель водных объектов и с высокой точностью прогнозировать водный режим с заранее заданным временем оповещения о чрезвычайных ситуациях. В-четвертых, математические модели – одно из основных средств, использующихся для обоснования эффективных управленческих решений в ординарных и чрезвычайных ситуациях:

например, где и когда нужно задержать объемы воды в водохранилищах, чтобы ущербы были минимальными.

Таким образом, в настоящее время в Республике Беларусь имеются научно-технические предпосылки для эффективного обустройства бассейнов рек. Для создания математических моделей есть уникальный опыт математического моделирования водного режима бассейнов рек, который может использоваться в современных условиях для обоснования эффективных инженерных решений при проектировании, эксплуатации водохозяйственных объектов и создании ИИС. Созданы опытные образцы автоматических средств измерений уровней, расходов воды и имеются системы передачи информации в центр приема и обработки данных. Аналог созданной лабораторной автоматическая ИИС может стать Центром приема и обработки данных ИИС бассейнов рек.

Судя по ущербам только от наводнений, наступила необходимость в уменьшении потерь посредством создания реальных ИИС в бассейнах многих рек Беларусь.

Таким образом, имеющийся в Республике Беларусь научно-технический потенциал может способствовать повышению эффективности управления водными ресурсами, особенно при создании большого количества ГЭС, а, следовательно, повышению энергетической безопасности. Задели по разработке автоматических средств измерений позволяют создавать дешевые системы водного мониторинга и совместно с математическими моделями системы прогнозирования для эффективного управления водными ресурсами и уменьшения ущербов от чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера. Все это может быть реализовано при переходе к бассейновому принципу управления водными ресурсами [4, 5], как это сделано во многих странах.

## Л и т е р а т у р а

1. Атавин А. А., Васильев О. Ф. // Межведомственный симпозиум Гидравлические и гидрологические аспекты надежности и безопасности гидротехнических сооружений. СПб., 2002.
2. Атавин А. А., Гладышев М. Т., Шугрин С. М. О разрывных течениях в открытых руслах // Динамика сплошной среды. 1975. Вып. 22. С. 37–64.
3. Герменчук М. Г., Мельник В. И. Оценки экономической эффективности обслуживания гидрометеорологической информацией отраслей экономики в Республике Беларусь // Природные ресурсы. 2007. № 3. С. 95–97.
4. Гуринович А. Д. Варианты реформирования системы управления водопользованием и водоотведением в Республике Беларусь // Белорусский экономический журнал. 2008. № 3. С. 116–133.
5. Иванович М. М. Бассейновый принцип водопользования // Юридический журнал. 2008. № 1. С. 101–104.
6. Изменения климата Беларуси и их последствия / Под общ. ред. В. Ф. Логинова. Мин., 2003.
7. Никифоровская В. С. О численных моделях неустановившихся течений в руслах с поймами // Динамика сплошной среды. 1978. Вып. 35. С. 89–98.
8. Рогунович В. П. Потепление и экстремальные природные явления в гидросфере Беларуси // Природные ресурсы. 2009. № 1. С. 89–94.

9. Рогунович В. П. Расчет водного режима систем водотоков // Численные методы в гидравлике. Материалы Всесоюз. симп. Л., 1980. С. 54–57.
10. Рогунович В. П. Автоматизация математического моделирования движения воды и примесей в системах водотоков. Л., 1989.
11. Рогунович В. П., Рачевский А. Н. и др. Результаты испытаний автоматической гидрологической станции // Водные ресурсы. 1999. № 6. С. 91–100.
12. Рутковский П. П. Проблема наводнений в Республике Беларусь и пути ее решения // Природные ресурсы. 2001. № 1. С. 59–63.
13. Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси: Справ. под научно-методическим руководством к.ф.-м.н. М. А. Гольберга. Республиканский гидрометеорологический центр. Минск, 2002.
14. Asarin A. Flood Control Systems in Russia // Nato Science Ser. IV. 2007. Vol. 78. P. 353–362.
15. Kathleen P., Andrew M. Studies of Ice Jam Flooding in the United States // Nato Science Ser. IV. 2007. Vol. 78. P. 255–268.
16. Pilarczyk W. Flood Protection and Management in the Netherlands // NATO Science Ser. IV. 2007. Vol. 78. P. 385–407.

**Белорусский национальный технический университет**

**В. П. Рогунович**

### **СРЕДСТВА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ОБУСТРОЙСТВА БАССЕЙНОВ РЕК**

Цель исследований – начать сосредотачивать имеющуюся в Республике Беларусь информацию о средствах для эффективного использования водных ресурсов в бассейне рек.

Представлен имеющийся в Беларуси опыт математического моделирования водного режима сложных речных бассейнов и создания автоматических средств измерений параметров водного режима рек.

В качестве исходных используются обобщенные автором уравнения Сен-Венана, позволяющие в одномерной постановке создавать математические модели водного режима систем водотоков с поймами, что существенно для бассейнов рек Беларуси.

Приведены обобщенные оценки погрешностей моделирования на основе сравнения результатов моделирования с эталонными измерениями водного режима р. Тверцы. Интенсивное управление затворами Новотверецкой ГЭС, создающее на длине реки в 48 км многочисленные волны, которые повторялись математической моделью с погрешностью не более 0,2 м, подтверждает приемлемую точность моделирования.

Средняя погрешность математического моделирования в бассейне Припяти максимального уровня (суммарная длина системы водотоков около 1000 км) равна 0,1 м, а с вероятностью 0,99 она не превышает 0,25 м.

Дана характеристика матричного ультразвукового измерителя для одновременного автоматического определения уровней и расходов воды.

Создана многоканальная автоматическая ИИС для исследования разрывных и плавно изменяющихся течений жидкостей в лабораторных условиях. Управляется из единого центра, она работает в автоматическом режиме и способна выполнять прием и обработку данных с оценкой погрешности измерений от сотен разнородных датчиков. ИИС при замене в системе передачи по проводам на передачу по радиоканалу может стать Центром приема и обработки данных ИИС бассейнов рек.

Таким образом, имеющийся в настоящее время в Республике Беларусь научно-технический потенциал может способствовать повышению эффективности управления водными ресурсами, особенно при создании большого количества ГЭС, а следовательно, повышению энергетической безопасности. Разработка автоматических средств измерений позволит создать дешевые системы мониторинга поверхностных вод и, совместно с математическими моделями, системы прогнозирования водного режима бассейнов рек для эффективного управления водными ресурсами и уменьшения ущербов от чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера. Все это может быть реализовано при переходе к бассейновому принципу управления водными ресурсами, как это сделано во многих странах.

**WAYS FOR EFFECTIVE RIVERS BASINS MANAGEMENT**

*Available in Belarus experience of modeling water mode of complex river basins and creation of automatic measurement means of rivers water mode parameters has been represented.*

*As initial data, a generalized by the author Sen-Venan equations are used allowing to create in one-dimensional set mathematical models of water mode of water-sink systems with flood-plains what is important for Belarus river basins.*

*A generalized estimations of modeling errors has been given on the basis of comparing modeling results with standard measurement of water mode of river Tvertsi. An intensive control of Novotveretskaya HPS shutters, creating in the river length of 48 km multiple waves, which were repeated by mathematical model with error not more than 0,2 m proves acceptable modeling exactness.*

*Average error of mathematical modeling in river Pripyat' basin of maximal level (summarized length of water sink about 1000 km) is 0,1 m, and with probability 0,99 it does not exceed 0,25 m.*

*A characteristics of matrix ultra-sonic meter for simultaneous automatic definition of water levels and consumption has been given.*

*A multi-channel automatic IIS to study discontinuous and smoothly changing liquids flow in lab conditions has been designed. It is controlled from a single center, it works in automotive mode and can do data reception and processing with measurement errors estimation from hundreds various type transducers. IIS when changing in the systems of wire transmission for radio one may become the Center of data reception and processing of IIS of rivers basins.*

*Therefore, available at present in Belarus republic scientific-technical potential may promote to the enhancement of the efficiency to control water resources, especially when creating a great number of HPS, and accordingly to the increase of energetic security. Automatic measurement means development allow to create cheap monitoring systems of surface waters and along with mathematical models, systems of river basin water mode forecast to effectively control water resources and reduce damage from extreme situations of technogenic and natural origin. All these may be realized in the transition to basin-like principle of water resources management, as it has been done in many states.*

**Н. И. Тановицкая, Н. В. Шевцов, Г. В. Соколовский, А. В. Козулин**

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА И ЗОН ВЛИЯНИЯ ОСУШЕННЫХ И ВЫРАБОТАННЫХ УЧАСТКОВ БОЛОТ НА ПРИЛЕГАЮЩИЕ ТЕРРИТОРИИ

*Рассмотрены процессы формирования горизонтальной и вертикальной фильтрации в различных слоях торфяной залежи болот в естественном, осушеннем и выработанном состояниях. Приведены существующие методы оценки зон влияния осушительной сети болота на прилегающие участки суходольных территорий и естественного болота. Предложен обобщенный метод определения площади с нарушенным гидрологическим режимом в результате функционирования осушительной сети участков, выбывших из эксплуатации после добычи торфа.*

Гидрологические условия территории водосбора болота характеризуются факторами, определяющими формирование поверхностного и подземного стоков с болота и прилегающих земель. Процессы их формирования до и после осушения, а также после выработки залежи торфяного месторождения протекают неодинаково. Перераспределение поверхностного и подземного стоков с осущенных и выработанных участков, а также его влияние на прилегающие суходольные территории и участки неосущенного болота необходимо рассматривать в каждом конкретном случае с учетом геоморфологии местности, отметок поверхностей объекта и уровней стояния грунтовых вод в осушительной сети.

Водный баланс болота складывается из приходной части, включающей атмосферные осадки, приток поверхностных и подземных (грунтовых) вод, и из расходной части, включающей испарение, поверхностный и подземный стоки [1].

Испарение с болот определяется количеством тепла, поступающего к болотной поверхности, и количеством влаги, подводимой к поверхности болота из толщи торфяной залежи и выпадающей в виде атмосферных осадков. Часть дождевой воды, попадающей на болото, непосредственно испаряется в атмосферу (эвапотранспирация), другая часть впитывается растениями и возвращается в атмосферу в процессе транспирации.

Поверхностный и подземный стоки осуществляются за счет фильтрационных процессов в горизонтальном и вертикальном направлениях. Процессы горизонтальной и вертикальной фильтрации существенно различаются в разных слоях залежи и зависят от их водопроводимости.

Деятельный, или активный, горизонт торфяной залежи является торфогенным слоем, в котором происходят процессы неполного разложения отмирающей растительности и формирование торфа. Толщина торфогенного слоя принимается равной расстоянию от поверхности болота до среднего минимального уровня болотных

вод в меженный период и для подавляющего числа болот колеблется от 30 до 70 см [2]. Именно в этом слое, сложенном растительным очесом и слабо разложившимися растительными остатками, наиболее интенсивно протекают процессы фильтрации.

Под торфогенным слоем лежит инертный слой торфа, состоящий из полностью отмершего материала. Толщина его изменяется от нулевых значений у границ болота до максимальных глубин торфяных отложений (в Беларуси – до 9 м) [4]. При одинаковом ботаническом составе значения коэффициента фильтрации торфа инертного горизонта неосущенных болот, который зависит от пористости торфа, значительно меньше, чем для верхнего торфогенного слоя, и изменяются с увеличением глубины в пределах четырех порядков: от  $a \cdot 10^{-2}$  до  $a \cdot 10^{-6}$  см/с, где  $a$  – положительное число от 1 до 10 [2].

Таким образом, горизонтальная фильтрация воды осуществляется в основном через верхний активный слой торфа, состоящий из живых и частично разложившихся растений и обладающий высокой пористостью.

Показатель вертикальной фильтрации невысок, что связано с низкой фильтрационной способностью инертного слоя торфа, а также с тем, что дно болот часто образовано водонепроницаемыми осадочными породами, т. е. является водоупором.

Таким образом, количество поступающих осадков уравновешивается испарением и стоком с болота в основном за счет горизонтальной фильтрации.

В результате резкого снижения коэффициента фильтрации с глубиной инертного слоя залежи движение воды в нижнем горизонте замедляется до такой степени, что залежь находится в постоянно обводненном состоянии. Более 90 % объема инертного горизонта составляет вода, связанная органическим веществом торфа. Сток с болота продолжается до тех пор, пока не истощится запас свободной (несвязанной) воды в деятельном горизонте болота, т. е. пока уровень

грунтовых вод (УГВ) находятся в пределах этого горизонта. В засушливые периоды, когда УГВ снижается до инертного слоя с низким коэффициентом фильтрации, горизонтальный сток с болота незначителен. Только при влажной погоде или во время паводков, когда УГВ находится в пределах торфогенного слоя, обладающего повышенными фильтрационными свойствами, сток с болота увеличивается.

Быстрое понижение уровня воды (уменьшение запасов воды естественного болота) может происходить или вследствие высокого уровня эвапотранспирации, или, что наиболее вероятно, при высоких значениях УГВ вследствие укоренного горизонтального стока избыточной воды по торфогенному горизонту. В основном амплитуда колебания УГВ на естественном болоте незначительна. Такое относительное постоянство УГВ характерно для болот в естественном состоянии. Отклонения от этой схемы отражают изменения в самом болоте, например, его осушение.

Осушение естественных болот существенно влияет на гидрологический, а нередко и на гидрохимический режим не только непосредственно осушаемых участков, но и всего болота и прилегающих территорий. На торфяном месторождении наблюдается сброс запасов грунтовых вод, изменение зоны и режима аэрации торфогенного слоя торфяной залежи, прекращение процесса накопления торфа, уплотнение торфа, верхних горизонтов залежи и понижение поверхности болота, частичное или полное изменение болотных фитоценозов, сокращение биоразнообразия. Увеличение расходных составляющих водного баланса осушенного болота за счет интенсивного стока грунтовых вод по осушительной сети приводит к перераспределению их запасов на прилегающих территориях и понижению УГВ. В сферу влияния мелиорации вовлекаются и гидравлически связанные с грунтовыми водами более глубоко залегающие водоносные горизонты.

Понижение УГВ в результате осушения болот приводит также к коренному изменению структуры и физических свойств торфяной залежи. Водно-физические свойства становятся значительно более однородными по глубине залежи.

Функционирование осушительной сети в пределах болота или в его периферийной части нарушает естественный водный баланс за счет резкого увеличения горизонтального стока по каналам. Валовые и нагорные (нагорно-ловчие) каналы глубиной более 2 м, дренирующие периферийную часть болота, (с небольшой глубиной торфяной залежи), часто прокапываются до минерального дна. В этом случае за счет дренирования подстилающих пород возрастает и вертикальный сток с торфяной залежи (особенно если подстилающий грунт – крупнозернистые пески с высоким коэффициентом фильтрации).

В результате при наличии осушительной сети резко увеличивается горизонтальная фильтрация через верхний торфогенный слой торфа. В случае, если каналы прокопаны до минерального дна, начинают дренироваться и подстилающие породы, происходит отток подземных вод, что увеличивает вертикальную фильтрацию воды через всю толщу торфа. На участке болота, примыкающем к каналу, верхние слои торфа пересыхают и происходит усадка торфа, формируются ложбинные понижения, что обуславливает и поверхностный сток с болота.

Под зоной влияния осушительной сети подразумевается зона снижения уровней грунтовых вод прилегающих суходольных территорий и естественных болот в результате осушения и разработки торфяного месторождения.

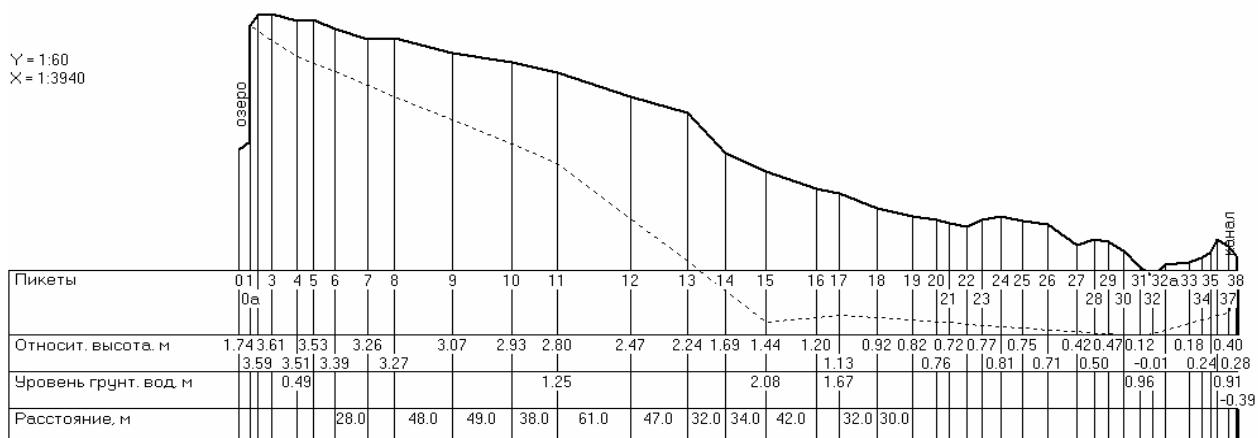
На верховых болотах в первые годы после осушения зона влияния осушительной сети на снижение УГВ обычно не превышает 50 м. Это связано с тем, что верхний активный слой торфа и моховой покров сохраняют возможность аккумулировать и не отдавать влагу. Однако в результате постепенного иссушения живой почвенный покров болота теряет свои водоудерживающие свойства и зона влияния каналов увеличивается. Возникновение торфяных пожаров и выгорание верхнего слоя залежи приводит к тому, что оставшийся слой инертного горизонта не способен удерживать влагу, в связи с чем вода, попадающая с осадками на болото, беспрепятственно стекает по его поверхности в дренирующие каналы. При этом поверхностный сток на естественных верховых болотах отсутствует, т. е. уровень воды даже в периоды наибольшей интенсивности поступления влаги обычно ниже поверхности мохового очеса. Этим объясняется резкое увеличение зоны влияния каналов на УГВ болота и прилегающих территорий после пожаров.

Например, после пожаров на болоте Докудовское зона влияния осушительной сети северного участка добычи торфа на УГВ примыкающего верхового болота заказника «Докудовский» увеличилась со 100 м в 1995 г. до 1200 м в 2008 г. Причем УГВ снизился с 0,4 м в 1995 г. до 1,5 м в 2008 г. от поверхности земли (рис. 1). Понижение УГВ и пожары являются причиной быстрой деградации болотных экосистем. В зоне нарушений гидрологического режима исчезают клюква, сфагновые мхи, которые заменяются вересковыми фитоценозами.

На низинных болотах зона влияния каналов на снижение УГВ прилегающих территорий значительно больше и достигает уже в первые годы 3 км. Это объясняется их геоморфологией, более низким расположением в рельфе по сравнению с верховыми болотами, отсутствием на низинных болотах сфагновых мхов и неспособностью верхнего слоя растительности удер-

живать воду. В связи с этим горизонтальная фильтрация через верхний активный горизонт и поверхностный сток на низинных болотах происходят очень быстро. Коэффициент фильтрации

низинного торфа намного выше, чем верхового, что обуславливает большую зону влияния осушительных каналов на УГВ участков болота и суходольных территорий.



**Рис. 1. Уровни грунтовых вод относительно поверхности земли в западной части болота Докудовское, примыкающей к участкам добычи торфа**

С течением времени зона воздействия осушительной сети на понижение уровня грунтовых вод распространяется на все более отдаленные территории, и, как следствие, отмечаются нарушения в функционировании и структуре растительных сообществ сопредельных территорий, возникает пожароопасная ситуация.

Особенностью выработанных участков торфяного месторождения являются более низкие отметки поверхности оставшегося слоя залежи и в связи с этим более низкие расположение в рельефе и значения УГВ по отношению к прилегающим территориям по сравнению с естественным и осушенным состояниями болота. При этом зона влияния осушительной сети выработанных торфяников значительно увеличивается. По мере выработки торфяной залежи для соблюдения нормы осушения периодически углубляются каналы. Даже при максимальном рекомендуемом оставшемся слое залежи 0,5 м для использования выработанных участков в сельском хозяйстве происходит дренирование подстилающего минерального грунта каналами, глубина которых достигает 1,5–2,0 м. Оставшаяся после выработки торфяная залежь представляет собой нижний слой инертного горизонта в осушенном состоянии, в котором интенсивно протекают процессы как горизонтальной фильтрации, (поскольку весь слой торфа находится в зоне аэрации), так и вертикальной (в результате оттока подземных вод подстилающих пород) [6].

Выработанные участки торфяных месторождений являются местами аккумуляции вод поверхностного стока с прилегающих территорий и подземных вод болота. Чем более плоский

рельеф имеет водосбор и чем больше на нем выработанных депрессий, тем более затруднен с него сток воды и тем больший ее объем требуется для заполнения поверхностной емкости выработанных участков. Таким образом, при увеличении площади бессточных понижений в виде искусственных депрессий действующая площадь водосбора уменьшается [8].

Обычно УГВ болота в естественном состоянии выше уровня воды гидравлически связанный с ним водоприемника или водотока. Однако после осушения и выработки залежи УГВ на месторождении значительно понижается, а благодаря наличию действующей открытой осушительной сети уровень воды водоприемника и выработанных участков месторождения становятся практически одинаковыми. Кроме этого, амплитуда колебания уровней грунтовых вод выработанного торфяного месторождения, так же как и прилегающих территорий, увеличивается. Таким образом, болото теряет стабилизирующую роль гидрологического режима территории [6].

Система осушительных каналов снижает уровни грунтовых вод не только в пределах выработанных участков торфяных месторождений, но и на прилегающих территориях в результате наличия гидравлической связи водоносного горизонта осушенных и примыкающих земель. В зонах влияния снижение УГВ зависит от величины его понижения на осушенной площади и от расстояния от осушительной сети [8]. Только на отдельных участках относительно узкой полосы по периметру осушаемого объекта понижение УГВ уменьшается в период наполнения каналов при их шлюзовании, а также во время половодий и паводков.

Воздействие осущеных торфяных месторождений на гидрологический режим прилегающих территорий количественно оценивается путем расчета двух параметров: зоны влияния осушительной сети и величины снижения УГВ. Для прогнозных расчетов этих величин применяют различные формулы, выбор которых определяется гидрогеологическими условиями и наличием исходной информации. Наиболее широко распространен и апробирован метод определения этих величин с применением формул Ф. М. Бочевера [3] и К. Г. Асатура [5].

Для расчета понижения УГВ территорий, прилегающих к осущенным массивам, на различном удалении от границы мелиоративной системы используется формула Ф. М. Бочевера:

$$H_p = H_0 \operatorname{erfc} x / 2 \sqrt{at}, \quad (1)$$

где  $H_p$  – понижение уровня грунтовых вод в расчетной точке, м;  $H_0$  – понижение уровня воды на границе выработанной площади, м;  $x$  – расстояние от границы выработанной площади до расчетной точки, м;  $t$  – время от весеннего паводка до расчетного периода (принято  $t = 120$  суток);  $\operatorname{erfc}$  – математическая функция;  $a$  – коэффициент уровнепроводности, определяется по формуле:

$$a = k m / \delta \text{ м}^2 / \text{сут}, \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент фильтрации грунта, м/сут;  $m$  – средняя мощность водоносного слоя, м;  $\delta$  – коэффициент водоотдачи грунтов водоносного слоя;

Границей мелиоративной системы считается контур осущенного объекта, на котором в результате функционирования осушительной сети обеспечивается заданный уровень грунтовых вод. Такой границей может быть нагорный или ловчий канал по периметру разрабатываемого или выработанного участка.

Для установления зоны влияния мелиоративных каналов на уровень грунтовых вод прилегающих территорий применяют уравнение К.Г. Асатура:

$$\lambda = \sqrt{2 \pi k h t / \delta}, \quad (3)$$

где  $\lambda$  – ширина зоны влияния, м;  $h$  – мощность водоносного слоя, м.

В формуле Асатура не учитывается величина понижения уровня воды в водотоке или на болоте, но по границам мелиоративных систем понижение уровня воды по сравнению с первоначальным составляет около 1 м и расчеты, произведенные по вышеприведенной формуле, практически совпадают с наблюдаемыми в натуре результатами [5].

Однако применение этих формул часто ограничено отсутствием исходной информации о значениях таких гидрогеологических параметров, как средняя мощность водоносного слоя, коэффициент фильтрации грунта, коэффициент водоотдачи в каждом конкретном случае. Эти данные обычно принимаются по материалам изысканий и гидрогеологической съемки.

Для оценки воздействия осущенных и выработанных участков торфяных месторождений на гидрологический режим прилегающих территорий авторы разработали обобщенный метод определения площади с нарушенным гидрологическим режимом выбывших из эксплуатации после добычи торфа участков торфяного месторождения. В площадь с нарушенным гидрологическим режимом входят выработанная площадь торфяного месторождения и площадь, включающая зону влияния осушительной сети. Кроме того, учитывалось, что площадь зоны влияния зависит не только от величины снижения уровня грунтовых вод, определяемой по формуле Ф. М. Бочевера, но и от размера выработанного участка.

В результате анализа и математической обработки многочисленных значений  $H_p$  и  $\lambda$ , рассчитанных по формулам (1) и (3), получены обобщенные коэффициенты перехода от выработанной площади к нарушенной для различных типов торфяников с учетом значений УГВ на границе выработанного участка.

На рис. 2, 3 приведены коэффициенты перехода от площади выработанного участка к общей площади территории с нарушенным гидрологическим режимом для различных градаций выработанных месторождений.

Зная тип месторождения, площадь выработанного участка, значение уровня грунтовых вод на границе мелиоративной системы, по рисункам 2 или 3 можно определить коэффициент перехода от выработанной площади к территории с нарушенным гидрологическим режимом. Произведение значения этого коэффициента на площадь выработанного участка определяет территорию, на которую распространяется зона влияния осушительной сети выработанного торфяника.

Предложенный метод оценки площади с нарушенным гидрологическим режимом в результате выработки участка торфяного месторождения позволяет значительно упростить расчеты и дает возможность использовать его при отсутствии данных гидрогеологических изысканий конкретного торфяного месторождения.

Данный метод апробирован в 2007 г. при выполнении работ по проекту «Оценка возможности расширения работ по восстановлению деградированных торфяников и финансированию аспектов управления системы ООПТ Беларусь».

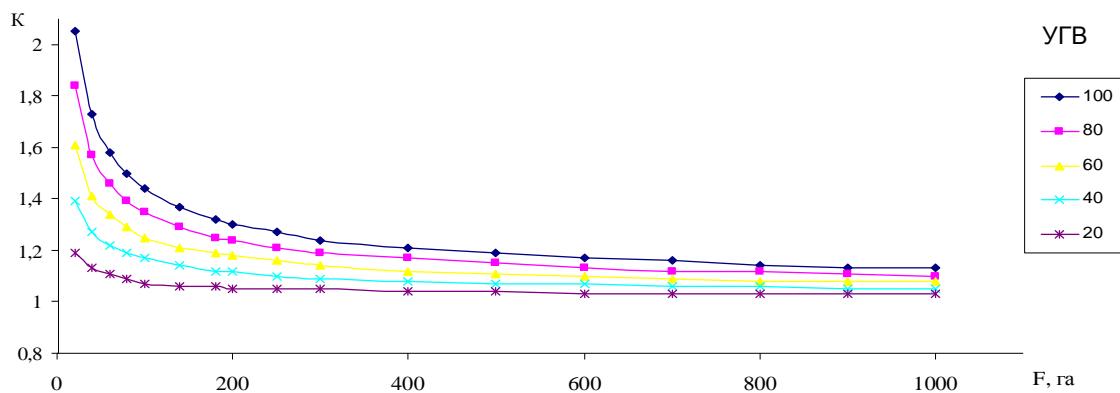


Рис. 2. Коэффициенты перехода от площади выработанного участка к площади с нарушенным гидрологическим режимом для низинного торфяника и песка при различных значениях УГВ

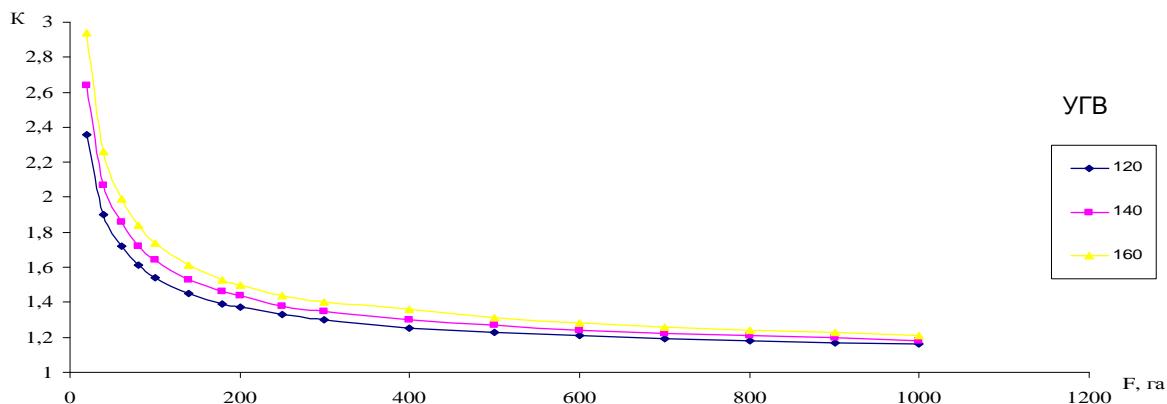


Рис. 3. Коэффициенты перехода от площади выработанного участка к площади с нарушенным гидрологическим режимом для верхового торфяника при УГВ от 120 до 160 см

### Л и т е р а т у р а

1. Гопченко Е. Д., Гушля А. В. Гидрология с основами мелиорации. М., 1989.
2. Иванов К. Е. Водообмен в болотных ландшафтах. М., 1975.
3. Методические рекомендации по определению размеров зоны влияния мелиоративных систем на уровень грунтовых вод прилегающих земель / М-во мелиорации и водного хозяйства СССР. М., 1977.
4. Пидопличко А. П. Торфяные месторождения Белоруссии. Мин., 1961.
5. Руководство по проектированию и изысканиям объектов мелиоративного и водохозяйственного строительства (РПИ-82). Ч. 9. Мин., 1985.
6. Тановицкая Н. И. Гидрологическая роль торфяного месторождения «Освейское» // Природные ресурсы. 2003. № 1. С. 91–98.
7. Шебеко В. Ф. Гидрологический режим осушаемых территорий. Мин., 1970.
8. Tanovitskaya N. I. Hydrological role of peatland «Osveyecky» in natural, drainage and depleted conditions. Conference «EGU – 1st General Assembly» Copernicus Online Service + Information System. 'Geophysical Research Abstracts, EGU04-A-02767. 2004. V. 6.

**Н. И. Тановицкая, Н. В. Шевцов, Г. В. Соколовский, А. В. Козулин**

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА И ЗОН ВЛИЯНИЯ ОСУШЕННЫХ И ВЫРАБОТАННЫХ УЧАСТКОВ БОЛОТ НА ПРИЛЕГАЮЩИЕ ТЕРРИТОРИИ**

---

Рассмотрены процессы формирования горизонтальной и вертикальной фильтрации различных слоев торфяной залежи в естественном, осушеннем и выработанном состояниях и зон влияния осушительной сети болота на прилегающие территории. Показано различие фильтрационных процессов в горизонтальном и вертикальном направлениях для торфогенного и инертного горизонтов торфяной залежи до и после осушения, а также после выработки торфяной залежи.

Особенностью выработанных участков торфяного месторождения являются более низкие отметки поверхности оставшегося слоя залежи по сравнению с естественным и осушенным состоянием болота. При этом зона влияния осушительной сети выработанных торфянников значительно увеличивается. По мере выработки торфяной залежи для соблюдения нормы осушения периодически углубляются каналы, происходит дренирование подстилающего минерального грунта. Оставшаяся после выработки торфяная залежь представляет собой нижний слой инертного горизонта в осушеннем состоянии, в котором интенсивно протекают процессы как горизонтальной фильтрации, т. к. весь слой торфа находится в зоне аэрации, так и вертикальной в результате оттока подземных вод подстилающих пород.

Предложен обобщенный метод определения площади с нарушенным гидрологическим режимом в результате функционирования осушительной сети выбывших из эксплуатации после добычи торфа участков торфяного месторождения. Предложенный метод позволяет значительно упростить расчеты и дает возможность использовать его при отсутствии данных гидрогеологических изысканий конкретного торфяного месторождения.

**N. I. Tanovitskaya, N. V. Shevtsov, G. V. Sokolovskiy, A. V. Kozulin**

**FEATURES OF SINK FORMATION AND INFLUENCE ZONES  
OF DRAINED AND CUTOUT MIRES SITES AT THE ADJACENT TERRITORIES**

---

*Processes of the formation of horizontal and vertical filtration of various peat deposit layers in natural, drained and cutout states and impact zones of drainage mire net at the adjacent territory have been regarded. A distinction of filtration processes in horizontal and vertical directions for peat-genic and inert horizons of a peat deposit prior and post-drainage as well as after peat deposit cutout has been shown.*

*The specificity of cutout sites of a peat deposit is more low marks of the surface of the remained deposit layer in comparison to natural and drained mire state. Here an impact zone of the drainage net of cutout peat deposits enhances greatly. By cutting out a peat deposit, to ensure drainage parameters, the channels are being deepened, draining of the bedding mineral ground occurs. The remained cutout peat deposit looks like a bottom inert horizon layer in a drained state, in which intensively run both horizontal filtration processes due to the whole peat layer being in aeration zone, and a vertical one due to underground bedding rocks waters run-off.*

*A generalized method to determine the area with disturbed hydrological mode as a result of draining net functioning of non-exploited after peat extraction sites of a deposit was offered. The method offered allows to greatly simplify calculations and enables using it when data of hydrological exploration of this deposit lacks.*

**Н. М. Томина, О. Г. Савич-Шемет, Н. В. Попкова, Ю. П. Анцух**

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ УРОВЕННОГО РЕЖИМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД БЕЛОВЕЖСКОЙ ПУЩИ

Проведен анализ изменения уровня подземных вод территории Беловежской пущи отдельно по принадлежности скважин к определенному типу вод (грунтовые, спорадические, напорные). Выполнено зонирование территории Беловежской пущи по степени воздействия на режим подземных вод.

Уровенный режим грунтовых вод определяет влажность корнеобитаемого слоя и условия произрастания растений. На отдельных участках НП «Беловежская пуша» отмечены случаи угнетения отдельных видов растительности на некоторых участках, в связи с чем встал вопрос об изучении основных тенденций изменения режима грунтовых вод под влиянием климатических факторов либо обусловленных антропогенной деятельностью.

Изучение режима подземных вод, в том числе уровенного, на территории Беловежской пущи началось в 1970 г. Для этого на рассматриваемой территории заложена режимная сеть из 45 наблюдательных скважин и 2 гидрологических постов. Гидрогеологические посты расположены в наиболее характерных районах пущи с учетом геоморфологических условий территории, а также режимообразующих (физико-географических) факторов.

Уровенный режим грунтовых вод территории Беловежской пущи изучался по отдельным наблюдательным скважинам 6 гидрогеологических постов по данным наблюдений: Глубонецкий, Бровский, Центрально-Беловежский, Каменюкский, Хвойникский, Ляцкие [6].

Анализ режимных наблюдений показал, что колебания уровня грунтовых вод (УГВ) по всем постам носят довольно однотипный характер. Это связано с тем, что формируется режим под воздействием одних и тех же факторов, основными из которых являются метеорологические и гидрологические.

Учитывая однотипность в характере изменения уровней грунтовых вод, характеристика

уровенного режима была произведена совместно по всем водоносным горизонтам и комплексам (аллювиальным, болотным, флювиогляциальным и др.), к которым приурочены грунтовые воды. Анализ кривых колебаний УГВ на территории Беловежской пущи показывает, что, несмотря на однотипность их изменений, имеется ряд особенностей, обусловленных взаимодействием таких факторов, как водотоки, мощность и литологический состав зоны аэрации. При залегании грунтовых вод на глубинах порядка 5 м это выражается в разновременности сроков наступления подъемов и спадов УГВ, в различной их продолжительности, различных величинах амплитуд подъема и спада. Так, максимальные амплитуды подъемов и спадов, а также увеличение их интенсивности прослеживаются по скважинам, расположенным в непосредственной близости от рек. По мере удаления от водотока влияние последних сглаживается.

За весь период инструментальных наблюдений для грунтового (безнапорного) водоносного горизонта (при залегании уровня на глубинах порядка 1,5–3,0 м) достаточно четко прослеживаются сезонные изменения: значительный весенний подъем (обусловленный, как правило, инфильтрацией талых вод), продолжительный летне-осенний спад (обусловленный, как правило, испарением с зеркала грунтовых вод и оттоком с дренирующим понижением) и осенне-зимний подъем (вызванный увеличением инфильтрации атмосферных осадков в результате снижения температуры воздуха и уменьшением испарения) (рис. 1).

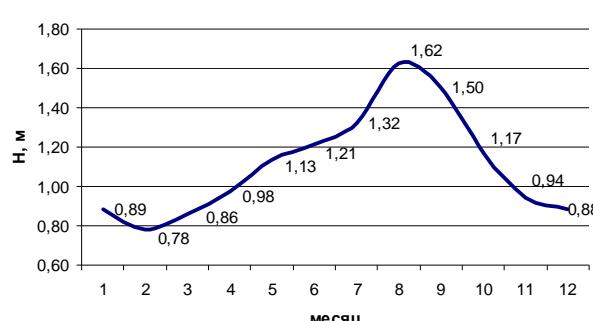


Рис. 1. Годовой ход изменения УГВ водоносных горизонтов и комплексов с грунтовыми водами

Анализ колебания уровня для вод спорадического распространения выявил, что показательными являются многолетние изменения в ходе уровня, а сезонные колебания затухают. Характер этих многолетних изменений сходен с многолетними колебаниями уровня грунтовых вод, залегающих на глубине менее 5 м. Однако, при общей схожести хода уровня, наблюдается тенденция к смещению сроков наступления многолетних колебаний в сторону незначительного запаздывания. График имеет вид или синусоиды

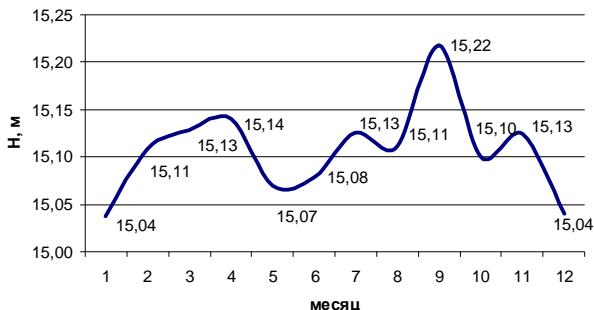


Рис. 2. Годовой ход изменения УВ водоносных горизонтов и комплексов с водами спорадического распространения

Факторы, влияющие на формирование уровненного режима грунтовых вод, можно условно разделить на две группы. К первой группе относятся региональные факторы, которые определяют уровненный режим больших территорий, а ко второй – локальные факторы. Тогда УГВ можно представить как:

$$z_t = z_t^\phi \pm \Delta z_t^l,$$

где  $z_t$  – УВ в расчетном календарном году, м;  $z_t^\phi$  – фоновая составляющая в формировании УВ в том же году, м;  $\pm \Delta z_t^l$  – вклад в формирование УВ локальных факторов, м.

Для определения влияния климатических и антропогенных факторов на изменение уровненного режима подземных вод Беловежской пущи был использован метод построения регрессионных моделей связи УГВ и атмосферных осадков с учетом формирования гидрологических условий территории исследований. Иными словами, устанавливалась количественная взаимосвязь между показателем (УГВ) и фактором (количество атмосферных осадков).

Решение задач регрессионного анализа проводилось в несколько этапов: выбор вида уравнений регрессии; вычисление коэффициентов уравнения регрессии; проверка адекватности построенной функции результатам наблюдений.

Допущения, принятые при построении уравнений регрессии: количество наблюдений

с незначительными амплитудами колебаний, или монотонной выпуклой линии с многочисленными колебаниями (рис. 2).

При анализе изменения уровня вод напорного водоносного горизонта выявлено, что сезонные колебания, как правило, отсутствуют, выражен самостоятельный многолетний ход уровня. Кривая имеет монотонно слаженный характер, вид пильы и осложнена мелкими бессистемными колебаниями (рис. 3).

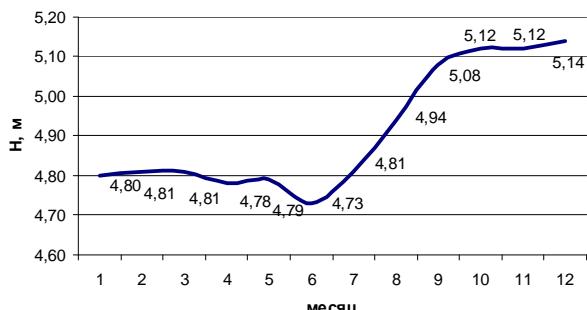


Рис. 3. Годовой ход изменения УВ водоносных горизонтов и комплексов с напорными водами

достаточно для проявления статистических закономерностей относительно факторов и их взаимосвязей; обрабатываемые электронные данные содержат некоторые ошибки (помехи), обусловленные погрешностями измерений, воздействием неучтенных случайных факторов; матрица результатов наблюдений является единственной информацией об изучаемом объекте, имеющейся в распоряжении перед началом исследования.

При выборе вида уравнений регрессии учитывалось, что выбранный класс функций должен обладать некоторой «гладкостью», т. е. небольшие изменения значений аргументов должны вызывать небольшие изменения значений функции. Отвечающим указанному условию является класс полиномиальных функций:

$$y = a_0 + \sum_{j=2}^m a_j u_j + \sum_{j=2}^{m-1} \sum_{k=j+1}^m a_{jk} u_j u_k + \sum_{j=2}^m a_{jj} u_j^2 + \dots + \varepsilon,$$

где  $a_0, a_j, a_{jk}, \dots, a_{jj}, \dots$  – коэффициенты, к нахождению которых сводится поставленная задача. Строилась модель так, чтобы сумма квадратов отклонений или остаточная сумма квадратов между модельными и фактическими величинами была минимальной:

$$Q_e = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2,$$

где  $\hat{y}_i$  – модельные величины,  $y_i$  – фактические (измеренные) величины.

Исходя из целей и исходных данных поставленной задачи был использован частный случай уравнения регрессии – полином первой степени:

$$y = a_0 + \sum_{j=2}^m a_j u_j + \varepsilon.$$

Также необходимо убедиться в статистической значимости коэффициента парной корреляции

$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{(n-1) \sigma_x \sigma_y}$  между исследуемыми величинами. Доказано [7], что  $Q_e$  будет минимальной, если  $a_0$  и  $a_1$  находятся путем решения следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} a_0 n + a_1 \sum_{i=1}^n u_i = \sum_{i=1}^n y_i \\ a_0 \cdot \sum_{i=1}^n u_i + a_1 \sum_{i=1}^n u_i^2 = \sum_{i=1}^n u_i y_i \end{cases}.$$

Проверка статистической значимости коэффициентов моделей выполнялась путем вычисления  $t$ -критерия Стьюдента: для  $a_0$  по выражению:

$$t_0 = a_0 \sqrt{\frac{n(n-2) \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2}{Q_e \sum_{i=1}^n u_i^2}}$$

и для  $a_1$  по выражению:

$$t_1 = a_1 \sqrt{\frac{(n-2) \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2}{Q_e}}.$$

Полученное значение  $t$ -критерия сравнивалось с квантилем распределения Стьюдента  $t_\alpha$ , и в случае, если  $|t| > t_\alpha$ , принималось решение о статистической значимости коэффициента.

Для проверки адекватности модели производилась проверка близости модельных величин к фактическим, для чего вычислялся  $F$ -критерий Фишера:

$$F = \frac{Q_r / k}{Q_e / (n - k - 1)},$$

Таблица 1. Результаты построения линейной регрессионной модели

Пост	№ скв.	Тип	Период 1961–1987 гг.		Период 1988–2007 гг.	
			P-значение	R <sup>2</sup>	P-значение	R <sup>2</sup>
Глубонецкий	516	грунт.	0,049	0,05	0,046	0,15
	517	грунт.	0,042	0,09	0,012	0,17
	518	грунт.	0,013	0,03	0,048	0,21
	515	грунт.	0,0008	0,12	0,054	0,13
	523	грунт.	0,054	0,23	0,021	0,07

Окончание табл. 1

Пост	№ скв.	Тип	Период 1961–1987 гг.		Период 1988–2007 гг.	
			P-значение	R <sup>2</sup>	P-значение	R <sup>2</sup>
	770	спорад.	0,014	0,15	0,012	0,14
	771	спорад.	0,047	0,10	0,023	0,09
	513	спорад.	0,054	0,21	0,024	0,01
	773	напор.	0,006	0,22	0,024	0,02
Каменюкский	634	грунт.	1,64E-13	0,13	2,8E-17	0,21
	163	грунт.	1,02E-8	0,11	4,6E-9	0,24
	165	спорад.	0,003	0,14	0,054	0,07
	166	напор.	0,0004	0,25	0,021	0,08
	635	грунт.	0,0002	0,24	0,013	0,10
	636	напор.	0,45	0,24	0,023	0,15
	637	напор.	0,0005	0,21	0,045	0,11
	164	грунт.	0,00065	0,19	0,024	0,09
Хвойникский	650	грунт.	1,08E-12	0,01	6,6E-05	0,21
	651	грунт.	1,44E-17	0,05	3,2E-05	0,22
	647	грунт.	1,23E-14	0,12	1,3E-05	0,08
	648	грунт.	1,18E-21	0,15	6,3E-05	0,10
	652	спорад.	1,23E-5	0,16	5,2E-05	0,15
	646	спорад.	1,45E-4	0,21	4,1E-05	0,08
	649	спорад.	1,01E-7	0,24	2,3E-05	0,05
Центрально-Беловежский	661	грунт.	1,18E-21	0,01	2,5E-17	0,05
	1353	грунт.	1,23E-5	0,04	2,3E-18	0,08
	1351	грунт.	1,45E-4	0,05	1,2E-9	0,09
	653	грунт.	1,01E-7	0,03	5,4E-7	0,17
	1349	грунт.	1,14E-8	0,12	4,6E-16	0,14
	1348	грунт.	1,56E-1	0,13	2,4E-14	0,08
	654	спорад.	1,45E-2	0,15	1,2E-15	0,02
	655	спорад.	1,11E-8	0,11	2,8E-17	0,05
	656	спорад.	1,23E-14	0,10	5,6E-18	0,18
	643	спорад.	1,18E-21	0,13	1,44E-17	0,04
	644	спорад.	1,23E-5	0,15	1,23E-14	0,05
	710	спорад.	1,45E-4	0,10	1,18E-21	0,21
	711	напор.	1,01E-7	0,21	1,23E-5	0,09
	712	напор.	1,45E-4	0,13	1,45E-4	0,10
Бровский	662	грунт.	1,45E-4	0,12	5,6E-18	0,47
	660	грунт.	1,01E-7	0,45	0,0004	0,24
	663	напор.	1,2E-9	0,65	0,008	0,12
	664	грунт.	5,4E-7	0,42	0,0012	0,23
	665	грунт.	1,08E-12	0,14	0,0045	0,65
	500	грунт.	1,44E-17	0,68	0,00012	0,24
	501	напор.	0,008	0,67	3,2E-05	0,15
	502	напор.	0,004	0,46	1,3E-05	0,18
	666	грунт.	0,0005	0,78	0,0014	0,24
	667	грунт.	0,047	0,73	0,0015	0,21

Таким образом, для трех типов подземных вод, на которых ведутся наблюдения за УВ, получены результаты взаимосвязи режима подземных вод с количеством атмосферных осадков (табл. 2):

1) грутовые – в водосборе р. Нарев наблюдается выраженная зависимость изменения УГВ от климатических факторов (45–65 % скважин имеют статистически значимую достаточно точную парную линейную регрессионную модель связи изменения УГВ с количеством атмосферных осадков), р. Лесная – 20–45%, р. Наревка – < 20%;

2) спорадического распространения – в водосборе р. Нарев также наблюдается выраженная

зависимость изменения УГВ от климатических факторов (40–65 %), р. Лесная – 20–40 %, р. Наревка – < 20%;

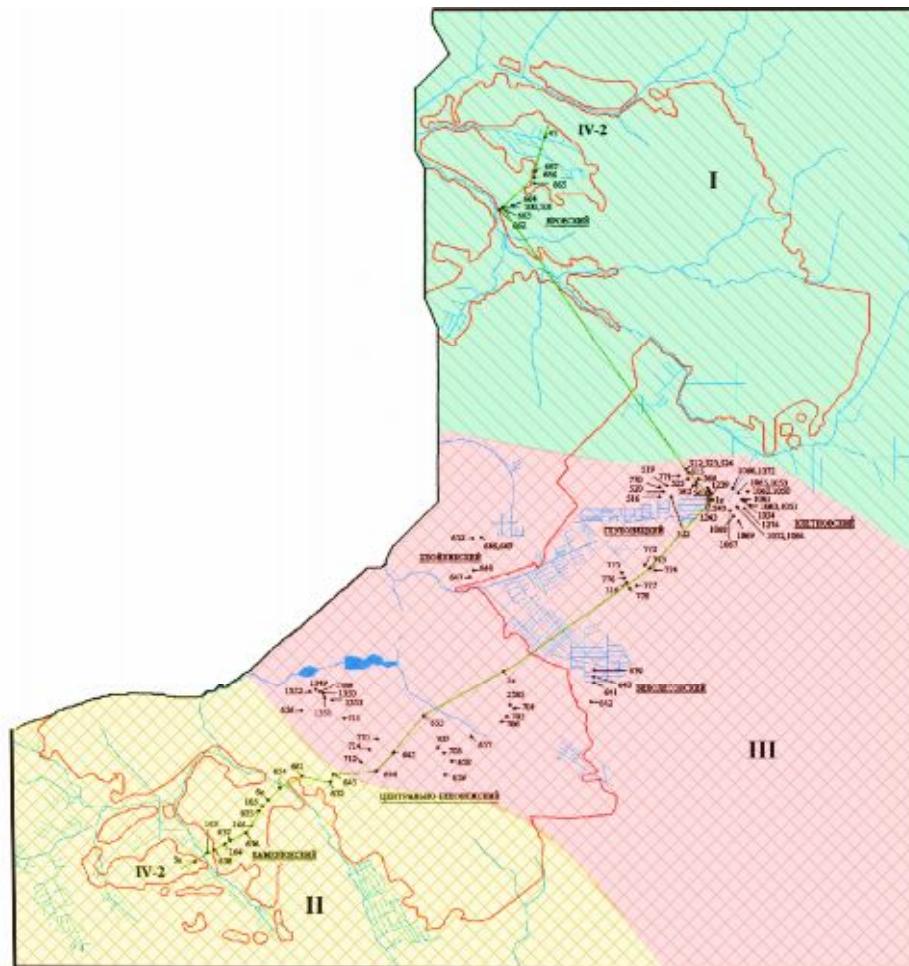
3) напорные - в водосборе р. Нарев наблюдается ярко выраженная зависимость изменения УГВ от климатических факторов (> 70 %), р. Лесная – 20–40 %, р. Наревка – < 20 %.

Исходя из табл. 1 коэффициент детерминации ( $R^2$ ) увеличился для периода текущего потепления климата для большинства скважин постов Глубонецкий, Хвойникский, Центрально-Беловежский (водосбор р. Наревки). На постах Каменюкский (водосбор р. Лесной) и Бровский (водосбор р. Нарев) указанная тенденция не выявлена.

**Таблица 2. Показатель (%) наличия статистически значимой связи положения УВ с атмосферными осадками**

Тип вод	Бассейн, %		
	р. Нарев	р. Наревка	р. Лесная
Грунтовые	45–65	< 20	20–45
Сporадические	40–65	< 20	20–40
Напорные	> 70	< 20	20–40

По результатам выполненных исследований построена финальная схема зонирования территории Беловежской пущи по условиям влияния климатических и антропогенных факторов на режим подземных вод (рис. 4).



**Условные обозначения:**

- 772 – номер скважины
- граница ГПУ НП “Беловежская пуща”
- линия разреза
- каналы, реки
- Бровский** – название поста
- номер речного бассейна (I) и уровень его антропогенной преобразованности (цвет)
- уровень трансформации режима подземных вод

**Речной бассейн:**

- I - р. Нарев
- II - р. Лесная
- III - р. Наревка

**Степень трансформации речного стока:**

- нетрансформированный (естественный, климатообусловленный)
- преобразованный в период проведения интенсивной мелиорации

**Уровень трансформации режима подземных вод:**

- низкий (преимущественно климатообусловленный)
- средний
- высокий (преимущественно атропогеннообусловленный)

**Рис. 4. Схема зонирования территории Беловежской пущи по степени воздействия климатических и антропогенных факторов на режим подземных вод**

В основу проведенного зонирования положено:

1. Речной бассейн. На схеме выделены границы речных водосборов на территории исследований. Это обусловлено тем, что формирование водных ресурсов как поверхностных, так и подземных вод первых от поверхности водоносных горизонтов, происходит в пределах речного бассейна. Водораздел поверхностных вод и первых от поверхности водоносных горизонтов, как правило, совпадает. В соответствии с этим расчет и анализ режима УВ проводились с учетом приуроченности гидрогеологических постов к конкретным бассейнам с учетом трех типов подземных вод, на которых ведутся наблюдения за УВ на гидрогеологических постах: грунтовые, спорадического распространения и напорные.

Зона I – бассейн собственно р. Нарев;

Зона II – бассейн р. Наревки, т.к. впадение ее в р. Нарев происходит ниже по течению за пределами территории Беловежской пущи;

Зона III – бассейн р. Лесной.

2. Трансформация водного режима рек. По результатам исследований [6] получено, что водный режим р. Нарев не претерпел существенных изменений и в наиболее значительной степени является климатообусловленными. Это связано также с тем, что в бассейне р. Нарев уровень антропогенного вмешательства был низким. Водный режим рр. Наревка и Лесная претерпел изменения в период проведения интенсивной мелиорации, что выражалось в увеличении стока этих рек и изменении его внутригодового распределения. В настоящее время водный режим данных рек стабилизировался.

3. Уровень трансформации режима подземных вод (табл. 2).

Выделены зоны с низким (преимущественно климатообусловленным), средним и высоким (преимущественно антропогеннообусловленным) уровнем трансформации режима подземных вод первых от поверхности водоносных горизонтов.

Зона с низким уровнем трансформации режима подземных вод приурочена к бассейну р. Нарев, который находится в преимущественно естественном состоянии; со средним – к бассей-

ну р. Лесной и с высоким – к бассейну р. Наревки, которые подверглись осушительной мелиорации.

Выполненное зонирование позволило разработать рекомендации по ограничению хозяйственной деятельности для поддержания гидрологического режима водных объектов НП «Беловежская пуща»:

1. Водосбор р. Нарев. Водосбор р. Нарев в пределах территории исследований является наименее антропогенно преобразованным и, соответственно, изменения УГВ являются климатообусловленными. Целесообразно поддержание существующего уровня антропогенного воздействия. Для территории, прилегающей к Беловежской пуще в пределах бассейна р. Нарев (восточная часть пущи), предусмотреть режим использования данной территории без увеличения воздействия на водные ресурсы, т. к. изменение хозяйственной деятельности в указанных районах может оказать влияние на режим стока р. Нарев.

2. Водосбор р. Наревка. В результате мелиорации земель за 30–40-летний период на мелиоративных системах водосбора р. Наревки сформировались самостоятельные агроландшафты, стабилизировался режим УГВ [5], сформировался особый природно-антропогенный ландшафт. В соответствии с этим для обеспечения стабильности функционирования речного бассейна как системы необходимо ограничение антропогенного воздействия (регулирование стока, мелиорация и др.).

3. Водосбор р. Лесной. Водосбор р. Лесной в границах НП «Беловежская пуща» представлен верховьями рр. Лесная Правая и Левая и их притоков и является наиболее уязвимым с гидрологической точки зрения. В связи с этим необходимо строго ограничить проведение мероприятий, направленных на осушение переувлажненных земель.

4. Зону регулирования хозяйственной деятельности целесообразно рассматривать в границах водосборной площади р. Нарев и его притока р. Наревки для обеспечения функционирования речной системы.

## Л и т е р а т у р а

1. Боровиков В. П. *Statistica. Искусство анализа данных на компьютере.* СПб., 2001.
2. Булавко А. Г. *Водный баланс речных водосборов.* Л., 1971.
3. Вуколов Э. А. *Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL.* М., 2004.
4. Логинов В. Ф., Сачок Г. И. и др. *Изменения климата Беларуси и их последствия.* Мин., 2003.
5. Отчет о НИР «Изучение влияния климатических изменений и других факторов на природный комплекс Беловежской пущи, колебания уровня грунтовых вод в целях разработки мероприятий, направленных на поддержание гидрологического режима и сохранения биологического и ландшафтного разнообразия». – Институт природопользования. Мин., 2008.
6. «Режим и баланс подземных вод территории Беловежской пущи». – Белорусская геологогидрологическая экспедиция. Центральная гидрологическая партия. Мин., 1975.
7. Юнкеров В. И. *Математико-статистическая обработка данных медицинских исследований.* СПб., 2002.

*Н. М. Томина, О. Г. Савич-Шемет, Н. В. Попкова, Ю. П. Анцух*

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА  
ИЗМЕНЕНИЕ УРОВЕННОГО РЕЖИМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД БЕЛОВЕЖСКОЙ ПУЩИ**

Дана оценка пространственной и временной изменчивости уровня подземных вод территории Беловежской пущи. Материалами для исследования послужили данные Белорусской геологогидрогеологической экспедиции по 6 геолого-гидрогеологическим постам в месячном разрезе. С учетом особенностей гидрогеологических условий определены превалирующие режимообразующие факторы. На основе выявленных основных закономерностей влияния климатических факторов на уровень режим подземных вод, приуроченных к различным водоносным горизонтам, выполнено зонирование территории Беловежской пущи по степени воздействия на режим подземных вод и предложены рекомендации по ограничению хозяйственной деятельности для поддержания гидрологического режима водных объектов территории НП «Беловежская пуща».

*N. M. Tomina, O. G. Savich-Shemet, N. V. Popkova, Y. P. Antsukh*

**ESTIMATION OF INFLUENCE OF CLIMATIC AND ANTHROPOGENIC FACTORS ON  
CHANGES IN LEVEL RATE OF UNDERGROUND WATERS OF BELOVEZHSKAYA PUSCHA**

The estimation of spatial and temporal variability of the level of underground waters of territory of the Belovezhskaya Puscha is given. As research materials the data of the Belarus geologo-hydro-geological expedition on 6 geology-hydrogeological posts in a month cut has served. Taking into account features of hydro-geological conditions prevailing mode-conditioning factors have been defined. On the basis of the revealed main laws of influence of climatic factors on the level rate of the underground waters dated to various water-bearing horizons, zoning of Belovezhskaya Puscha territory on the influence degree on a mode of underground waters is executed and recommendations about restriction of economic activities for maintenance of hydrological mode of water objects of Belovezhskaya Puscha NP territory are offered.

**Н. Н. Бамбалов, В. А. Ракович, Н. И. Тановицкая, Н. А. Кот,  
Т. В. Селивончик, Н. В. Молокова, И. А. Кирильчик**

## **ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

*Обоснованы методы оценки воздействия выработанных торфяных месторождений на окружающую среду, включая гидрологический режим прилегающих территорий, загрязнение поверхностных и подземных вод продуктами разложения торфа, эмиссию диоксида углерода в атмосферу и изменение ландшафтов. Представлена классификация выработанных торфяных месторождений по степени их пожароопасности. Количественная оценка воздействия на окружающую среду выполнена на примере выработанных торфяных месторождений Гродненского района.*

При всех известных технологиях разработки торфяных месторождений на их разрабатываемой части сводится растительный покров и извлекается торфяная залежь, в результате чего уничтожаются местообитания болотного разнообразия. Добыча торфа фрезерным способом, кроме этого, предусматривает обязательное осушение торфяных месторождений, которое коренным образом изменяет все их биосферные и природно-хозяйственные функции и многократно увеличивает вероятность возникновения пожаров [2].

Если после завершения разработки торфяного месторождения остаточный слой торфа продолжает находиться в осушенном состоянии, то независимо от направления использования он разлагается аэробными организмами с образованием газообразных и водорастворимых веществ, которые поступают в атмосферу, поверхностные и подземные воды, а осушающее действие каналов продолжает влиять не только на гидрологический режим выработанной части торфяных месторождений, но и на сопредельные с ними территории. Как показала практика, эти процессы продолжаются многие десятилетия, пока действуют осушительные системы или пока не разложится весь остаточный слой торфа. Кроме этого, в зависимости от геоморфологии, свойств подстилающих пород, других природных факторов и направлений использования по-разному формируется растительный покров и развивается ландшафт на выработанных торфяных месторождениях.

Таким образом, для того, чтобы оценить воздействие выработанного торфяного месторождения на окружающую среду необходимо как минимум определить его влияние на гидрологический режим, атмосферу, качество поверхностных и подземных вод, а также оценить развитие ландшафта в перспективе нескольких десятков лет с учетом вероятности возникновения пожаров и их возможных последствий.

В данной работе оценку воздействия выработанных торфяных месторождений на окружающую среду выполняли на примере Гродненского района. С учетом вышеизложенного воздействие каждого выработанного торфяного месторождения Гродненского района на окружающую среду оценивали по следующим показателям: площадь, на которую распространяется осушающее действие каналов; влияние на качество подземных вод и вод водоприемников; пожароопасность; эмиссия диоксида углерода в атмосферу; преобразование ландшафта. Методы оценки изложены в тексте при описании каждого вида воздействия торфяных месторождений на окружающую среду.

**Осушающее воздействие.** Формирующийся на выработанных торфяных месторождениях гидрологический режим не обеспечивает выполнение естественной водорегулирующей функции болот, поэтому она существенно ослабляется или полностью утрачивается. Как известно [3,4,10], осушающее воздействие сохранившихся каналов в зависимости от типа торфяного месторождения, его положения в рельефе, свойств грунтов, подстилающих остаточную торфянную залежь и залегающих на смежных территориях, а также от общей гидрологической и гидрогеологической ситуации распространяется на прилегающие территории на расстояния до 4 км, но наиболее сильное их воздействие проявляется на расстоянии 50–500 м.

Связь водоносного горизонта осушенных и примыкающих земель обеспечивает снижение уровня грунтовых вод (УГВ) не только в пределах выработанных участков торфяных месторождений, но и на прилегающих территориях. Снижение УГВ в зоне влияния действующих осушительных каналов зависит от величины его понижения на осушенной площади и удаленности территории от осушительной сети [10].

Влияние осушенных и выработанных участков торфяных месторождений на гидрологический режим прилегающих территорий

количественно оценивается путем расчета зоны влияния осушительной сети и величины снижения УГВ. Для прогнозных расчетов этих величин применяют различные формулы, выбор которых определяется гидрологическими условиями и наличием исходной информации. Наиболее широко распространен и апробирован метод определения этих параметров с применением формул Ф. М. Бочевера [8] и К. Г. Асатура [9].

Использование этих методик ограничено отсутствием исходной информации о значениях таких гидрологических параметров, как средняя мощность водоносного слоя, коэффициент фильтрации грунта, коэффициент водоотдачи в каждом конкретном случае. Эти данные обычно принимаются по материалам изысканий и гидрологической съемки.

Для оценки воздействия осущеных и выработанных участков торфяных месторождений на гидрологический режим прилегающих

территорий специалистами Белгипроводхоза Н. В. Шевцовым и Г. В. Соколовским разработан обобщенный метод определения площади с нарушенным гидрологическим режимом выбывших из эксплуатации после добычи торфа участков торфяного месторождения. В площадь с нарушенным гидрологическим режимом включены выработанная площадь торфяного месторождения и площадь зоны влияния осушительной сети, в пределах которой происходит снижение уровня грунтовых вод. Площадь зоны влияния зависит не только от величины снижения уровня грунтовых вод, типа залежи, но и от размера выработанного участка.

На рис. 1 и 2 приведены коэффициенты перехода от площади выработанного участка к общей площади территории с нарушенным гидрологическим режимом для низинного и верхового типов торфяных залежей с учетом значений УГВ на границе выработанного участка.

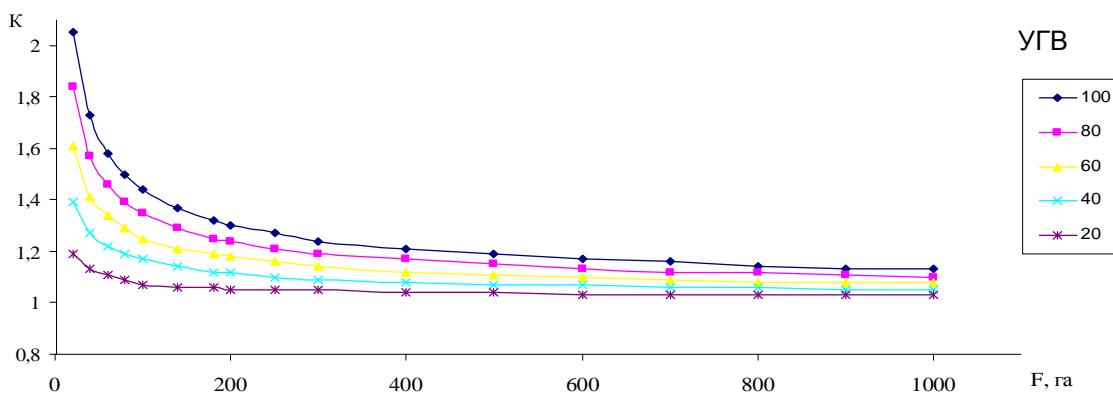


Рис. 1. Коэффициенты перехода (К) от площади выработанного участка (F) к площади с нарушенным гидрологическим режимом для низинного торфяного месторождения в зависимости от УГВ

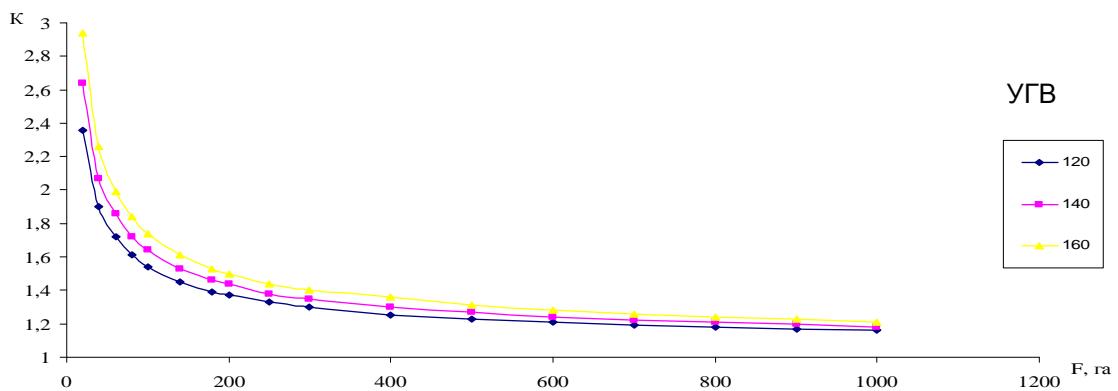


Рис. 2. Коэффициенты перехода (К) от площади выработанного участка (F) к площади с нарушенным гидрологическим режимом для верхового торфяного месторождения в зависимости от УГВ

По представленным графикам определяется коэффициент перехода от выработанной площади к территории с нарушенным гидрологическим режимом. Произведение значения этого

коэффициента на площадь выработанного участка определяет территорию, на которую распространяется зона влияния осушительной сети выработанного торфяного месторождения.

Обобщенный метод оценки площади с нарушенным гидрологическим режимом в результате осушения и выработки торфа имеет ряд преимуществ перед существующими методами, так как он позволяет избежать трудоемких расчетов, требующих достаточно большого объема информации о гидрогеологических особенностях территории торфяного месторождения. Применение коэффициента перехода, определяемого по полученным эмпирическим зависимостям, позволяет без промежуточных вычислений сразу рассчитать площадь с нарушенным гидрологическим режимом в результате функционирования осушительной сети выбывших из эксплуатации после добычи торфа участков торфяного месторождения.

В табл. 1 представлены данные о площадях, на которые распространяется осушающее воздействие выработанных торфяных месторождений. В Гродненском районе все выработанные торфяные месторождения, находящиеся в осушенному состоянии, оказывают существенное осушающее воздействие на прилегающие территории. Например, осушительная система выработанной части торфяного месторождения Урошище Остров при площади, на которой выполнена разработка торфяной залежи, равной 120 га, оказывает осушающее воздействие на площадь 157 га, что на 31 % больше площади разработки. Для торфяного месторождения Кодевцы эти площади равны соответственно 29 и 59 га, т. е. осушительная система данного торфяного месторождения распространяет свое осушающее воздействие на прилегающую территорию, площадь которой более чем в 2 раза превышает площадь разработки, и так далее по всем другим торфяным месторождениям, как показано в табл. 1.

В целом по Гродненскому району общая площадь выработанных торфяных месторождений составляет 4720 га, а осушающее действие каналов распространяется на площадь 5280 га, т. е. общая осушенная площадь на 12,0 % превышает суммарную площадь выработанной части всех торфяных месторождений района.

Если к выработанным участкам примыкают сельскохозяйственные земли на суходолах, как, например, к торфяным месторождениям Вертелишки, Кульбаки, Закревщизна, то в засушливые периоды на песчаных и супесчаных почвах, дrenируемых осушительными системами выработанных торфяных месторождений, будет усиливаться дефицит влаги для сельскохозяйственных культур, что негативно повлияет на величину и качество урожая. Для суходольных земель, примыкающих к торфяному месторождению Вертелишки, эта площадь составит до 81 га, к торфяному месторождению Кульбаки – до 49 га, Закревщизна – 62 га. Вместе с тем в нормальные и обильные по увлажнению вегетационные сезоны не будет негативного влияния осушительных

систем выработанных торфяных месторождений на продуктивность таких суходолов.

Если к выработанным торфяным участкам примыкают болотные экосистемы, как, например, на торфяных месторождениях Придолгое или Мостки-Нивище 1, то неразрабатываемые части этих торфяных месторождений будут подсушены на площадях соответственно 41 и 35 га, и это будет негативно влиять на состояние данных болотных экосистем в течение всего времени действия осушительных каналов.

Если выработанные участки соприкасаются с лесами, как, например, на торфяных месторождениях Райста и Стриевка, то это приведет к подсушению лесных фитоценозов и к их смене: в частности, ольхово-осоковые фитоценозы, размещающиеся по окраинам торфяных болот, после осушения могут быть трансформированы в другие, например в ольхово-крапивные.

*Влияние на качество поверхностных и подземных вод.* Из образующихся в результате аэробного разложения торфа продуктов наиболее распространены такие водорастворимые органические соединения, как фульвокислоты, органические кислоты, фенолы, углеводы, аминокислоты, альдегиды и ряд других. Наряду с этим в результате разложения торфа образуется много водорастворимых минеральных соединений кальция, магния, железа, фосфора, микроэлементов, а также ионов аммония, нитратов, сульфатов и др. Согласно опубликованным данным [5–7], с поверхностным стоком с 1 га осущенных торфяных почв в каналы осушительных сетей поступает 450–650 кг органических веществ и 550–800 кг минеральных, включая не использованную растениями часть удобрений. Часть пестицидов также попадает в каналы. Если торфяные почвы используются в качестве луговых угодий, то поступление удобрений в почвенно-грунтовые воды не превышает 30 кг в год. Значительные колебания общего количества водорастворимых веществ, выносимых с 1 га выработанных торфяных месторождений, используемых в сельском хозяйстве, обусловлены различиями в мощности торфяного слоя, ботаническом составе, степени разложения, кислотности, зольности, составе золы торфа, а также в интенсивности антропогенного воздействия на торфяные почвы.

Для оценки воздействия выработанных торфяных месторождений на качество поверхностных и подземных вод приняты минимальные величины годового стока растворенных веществ, равные 0,45 т/га органических и 0,55 т/га минеральных веществ, с учетом того, что эти территории используются для возделывания луговых трав. При площадях выработанных торфяных месторождений, исчисляемых десятками и сотнями гектаров, суммарное поступление водорастворимых веществ в каждый водоприемник может достигать десятков и сотен тонн в год, что неизбежно воздействует на их экосистемы.

**Таблица 1. Воздействие выработанных торфяных месторождений Гродненского района Гродненской области на гидрологический режим и атмосферу**

№ по када- стру тор- фяно- го фонда	Наименование торфяного месторождения	Пло- щадь в нуле- вых границах торфя- ной залежи	Пло- щадь выра- ботан- ной части	Пло- щадь воздей- ствия на гид- рологи- ческий режим	Тип оста- точного слоя тор- фяной за- лежи	Годовая эмис- сия диоксида углерода в атмосферу с выработанной части	Годовая эмиссия диоксида углерода в атмосферу с подсущенных зон, прилегающих к выработанным участкам	Годовой сток органических веществ	Годовой сток минеральных веществ	Современное направление использования
		га				т				
94	Урочище Остров	487	120	157	Низинный	924	185	54	66	Сельскохозяйственное
100	Мостки-Нивище 1	924	100	135	Низинный	770	175	45	55	Сельскохозяйственное
102	Райста	293	244	293	Низинный	1 879	245	114	134	Сельскохозяйственное
103	Кодевцы	172	29	59	Низинный	223	150	13	16	Сельскохозяйственное
106	Мостки-Нивище 2	2 619	43	68	Низинный	331	125	19	23	Сельскохозяйственное
107	Гиновичи	144	80	120	Низинный	616	200	36	44	Сельскохозяйственное
108	Вертелишки	987	672	753	Низинный	5 174	405	302	369	Сельскохозяйственное
109	Кульбаки	493	195	244	Низинный	1 501	245	88	107	Сельскохозяйственное
112	Святое	3 835	2 797	2 853	Низинный	13 667 -818	280	721	882	Сельскохозяйственное Лесохозяйственное
113	Стриевка	403	57	88	Низинный	439	155	26	31	Сельскохозяйственное
115	Закревщизна	1 623	208	270	Низинный	1 602	310	94	114	Сельскохозяйственное
283 Н	Придолгое	196	135	176	Низинный	1 039	205	61	74	Сельскохозяйственное
Б/н	Верхполье	90	40	64	Низинный	308	120	18	22	Сельскохозяйственное
<b>ИТОГО</b>		<b>12 266</b>	<b>4 720</b>	<b>5 280</b>		<b>27 655</b>	<b>2 800</b>	<b>1 591</b>	<b>1 937</b>	

Например, с торфяного месторождения Урочище Остров в течение годового биоцикла в каналы может поступать 54 т органических и 66 т минеральных веществ, с торфяного месторождения Вертелишки – соответственно 302 т и 369 т и так далее по другим выработанным торфяным месторождениям. При поступлении в водоприемники эти довольно значительные количества разнообразных веществ изменяют химический состав вод и повышают их эвтрофиацию, что в конечном итоге негативно оказывается на функционировании водных экосистем.

Для выработанных торфяных месторождений, использующихся под посадки леса, вынос водорастворимых веществ может быть принят такой же, поскольку процессы разложения торфа здесь также имеют место, однако воды с облесенных выработанных участков чище, чем с используемых в сельском хозяйстве, так как не содержат минеральных удобрений и пестицидов. С учетом трех направлений использования торфяного месторождения Святое общий поверхностный сток с него составляет 1228 т органических и 1500 т минеральных веществ в год.

Часть образующихся водорастворимых веществ с нисходящим водным потоком поступает в подземные воды. Соотношение между горизонтальным и вертикальным водными потоками зависит от свойств грунтов, подстилающих остаточный слой торфа: чем более водопроницаемы грунты, тем больше продуктов распада торфа поступает в подземные воды, и наоборот,

с уменьшением водопроницаемости подстилающих пород снижается количество водорастворимых веществ, поступающих с выработанных торфяных месторождений в подземные воды.

**Пожароопасность.** Все выработанные торфяные месторождения в осушенному состоянии являются пожароопасными территориями независимо от направлений их использования. Основная причина возникновения пожаров – человеческий фактор, и лишь в единичных случаях это могут быть природные явления, например удар молнии или самовозгорание неиспользованных штабелей торфа.

Факторами, влияющими на вероятность возникновения пожаров на выработанных торфяных месторождениях, являются продолжительность периодов без дождей, уровень грунтовых вод, влажность и температура воздуха, степень разложения торфа, а также влажность и степень покрытия поверхности торфяной почвы растениями, зависящая от направления использования.

Официальной классификации выработанных торфяных месторождений по степени пожароопасности не существует, поэтому в данной работе использована классификация, разработанная авторами (табл. 2). В ней выделено четыре степени пожароопасности выработанных торфяных месторождений: очень высокая, высокая, средняя и низкая в зависимости от направления использования этих территорий.

**Таблица 2. Классификация выработанных торфяных месторождений по степени их пожароопасности**

Степень пожароопасности	Состояние выработанных торфяных месторождений
Очень высокая	Выработанные участки заброшенные, заросшие кустарником и бурьяном, осущенные окраинки выработанных торфяных месторождений, осущенные зоны торфяных месторождений с невыработанной торфяной залежью, прилегающие к выработанным участкам
Высокая	Выработанные торфяные месторождения с лесными насаждениями, находящиеся в ведении лесхозов
Средняя	Выработанные торфяные месторождения, используемые в сельском хозяйстве
Низкая	Выработанные торфяные месторождения затопленные и повторно заболоченные

Очень высокую степень пожароопасности имеют выработанные торфяные месторождения, заброшенные и не имеющие целенаправленного использования. В Гродненском районе таких месторождений нет, однако имеются осущенные окраинки торфяных месторождений и зоны, на которых торф не добывался, но они примыкают к выработанным участкам, поэтому покрыты угнетенной и частично измененной осушением болотной растительностью, а на поверхности травяного и мохового покрова накапливается сухой растительный отпад. Фактически эти зоны находятся в заброшенном состоянии, к ним не ограничен доступ людей для сбора грибов, ягод, лекарственных растений, охоты, поэтому они имеют очень высокую степень пожароопасности.

Высокую степень пожароопасности имеют выработанные торфяные месторождения, используемые для лесопосадок и переданные в ведение лесхозов. Для снижения пожароопасности на всех территориях лесхозов предусмотрен комплекс профилактических противопожарных мероприятий, включая ограничение доступа людей и транспортных средств в засушливые периоды, поэтому они менее пожароопасны, чем выработанные торфяные месторождения, находящиеся в заброшенном состоянии. В Гродненском районе таких территорий нет.

Среднюю степень пожароопасности имеют выработанные торфяные месторождения, используемые в качестве сельскохозяйственных земель. В Гродненском районе такую степень

пожароопасности имеют 12 выработанных торфяных месторождений, т. е. все, кроме месторождения Святое. Они менее пожароопасны, чем выработанные торфяные месторождения, находящиеся под лесом, потому что на сельскохозяйственных землях при рекультивации территории предусматривается создание водорегулирующих сооружений, а поверхность торфяных почв закрыта посевами многолетних трав. По этим причинам торфяные пожары на сельскохозяйственных землях бывают реже, чем на лесных.

Низкую степень пожароопасности имеют выработанные торфяные месторождения, у которых уровни грунтовых вод находятся на поверхности почвы или выше нее. В Гродненском районе имеется выработанное торфяное месторождение Святое, часть которого используется в сельском хозяйстве (1775 га), часть передана лесхозу (1022 га), из которой 250 га затоплено, и здесь начался процесс восстановления болотной экосистемы.

**Эмиссия диоксида углерода в атмосферу.**  
Диоксид углерода образуется как продукт жизне-

деятельности аэробных организмов, разлагающих органическое вещество, поэтому происходит изъятие из атмосферы кислорода на биохимическое окисление остаточного слоя торфа и эмиссия в нее диоксида углерода.

При оценке этого вида воздействия выработанных торфяных месторождений на окружающую среду был использован коэффициент эмиссии диоксида углерода, равный 7,7 т/га, обоснованный для торфяных почв, находящихся под покровом многолетних трав [1, 2]. Коэффициенты эмиссии при возделывании на торфяных почвах зерновых или пропашных культур нами не рассматриваются, потому что возделывание этих культур на выработанных торфяных месторождениях не предусмотрено, рекомендовано использовать их только под сенокосы и пастбища.

В табл. 3 даны коэффициенты эмиссии диоксида углерода в зависимости от состояния выработанных торфяных месторождений, а также величины неопределенности, характеризующие варьирование этих коэффициентов.

**Таблица 3. Коэффициенты эмиссии диоксида углерода при различном использовании выработанных торфяных месторождений**

Современное состояние выработанных торфяных месторождений	Тип	Средняя эмиссия CO <sub>2</sub> в атмосферу	Неопределённость по CO <sub>2</sub>
		т /га в год	
Участки, заросшие травяно-моховой растительностью	В	5,8	3,3...9,9
Участки, заросшие древесно-кустарниковой растительностью	В	2,9	(-1,2)...4,4
Не зарастающие участки	В	9,5	2,9...13,2
Участки, заросшие травяной растительностью	Н	9,9	4,4...12,8
Участки, заросшие древесно-кустарниковой растительностью	Н	1,1	(-1,5)...3,6
Не зарастающие участки	Н	14,3	5,1...20,6
Выработанные торфяные месторождения с лесными насаждениями, находящиеся в ведении лесхозов	Н	-0,8	(-1,5)...1,4
Выработанные торфяные месторождения, используемые в сельском хозяйстве под многолетние травы	Н	7,7	6,2...9,2
Подсушенные окраинки выработанных торфяных месторождений, подсушенные зоны торфяных месторождений с невыработанной торфяной залежью, прилегающие к выработанным участкам	Н	5	2,2...6,4
Подсушенные окраинки выработанных торфяных месторождений, подсушенные зоны торфяных месторождений с невыработанной торфяной залежью, прилегающие к выработанным участкам	В	3	1,6...5

Примечание. В – верховой, Н – низинный: минус означает, что при зарастании выработанного торфяного месторождения преобладает сток в болотную экосистему.

Баланс углерода для древесных и древесно-кустарниковых участков выработанных торфяных месторождений складывается из эмиссии в атмосферу в процессе минерализации органического вещества торфа и поглощения в процессе нарастания растительной биомассы. Как видно из данных табл. 3, на выработанных торфяных месторождениях с лесными насаждениями, находящимися в ведении лесхозов, сток диоксида углерода преобладает над его эмиссией.

В связи с этим для части выработанного торфяного месторождения Святое, занятой ле-

сом, был использован коэффициент поглощения CO<sub>2</sub>, равный -0,8 т/га. Для данной территории выбран минимальный коэффициент в связи с минимальным приростом древостоя, потому что возраст лесных насаждений здесь не превышает 30 лет, и эти леса относятся к молоднякам 1 и 2 классов. Для другой части месторождения, используемой в сельском хозяйстве, был взят коэффициент 7,7 т/га.

Для осущенных зон торфяных месторождений, прилегающих непосредственно к выработанным участкам, экспертико приняты коэффици-

енты эмиссии, равные 5 т/га для низинных и 3 т/га – для верховых болот.

Данные, представленные в табл. 1, показывают, что суммарное количество диоксида углерода, выделяемого всеми выработанными торфяными месторождениями Гродненского района, ежегодно составляет 38,6 тыс. т, в том числе 35,8 тыс. т с выработанных участков и 2,8 тыс. т с осушенных, но невыработанных зон торфяных месторождений, прилегающих к выработанным участкам. Кроме этого, диоксид углерода выделяется в больших количествах при торфяных пожарах, в том числе с осушеннной низинной торфянной залежи в среднем 0,35 т/м<sup>3</sup>, верховой – 0,33 т/м<sup>3</sup>. Однако этот вид воздействия выработанных торфяных месторождений нами не учитывался ввиду случайности возникновения на них пожаров.

**Преобразование ландшафтов.** Ландшафты с выработанными торфяными месторождениями находятся в постоянном развитии. Наиболее динамичными компонентами таких ландшафтов являются глубина остаточного слоя торфа, уровни грунтовых вод и растительный покров.

На выработанных торфяных месторождениях, используемых в сельском и лесном хозяйствах, уменьшение глубины остаточного слоя торфа происходит ежегодно в связи с процессами минерализации органического вещества, а иногда и ветровой эрозии. У торфяных почв, используемых для возделывания многолетних трав, ежегодное уменьшение торфяного слоя составляет 1 см в год, если мощность торфяного слоя более 0,3 м и 0,7 см в год, если мощность торфяного слоя менее 0,3 м [1, 2]. Выработанные торфяные месторождения Гродненского района, рекультивированные в целях использования в качестве сельскохозяйственных земель, имели первоначальную глубину остаточного слоя торфа в среднем 0,5 м, но с момента их рекультивации и передачи сельскохозяйственным землепользователям прошло не менее 20 лет, поэтому значительная часть торфяного слоя утрачена, и к настоящему времени осталось в среднем не более 0,3 м, а местами на поверхность вышли минеральные породы, ранее подстилавшие торф. Постепенно на таких полях формируется мозаичная структура почвенного покрова, что ведет к неравномерности обеспечения растений питательными веществами и водой, а в конечном итоге – к снижению урожаев.

В перспективе в течение ближайших 30–40 лет произойдет перемешивание оставшейся части торфяного слоя с подстилающими грунтами, торфяные почвы полностью утратят торфяной горизонт и трансформируются в категории органоминеральных и постторфяных минеральных почв, формирующихся после сработки торфяного слоя. Плодородие таких почв снизится и в большей степени, чем теперь, будет зависеть от погодных условий, в частности от

засух, особенно если такие почвы формируются на песках и супесях. Для поддержания их плодородия потребуется увеличить дозы минеральных удобрений, особенно азотных, так как весь азот торфа будет исчерпан. Многие из таких земель будет экономически невыгодно использовать в сельском хозяйстве из-за падения урожаев еще до полного разрушения торфяного слоя, когда баллы бонитета почв уменьшатся до 23 и ниже, поэтому уже в ближайшие 10 лет отдельные участки начнут выводиться из сельскохозяйственного использования. Наиболее вероятно, что такие участки будут переведены в лесные земли с посадкой лесных пород или с повторным заболачиванием территорий. Таким образом, по экономическим причинам в недалекой перспективе сельскохозяйственные земли на выработанных торфяных месторождениях трансформируются в другие земли.

Для оценки современного состояния растительного покрова выработанных торфяных месторождений наиболее предпочтительно использовать космическую съемку, позволяющую оперативно и с достаточной точностью получать необходимую информацию. Как показали такие исследования, в Гродненском районе на ряде выработанных торфяных месторождений (Мостки-Нивище 1, Гиновичи, Закревщизна), используемых в качестве сенокосов и пастбищ, появились участки, покрытые бурьяном и кустарником. Это означает, что начался процесс постепенной трансформации луговых угодий в лугово-кустарниковые. Постепенное зарастание пастбищ кустарником связано с многолетними периодами времени, в течение которых не производилось выкашивание или сведение кустарника другими способами. В перспективе нескольких десятков лет эти участки постепенно трансформируются в лесные угодья, если кустарник не будет сведен, а луговые угодья не будут улучшены.

Гидрологический режим таких ландшафтов имеет тенденцию к изменению в сторону подъема уровней грунтовых вод в связи с зарастанием каналов осушительной сети и их постепенным обмелением вследствие понижения поверхности торфяной почвы. Как правило, это происходит на землях, используемых под пастбища, лесные угодья, а также на заброшенных участках выработанных торфяных месторождений.

Таким образом, нынешние ландшафты с выработанными торфяными месторождениями, находящимися в осушенном состоянии, медленно, но неуклонно будут преобразовываться в лесные или лесоболотные экосистемы независимо от характера нынешнего использования этих территорий. Ориентировочно период их трансформации займет не более 50–60 лет. После этого использование выработанных торфяных месторождений в сельском хозяйстве фактически прекратится.

### Л и т е р а т у р а

1. Бамбалов Н. Н. Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения. Мн., 1894.
2. Бамбалов Н. Н., Ракович В. А. Роль болот в биосфере. Мн., 2005.
3. Гопченко Е. Д., Гушля А. В. Гидрология с основами мелиорации. М., 1989.
4. Иванов К. Е. Водообмен в болотных ландшафтах. М., 1975.
5. Крайко В. М. Состав торфяно-болотных вод и методы их очистки при освоении торфяных месторождений: Дис. ... канд. техн. наук. Мн., 1985.
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., Крайко В. М. Мелиорация торфяных месторождений и качество поверхностных вод // Современные проблемы изучения, использования и охраны природных комплексов Полесья: Тез. докл. Междунар. науч. конф. Мн., 1998.
8. Методические рекомендации по определению размеров зоны влияния мелиоративных систем на уровень грунтовых вод прилегающих земель. М., 1977.
9. Руководство по проектированию и изысканиям объектов мелиоративного и водохозяйственного строительства (РПИ-82). Ч. 9. Мн., 1985.
10. Шебеко В. Ф. Гидрологический режим осушаемых территорий. Мн., 1970.

***Н. Н. Бамбалов, В. А. Ракович, Н. И. Тановицкая, Н. А. Кот,  
Т. В. Селивончик, Н. В. Молокова, И. А. Кирильчик***

### **ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

В результате проведения научных исследований были обобщены и обоснованы методы оценки воздействия выработанных торфяных месторождений на окружающую среду на примере Гродненского района. Определено, что влияние осущенных и выработанных участков торфяных месторождений на гидрологический режим прилегающих территорий количественно оценивается путем расчета зоны влияния осушительной сети и величины снижения уровня грунтовых вод. Данна оценка воздействия выработанных торфяных месторождений на качество поверхностных и подземных вод, рассчитаны величины годового стока растворенных органических и минеральных веществ с территорий, занятых сельскохозяйственными угодьями и посадками леса. Рассмотрены факторы, влияющие на вероятность возникновения пожаров на выработанных торфяных месторождениях, и представлена их классификация по степени пожароопасности. Приведены данные эмиссии диоксида углерода в атмосферу с выработанной части и с подсушенных зон, прилегающих к выработанным участкам месторождений. Данна оценка современного состояния растительного покрова выработанных торфяных месторождений с помощью космической съемки.

***N. N. Bambalov, V. A. Rakovich, N. I. Tanovitskaya,  
N. A. Kot, T. V. Selivonchik, N. V. Molokova, I. A. Kirilchik***

### **ASSESSMENT OF THE IMPACT OF CUTOVER PEAT DEPOSITS ON THE ENVIRONMENT**

As a result of carried out investigations, assessment methods of the impact of cutover peat deposits on the environment taking Grodno region as an example were generalized. It has been defined that impact of dried and cutover peat land sites on hydrological mode of the adjacent territories is qualitatively estimated through calculating an impact zone of the drainage net and the amount of ground waters level decrease . An assessment of the impact of cutover peat deposits on surface and ground waters quality has been done, the values of annual sink of dissolved organic and mineral substances from the territories, occupied by agricultural lands and forest plantations has been computed. Factors, influencing the risk of forest fire occurrence on cutover deposits have been considered, and their classification regarding fire danger rate has been presented. Data of carbon dioxide emissions into the atmosphere from the cutover site and from slightly drained zones adjacent to the cutover deposit sites have been provided. The estimation of to-date state of vegetation cover of cutover deposits with the help of space shooting has been given.

**Г. И. Булавко, А. П. Яковлев**

## **ВЛИЯНИЕ ПОСАДОК ЯГОДНЫХ РАСТЕНИЙ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПОЧВЕННОЙ МИКРОБИОТЫ ВЫРАБОТАННОГО ТОРФЯНИКА**

*Восстановление экосистем на выработанных торфяниках можно ускорить, используя посадки хозяйствственно-полезных болотных ягодных растений сем. Vacciniaceae. Для стабильного функционирования экосистемы требуется восстановление не только фитоценоза, но и микробоценоза, выполняющего деструкционные процессы в экосистеме. Показатели метаболической активности почвенных микроорганизмов определены под аборигенными и интродуцированными видами ягодных растений, прослежена сезонная динамика биомассы и активности микроорганизмов. Установлено, что посадки ягодных растений создают среду, благоприятную для эдафобионтов, в результате чего повышаются показатели их жизнедеятельности, сглаживаются амплитуда сезонных колебаний.*

Сохранение и поддержание стабильности экосистем – одна из важнейших проблем современной экологии. Восстановление трансформированных болотных экосистем требует новых технологий и затрат. В связи с актуальностью проблемы предложен ряд способов восстановления болотных экосистем: от самозарастания до повторного заболачивания. Одним из экономически выгодных направлений может быть биологическая рекультивация с использованием ягодных растений.

Выработанные торфяники стали базой для формирования новых экосистем. Особенности биотопа и прилегающих территорий направляют ход сукцессии к воссозданию болотных экосистем. Темпы сукцессии можно скорректировать, создавая насаждения. Такой тип рекультивации ускоряет зарастание открытой поверхности и одновременно позволяет расширить площади хозяйствственно-пригодных территорий. Среди растений, используемых для культивирования, популярны как аборигенные виды, так и интродуцированные [17]. Посадки болотных видов не меняют направление естественного хода сукцессии, при этом затраты на их создание достаточно быстро окупаются.

При восстановлении экосистемы наряду с растительным покровом необходимо формирование почвенного слоя. В его образовании активное участие принимают почвенные микроорганизмы, которые, как известно, делают доступными для растений элементы, входящие в состав инертных почвенных минералов; обогащают почву азотом, фосфором и биологически активными соединениями; возвращают биогенные элементы в круговорот [3, 5, 6, 14]. Величина микробоценоза и активность процессов, которые микробы выполняют, зависят от многих факторов, в том числе от состава фитоценоза. Определить влияние ягодных растений на активность эдафобионтов и составляло цель настоящей работы.

Объектом исследования послужили площади выработанного торфяника, расположенно-

го на территории Подсвильского лесничества Двинской лесной экспериментальной базы (Глубокский р-н). Участки, оставшиеся после выработки торфа послойно-поверхностным (фрезерным) способом, рассечены сетью каналов на прямоугольные карты шириной 25–30 м. Мощность оставшегося слоя торфа колеблется в пределах 0,2–0,8 м. После выработки конца 1970-х гг. на слабо- и среднеобводненных участках выработанных площадей развились тростниковые, осоковые, ситниковые группировки с проективным покрытием от 20 до 50 %. В древесном ярусе единично представлены береза пушистая и сосна обыкновенная.

Делянки с опытными ягодными растениями заложены в 2006 г. на площадках 0,05 га для каждого вида: клюквы крупноплодной, голубики узколистной, голубики топяной, голубики полувысокой. В качестве контроля использовались участки самозарастающие в течение такого же времени с растениями тростника обыкновенного. Такой набор видов позволяет сравнивать влияние на почвенный микробоценоз, как разных родов растений, так и отдельных видов в пределах одного рода. В начале, середине и конце вегетационного сезона (2008 г.) проводили отбор почвенных образцов с глубины 0–20 см. Для проведения аналитических работ использовали усредненный образец.

Район исследований входит в зону распространения дерново-подзолистых почв. Однако своеобразие водного режима территории с не-глубоким залеганием грунтовых вод и обилием атмосферных осадков обусловило формирование здесь торфяно-болотных почв верхового типа питания. Почва торфяно-болотная, среднемощная (выработанный торфяник), развивающаяся на осоково-тростниковом торфе, подстилаемая с глубины 88 см песком связанным. Остаточный придонный слой торфа имеет среднекислую реакцию среды ( $\text{pH} = 4,4\text{--}4,9$ ), причем с глубиной она уменьшается.

Наибольшую популярность среди новых методических приемов определения микробной массы завоевали методы, относящиеся к биохимическим [13], в числе которых метод субстрат-инициированной респирации (или физиологический метод), который и был использован в данной работе [18]. Поскольку величину биомассы микроорганизмов определяют по какому-либо компоненту, входящему в ее состав (углерод, азот, фосфор, АТФ, ДНК) [13], то оценка биомассы обычно приводится по тому компоненту, который определяется. Содержание углерода составляет около 50% сухого вещества микробной биомассы [19], и во многих методах (в том числе методе субстрат-инициированной респирации) проводится определение этого элемента, поэтому результаты приводятся по количеству углерода микробной биомассы.

Для определения интенсивности потока  $\text{CO}_2$  из почвы использован метод поглощения гидроокисью бария, модифицированный Т. С. Демкиной [9]. Для характеристики состояния почв, а также почвенных микробиоценозов часто используют величину метаболического коэффициента ( $q\text{CO}_2$ ), представляющую собой отношение интенсивности дыхания микроорганизмов к величине микробной биомассы [1, 18, 19]. Для упрощения расчетов значение  $q_R$  вычисляют как отношение скоростей выделения  $\text{CO}_2$  из необогащенной почвы ( $V_{\text{basal}}$ ) и почвы, в которую внесен избыток доступного субстрата ( $V_{\text{SIR}}$ ), например глюкозы ( $q_R = V_{\text{basal}}/V_{\text{SIR}}$ ) [1].

Все определения выполнены в 3–4-кратной повторности. Данные обработаны на IBM с использованием указаний Г. Ф. Лакина [12]. Средняя квадратичная ошибка среднего не превышала 1,0–1,5 %.

Каждый тип почвы имеет характерный набор микроорганизмов. Большинство почвенных микроорганизмов – гетеротрофы, использующие прижизненные корневые выделения, корневой опад и опад надземной фитомассы, поступающей на поверхность почвы. Состав и количество корневых выделений зависят от вида растения и меняются в течение вегетационного периода. Соответственно в корнеобитаемом слое почвы в зависимости от вида растения формируется микробоценоз с определенным составом и активностью.

Особенности химического состава болотных растений и недостаток кислорода в переувлажненных почвах способствуют тому, что микробиологические процессы в болотных почвах подавляются, скорость преобразования опада резко замедляется и сильно отстает от скорости его поступления в почву, в результате чего накапливаются слабо измененные растительные остатки [5]. Выработанный торфяник представляет собой нижние слои, наиболее длительно находящиеся в условиях недостатка кислорода и низ-

кого pH. В такой специфичной среде может развиваться узкий спектр микробов, до 90 % биомассы микроорганизмов составляют микромицеты [7, 10], среди прокариот доминируют бациллы и актиномицеты [10], чья активность, как правило, невысока [4]. Известно, что микромицеты и бациллы могут находиться в почве в покоящемся состоянии, в виде спор и в активной форме. Использованный метод определения позволяет выделить только активно функционирующую часть микробоценоза.

Биомасса физиологически активных микроорганизмов в субстрате выработанного торфяника под исследованной растительностью имела разную величину и отличалась по характеру сезонных колебаний.

Под тростником обыкновенным величина микробной массы была незначительной, в течение вегетационного сезона она слабо менялась от 332 мкг С/г в мае до 459 в июле и 369 мкг С/г в сентябре (рис. 1).

Под ягодными растениями активно функционирующих микроорганизмов было больше. Самые благоприятные условия для развития микробов создавала клюква крупноплодная, в корнеобитаемом слое которой (0–20 см) отмечались наиболее высокие запасы микробной массы. В течение вегетационного периода ее величина сокращалась от 661 мкг С/г в мае до 476 в июле и 440 мкг С/г в сентябре (рис. 1).

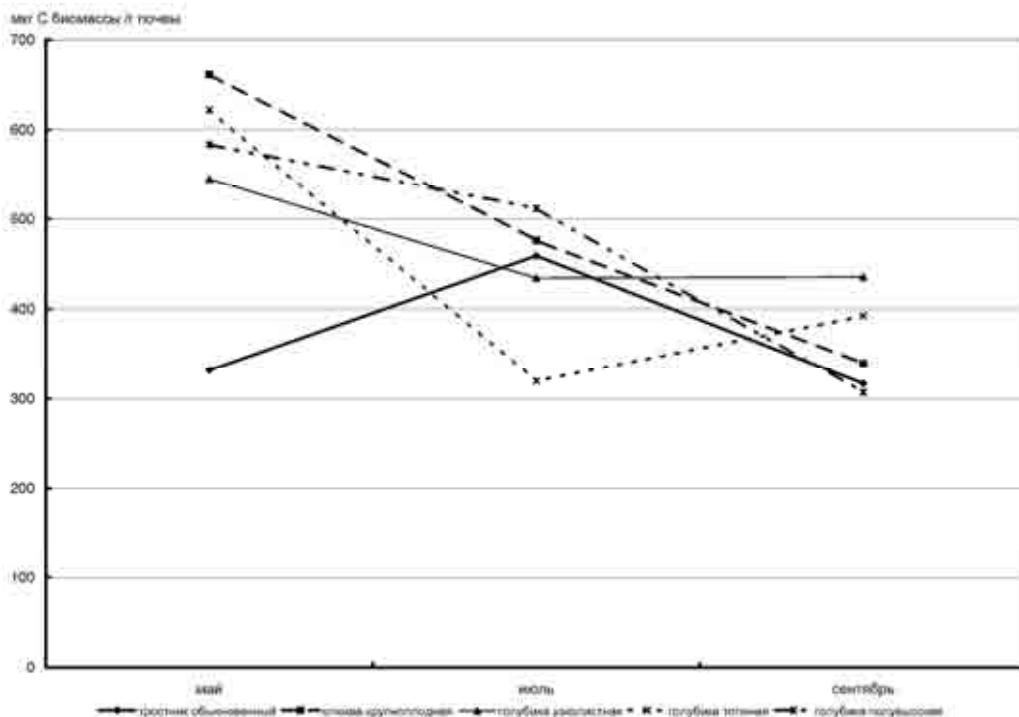
Для исследования использованы разные виды голубики: интродуцированные виды – голубика полувысокая, голубика узколистная и аборигенный – голубика топяная. Различия по величине микробомассы в корнеобитаемом слое этих видов были незначительны, однако, различался ход сезонных колебаний показателя.

Известно, что динамика численности микроорганизмов включает кратковременные и сезонные изменения. Периоды активного развития микробного населения почв в течение года приходятся на разное время в почвах зонально-географического ряда, а также в почвах одного типа, но под разными растительными ассоциациями. Наблюдаются различия в активности роста и протекания микробиологических процессов по сезонам года в связи с различиями гидротермического режима и сроков поступления органических остатков в почву. В условиях средней полосы с умеренным климатом обычно выделяются весенний и осенний максимумы активности почвенных микроорганизмов с некоторым снижением ее летом (в период потери почвой влаги) и зимой (в связи с уменьшением тепла). Периодичность изменений численности микроорганизмов может быть объяснена флуктуациями активности фотосинтеза растений и, как результат, скоростью поступления в почву органических веществ в виде корневых выделений. При отсутствии питательных веществ амплитуда колеба-

ний численности микроорганизмов уменьшается, а их период растягивается [5, 6, 13].

Под интродуцированными видами биомасса почвенных микроорганизмов в течение вегетационного сезона плавно снижалась, тогда как

под аборигенными видами сохранялись сезонные колебания с минимальными значениями в июле, что характерно для микробиологической активности в почвах умеренной зоны [5, 6, 13].



**Рис. 1. Содержание микробной массы в выработанных торфяниках с разным напочвенным покровом**

Таким образом, величина биомассы активно функционирующих почвенных микроорганизмов под ягодными кустарничками выше, чем под естественной травянистой растительностью. Под кустарничками сезонные колебания микробомассы слажены, ее величина снижается от весны к осени, тогда как под травянистой растительностью величина показателя резко меняется в течение вегетационного сезона.

Все аэробные организмы в результате жизнедеятельности выделяют углекислый газ. Интенсивность выделения  $\text{CO}_2$  из почвы принято считать общим показателем активности почвенных организмов [6, 14].

При исследовании почвенного дыхания в лабораторных условиях из почвы удалялась большая часть корней растений, таким образом, продуцирование  $\text{CO}_2$  обусловлено преимущественно жизнедеятельностью микроорганизмов.

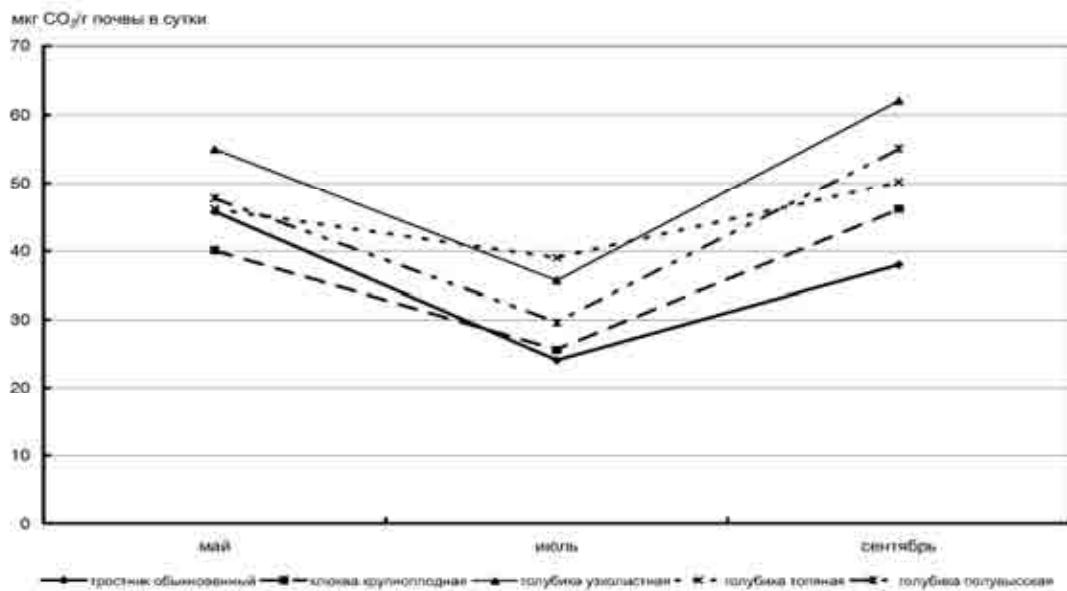
Поток  $\text{CO}_2$  из почвы под исследованными растениями различался по абсолютной величине и имел четко выраженную сезонную динамику: два максимума – в мае и сентябре (рис. 2).

Количество углекислого газа, выделенное 1 г почвы за сутки, повышалось в ряду: тростник

обыкновенный (46–24) < клюква крупноплодная (46–26) < голубика полувысокая (55–30) < голубика топяная (50–39) < голубика узколистная (62–35 мкг) (рис. 2). Следовательно, кустарниковые ягодные насаждения активизируют процессы жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, при этом под интродуцированными видами эдафобионты менее активны, чем под аборигенными.

Интегральным показателем активности микробоценоза считают метаболический коэффициент ( $q\text{CO}_2$ ), представляющий собой отношение скоростей выделения  $\text{CO}_2$  из необогащенной почвы ( $V_{\text{basal}}$ ) и почвы, в которую внесен избыток доступного субстрата (глюкозы) ( $V_{\text{SIR}}$ ) [1, 2, 13, 19].

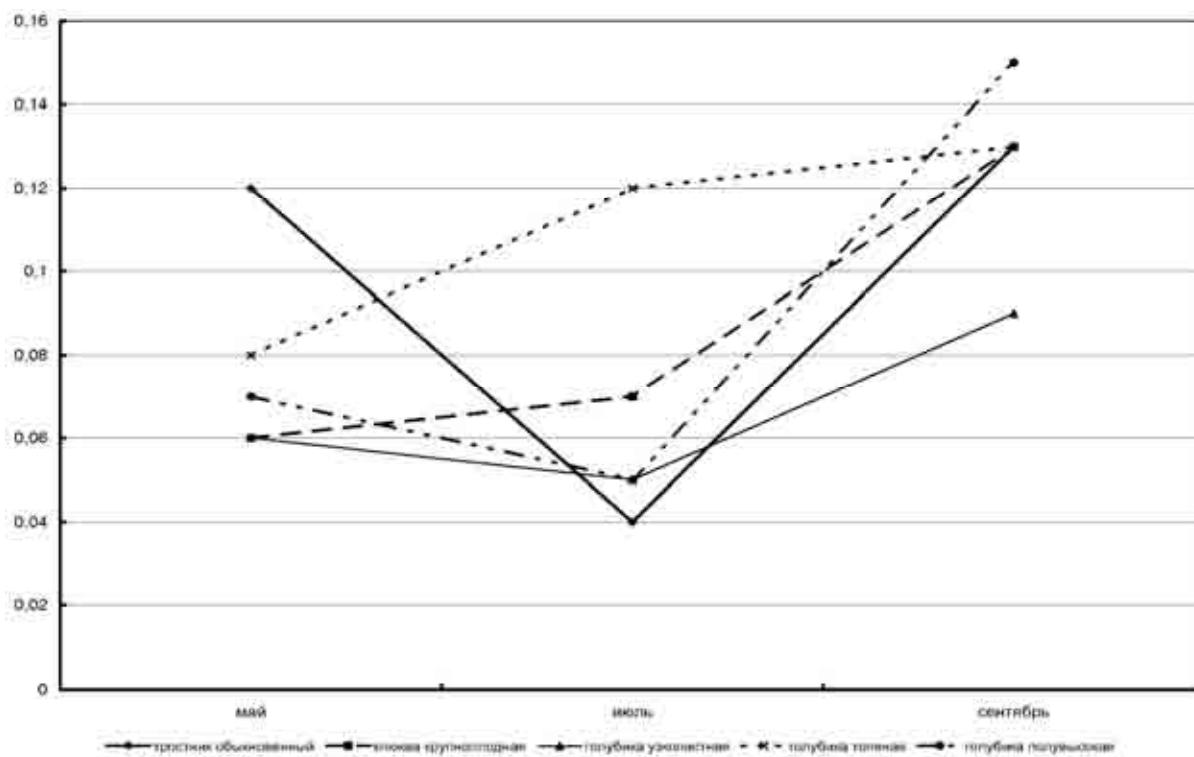
Величина метаболического коэффициента, полученная для выработанных торфяников с разными насаждениями, свидетельствует о слабой микробной активности в данном субстрате: коэффициент не превышал 0,15 (рис. 3). Для сравнения, метаболический коэффициент для луговой почвы составляет 0,61 [2], для лесных экосистем – 0,28–0,34 [8]. Максимум активности микроорганизмов отмечен в сентябре.



**Рис. 2. Интенсивность выделения  $\text{CO}_2$  из выработанного торфяника с разным напочвенным покровом**

Для почвенных микроорганизмов, являющихся сапрофитами, необходимое условие для развития – наличие органического вещества. В торфяно-болотной почве источник для их существования – растительные остатки, образующие торф; прижизненные корневые выделения растений дополняют основной питательный фонд. Доля корневых выделений от общего количества синтезированного растением органиче-

ского вещества в настоящее время оценивается в 20–30 %, а в отдельных случаях даже до 50 %. Наряду с корневыми выделениями в почву поступают опад корневых волосков, эпидермиса корня и отмирающие гифы микоризы. Состав корневых выделений видоспецифичен и поэтому корректирует состав и активность микробов в зоне влияния корней [6, 15, 16].



**Рис. 3. Величина метаболического коэффициента в выработанном торфянике с разным напочвенным покровом**

Проведенные исследования показали, что растения, используемые для создания ягодников, по-разному влияют на функционирование почвенных микроорганизмов. В почве под ягодными кустарничками усиливается жизнедеятельность эдафобионтов, что будет способствовать восстановлению почвенного покрова и стабилизации экосистемы в целом. В корнеобитаемом слое

ягодных кустарничков жизнедеятельность эдафобионтов в меньшей степени зависит от внешних факторов, что приводит к сглаживанию сезонных колебаний как величины их массы, так и показателей жизнедеятельности. Таким образом, создание ягодных насаждений на выработанных торфяниках не только экономически выгодно, но и экологически целесообразно.

### Л и т е р а т у р а

1. **Ананьева Н. Д.** Микробиологическая оценка почв в связи с самоочищением от пестицидов и устойчивостью к антропогенным воздействиям: Автoref. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2001.
2. **Ананьева Н. Д., Благодатская Е. В., Орлинский Д. Б., Мякишина Т. Н., Брынских М. Н.** Оценка антропогенного воздействия на почву с использованием крупномасштабного картографирования территории // Почтоведение. 1994. № 3. С. 101–107.
3. **Андерсон Дж. М.** Экология и науки об окружающей среде: биосфера, экосистемы, человек. Л., 1985.
4. **Антоненко А. М.** Торфяники южного побережья оз. Байкал: микрофлора и биохимическая активность // Болота и заболоченные леса в свете задач устойчивого природопользования. Материалы совещ. М., 1999. С.90–92.
5. **Аристовская Т. В.** Микробиология процессов почвообразования. Л., 1980.
6. Биология почв: Учеб. пособие / И. П. Бабьева, Г. М. Зенова. М., 1989.
7. **Богоев В. М., Гильманов Т. Г.** Численность и биомасса микроорганизмов в почвах некоторых зональных экосистем // Биологические науки. 1982. № 7. С. 80–83.
8. **Булавко Г. И.** Редуцентное звено лесных экосистем // Проблемы лесоведения и лесоводства: Тр. Ин-та леса НАН Беларуси. Гомель, 2007. Вып. 67. С. 341–350.
9. **Головченко А. В.** Эколо-таксономическая структура бактериальных сообществ лесных почв гидроморфного ряда // Вестн. МГУ. Сер.17. Почтоведение. 1999. № 1. С. 55–59.
10. **Головченко А. В., Полянская Л. М.** Жизнеспособность мицелия и спор грибов в торфяниках // Болота и заболоченные леса в свете задач устойчивого природопользования. Материалы совещ. М., 1999. С. 106–109.
11. **Демкина Т. С.** Определение скорости продуцирования CO<sub>2</sub> почвой в полевых условиях // Агрономия. 1989. № 2. С.112–115.
12. **Лакин Г. Ф.** Биометрия. М., 1980.
13. **Мирчинк Т. Г., Паников Н. С.** Современные подходы к оценке биомассы и продуктивности грибов и бактерий в почве // Успехи микробиологии. 1985. Т. 20. С. 198–226.
14. **Пошен Ж.** Почвенная микробиология. М., 1960.
15. Почтоведение: Учеб. для лесохозяйственных вузов / А. А. Роде, В. Н. Смирнов. М., 1972.
16. Экология микроорганизмов: Учеб. для студ. вузов / А. И. Нетрусов, Е. А. Бонч-Осмоловская, В. М. Горленко и др.: Под ред. А. И. Нетруса. М., 2004.
17. **Яковлев А. П., Богулкин К. Э.** Ягодные растения сем. *Vacciniaceae* как источники расширения ассортимента растений, используемых при рекультивации. Материалы VIII молодежной конф. ботаников. СПб., 2004 г. С. 237.
18. **Anderson J. P. S., Domsch K. H.** A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. V. 10. P. 215–221.
19. **Jenkinson D. S., Ladd J. N.** Microbial biomass in soils : measurement and turnover // Soil Biochemistry. New York: Marcel Dekkar. 1981. P. 451–471.
20. **Wardle D. A., Parkinson D.** Interactions between climatic variables and the soil microbial biomass // Biology and Fertility of Soils. 1990. V. 9. P. 273–280.

Г. И. Булавко, А. П. Яковлев

**ВЛИЯНИЕ ПОСАДОК ЯГОДНЫХ РАСТЕНИЙ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ  
ПОЧВЕННОЙ МИКРОБИОТЫ ВЫРАБОТАННОГО ТОРФЯНИКА**

---

*Восстановление трансформированных болотных экосистем требует новых технологий и затрат. В связи с актуальностью проблемы предложен ряд способов восстановления болотных экосистем: от самозаражания до повторного заболачивания. Одним из экономически выгодных направлений может быть биологическая рекультивация с использованием ягодных растений.*

*Выработанные торфяники стали базой для формирования новых экосистем. Особенности биотопа и прилегающих территорий направляют ход сукцессии к воссозданию болотных экосистем. Темпы сукцессии можно скорректировать, создавая насаждения. Такой тип рекультивации ускоряет зарастание открытой поверхности и одновременно позволяет расширить площади хозяйствственно-пригодных территорий. Среди растений, используемых для культивирования популярны как аборигенные виды, так и интродуцированные. Насаждения из болотных видов не меняют направление естественного хода сукцессии, при этом затраты на их создание достаточно быстро окупаются.*

G. I. Bulavko, A. P. Yakovlev

**INFLUENCE OF PLANTINGS OF BERRY PLANTS ON FUNCTIONING  
OF THE SOIL MICROBIOTA OF THE PEAT BOG CUTOVER**

---

*Restoration of the transformed marsh ecosystems demands new technologies and expenses. In connection with a problem urgency a number of means of restoration of marsh ecosystems is offered: from a self-overgrowing before a repetitive paludification. The biological recultivation with use of berry plants can be one of economic directions.*

*The developed peat bogs became base for formation of new ecosystems. Features of a biotope and adjoining terrains direct a succession course to a reconstruction of marsh ecosystems. Rates of a succession can be corrected, creating plantings. Such phylum of recultivation accelerates an overgrowing of an open surface and simultaneously allows to dilate the areas of economic-suitable terrains. Among plants used for cultivation are popular both indigenous kinds, and strange. Plantings from paludous kinds do not change a direction of a natural course of a succession and thus an expense for their building quickly enough pay off.*

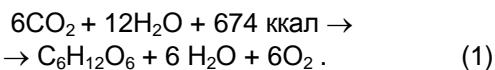
**В. А. Ракович, Н. Н. Бамбалов**

## ПОГЛОЩЕНИЕ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА РАСТИТЕЛЬНЫМИ СООБЩЕСТВАМИ

*Оценен вклад растительных сообществ в поглощение из атмосферы диоксида углерода. Показано, что поглотителями диоксида углерода из атмосферы на территории Беларуси являются природные нарушенные рубками леса с возобновляющейся лесной растительностью, искусственные лесные плантации, естественные и восстановленные болота, а также озёра, в которых идут процессы образования и накопления сапропеля. Природные ненарушенные леса, естественные и сеянные луга, агроценозы имеют близкое к нулевому балансовое поглощение диоксида углерод с небольшими флуктуациями при сукцессиях, поэтому они не оказывают существенного влияния на его содержание в атмосфере.*

В планетарной экосистеме Земли существуют два мощных поглотителя диоксида углерода: растительный покров суши и Мировой океан. На территории Республики Беларусь основным поглотителем диоксида углерода является растительный покров, представленный пятью основными группами растительных сообществ: лесными, луговыми, болотными, водными и посевами сельскохозяйственных культур – агроценозами.

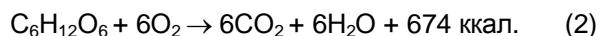
Суть механизмов поглощения или выделения диоксида углерода растительным покровом состоит в следующем. Из углекислого газа и воды зеленые растения синтезируют органические вещества, используя энергию солнечного света, которая при участии хлорофилла превращается в энергию химических связей. В общем виде процесс фотосинтеза может быть выражен уравнением [8]:



В ходе этого процесса вода окисляется до кислорода, а углекислый газ восстанавливается водородом воды и превращается в углеводы. Для синтеза одной грамм-молекулы глюкозы растения используют 674 ккал солнечной энергии. Таким путем из углекислого газа и воды в зеленых растениях создаются высокоэнергетические органические соединения, а в атмосферу вместо потребленного углекислого газа выделяется эквивалентное количество кислорода.

Энергия солнечного света, преобразованная растениями в энергию химических связей, используется во многих биологических процессах, прежде всего дыхании живых и разложении отмерших растений. Основным агентом разложения отмершей биомассы является ферментативный аппарат живых организмов, под влиянием которого осуществляются процессы минерализации органических веществ до конечных продуктов – диоксида углерода, воды и аммиака. В

общем виде уравнение реакции разложения углеводов можно представить так:



Выделяющаяся при этом энергия есть не что иное, как ранее накопленная растениями энергия Солнца. При разложении одной грамм-молекулы глюкозы выделяется 674 ккал энергии, которую живые организмы используют для своих жизненных процессов. Используемый для этого кислород изымается из атмосферы и расходуется на окисление углерода отмершей биомассы, а эквивалентное количество углекислого газа поступает в атмосферу.

Следовательно, в растительных сообществах протекают два параллельных противоположно направленных процессов: поглощение  $\text{CO}_2$  из атмосферы при фотосинтезе и выделение в неё  $\text{CO}_2$  при дыхании живых растений и минерализации отмершего органического вещества. Если в течение годового биоцикла минерализуется не вся отмершая биомасса, ее остаток аккумулируется на Земле в виде гумуса, торфа, сапропеля, бурых, каменных углей и др.

С учетом вышеизложенного можно выделить два вида поглощения диоксида углерода растительными сообществами: общий и балансовый. Под общим поглощением следует понимать количество диоксида углерода, выведенного из атмосферы в результате фотосинтеза биомассы на территории, занятой растительным сообществом. Под балансовым поглощением понимается разница между количеством диоксида углерода, которое выведено из атмосферы растительным сообществом в результате процессов фотосинтеза и поступило обратно при дыхании растений и разложении отмершего органического вещества. Для оценки поглотителей углекислого газа из атмосферы имеет значение балансовое поглощение, а не общее. Количественные оценки делаются в расчете на один кв. метр, гектар или кв. километр. Особенности балансового погло-

щения диоксида углерода разными видами растительных сообществ приводятся ниже.

**Леса.** В Беларуси существуют три большие группы лесных насаждений, отличающиеся своим происхождением: природные ненарушенные леса, природные нарушенные леса и искусственные лесные плантации, что связано с интенсивной лесохозяйственной деятельностью [1, 5, 9].

В ненарушенных природных лесах в течение многих сотен лет установилось динамическое равновесие между всеми возрастными группами древесных растений, поэтому количество ежегодно отмирающей биомассы равно ежегодному её приросту. Круговорот углерода в таком лесу замкнут, т. е. приход и расход углерода в экосистеме естественного леса взаимно уравновешены. Это означает, что в естественных зрелых лесах общее ежегодное поглощение диоксида углерода из атмосферы за счёт фотосинтеза равно ежегодному его выделению в атмосферу за счёт разложения органического вещества отмерших организмов, т.е. балансовое поглощение диоксида углерода в течение годового биоцикла в таких лесах близко нулевому. Многовековой вклад зрелого леса в очистку атмосферы от диоксида углерода ограничивается тем количеством углерода, которое депонировано в лесной биомассе, подстилке и почвенном гумусе. Количество сухой биомассы на 1 га леса зависит от бонитета и состава пород [1, 5, 9]. Общее количество депонированного углерода в биомассе на 1 га ненарушенного зрелого леса во времени практически не изменяется, а лишь ежегодно обновляется. Аналогичным образом количество углерода, депонированное в подстилке и гумусе лесных почв, практически не изменяется по годам. Возможны лишь сравнительно небольшие изменения в связи с длительными (сотни лет) сукцессиями лесных насаждений. Таким образом, не нарушенные человеком зрелые леса не очищают атмосферу от диоксида углерода, а следовательно, не обогащают её кислородом. В Беларуси таких лесов мало – всего несколько процентов от общей лесной площади.

В противоположность этому в лесах, нарушенных вырубками, из-за производства лесных пород динамическое равновесие углеродного цикла смешено в сторону поглощения диоксида углерода растущими древесными видами. Здесь мало отмирающей древесины, и при ее разложении диоксида углерода поступает в атмосферу меньше, чем поглощают лесные фитоценозы. Это означает, что такие леса очищают атмосферу от диоксида углерода, а количественные параметры его балансового поглощения зависят от соотношения возрастных групп древесных растений. В Беларуси эти леса занимают основную часть лесных земель. Они будут выводить диоксид углерода из атмосферы до тех пор, пока деревья не вступят в стадию полной спелости, а в

лесных фитоценозах установится динамическое равновесие между приростом и отмиранием биомассы. Однако хозяйственная деятельность людей будет систематически смещать это равновесие путем рубок и возобновления лесных экосистем, поэтому такие леса будут очищать атмосферу от диоксида углерода.

В искусственных лесных плантациях насаждения одновозрастные, поэтому в течение многих десятков лет от момента посадки до момента рубки спелого древостоя количество ежегодно прирастающей биомассы многократно превышает количество отмершей биомассы. В искусственных лесных плантациях круговорот углерода не замкнут, и его ежегодный баланс в таких экосистемах остается положительным в течение десятков лет. Это означает, что в искусственных лесных плантациях как общее, так и балансовое поглощение CO<sub>2</sub> положительны.

Следовательно, природные нарушенные рубками леса с возобновляющейся лесной растительностью и искусственные лесные плантации интенсивно очищают атмосферу от избытка диоксида углерода, а индикатором поглощения CO<sub>2</sub> могут служить их площади и возраст. В зависимости от возраста такие леса подразделяются на 6 групп: молодняки 1 и 2 классов, средневозрастные, приспевающие, спелые и перестойные [12]. Каждая из этих групп поглощает диоксид углерода по-разному, в зависимости от годового прироста древесной биомассы (таблица). Наибольший годовой прирост биомассы имеет место в приспевающих и спелых лесных экосистемах, наименьший – в молодняках [1, 9].

**Луга.** На естественных луговых угодьях, расположенных на не заболоченных землях, устанавливается динамическое равновесие между ежегодным приростом и ежегодным отмиранием биомассы травянистых сообществ. Поэтому на естественных луговых угодьях, где травостои остаются нетронутыми, создается замкнутый круговорот углерода с нулевым балансовым поглощением углекислого газа. В случае скашивания травостоев на естественных лугах и последующего использования биомассы на корм скоту, а также в случае выпаса скота на естественных лугах вся отчужденная биомасса трав превращается в диоксид углерода и метан в организмах животных и при разложении навоза. Вместе с диоксидом углерода, выделяющимся при разложении отмерших растений, это обуславливает формирование замкнутого круговорота углерода на скашиваемых естественных лугах с нулевым балансовым поглощением углекислого газа.

На сеяных лугах с искусственным травостоем также создаётся нулевое балансовое поглощение диоксида углерода, поскольку производимая биомасса систематически отчуждается для использования в животноводстве или других

отраслях, а её неотчужденная часть подвергается разложению после отмирания.

Таким образом, естественные и искусственные луга не очищают атмосферу от диоксида углерода.

**Болота.** Процессы поглощения диоксида углерода болотными экосистемами и выделения его обратно в атмосферу принципиально зависят от водного режима, поэтому следует отдельно рассмотреть роль естественных и осушенных болот в регулировании газового состава атмосферы. На неосушенных болотах уровни грунтовых вод пульсируют в зависимости от сезона года и погодных условий, однако в каждом болоте существует уровень, ниже которого грунтовые воды не опускаются.

По современным представлениям [2–4, 6, 11], в болотной среде зона биогенного круговорота веществ находится выше того уровня грунтовых вод, ниже которого вода не опускается. Эта зона содержит живые корневые системы болотных растений и населена аэробными организмами. Содержание влаги в ней переменчиво, кислород проникает в поры почвы. Здесь интенсивно развиваются биологические и биохимические процессы аккумуляции, минерализации и гумификации органического вещества. В этой зоне из-за повышенной влажности почвы создается недостаток кислорода для жизнедеятельности аэробных микроорганизмов, поэтому не все органическое вещество отмерших болотных растений минерализуется до углекислого газа в течение годового биоцикла. Эта зона получила название торфогенного слоя [4, 6], так как здесь происходит процесс формирования торфа из остатков отмерших и не полностью разложившихся растений. Таким образом, на болотах, в отличие от лугов и природных лесов, создается незамкнутый круговорот углерода, и поступление органического вещества в экосистему преобладает над его разложением, поэтому в неосушенных болотах формируется положительный баланс органического вещества.

Ниже линии постоянного уровня грунтовых вод находится бывшая торфяная почва, почти лишенная живых организмов из-за постоянного анаэробиоза и превратившаяся в органогенную горную породу – торф [2–4, 6, 10]. Здесь постоянно высокое содержание влаги, поры торфа заполнены водой и не насыщаются кислородом, поэтому здесь нет живых корней и аэробных микроорганизмов. Это зона консервации торфа с превалированием геологических процессов над биологическими.

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. Это означает, что болота выполняют функцию переда-

точного звена при переходе химических элементов из биогенного круговорота в геологический. Выполнение болотами межкруговоротной биосферной функции обусловлено незамкнутостью годичных биоциклов органического вещества в болотной среде.

В Беларуси ежегодный прирост торфяного слоя составляет для болот верхового типа 0,50–1,22 мм, низинного – 0,26...0,48 мм. Соответственно и балансовый сток  $\text{CO}_2$  в болотные экосистемы верхового типа составляет 0,88–2,15 т/га, низинного – 0,56...1,04 т/га. Диапазоны колебаний зависят от ботанического состава болотных фитоценозов и условий торфообразования (водный режим, химический состав растворённых в воде веществ, величина pH и др.). При этом на каждую тонну связанной и консервированной в виде органического вещества торфа двуокиси углерода в атмосферу выделяется 0,727 т кислорода. Следовательно, неосушенные болота оказывают на атмосферу двойное положительное воздействие: изымают из нее углекислый газ и обогащают её кислородом.

Таким образом, неосушенные болота выводят из атмосферы углекислый газ и, по крайней мере, частично не возвращают его обратно в течение многих тысячелетий. Это означает, что естественные болота являются поглотителями углекислого газа из атмосферы, а индикатором поглощения может служить их общая площадь в государстве или регионе.

С началом осушения торфяных залежей болота прекращают выполнение специфичной общепланетарной функции переходного звена от малого биогенного к великому геологическому круговороту вещества в связи с прекращением процесса торфообразования [3, 10]. В осушенных торфяных залежах происходят противоположные процессы перехода химических элементов из геологического круговорота в биогенный за счёт минерализации органического вещества накопленного ранее торфа. Скорость этих процессов зависит от глубины понижения грунтовых вод, ботанического состава, степени разложения торфа и способов использования осушенных торфяных почв, а на разрабатываемых торфяных месторождениях – от интенсивности добычи торфа и его использования.

После завершения добычи остаточный слой торфа в осушенном состоянии подвергается микробиологическому окислению вплоть до полного его разложения и выхода на дневную поверхность подстилающих минеральных пород.

В результате осушения в торфяных залежах увеличиваются зоны биогенного круговорота, и процессы минерализации органического вещества начинают преобладать над его поступлением. Организмы, разрушающие торф, потребляют кислород из атмосферы для окисления органического вещества, а в атмосферу выделяют ко-

нечный продукт минерализации – двуокись углерода.

При сельскохозяйственном использовании верхняя осущененная часть торфяных залежей уменьшается в среднем на 0,5...2 см в год, поэтому систематически новые слои торфа выводятся из геологического круговорота в биогенный. Здесь торф разрушается до  $\text{CO}_2$ , аммиака, воды и других конечных продуктов минерализации. Таким образом, в осущенных торфяных почвах углерод из геологического круговорота переходит в биогенный, поставляя в атмосферу дополнительные количества углекислого газа, выведенного из нее в разные периоды голоцена.

Ежегодная эмиссия углекислого газа в атмосферу при разных способах сельскохозяйственного использования осущенных торфяных почв составляет (т/га): при возделывании пропашных культур –  $20,9 \pm 3,4$ , зерновых культур –  $12,8 \pm 2,3$ , многолетних трав –  $7,7 \pm 1,5$ . Эмиссия двуокиси углерода с осущенных и неиспользуемых выработанных торфяных месторождений и их окрайков составляет  $21,3 \dots 23,6$  т/га в год. Это больше, чем при возделывании зерновых культур и многолетних трав, потому что на выработанных торфяных месторождениях происходит очень слабое восполнение органического вещества почв корневыми системами из-за слабого развития растительного покрова.

Чтобы избежать крупных негативных последствий от нарушения межкруговоротной функции болот на больших территориях, целесообразно осуществлять повторное заболачивание выработанных торфяных месторождений и неэффективно используемых осущенных торфяных почв. В этом случае с возобновлением торфообразовательного процесса снова в полном объеме возобновляется переход химических элементов из биогенного круговорота в геологический и болота начинают выполнять свойственную им межкруговоротную и газорегуляторную функции в полном объеме [3].

**Агроценозы на минеральных почвах.** Главной особенностью агроценозов является отчуждение производимой биомассы с сельскохозяйственных полей в виде урожаев с последующим использованием, приводящим к полной минерализации органического вещества до углекислого газа, воды и других простых соединений. Образующийся при этом диоксид углерода возвращается в атмосферу. В агроценозах, как и на сеянных лугах, послеуборочные растительные остатки минерализуются с выделением в атмосферу диоксида углерода. Круговорот углерода в агроценозах замкнут, поэтому балансовое поглощение углекислого газа здесь равно нулю.

**Водоемы и водотоки.** Прибрежная растительность и фитопланктон водоёмов и водотоков также активно поглощают диоксид углерода при фотосинтезе. В водотоках вода обогащается ки-

слородом вследствие перемешивания водных масс, и создаются благоприятные условия для полной минерализации органического вещества отмерших водных организмов. Поэтому круговорот углерода в водотоках замкнут, органическое вещество в реках, как правило, не накапливается, и балансовое поглощение углекислого газа равно нулю.

Во многих озерах, где вследствие слабого перемешивания воды в придонных слоях создаётся неблагоприятный кислородный режим для полного разложения отмерших организмов, в течение годового биоцикла часть произведенной биомассы не может минерализоваться и накапливается в виде отложений сапропеля. Круговорот углерода в таких озёрах незамкнут, а балансовое поглощение диоксида углерода положительно, поэтому озера, аналогично болотам, выводят диоксид углерода из атмосферы и обогащают ее кислородом в размерах, определяемых разницей в величинах произведённой и минерализованной биомассы в течение годового биоцикла. Кроме того, во многих озёрах растворённый в воде диоксид углерода связывается с ионами кальция и магния, иногда других элементов, образуя отложения карбонатного сапропеля.

Средний ежегодный прирост запасов углерода в сапропелевых отложениях белорусских озёр составляет  $13,4 \text{ г}/\text{м}^2$  в год, что эквивалентно количеству поглощённого  $\text{CO}_2$   $49 \text{ г}/\text{м}^2$  в год.

Следовательно, озера, в которых отлагаются сапропель, являются очистителями атмосферы от избытка диоксида углерода, так как в них углекислый газ связывается в органические соединения и консервируется в сапропелевых залежах. Однако примерно на 14...27 % площади озёр Беларуси сапропелевые отложения не образуются [7], т. е. эти части озёр не являются очистителями атмосферы от диоксида углерода.

Для Республики Беларусь мы выполнили оценку вклада лесов, болот и озёр в годовое балансовое поглощение углерода из атмосферы. Расчет годового стока диоксида углерода в леса, болота и озёра производился по формуле:

$$P = dS, \quad (3)$$

где  $P$  – годовой сток диоксида углерода, т;  $d$  – удельное поглощение диоксида углерода,  $\text{т}/\text{га}$ ;  $S$  – площадь угодий, поглощающих диоксид углерода, га.

Результаты представлены в таблице.

На территории Беларуси в ближайшие 20 лет площади искусственных лесных плантаций будут возрастать, площади болот низинного типа также будут увеличиваться в связи с проведением работ по повторному заболачиванию выработанных торфяных месторождений. Кроме этого, предполагается увеличение площади молодых лесных плантаций за счет облесения глу-

боко деградированных торфяных почв, выывающих по экономическим соображениям из сельскохозяйственного оборота, поэтому следует

ожидать определенного увеличения очистки атмосферы от диоксида углерода и обогащения ее кислородом.

#### **Вклад лесов, болот и озёр Беларуси в годовое балансовое поглощение углерода и в пересчете диоксида углерода из атмосферы**

Наименование поглотителей	Удельное поглощение углерода ( $d$ ), т/га	Площадь (S), га	Годовой сток углерода ( $P$ ), млн т	Годовой сток диоксида углерода в пересчете с углерода, млн т
Леса, молодняки 1 класса	0,19	709 700	0,136	0,499
Леса, молодняки 2 класса	0,58	1 445 100	0,842	3,090
Леса средневозрастные	1,13	3 566 100	4,044	14,841
Леса приспевающие	1,46	1 498 000	4,194	15,392
Леса спелые и перестойные	1,35	622 700	0,845	3,101
Болота низинного типа	0,195	1 437 432	0,280	1,028
Болота верхового типа	0,38	253 664	0,096	0,352
Озера (сапропелевые залежи)	0,13	132 900	0,017	0,062
Всего	–	9 665 596	10,454	38,366

#### **Выходы**

1. Для оценки вклада растительных сообществ в очистку атмосферы от избытка диоксида углерода целесообразно различать два вида его поглощения: общее и балансовое. Под общим поглощением следует понимать количество диоксида углерода, выведенное из атмосферы в результате фотосинтеза биомассы растительным сообществом; под балансовым поглощением – разницу между общим количеством поглощённого диоксида углерода на территории, занятой сообществом, и выделенным в неё обратно при дыхании растений и разложении отмершего органического вещества.

2. Поглотителями диоксида углерода из атмосферы на территории Беларуси являются

природные нарушенные рубками леса с возобновляющейся лесной растительностью, искусственные лесные плантации, естественные и восстановленные болота, а также озёра, в которых идут процессы образования и накопления сапропеля. В растительных сообществах этих угодий общее поглощение диоксида углерода существенно превышает его выделение обратно в атмосферу.

3. Природные ненарушенные леса, естественные и сеянные луга, а также агроценозы имеют близкое к нулевому балансовое поглощение диоксида углерода, с небольшими флуктуациями при сукцессиях, поэтому они не оказывают существенного влияния на его содержание в атмосфере.

#### **Л и т е р а т у р а**

1. **Багинский В. Ф., Есимчик Л. Д.** Лесопользование в Беларуси: история и современное состояние, проблемы и перспективы. Мн., 1996.
2. **Бамбалов Н. Н.** Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения. Мн., 1984.
3. **Бамбалов Н. Н., Ракович В. А., Шишко А. А.** Роль болот в формировании газового состава атмосферы // Хімія і праблемы выкладання. 1997. Вып. 9. С. 18–25.
4. **Герасимов Д. А.** Торф его происхождение, значение и распространение. М.; Л.: ОНТИ, 1932.
5. **Ипатьев В. А.** Лесные ресурсы Беларуси: состояние, перспективы // Природные ресурсы. 1997. № 1. С. 38–42.
6. **Курбатов И. М.** Химические исследования торфогенного слоя // Тр. науч.-исслед. торф. ин-та. 1934. Вып. 14. С. 79–120.
7. **Курсо Б. В.** Закономерности формирования и проблемы использования сапропеля. Мн., 2005.
8. **Лебедев С. И.** Физиология растений. М., 1988.
9. Первое национальное сообщение в соответствии с обязательствами Республики Беларусь по Рамочной конвенции об изменении климата. Мн., 2003.
10. **Ракович В. А., Бамбалов Н. Н.** Классификация функций болот в природе и обществе // Природные ресурсы. 1996. № 1. С. 119–123.
11. **Скрынникова И. Н.** Почвенные процессы в окультуренных торфяных почвах. М., 1961.
12. **Стерин Л. З.** Справочная книга лесника. Мн., 1989.

**V. A. Rakovich, N. N. Bambalov**

### **ПОГЛОЩЕНИЕ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА РАСТИТЕЛЬНЫМИ СООБЩЕСТВАМИ**

Выполнена оценка вклада в поглощение и эмиссию диоксида углерода основных групп растительных сообществ: лесов, лугов, болот, агроценозов и озёр. Предложено выделять общее и балансовое поглощение диоксида углерода.

Показано, что в ненарушенных природных лесах в течение многих сотен лет устанавливается динамическое равновесие между всеми возрастными группами древесных растений, поэтому количество ежегодно отмирающей биомассы равно ежегодному её приросту. В лугах и в агроценозах круговорот углерода также как и в девственных зрелых лесах замкнут. Балансовое поглощение диоксида углерода в таких экосистемах в течение годового биоцикла близко к нулевому, поэтому они не очищают атмосферу от  $\text{CO}_2$ .

Определено, что поглотителями диоксида углерода из атмосферы на территории Беларуси являются природные леса, нарушенные рубками, с возобновляющейся лесной растительностью, искусственные лесные плантации, естественные и восстановленные болота, а также озёра, в которых идут процессы образования и накопления сапропеля. Такие экосистемы оказывают на атмосферу двойной положительный эффект: изымают из нее углекислый газ и обогащают кислородом.

**V. A. Rakovich, N. N. Bambalov**

### **CARBON DIOXIDE ABSORPTION BY VEGETATIVE COMMUNITIES**

*An assessment of the contribution into absorption and emission of carbon dioxide of main groups of vegetative communities: woods, meadows, mires, agrocoenoses and lakes has been carried out. It has been offered to single out general and balance carbon dioxide absorption.*

*It has been shown that in non-damaged natural woods in the course of many centuries a dynamical balance between all age groups of timber plants was set up, so an amount of annual dying biomass is equal to its annual growth. In meadows and agrocoenoses the carbon rotation as well as in virgin woods is closed. A carbon dioxide balance absorption in such ecosystems in the run of annual bio-cycle is close to a zero one, so they do not remove  $\text{CO}_2$  from the atmosphere.*

*It has been determined that carbon dioxide absorbers from the atmosphere in Belarus territory are natural woods, damaged with cuts, with renewable forest vegetation, artificial wood plantations, natural and restored mires, as well as lakes in which sapropel formation and accumulation processes are running. These ecosystems produce on the atmosphere a double positive effect: remove carbon dioxide and enrich it with oxygen.*

**А. П. Гусев**

## **ОЦЕНКА РИСКА НАРУШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ ПО ФИТОИНДИКАЦИОННЫМ КРИТЕРИЯМ**

*Изучены особенности восстановительных сукцессий растительности в геосистемах, имеющих различный уровень антропогенной трансформации. Корреляционный анализ показывает наличие достоверных связей между показателями антропогенной трансформации геосистем и показателями протекающих в них сукцессий растительности. Максимальное влияние на ход сукцессии оказывает состояние окружающих геосистем на площади до первых км<sup>2</sup>. Установлены фитоиндикационные критерии деградации потенциала самовосстановления геосистем. Предложена схема оценки потенциала самовосстановления и риска нарушения экологического равновесия.*

Сохранение экологического равновесия является основой для: 1) определенного уровня хозяйства; 2) возможностей развития этого хозяйства; 3) сохранения природной среды для существования людей [8]. Одним из важных показателей экологического равновесия является способность природных систем достигать климакса (антропогенного квазиклимакса или субклимакса, которые при ликвидации антропогенного влияния сменяются климаксом) в ходе восстановительных сукцессий [8, 9]. Сукцессии растительности играют важную роль в процессах самовосстановления геосистем и служат индикатором их потенциала самовосстановления [4].

Под потенциалом самовосстановления геосистем понимается их способность восстанавливать свою структуру, средообразующие и ресурсовоспроизводящие функции после внешнего воздействия. Риск нарушения экологического равновесия может быть оценен по степени деградации потенциала самовосстановления геосистем. Снижение потенциала самовосстановления локальных геосистем увеличивает риск нарушения экологического равновесия в геосистемах более высокого ранга. Актуальной проблемой является разработка системы индикаторов, позволяющих диагностировать риск нарушения экологического равновесия.

Цель наших исследований – изучение сукцессий растительности как индикаторов деградации потенциала самовосстановления геосистем и риска нарушения экологического равновесия (на примере юго-востока Беларуси). Решались следующие задачи: изучение закономерностей восстановительных сукцессий растительности в природных и природно-антропогенных геосистемах юго-востока Беларуси; определение диагностических признаков деградации потенциала самовосстановления геосистем; оценка риска нарушения экологического равновесия на территории модельного района (Тереховский ландшафтный район).

Полевые работы по изучению растительности проводились по стандартным методикам: метод пробных площадей, метод экологического профилирования, маршрутный метод. Размер пробных площадок – от 25 (начальные стадии) до 400 м<sup>2</sup> (лесные стадии). Геоботаническое описание различных стадий сукцессий выполнялось в природных и природно-антропогенных геосистемах юго-востока Беларуси (широколиственные, широколиственно-сосновые, сосновые, мелколиственные леса, вырубки, строительные площадки, пустыри, залежи, отвально-карьерные комплексы месторождений полезных ископаемых, полигоны твердых промышленных и бытовых отходов). Получены характеристики растительности на 182 ключевых участках, имеющих различный сукцессионный статус.

Для изучения сукцессионных процессов применялся комплекс фитоиндикационных методов, включающий эколого-флористический и ценопопуляционный методы индикации. Эколого-флористический метод индикации представляет собой комбинированное использование: а) эколого-флористической классификации растительности Браун-Бланке [12]; б) экологических (фитоиндикационных) шкал [2]; в) методик изучения растительного континуума [7]. В его основе лежит исследование видового состава растительности (пробных площадок, синтаксонов, ценоклинов и т. д.), который рассматривается как наиболее надежный и репрезентативный признак растительности, отображающий экологические условия и сукцессионный статус. Ценопопуляционный метод индикации основан на изучении онтогенетических (возрастных) спектров популяций деревьев [10].

Для характеристики геоэкологического состояния (антропогенной нарушенности) геосистемы, в которой протекает сукцессия, был использован коэффициент экологической стабильности ( $K_c$ ), определяемый в скользящем квадрате (центр квадрата – пробная площадка или группа близкорасположенных пробных площадок). Дан-

ный коэффициент рассчитывался по формуле:  $K_c = \sum s_i k_i g$ , где  $s_i$  – удельная площадь вида землепользования;  $k_i$  – экологическая значимость этого вида землепользования (частный коэффициент стабильности);  $g$  – коэффициент геолого-геоморфологической устойчивости рельефа [3]. Этот показатель имеет ряд преимуществ: может использоваться в различных природных условиях, при любой степени антропогенной трансформации геосистем, при различных масштабах оценки, учитывает соотношения площадей и значимость типов землепользования, геолого-геоморфологические факторы, достаточно хорошо апробирован при решении широкого круга задач [1]. Определение  $K_c$  производилось на основе анализа топографических карт масштаба 1:100000. Современное состояние территории уточнялось по материалам спутниковых съемок компании DigitalGlobe (<http://google.earth.com>) высокого уровня разрешения.

Как дополнительный показатель использовалось расстояние ( $P_k$ ) до ближайших позднесукцессионных (климаксовых или близких к нему) лесных экосистем – источников семян позднесукцессионных видов, в том числе ключевых видов климакса (массивы широколиственных, широколиственно-черноольховых, широколиственно-сосновых лесов). Если участок находится на значительном расстоянии от источников семян позднесукцессионных видов, то задержка сукцессии будет определяться скоростями миграции древесных видов. Оценки этих скоростей приблизительны и колеблются в широких пределах – от нескольких до первых сотен метров в год, причем позднесукцессионные виды имеют малые скорости миграции – 10 и менее м/год [5, 11]. Исходя из этого расстояние в 1 км древесные виды преодолеют за 10–100 лет (т. е. задержки сукцессии, связанной с этим фактором, не произойдет); в 5 км – за 50–500 лет; 10 км – за 100–1000 лет; 20 км – за 200–2000 лет и т. д. Очевидно, что если ближайший источник диаспор позднесукцессионных деревьев находится на расстоянии более 10 км, то климаксовые (или близкие к ним) экосистемы просто не успеют восстановиться, так как климат региона изменится быстрее, чем произойдет цикл восстановления. Все это позволяет установить критические значения показателя  $P_k$ : до 1 км; 1–5 км; 5–10; более 10 км.

В качестве критериев оценки потенциала самовосстановления рассматривались показатели автогенных сукцессий растительности: длительность абиогенного этапа (время от момента формирования субстрата до появления пионерных группировок); длительность пионерной стадии; общая длительность нелесных стадий; время появления деревьев (год с начала сукцессии) – показатель, характеризующий скорость формирования лесной экосистемы; общее проектное покрытие растительности (%); видовое

богатство (число видов на 100 м<sup>2</sup>); численность естественного возобновления древесных видов (шт./га); доля терофитов в спектре жизненных форм (% от всех видов); доля фанерофитов в спектре жизненных форм (% от всех видов); представленность видов класса Querco-Fagetea (неморальные широколиственные леса) эколого-флористической классификации Браун-Бланке (% от общего числа видов); представленность видов класса Vaccinio-Piceetea ( boreальные хвойные леса) эколого-флористической классификации Браун-Бланке (% от общего числа видов); представленность лесных видов (виды всех лесных классов растительности, % от общего числа видов); синантропизация (доля видов синантропных классов Stellarietea media, Artemisieta vulgaris, Agropyretea repentis и т. д. эколого-флористической классификации Браун-Бланке, % от общего числа видов); запас фитомассы (т/га).

Кроме того, использовались показатели адвентизации растительности (характеризуют степень открытости экосистемы для вторжения чужеродных видов; минимальная открытость, соответственно максимальная замкнутость, наблюдается в климаксовых геосистемах): АД<sub>1</sub> – доля адвентивных видов от общего числа видов флоры (% от числа всех видов), характеризует степень адвентизации флоры; АД<sub>2</sub> – доля адвентивных видов в покрытии (% от общего проективного покрытия), характеризует эколого-ценотическое значение адвентивных видов в растительном покрове; АД<sub>3</sub> – доля адвентивных видов деревьев от общего числа древесных видов; АД<sub>4</sub> – доля адвентивных видов деревьев от общей численности естественного возобновления, характеризует эколого-ценотическое значение адвентивных деревьев, их способность к самовоспроизводству.

Деградация потенциала самовосстановления диагностируется по задержке сукцессии на нелесных стадиях (выражается в длительном абиогенном этапе, длительной пионерной стадии, отсутствии или низкой численности естественного возобновления древесных видов; низком проективном покрытии травянистой растительности и т. д.); по задержке сукцессии на стадиях раннесукцессионного леса или субклимакса (выражается в отсутствии или низкой численности естественного возобновления позднесукцессионных видов деревьев, высокой синантропизации растительности и т. д.); по высокой степени адвентизации растительности.

Проведение корреляционного анализа методами непараметрической статистики показало наличие достоверных связей между показателями геологического состояния геосистем ( $K_c$ ,  $P_k$ ) и показателями протекающих в них сукцессий растительности (табл. 1).

$K_c$  окружающих геосистем рассчитывался с различным охватом территории: в квадратах 0,25; 1; 4; 25 и 100 км<sup>2</sup>. Установлено, что наиболее тесная связь  $K_c$  с показателями сукцессии наблюдается при размере скользящего квадрата 0,25–4,00 км<sup>2</sup>. При увеличении охвата территории для большинства показателей теснота связи значительно снижается (табл. 1). Исходя из этого предполагается, что максимальное влияние на

ход сукцессии оказывает состояние окружающих геосистем на площади до первых квадратных километров. При оценке нарушения сукцессионных процессов (и, соответственно, деградации потенциала самовосстановления) по  $K_c$  оптимальной операционно-территориальной единицей будет геосистема (или квадрат сетки, накладываемой на территорию), имеющая такую площадь.

**Таблица 1. Корреляционная связь показателей сукцессии растительности с нарушенностью окружающих геосистем (коэффициент Спирмена  $R$ ; указаны значения при  $p < 0,05$ )**

Показатель сукцессии	$K_c$ (1 км <sup>2</sup> )	$K_c$ (25 км <sup>2</sup> )	$P_k$
Длительность пионерной стадии, лет	-0,590	Н.д.	0,611
Длительность абиогенного этапа, лет	-0,630	Н.д.	Н.д.
Длительность нелесных стадий, лет	-0,700	-0,440	0,699
Время появления деревьев, лет	-0,667	-0,450	0,770
Представленность видов класса Querco-Fagetea, %	0,453	0,360	-0,380
Представленность видов класса Vaccinio-Piceetea, %	0,420	0,470	-0,420
Представленность лесных видов, %	0,550	0,450	-0,490
Синантропизация, %	-0,508	-0,450	0,467
Видовое богатство, видов на 100 м <sup>2</sup>	0,407	0,290	-0,330
Численность естественного возобновления древесных видов, шт./га	0,550	0,330	-0,444
Доля терофитов в спектре жизненных форм, %	-0,514	-0,400	0,459
Доля фанерофитов в спектре жизненных форм, %	0,502	0,360	-0,414
$AD_1$	-0,590	-0,570	0,618
$AD_2$	-0,530	-0,470	0,536
$AD_3$	-0,570	-0,650	0,630
$AD_4$	-0,560	-0,630	0,623
Доля позднесукцессионных видов в древесном ярусе, %	-0,579	0,480	0,550
Доля позднесукцессионных видов в естественном возобновлении, %	0,382	0,430	-0,390
Фитомасса, т/га	0,396	0,250	-0,295

Примечание: н.д. – значение коэффициентов корреляции недостоверно ( $p > 0,05$ ).

Изучение восстановительных сукцессий на значительных по размеру территориях – достаточно сложный и трудоемкий процесс. Установленная связь характеристик сукцессий в типичных местоположениях с показателями нарушенности окружающих геосистем является основой для оценки потенциала самовосстановления.

Значения  $K_c$  и  $P_k$ , полученные для изучаемой территории, позволяют судить об основных чертах антропогенных нарушений сукцессий, протекающих в составляющих ее местоположениях (об их отклонениях от нормальных для данных условий), а следовательно, могут быть использованы для оценки деградации потенциала самовосстановления геосистем, в пределах которых изучение сукцессий не проводилось.

Предлагаемая общая схема оценки потенциала самовосстановления и риска нарушения экологического равновесия включает несколько этапов:

1. Выяснение системы местоположений оцениваемой территории и связанных с ними характерных рядов восстановительной сукцессии. Уточнение фоновых скоростей протекания сукцессий в преобладающих местоположениях (фоновой длительности состояний геосистем, соответствующих сукцессионных статусов).

2. Оценка потенциала самовосстановления растительности в преобладающих местоположениях по диагностическим критериям задержки сукцессий и степени адвенции (на ключевых участках). Оценка потенциала самовосстановления возможна при разных сукцессионных статусах геосистем.

3. Выяснение связи между антропогенной нарушенностью окружающих геосистем (показатели  $K_c$ ,  $P_k$ ) и показателями сукцессий на ключевых участках (характер данной связи может отличаться в различных типах местоположений и в различных ландшафтах в зависимости от их устойчивости к антропогенным факторам).

4. Экстраполяция полученных закономерностей на всю исследуемую территорию; оценка потенциала самовосстановления геосистем вне ключевых участков по коэффициенту  $K_c$  с учетом величины  $P_k$  (табл. 2). Корректировка результатов оценки по результатам маршрутных наблюдений за основными показателями сукцессий вне ключевых участков.

5. Оценка риска нарушения экологического равновесия территории по соотношению площадей, занятых геосистемами с низким, пониженным и высоким (нормальным) потенциалом самовосстановления.

**Таблица 2. Оценочная шкала деградации потенциала самовосстановления геосистем локального уровня**

Показатель	Потенциал самовосстановления			
	высокий (нормальный)	пониженный	низкий	очень низкий
Коэффициент экологической стабильности оцениваемой геосистемы ( $K_c$ )	> 0,66	0,33–0,66	0,00–0,33	< 0,00
Расстояние до ближайших геосистем, имеющих климаксовый (позднесукцессионный) статус ( $P_k$ )	< 1 км	1–5 км	5–10 км	> 10 км

Для выяснения веса той или иной геосистемы в формировании потенциала самовосстановления всей территории (геосистемы более высокого ранга) применялся следующий подход:

а) потенциал самовосстановления ( $\Pi_{cb}$ ) операционно-территориальной единицы характеризовался баллом (0 баллов – очень низкий; 1 балл – низкий; 5 баллов – пониженный; 10 баллов – высокий);

б) рассчитывался индекс потенциала самовосстановления всей территории (в % от фонового) по формуле:

$$I_{ncb} = \sum (\Pi_{cb} \cdot S_i / S) \cdot 100 \%,$$

где  $S_i$  – удельная площадь геосистем с  $i$ -й степенью деградации потенциала самовосстановления;  $S$  – общая площадь выдела.

Соотношение площадей, занятых геосистемами с низким и высоким (нормальным) потенциалом самовосстановления, может быть полу-

жено в основу оценки риска нарушения экологического равновесия территории.

Оценка риска нарушения экологического равновесия основывается на предположении связи величины потенциала самовосстановления с экологическим равновесием: чем выше потенциал самовосстановления, тем ниже риск, и наоборот.

Оценка риска нарушения экологического равновесия по степени деградации потенциала самовосстановления геосистем выполнена нами на примере Тереховского ландшафтного района. Тереховский ландшафтный район занимает крайний юго-восток Беларуси и характеризуется доминированием вторичных водно-ледниковых и моренно-зандровых ландшафтов [6]. Для проведения оценки потенциала самовосстановления территория района была разделена на 6 выделов (табл. 3).

**Таблица 3. Оценка потенциала самовосстановления Тереховского ландшафтного района и сопредельных территорий**

Геосистема	Потенциал самовосстановления				И <sub>ncb</sub>
	высокий	пониженный	низкий	очень низкий	
Вторичный водно-ледниковый ландшафт с покровом водно-ледниковых супесей (южный участок, расположенный между населенными пунктами Нивки и Веселовка)	15,8*	71,1	13,1	0	52,7
Вторичный водно-ледниковый ландшафт с покровом водно-ледниковых супесей (юго-западный участок, междуречье малых рек Немыльня и Терюха)	17,4	76,1	6,5	0	56,1
Вторичный водно-ледниковый ландшафт с покровом водно-ледниковых супесей (западный участок, междуречье малых рек Терюха и Уть)	62,8	24,6	13,1	0	75,9
Вторичный водно-ледниковый ландшафт с покровом водно-ледниковых супесей (северо-западный участок, междуречье малых рек Уть и Ипуть)	20,8	54,2	25,0	0	50,4
Моренно-зандровый ландшафт с покровом лессовидных суглинков (юго-восточный участок, междуречье малых рек Терюха и Чечера)	1,2	23,5	70,6	4,7	20,0
Моренно-зандровый ландшафт с покровом лессовидных суглинков (северо-восточный участок, междуречье малых рек Чечера и Хоропуть)	0	3,6	93,8	2,6	11,2
Тереховский район в целом	19,8	42,3	36,2	1,7	44,6
Аллювиальный террасированный ландшафт с поверхностным залеганием аллювиальных песков	67,8	29,0	3,2	0	82,6
Аллювиальный террасированный ландшафт с прерывистым покровом водно-ледниковых супесей	45,7	45,7	8,6	0	69,4
Сопредельные территории в целом	56,1	37,9	6,0	0	75,7

Примечание: \* – удельная площадь геосистем с соответствующей величиной потенциала самовосстановления, % от общей площади выдела.

Дополнительно проводился анализ сопредельных территорий (в пределах административных границ Республики Беларусь), примыкающих к Тереховскому району с запада (аллювиальный террасированный ландшафт с поверхностным залеганием аллювиальных песков) и севера (аллювиальный террасированный ландшафт с прерывистым покровом водно-ледниковых супесей).

Территория каждого выдела разделена на кластеры 2×2 км. Для каждого кластера рассчитывались  $K_c$  и  $P_k$ , по которым выполнялась оценка потенциала самовосстановления. Характер связи между показателями нарушенности окружающих геосистем (в квадрате 2×2 км) и показателями сукцессий растительности уточнялся на ключевых участках, представляющих доминирующие местоположения, а также маршрутными наблюдениями отдельных показателей восстановительных сукцессий.

Выполненный анализ показывает, что выделы ландшафтов на территории Тереховского района неоднородны по потенциальному самовосстановлению. Наибольшая деградация потенциала самовосстановления наблюдается в моренно-зандровом ландшафте, который занимает 42,3 % площади района. Вторичный водно-ледниковый ландшафт на 36,0 % своей площади имеет высокий потенциал самовосстановления (западный участок), а на 64 % площади – пониженный. Для

Тереховского района в целом характерен пониженный потенциал самовосстановления. Экологическое равновесие изучаемой территории поддерживается вторичным водно-ледниковым ландшафтом и в значительной степени прилегающими аллювиальными террасированными ландшафтами (табл. 3). Риск нарушения экологического равновесия будет возрастать в случае увеличения антропогенной деградации и хозяйственной освоенности геосистем аллювиальных террасированных ландшафтов (надпойменные террасы Сожа и Ипути), выступающих в настоящее время в качестве экологического буфера.

Таким образом, в ходе выполненных исследований получены следующие результаты:

1) между показателями геоэкологического состояния геосистем и показателями, протекающими в них восстановительных сукцессий растительности наблюдается достоверная корреляционная связь; максимальное влияние на ход сукцессии оказывает состояние окружающих геосистем на площади до первых км<sup>2</sup>.

2) на основе выявленных взаимосвязей разработана схема оценки потенциала самовосстановления геосистем и риска нарушения экологического равновесия территории;

3) на примере Тереховского ландшафтного района выполнена оценка риска нарушения экологического равновесия.

## Л и т е р а т у р а

1. Агроэкология / Под ред. В. А. Черникова, А. И. Чекереса. М., 2000.
2. **Булохов А. Д.** Экологическая оценка среды методами фитоиндикации: Учеб. пособие. Брянск, 1996.
3. **Волков С. Н.** Землеустройство в условиях земельной реформы (экономика, экология, право). М., 1998.
4. Зональные типы биомов России: Антропогенные нарушения и естественные процессы восстановления экологического потенциала ландшафтов / Под ред. К. М. Петрова. СПб, 2003.
5. **Кожаринов А. В.** Климато-хорологический анализ популяций лесных растений Белоруссии. Мин., 1989.
6. **Марцинкевич Г. И., Клициунова Н. Н., Хараничева Г. Т.** и др. Ландшафты Белоруссии. Мин., 1989.
7. **Миркин Б. М., Наумова Л. Г.** Наука о растительности (история и современное состояние основных концепций). Уфа, 1998.
8. **Реймерс Н. Ф., Штильмарк Ф. Р.** Особо охраняемые природные территории. М., 1978.
9. **Реймерс Н. Ф.** Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). М., 1994.
10. **Смирнова О. В.** Методологические подходы и методы оценки климаксового и сукцессионного состояния лесных экосистем (на примере восточноевропейских лесов) // Лесоведение. 2004. № 3. С. 15–27.
11. **Удра И. Ф.** Расселение растений и вопросы палео- и биогеографии. Киев, 1988.
12. **Braun-Blanquet J.** Pflanzensociologie. Wien – New York: Springer-Verlag, 1964.

**A. P. Гусев****ОЦЕНКА РИСКА НАРУШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ ПО ФИТОИНДИКАЦИОННЫМ КРИТЕРИЯМ**

Изучены особенности восстановительных сукцессий растительности в геосистемах, имеющих различный уровень антропогенной трансформации. Корреляционный анализ показывает наличие достоверных связей между показателями антропогенной трансформации геосистем и показателями протекающих в них сукцессий растительности. Максимальное влияние на ход сукцессии оказывает состояние окружающих геосистем на площади до первых км<sup>2</sup>. Установлены фитоиндикационные критерии деградации потенциала самовосстановления геосистем. Деградация потенциала самовосстановления диагностируется по задержке сукцессии на нелесных стадиях (выражается в длительном абиогенном этапе, длительной пионерной стадии, отсутствии или низкой численности естественного возобновления древесных видов; низком проективном покрытии травянистой растительности и т. д.); по задержке сукцессии на стадиях раннесукцессионного леса или субклиматакса (выражается в отсутствии или низкой численности естественного возобновления позднесукцессионных видов деревьев, высокой синантропизации растительности и т. д.); по высокой степени адвенции растительности. Предложена схема оценки потенциала самовосстановления и риска нарушения экологического равновесия.

**A. P. Gusev****ASSESSMENT OF RISK OF AN ECOLOGICAL BALANCE DISTURBANCE ON PHYTOINDICATOR TO CRITERIA**

*Features regenerative plant successions in geosystems having a various level of anthropogenous transformation are investigated. The correlation analysis shows presence of connections between parameters of anthropogenous transformation of geosystems and parameters running in them plant succession. The maximal influence on a succession course renders a condition of surrounding geosystems on the area up to the first km<sup>2</sup>. Phytoindicator criteria of degradation of potential of self-restoration geosystems are established. Degradation of potential of self-restoration is diagnosed on a delay succession at herbal stages (long abiotic stage, long early stage, absence or low number of natural renewal of wood kinds; a small projective covering of grassy vegetation, etc.); on a delay succession at stages early successional woods or a subclimax (absence or low number of natural renewal climax species, the big share ruderal plants, etc.); on a high degree abundance of nonnative species in vegetation. A scheme of assessment of self-restoration potential and ecological balance disturbance risk is proposed.*

**Л. А. Кравчук, А. В. Судник**

## **ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛАНДШАФТНО-РЕКРЕАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ГОРОДА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ МИНСКА)**

*Для целей экологически обоснованного городского планирования и управления в процессе разработки «Схемы охраны окружающей среды г. Минска и Минского района» проведена оценка основных показателей уровня структурно-функциональной организации ландшафтно-рекреационного комплекса города. Определены уровень озелененности основных функциональных зон городской застройки, обеспеченность населения насаждениями общего пользования и в жилой застройке, соответствие их нормам, состояние и устойчивость древостоеев в кварталах застройки, в лесах, на объектах озеленения общего пользования, а также на резервных территориях. Выявлены участки с высоким уровнем ландшафтного и биологического разнообразия, перспективные для сохранения в пределах города. Разработаны направления оптимизации ландшафтно-рекреационного комплекса города и мероприятия по его усовершенствованию.*

Организация экологически сбалансированной и социально обоснованной структуры ландшафтно-рекреационного комплекса (ЛРК) в городах является одной из ведущих задач природопользования на урбанизированных территориях, градостроительного планирования и управления их устойчивым развитием. Начальный этап ее реализации – оценка и картографирование существующей ситуации.

В Европе для оценки качества городской среды используют 55 индикаторов, которые объединены в три группы: А – индикаторы городской структуры («Indicators of urban patterns»); В – индикаторы городских потоков («Indicators of urban flows»); С – индикаторы качества городской среды («Indicators of urban environmental quality»). К индикаторам качества и структуры городской среды наряду с показателями загрязнения воздуха, почв, воды относятся показатели озелененности городской территории (% green area), доля населения, обеспеченногого озелененными пространствами в радиусе 15-минутной доступности («Accessibility of green space», «Proximity to urban green areas», «% of people within 15 minutes walking of urban green areas»), а также биологического разнообразия города («Quality of urban wildlife») [18].

Опыт исследования природной среды в городах и тенденции развития экологической и градостроительной нормативной правовой базы [3–6, 10, 11, 14–16, 18–20] показали, что при оценке уровня организации ЛРК в городах важно учитывать как социальные, так и экологические аспекты – функциональную специфику озеленения; обеспеченность населения ландшафтно-рекреационными территориями (ЛРТ) местного, районного и городского значения; состояние и устойчивость растительности к факторам городской среды; биологическое и ландшафтное разнообразие территорий. При этом наиболее ин-

формативным для целей экологически обоснованного градостроительного планирования и управления развитием городской среды является детальный анализ перечисленных выше показателей в разрезе основных архитектурно-планировочных единиц – кварталов (микрорайонов) застройки, функциональных зон, рекреационных объектов.

Специфика многих городов Беларуси, в том числе г. Минска, состоит в существенной доле незначительно трансформированных природных ландшафтов в составе городских территорий [1, 9, 12, 16].

Оценка уровня структурно-функциональной организации ЛРК была проведена для Минска при разработке природоохранных мероприятий в составе «Схемы охраны окружающей среды г. Минска и Минского района». Учитывая опыт геоэкологических исследований в городах Беларуси, оценка уровня организации ЛРК осуществлялась дифференцированно с использованием следующих критериев: озелененность функциональных зон; обеспеченность населения озелененными территориями в жилых кварталах и ЛРТ общего пользования; соотношение основных элементов озеленения в функциональных зонах; состояние и устойчивость насаждений к факторам городской среды; уровень благоустройства ЛРТ; биологическое и ландшафтное разнообразие. Все эти показатели в комплексе определяют эффективность выполнения ЛРК основных экологических и социальных функций в городах. Для ряда критериев разработаны методические подходы к их дифференциированной оценке [5–8, 13].

Озелененность функциональных зон города определяет полноту выполнения растительностью сансирующих, средообразующих и защитных функций, что во многом влияет на комфортность городской среды и устойчивое функционирование урбозоосистем.

В Минске дифференцированная оценка уровня озелененности городской территории состояла из следующих этапов: 1) функциональное ранжирование городской застройки и насаждений в ней; 2) определение площади озелененных территорий в составе основных структурно-планировочных единиц; 3) расчет уровня озелененности и соотнесение ее с нормативными требованиями уровня озелененности функциональных зон. Исходными материалами для оценки служили данные учета объектов растительного мира – сведения о площади озелененных территорий, предоставленные городскими жилищно-эксплуатационными службами, районными администрациями, УП «Минскзеленстрой», основными землепользователями (по состоянию на 2006 г.). Для отдельных городских территорий (промзон, общественной и усадебной застройки) подобные сведения отсутствовали, поэтому для оценки их озелененности использовались материалы дешифрирования аэрофотосъемки [8]. При оценке соответствия нормам озелененности функциональных зон столицы использовались регламенты «Генерального плана г. Минска с прилегающими территориями в пределах перспективной городской черты» (Генплан) [3].

На картосхеме (рис. 1) приведены дифференцированные показатели соответствия уровня озелененности территории г. Минска регламентам Генплана. Анализ данной картосхемы показывает, что уровень озелененности ниже нормы отмечается на многих производственно-коммунальных территориях Минска, в новых микrorайонах (Сухарево, Малиновка, Уручье и др.), а также в некоторых кварталах центральной части города.

Показатели уровня озелененности функциональных зон могут быть использованы при разработке планов благоустройства городской застройки, а также стратегии ее уплотнения.

*Обеспеченность населения озелененными территориями в жилой застройке* является наиболее значимым социально-экологическим критерием, определяющим качество жизни населения. Этот показатель рассчитывается на основании данных о площадях озелененных территорий в границах жилой застройки и численности населения (по сведениям, предоставленными жилищно-эксплуатационными службами по состоянию на 2006 г. в разрезе квартала, группы кварталов, микrorайонов) [5]. Соответствие республиканским нормам обеспеченности, согласно СНБ 3.01.04-02 [15], показателей обеспеченности населения Минска озелененными территориями в жилой застройке отражено на картосхеме (рис. 2).

*Обеспеченность населения ландшафтно-рекреационными территориями общего пользования* – важнейший показатель уровня организации ЛРК для удовлетворения рекреационных потребностей горожан.

При расчете показателей обеспеченности населения озелененными ландшафтно-рекреационными территориями общего пользования в Минске были проведены определение вида, площади, местоположения и уровня благоустройства рекреационных объектов; определение коэффициентов их рекреационной значимости; дифференцированные по кварталам расчеты показателей обеспеченности. Расчеты поквартальных показателей обеспеченности состояли из процедуры оценки удельного показателя обеспеченности 1 человека из определенного квартала от каждого ландшафтно-рекреационного объекта, расположенного в пределах регламентируемого радиуса доступности, и подсчета суммы удельных показателей обеспеченности 1 человека всеми ландшафтно-рекреационными объектами, находящимися в радиусе доступности [5, 6].

Определение вида, площади и местоположения ЛРТ в Минске осуществлялось на основании сведений их учета городскими специализированными службами с использованием современных картографических материалов, материалов аэрофотосъемки, а также данных натурных обследований.

При дифференцированных расчетах показателей обеспеченности населения города ЛРТ общего пользования учитывались парки, скверы, сады, бульвары, озелененные территории общественных центров, не имеющие ограничений в доступе, озелененные территории водно-зеленых систем, лесопарки, городские леса, экспозиционная часть Ботанического сада и зоопарка, озелененные территории памятников природы, резервные озелененные территории природного комплекса, с учетом радиуса доступности и соответствующих коэффициентов рекреационной значимости [3, 5, 6, 15].

В структуре ЛРК Минска, помимо лесов и благоустроенных рекреационных объектов (парков, скверов, бульваров, озелененных территорий общественных центров, водно-зеленых систем), значительное место (по площадям) занимают резервные озелененные территории (РОТ) нелесного типа. Большая часть из них представлена суходольными, пойменными лугами, древесно-кустарниковой растительностью вблизи рек и водоемов, болотами. Как правило, подобные территории, находящиеся в непосредственной близости к жилым массивам, особенно с дефицитом благоустроенных ЛРТ, достаточно активно используются горожанами при повседневной рекреации, поэтому расчеты обеспеченности проводились как с учетом резервных территорий, так и без них. На картосхемах рис. 3 приведены дифференцированные показатели обеспеченности населения ландшафтно-рекреационными территориями с учетом и без учета резервных территорий и лесов, которые отражены с использованием нормированной шкалы  $17 \text{ м}^2/\text{чел}$ .

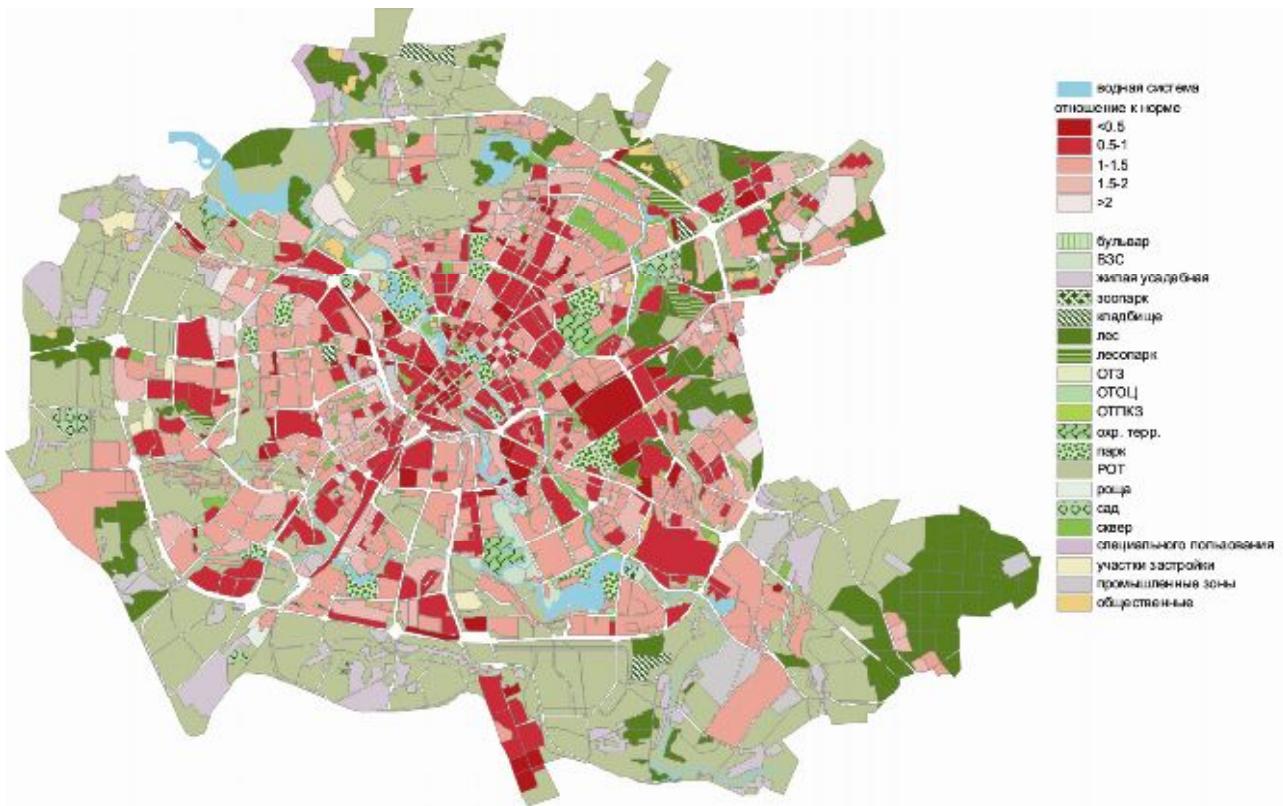


Рис. 1. Соответствие уровня озелененности функциональных зон застроенных территорий г. Минска регламентам Генплана (по состоянию на 2006 г.)



Рис. 2. Соответствие нормативным требованиям обеспеченности населения г. Минска озелененными территориями в жилой застройке (при норме  $9 \text{ м}^2/\text{чел.}$ )

На основании дифференцированных показателей обеспеченности населения ЛРТ рассчитаны величина их дефицита на текущий момент в различных секторах города, а также потребность на будущее с учетом планируемого Генпланом г. Минска [3] развития города.

Анализ полученных данных показал, что дефицит насаждений общего пользования отмечается в основном в ряде кварталов на территории Московского, Фрунзенского и Октябрьского районов – в микрорайонах Кунцевщина, Запад, Юго-Запад, Малиновка, Сухарево, Лошица и др. (рис. 3). Заметно повышение показателей обеспеченности при учете резервных озелененных территорий и рекреационных лесов. В перспективе, при благоустройстве их до уровня лесо-, лугопарков, парков, скверов, садов, коэффициент их рекреационной значимости возрастет, что значительно повысит показатели обеспеченности насаждениями населения Минска.

*Состояние растительности* определяет эффективность выполнения ею сансирующих и средообразующих функций в городе, а также ее ландшафтно-архитектурные и рекреационные качества.

Состояние и устойчивость городских насаждений детерминируются не только воздействием природных факторов и антропогенных нагрузок, обусловленных ландшафтно-экологическими особенностями городской территории, но и структурой (видовым составом, возрастом и т. п.) насаждений, специфичным в различных функциональных зонах типом использования насаждений, качеством ухода за посадками.

Оценка состояния древесных насаждений на застроенной территории Минска дана на основании проведенных ранее обследований городских функциональных зон (в разрезе кварталов застройки). Ландшафтно-рекреационные зоны обследовались на уровне объектов озеленения (парки, лесопарки, сады, скверы, бульвары, озелененные территории общественных центров, водно-зеленых систем, резервные озелененные территории нелесного типа и др.). В лесах единицей картографирования состояния древостоя служил лесной квартал [6, 13].

На рис. 4, а отражены поквартальные показатели категории состояния древесных насаждений в застроенной части города, на рис. 4, б – на ландшафтно-рекреационных территориях общего пользования и в лесах. Как видно из картосхем, древесные насаждения в застроенной части города по значениям индекса состояния можно охарактеризовать преимущественно как «здоровые с признаками ослабления». Однако видны отличия в состоянии насаждений различных функциональных зон в пределах городской застройки. Значительное ухудшение состояния насаждений наблюдается на

территориях ряда промзон, а также в жилых кварталах, расположенных в радиусе их воздействия.

В жилой застройке часто отмечаются повышенная дефолиация, ослабление древостояев на участках с уплотненными почвами (места неорганизованных транзитных троп), повышенным загрязнением среды. Снижение жизненности насаждений из-за повреждений энтомовредителями и болезнями наиболее часто наблюдается в усадебной застройке, а также в высоковозрастных посадках жилой высокоплотной застройки. Причем иногда повреждения растений насекомыми и болезнями носят массовый характер, что существенно отражается на категории состояния насаждений целого квартала. Причиной ослабления древостояев в жилой застройке являются также механические повреждения стволов (антропогенного происхождения), неблагоприятные эдафо-климатические условия произрастания и плохой уход за саженцами. Как видно из картосхемы, ослабление состояния древостояев отмечено в посадках некоторых жилых микрорайонов (Сухарево, Малиновка, Курасовщина и др.), а также в застройке, находящейся вблизи крупных источников загрязнения среды.

Оценка состояния деревьев в посадках вдоль улиц и дорог показала, что около 27,9 % находится в ослабленном состоянии, 11,3 % – сильно ослабленном, а 2,7 % деревьев можно отнести к категории усыхающих. 58,1 % древостояев не имеют видимых признаков ослабления. Причинами ухудшения состояния посадок вдоль улиц и дорог могут быть загрязнение воздуха, почв, засоление почвогрунтов антигололедными реагентами в зимний период, повреждение корневой системы во время укладки тротуарной плитки, недостаток почвенной влаги и элементов питания, воздействие коммуникаций на корневую систему деревьев, а также преобладание в санитарно-защитных посадках вдоль улиц малоустойчивых к загрязнению среды видов деревьев.

Состояние древесных насаждений на ландшафтно-рекреационных территориях общего пользования отражено на картосхеме (рис. 4, б). Анализ данных показывает, что значительное снижение жизненного состояния насаждений отмечается в скверах на площади Я. Коласа и Юбилейной, по ул. Аэродромной, Серова, Каравской, в скверах «Пионерский», у кинотеатра «Комсомолец», в парке им. 50-летия Октября, на бульварах по ул. Тракторостроителей, Жуковского и др. Причины ослабления древостояев здесь разнообразны. Как правило, большая часть из них находится в зонах интенсивного загрязнения воздуха. Ослабленные насаждения часто встречаются в скверах, где преобладают старые посадки (тополя, ясени липы) и не устойчивые к загрязнению воздуха виды.

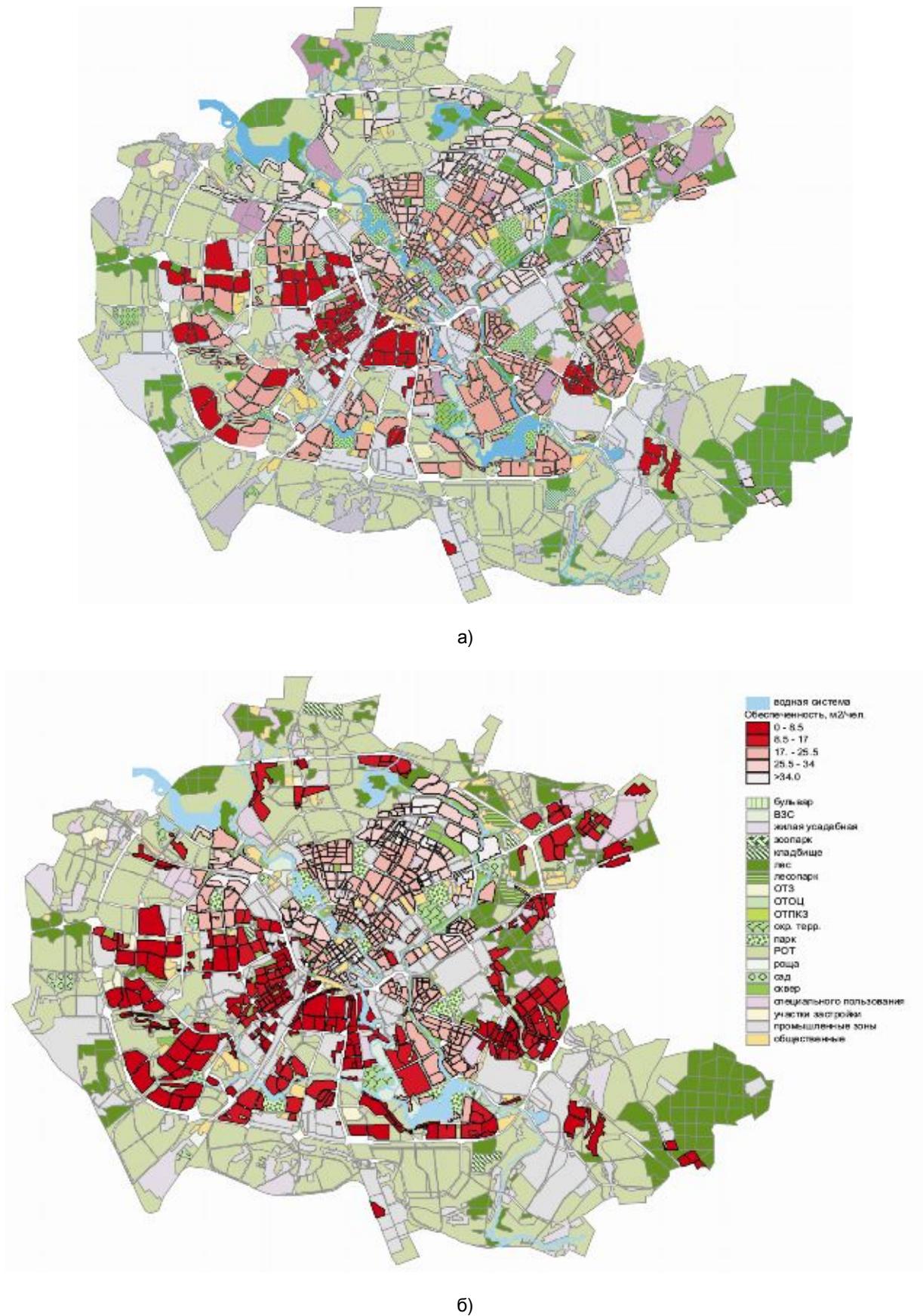


Рис. 3. Показатели обеспеченности населения г. Минска ландшафтно-рекреационными территориями общего пользования: а) с учетом РОТ и лесов; б) без учета РОТ и лесов

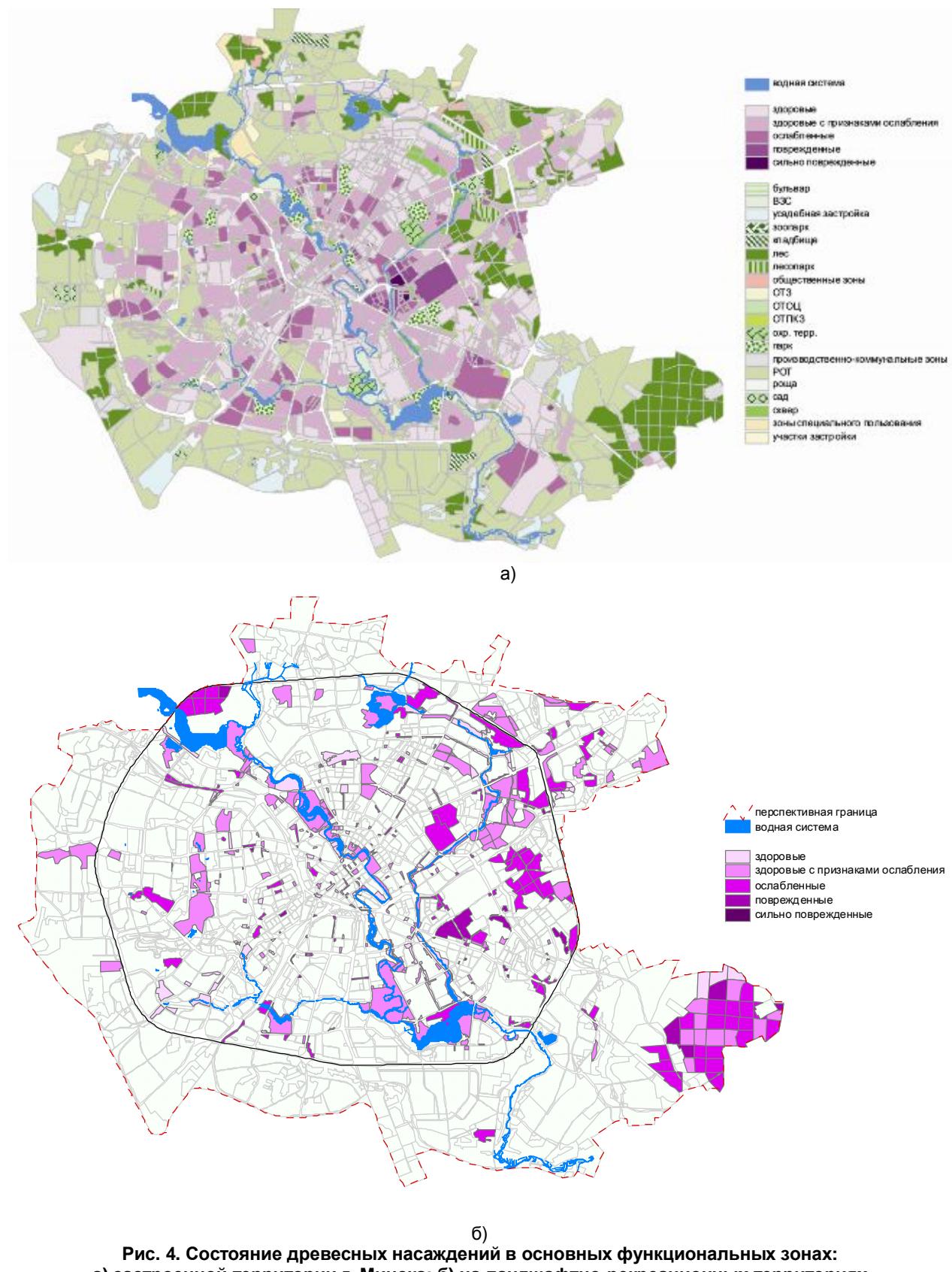


Рис. 4. Состояние древесных насаждений в основных функциональных зонах:  
а) застроенной территории г. Минска; б) на ландшафтно-рекреационных территориях

В настоящее время подавляющее большинство лесных древостоев города относится к группе «здоровых с признаками ослабления» (80,6 %). Количество «ослабленных» древостоев находится в пределах 14–16 %, а доля «поврежденных» достигает 4,7 %.

При сравнении картосхем состояния насаждений застроенной части города и ландшафтно-рекреационных объектов заметно более ослабленное состояние лесных насаждений по сравнению с насаждениями жилой застройки, находящимися практически в идентичных условиях загрязнения. Это объясняется тем, что лесные древостои Минска сложены в основном малоустойчивыми к загрязнению хвойными породами, тогда как в кварталах застройки преобладают преимущественно устойчивые и относительно устойчивые виды деревьев.

*Устойчивость насаждений* к факторам городской среды определяет их состояние на текущий момент и эффективность выполнения растительностью основных функций на долгосрочную перспективу.

Поскольку основными факторами, негативно воздействующими на растительность в условиях города, являются загрязнение воздуха и рекреация, при разработке «Схемы охраны окружающей среды г. Минска и Минского района» проведена оценка устойчивости насаждений города к данным факторам. При этом потенциальная устойчивость древесных насаждений к загрязнению воздуха определяется долей участия в структуре древостоя различных по устойчивости к данному фактору видов. Общая устойчивость насаждений определяется при соотнесении их состояния и потенциальной устойчивости [6, 13]. Результаты оценки общей устойчивости городских древесных насаждений к загрязнению воздуха отражены на рис. 5. Как видно из картосхем, большая часть древесных насаждений застроенных территорий города обладает «умеренной» устойчивостью к загрязнению воздуха, лесные насаждения Минска в основном характеризуются «низкой» (49,5 %) и «умеренной» (43,9 %) устойчивостью к техногенному загрязнению.

Оценка общей устойчивости лесных сообществ к рекреационным нагрузкам учитывает стадию их дигрессии и потенциальную устойчивость к рекреации, которая определяется долей участия растительных сообществ с различной устойчивостью к рекреации [13]. Основная масса лесных насаждений в пределах перспективной городской черты Минска обладает «умеренной» и «очень высокой устойчивостью» к рекреационным нагрузкам (соответственно 36,1 % и 32,9 %). «Высокой» устойчивостью характеризуется 19,8 % городских лесов, «низкой» – 9,7 %, «очень низкой» – 1,5 %. Ни одно лесное сообщество в пределах перспективной городской черты не бы-

ло оценено как утратившее устойчивость к рекреации.

Данные о состоянии и устойчивости насаждений к загрязнению воздуха и рекреации могут быть использованы для планирования структуры насаждений при благоустройстве на участках интенсивного загрязнения среды, а также при проектировании рекреационных объектов (парков, лесо-, лугопарков), предполагающих высокие рекреационные нагрузки.

*Биологическое и ландшафтное разнообразие*, его сохранение в городе – проблема, которая достаточно активно изучается урбэкологией [20] и является предметом дискуссий в среде градостроителей и экологов. Это обусловлено политикой приоритета экономических и социальных аспектов развития городов над экологическими и природоохранными, высокой стоимостью городских земель, необходимостью детального их обследования, использования специальных, нетрадиционных форм благоустройства. Однако, как отмечено В. В. Владимировым, Е. М. Микулиной и З. Н. Яргиной [2], «...одной из форм загрязнения городской среды следует считать деэстетизацию городского ландшафта – его однообразие, потерю масштабности, нарушение связи с естественными качествами исходного облика природного ландшафта. И здесь правильное использование элементов природного комплекса играет большую роль в решении задач формирования эстетически полноценной природной среды». Общеизвестно, что функционирование естественных ландшафтов в городах благотворно воздействует на микроклиматические условия, увеличивает разнообразие городской среды, что в свою очередь определяет её комфортность для жителей; высока ценность природных ландшафтов с позиций психологических аспектов рекреации [1, 2, 9, 20].

Учитывая значительную долю относительно малотрансформированных природных территорий в структуре Минска [9, 10, 17], сохранение биологического и ландшафтного их разнообразия на современном этапе развития города наряду с решением важнейших социально-экономических задач должно стать одним из приоритетных направлений градостроительной политики в столице. Подходы к его оценке – задача многоуровневая, если учесть сложный генезис, мозаичность, динамику изменения рельефа и растительных сообществ на городской территории.

Основными проблемами при оценке и картографировании биологического и ландшафтного разнообразия городских территорий являются их слабая изученность, методические трудности при выделении единицы картографирования и, как уже отмечалось, высокая мозаичность и динамичность трансформации. Поэтому здесь часто используются подходы, основанные

на качественно-эвристической оценке роли растительных сообществ и ландшафтов в сохранении природного разнообразия города. Например, для лесов проводится оценка роли лесных сообществ в сохранении биологического разнообразия с учетом их типа и возраста, наличия редких видов и т.п. При этом сообщества оцениваются как имеющие: 1 – низкое, 2 – относительно низкое, 3 – умеренное, 4 – высокое, 5 – очень

высокое, 6 – исключительно высокое значение в сохранении биологического разнообразия. Наиболее низкие баллы присваиваются чистым лесным культурам хвойных пород 1–2 класса возраста и оккультуренным пространствам, а наиболее высокие – коренным высоковозрастным сообществам хвойных и твердолиственных пород, сообществам с участием редких охраняемых видов, а также памятникам природы.

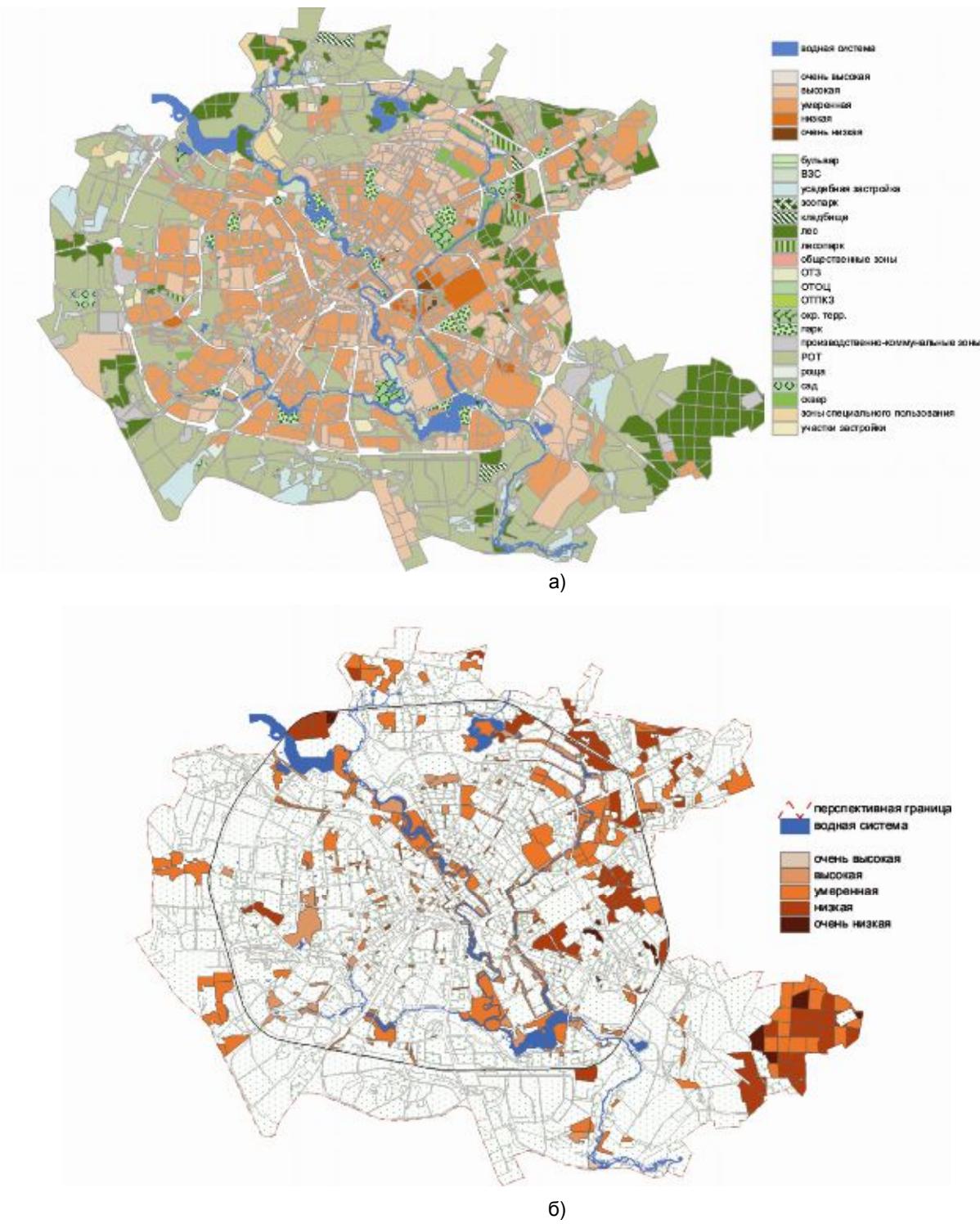


Рис. 5. Устойчивость к загрязнению воздуха древесных насаждений:  
а) застроенной территории г. Минска; б) ландшафтно-рекреационных зон

Биологическое и ландшафтное разнообразие для Минска оценивалось с использованием ведомственных материалов, данных научных исследований и результатов обследования территории [1, 9, 11, 17]. На основании данных о типологическом и возрастном разнообразии городских лесов, пойменных территорий, болот, встречаемости редких видов ландшафтов, элементов рельефа и растений на территории города методом экспертных оценок выделены «ключевые участки» с высоким уровнем ландшафтного и/или биологического разнообразия, перспективные для сохранения в пределах города. В качестве таких участков отмечены редкие для горо-

да виды ландшафта, элементы рельефа; участки леса, имеющие высокое и очень высокое значение для сохранения биологического разнообразия; пойменные луга и болота с редкой для города растительностью и богатым видовым разнообразием; специально организованные территории, которые обладают уникальными коллекциями флоры и фауны, разнообразными условиями местообитания биологических видов – «Центральный ботанический сад» НАН Беларуси, зоопарк, биологический заказник «Лебяжий», памятники природы «Дубрава», «Парк камней», Лошицкий усадебно-парковый комплекс и др. (рис. 6).

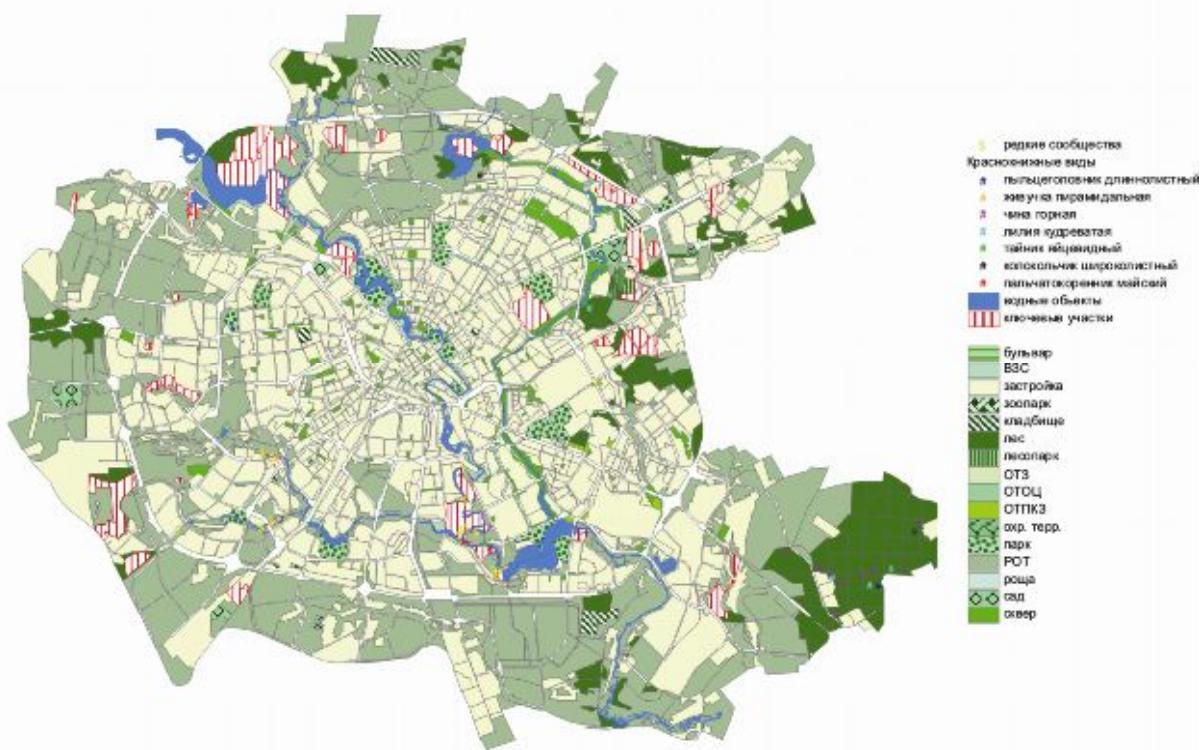


Рис. 6. Ключевые участки для сохранения биологического и ландшафтного разнообразия Минска

Основные мероприятия, предлагаемые при градостроительном освоении данных территорий, – ограничения на преобразование рельефа, растительного покрова, обеспечение устойчивого гидрологического режима, контроль за использованием прилегающих территорий, проведение санитарных работ (уборка мусора, сухостоя), благоустройство с научно обоснованным регулированием рекреационных нагрузок. Ряд объектов предложен для включения в состав особо охраняемых природных территорий и экологического каркаса г. Минска.

На основании данных о структуре, состоянии, устойчивости, ландшафтном и биологическом разнообразии проведено ранжирование объектов ЛРК города с выделением режимов их перспективного развития, которые могут быть использованы при корректировке регламентов освоения территории Минска.

Оценка и картографирование уровня организации ЛРК г. Минска по основным критериям позволила определить следующие негативные явления в его развитии:

- низкая озелененность ряда производственно-коммунальных и жилых зон города;
- низкая обеспеченность населения насаждениями в жилой застройке, преимущественно в новых микрорайонах города;
- дефицит благоустроенных ландшафтно-рекреационных объектов в западном и юго-западном секторах города;
- ухудшение жизненного состояния древесных насаждений, особенно в зонах интенсивного техногенного воздействия и высоких антропогенных нагрузок;
- пониженная устойчивость к загрязнению воздуха и рекреации значительной части лесных

сообществ, особенно на участках с высокими техногенными и рекреационными нагрузками;

– снижение ландшафтного и биологического разнообразия в условиях интенсивной застройки городской территории.

Все эти проблемы необходимо учитывать в процессе градостроительного освоения и разработке мероприятий по устойчивому развитию ландшафтно-рекреационного комплекса г. Минска. При этом следует обозначить основные направления его совершенствования:

I. Формирование сбалансированной, экологически и социально ориентированной структуры ЛРК с интеграцией в городскую среду малотрансформированных естественных ландшафтов и поддержанием функций уже существующих урбофитоценозов.

II. Повышение устойчивости природных комплексов и урбофитоценозов к факторам го-

родской среды (загрязнению воздуха, почв, рекреации) с учетом исходной структуры, состояния, биологических и ландшафтно-экологических особенностей, а также уровня антропогенного воздействия.

III. Сохранение и повышение биологического и ландшафтного разнообразия природного комплекса города.

IV. Совершенствование нормативной правовой базы для обеспечения устойчивого развития ЛРК города.

Детальный анализ уровня структурно-функциональной организации ЛРК г. Минска с учетом направлений совершенствования позволил разработать конкретные мероприятия по его оптимизации, которые предложены к реализации при корректировке Генерального плана города [3].

### Л и т е р а т у р а

1. Быкова Н. К., Ермоленкова Г. В., Лапко Т. Л. Роль болот в сохранении биоразнообразия на урбанизированных территориях // Природные ресурсы. 2006. № 3. С. 103–113.
2. Владимиров В. В., Микулина Е. М., Яргина З. Н. Город и ландшафт: (проблемы, конструктивные задачи и решения). М., 1986.
3. Генеральный план г. Минска с прилегающими территориями в пределах перспективной городской черты: утв. Указом Президента Республики Беларусь, 23 марта 2003 г., № 165, 2004 г. Мин., 2004.
4. Инструкция о порядке государственного учета объектов растительного мира, расположенных на землях населенных пунктов, и обращения с ними (от 29.12. 2004 г. № 40) // Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды. Мин., 2005. Вып. 52. С.120–136.
5. Кравчук Л. А. Методический подход к дифференцированной оценке показателей обеспеченности населения городов ландшафтно-рекреационными территориями // Природопользование. Мин., 2006. Вып. 12. С. 21–25.
6. Кравчук Л. А. Методология оценки уровня структурно-функциональной организации ландшафтно-рекреационного комплекса городов // Природопользование. Мин., 2008. Вып. 14. С. 120–128
7. Кравчук Л. А. Основные критерии и методические подходы к оценке уровня структурно-функциональной организации ландшафтно-рекреационных территорий городов // Ландшафтovedение: теория, методы, региональные исследования, практика: Материалы XI Междунар. ландшафтной конф. М., 2006. С. 106–108.
8. Кравчук Л. А., Обуховский Ю. М., Топаз А. А. и др. Методические подходы к дистанционной оценке структурно-функциональной организации озелененных территорий городов (на примере Минска) // Природные ресурсы. 2004. № 3. С. 65–71.
9. Кухарчик Т. И., Какарека С. В., Хомич В. С., Быкова Н. К. Оценка и сохранение природного разнообразия городских ландшафтов // Природопользование. Мин., 2008. Вып. 14. С. 25–37.
10. Охрана окружающей среды и природопользование города Минска // Под общ. ред. М. Г. Герменчук, А. Н. Боровикова, М. Л. Амбражевича. Мин., 2005. С. 53–65.
11. Правила по организации и ведению зеленого хозяйства в городах Республики Беларусь. Утв. Приказом Министра жил.-ком. хозяйства РБ от 25.03.1996. № 37 // Сб. норм. док-тов по охране окружающей среды. Мин., 1997. Вып. 18. С. 50–111.
12. Природная среда Беларуси / Под. ред. В. Ф. Логинова. Мин., 2002. С. 269–280.
13. Пугачевский А. В., Кравчук Л. А., Судник А. В., Моложавский А. А. Методические подходы к оценке и картографированию состояния и устойчивости к антропогенным воздействиям насаждений городов // Природные ресурсы. 2007. № 3. С. 34–46.
14. Рекомендации по формированию рекреационных ландшафтов в условиях Белорусской ССР. Мин., 1984.
15. СНБ 3.01.04-02 Градостроительство, планировка и застройка населенных пунктов.
16. Состояние природной среды Беларуси. Экологический бюллетень 2006 г. / Под общей ред. академика В. Ф. Логинова. Мин., 2007.
17. Фалолеева М. А. Пространственная структура городских ландшафтов и оценка их экологического потенциала (на примере г. Минска): Автодис. ... канд. геогр. наук. Мин., 2004.
18. Europe's environment: The Dobris Assessment. Edited by David Stanners and Philippe Bourdeau / European Environment Agency. Copenhagen, 1995.
19. European Sustainable Cities // Report of the Expert Group on the Urban Environment European Commission. DGXI Environment, Nuclear Safety and Civil Protection. Brussels, March, 1996.
20. Urban Ecology / Ed. J. Breuste, H. Feldmann, O. Uhlmann. Berlin, Springer, 1998.

**Л. А. Кравчук, А. В. Судник**

**ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛАНДШАФТНО-РЕКРЕАЦИОННОГО  
КОМПЛЕКСА ГОРОДА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО  
ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ МИНСКА)**

Для целей экологически обоснованного городского планирования и управления в процессе разработки «Схемы охраны окружающей среды г. Минска и Минского района» проведена оценка основных показателей уровня структурно-функциональной организации ландшафтно-рекреационного комплекса города. Определены уровень озелененности основных функциональных зон городской застройки, показатели обеспеченности населения насаждениями общего пользования и в жилой застройке и соответствие их нормам, состояние и устойчивость древостоеев в кварталах застройки, в лесах, на объектах озеленения общего пользования, а также на резервных территориях. Выявлены участки с высоким уровнем ландшафтного и/или биологического разнообразия, перспективные для сохранения в пределах города.

Оценка и картографирование уровня организации ландшафтно-рекреационного комплекса г. Минска по основным критериям позволила выявить следующие негативные явления в его развитии:

низкая озелененность ряда производственно-коммунальных и жилых зон города;

низкая обеспеченность населения озелененными территориями в жилой застройке, преимущественно в новых микрорайонах города;

дефицит благоустроенных ландшафтно-рекреационных объектов, особенно в западном и юго-западном секторах города;

ухудшение жизненного состояния древесных насаждений, как правило, в зонах интенсивного техногенного и рекреационного воздействия;

пониженная устойчивость к загрязнению воздуха, рекреации значительной части лесных сообществ, особенно на участках с высокими техногенными и рекреационными нагрузками;

снижение ландшафтного и биологического разнообразия в условиях интенсивного градостроительного освоения города.

Детальный анализ уровня структурно-функциональной организации ландшафтно-рекреационного комплекса г. Минска позволил разработать конкретные мероприятия по его оптимизации, которые предложены к реализации при корректировке Генерального плана города с прилегающими территориями в пределах перспективной городской черты.

**L. A. Kravchuk, A. V. Sudnik**

**EXPERIENCE OF RESEARCHES OF URBAN LANDSCAPE-  
RECREATIONAL COMPLEX FOR PURPOSES OF CITY  
PLANNING AND MANAGEMENT (BY THE EXAMPLE OF MINSK)**

*The estimation of the basic indices of a level of structurally functional organization of urban landscape-recreational complex was carried out for purposes of ecologically proved city planning and management during the development of the Scheme of preservation of the environment of Minsk and Minsk district. Percentage of green area, provision of the population by recreational territories, state and stability of plantings in quarters of building, in forests, on objects of general purpose gardening, and also in reserve territories have been determined. Perspective for preservation sites with a high level of a landscape and/or biological variety have been revealed.*

*The estimation and map-making of the level of the organization of landscape-recreational complex of Minsk by the basic criteria have allowed to reveal the following negative phenomena in its development:*

*low percentage of green area of some industrial-communal and residential zones of the city;*

*low provision of the population by green territories, mainly in new micro-districts of the city;*

*deficiency of comfortable landscape-recreational objects, especially in the western and southwest sectors of the city;*

*deterioration of vital state of plantings, especially in zones of intensive technogenic and recreational impact;*

*reduced resistance of significant part of forests to air pollution, recreation, especially on sites with high technogenic and recreational loadings;*

*decrease of landscape and biological variety in the conditions of intensive urban development.*

*The detailed analysis of the level of structurally functional organization of landscape-recreational complex of Minsk allowed to develop concrete actions on its optimization, which were offered for realization during correction the General plan of Minsk with adjoining territories within the limits of perspective city boundaries.*

**В. А. Рыжиков**

## ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АВТОТРАНСПОРТНЫХ ЛАНДШАФТОВ ГОРОДА МИНСКА

*Рассмотрены особенности трансформации почв и растительности автотранспортных ландшафтов города. Особое внимание уделено латеральному и радиальному распределению в придорожных почвах городских улиц тяжелых металлов, нефтепродуктов, ПАУ и водорастворимых веществ – основных компонентов противогололедных смесей. Выявлены основные факторы, влияющие на жизненное состояние древесных насаждений, произрастающих в пределах автотранспортных ландшафтов города.*

В городах, где на относительно небольших площадях сосредоточен огромный автомобильный парк, важным фактором трансформации автотранспортных ландшафтов являются продукты техногенеза, образующиеся в результате эксплуатации транспорта и содержания дорожного комплекса. Наиболее токсичными веществами, поступающими в окружающую среду и накапливающимися в придорожных почвах, являются тяжелые металлы, нефтепродукты, полихлорированные ароматические углеводороды (ПАУ) и противогололедные реагенты. Их высокое содержание в почвенном покрове отрицательно сказывается на свойствах почв и жизненном состоянии зеленых насаждений, произрастающих вдоль дорог, что проявляется в угнетении ассимиляционного аппарата растений, отмирании отдельных ветвей, снижении радиального и латерального прироста. Ослабленные деревья более чувствительны к повреждению вредителями и гибнут задолго до своей естественной старости.

Проведенные исследования почвенного покрова вдоль дорог, пересекающих открытые пространства, не дают четкого ответа на вопрос о зонах с максимальным уровнем загрязнения почв. Так, одни исследователи выделяют зону максимального загрязнения почв тяжелыми металлами от 50 [3, 7, 19] до 75 м [14] от дорожного полотна, другие – шириной до 200 м [9]. В то же время А. П. Щербаков с соавт. считают, что зона максимального распространения микрэлементов прослеживается до 20 м [22]. Почвенно-геохимические исследования, проведенные Е. М. Никифоровой и Т. А. Алексеевой вблизи автомагистралей, позволили заключить, что загрязнению ПАУ подвержены почвы вдоль дорог на расстоянии до 100 м, причем наибольшие уровни загрязнения отмечены на расстоянии 0,5 м от дорожного полотна [10]. Анализ литературных источников, посвященных проблеме засоления придорожных почв, показал, что в большинстве работ рассматриваются содержание, компонентный состав солей и зона их распреде-

ления, но при этом не оценивается степень засоления почв [18, 21]. В городах, где на пространственное распределение загрязняющих веществ влияет множество техногенных и природных факторов, данные о зонах с максимальным загрязнением почв еще более разрозненны. Изучением растительности городов, в том числе вдоль городских улиц, занимались многие исследователи [12, 13, 17, 24]. Однако, несмотря на детальный анализ морфологических, физиологических и биохимических изменений, происходящих с растениями, нет четких сведений о приоритетных факторах, влияющих на их жизненное состояние.

Цель выполненного исследования – эколого-геохимическая оценка состояния автотранспортных ландшафтов города на основе изучения латерального и радиального распределения загрязняющих веществ в придорожных почвах и влияния автотранспорта на жизненное состояние древесных насаждений.

В качестве объектов исследования были выбраны участки улиц на территории г. Минска, различающиеся интенсивностью движения автомобильного транспорта, типом уборки снега с проезжей части, геоморфологическими и ландшафтными условиями (рис. 1, табл. 1).

Придорожные территории проспектов Пушкина, Партизанского, улиц Казинца, Столетова и Подлесной имеют достаточно выровненную поверхность и представлены элювиальными ландшафтами. На данных участках используется разное сочетание видов уборки снега с дорожного полотна. На первых четырех улицах при уборке снега применяются главным образом роторные снегоуборочные машины, на улице Подлесной – плужно-щеточные. Сопряжение различных типов элементарных ландшафтов представлено на улицах Раковское шоссе и Богдановича, поскольку первая проходит по высокой дорожной насыпи (до 10 м), вторая – по днищу выемки с крутыми склонами. Снег на них убирается преимущественно плужно-щеточными машинами.

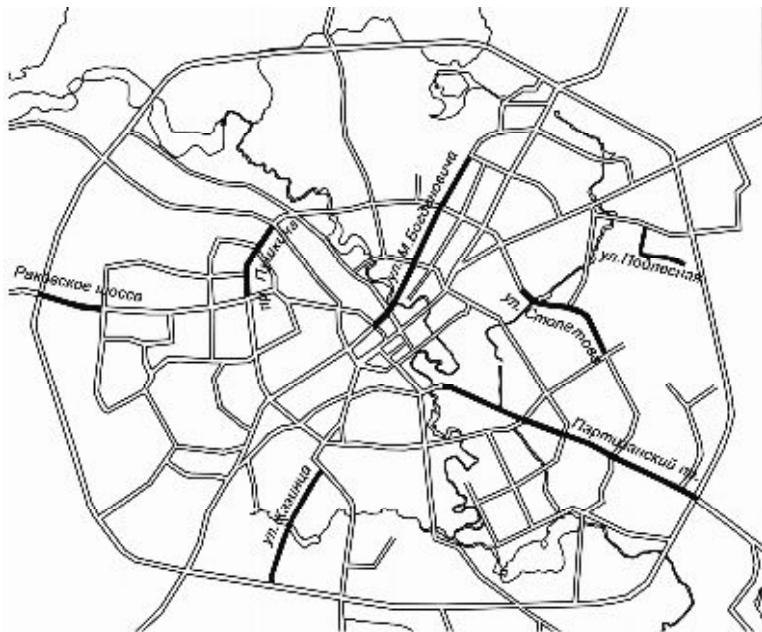


Рис. 1. Картосхема расположения объектов исследования

Таблица 1. Характеристика объектов исследования

Название улицы	Интенсивность движения автотранспорта (авт/ч)	Способ уборки снега с проезжей части в зимнее время	Характер рельефа придорожной территории
Пр. Пушкина	7 500	Роторный	Ровный
Пр. Партизанский	6 500	Роторный	Ровный
Ул. Раковское шоссе	4 900	Плужно-щеточный	Дорожная насыпь
Ул. Богдановича	4 250	Плужно-щеточный	Выемка с крутыми склонами
Ул. Казинца	3 900	Роторный	Ровный
Ул. Столетова	3 500	Роторный	Ровный
Ул. Подлесная	300	Плужно-щеточный	Ровный

В качестве основного метода исследования был выбран метод ландшафтно-геохимического профилирования, широко использующийся при изучении городов и городских ландшафтов [8, 20, 23]. Отбор образцов почв осуществлялся ручным буром до глубины 1 м на расстоянии 1; 2; 5; 10; 15; 25 м от дорожного полотна в сентябре 2005 и 2007 г. Определение содержания химических веществ в почве проводилось в соответствии с работой [16]. Полученные данные о концентрациях химических веществ сравнивались с фоновыми значениями и установленными санитарно-гигиеническими нормативами [5, 6]. Классификация почв по степени засоления проводилась согласно методике Н. И. Базилевич и Е. И. Панковой, в основу которой положена величина «суммарного эффекта» токсичных ионов, согласующаяся с воздействием на растения всех ионов, присутствующих в почве [2]. По данным о валовом запасе водорастворимых солей в почве рассчитывалось содержание токсичных ионов, так как именно ими определяется степень засоления. Поскольку различные ионы обладают неодинаковой степенью токсичности, «суммарный эффект» как основной классифика-

ционный показатель выражался в эквивалентах хлора:  $\text{Cl}^- = 0,1 \text{ CO}_3^{2-} = (2,5-3) \text{ HCO}_3^- = (5-6) \text{ SO}_4^{2-}$ , производился расчет только токсичных ионов. Натурные исследования древесных насаждений проводились в июле-августе 2007 г. на проспектах Пушкина и Партизанском, улицах Столетова, Казинца и Богдановича. Состояние деревьев всех встречаемых видов и групп возраста идентифицировалось по типам и размерам повреждений и дифференцировалось согласно категориям повреждения деревьев [1]. На основании собранных в ходе полевых исследований данных, о жизненном состоянии зеленых насаждений, произрастающих вдоль исследуемых улиц, рассчитывался индекс состояния видов (IS) (с дифференциацией по группам возраста) по формуле:

$$IS = \sum_{i=1}^n k_i \times n_i / N,$$

где  $k_i$  – балл категории состояния;  $n_i$  – число деревьев данной категории;  $N$  – общее число деревьев на пробной площади;  $i$  – количество категорий состояния.

Категория состояния древесных насаждений в целом определялась по значениям индекса. При значении индекса IS 1,0–1,5 – насаждения оценивались как «здоровые», 1,6–2,5 – «ослабленные», 2,6–3,5 – «сильно ослабленные», 3,6–4,5 – «усыхающие», от 4,6 и более – «сухостойные» [1].

Как показали исследования, на проспектах Пушкина, Партизанском, улицах Казинца, Столетова и Подлесной поверхностные горизонты почв сложены преимущественно насыпными гумусированными супесчаными грунтами. Участки с наибольшей степенью преобразования почвенного профиля, где слои сильно перемешаны и встречается большое количество строительного мусора, расположены вблизи дорожного полотна и пешеходных тротуаров. На улице Раковское шоссе почвы на расстоянии до 5 м от дорожного полотна, согласно классификации [4], относятся к группе искусственно созданных и сложены преимущественно супесчаными грунтами. На расстоянии 10–15 м они систематизируются как урбоземы, где естественные дерново-подзолистые почвы погребены под слоем суглинка и песка, использующихся при отсыпке дорожной насыпи. На наиболее удаленных от дороги участках (25 м) находятся естественные ненарушенные почвы. На улице Богдановича почвы характеризуются как искусственно созданные, имеют легкий гранулометрический состав и включают большое количество строительного мусора, который наиболее часто встречается вблизи дорожного полотна на расстоянии до 2 м и вблизи тротуара (25 м).

Наряду с механической трансформацией почв наблюдается изменение их физико-химических свойств. В частности, произошло резкое изменение реакции почвенного раствора

в сторону увеличения щелочности. Щелочная и слаботщелочная реакция почвенной среды характерна для участков, расположенных в непосредственной близости от дорожного полотна, где величина pH составляет 9,2 (фон 5,5) [11]. С удалением от проезжей части реакция почвенно-го раствора приближается к нейтральной. Нейтральная среда характерна также для нижних горизонтов почвенного профиля. Повышенная щелочность обусловлена высокой пылевой нагрузкой и большим количеством техногенных примесей, имеющих карбонатный состав. Почвы, сохранившие свои реликтовые свойства со слабокислой средой, фиксируются на улице Раковское шоссе в полосе 15–25 м от дорожного полотна, где они выходят на дневную поверхность или частично перекрыты техногенными наносами дорожной насыпи.

**Засоление почв.** Установлено, что поступление ионов натрия, калия и хлора – основных компонентов противогололедных солей – в придорожные почвы на территории г. Минска происходит главным образом при уборке снега с дорог снегоуборочной техникой, а их дальнейшее латеральное распределение зависит от ландшафтных условий прилегающей к дороге территории [15]. При разбрасывании снега роторными снегоуборочными машинами с проезжей части зона максимального распространения солей в почве на прилегающей территории с относительно выровненным рельефом прослеживается до 10–15 м от дорожного полотна (рис. 2, А и Г). При этом же типе уборки снега с тротуара на той же территории зона распространения солей достигает 25 м и более от дороги (рис. 2, В и Д). Там, где используется плужно-щеточная техника, эта зона ограничивается несколькими метрами (рис. 2, Е).

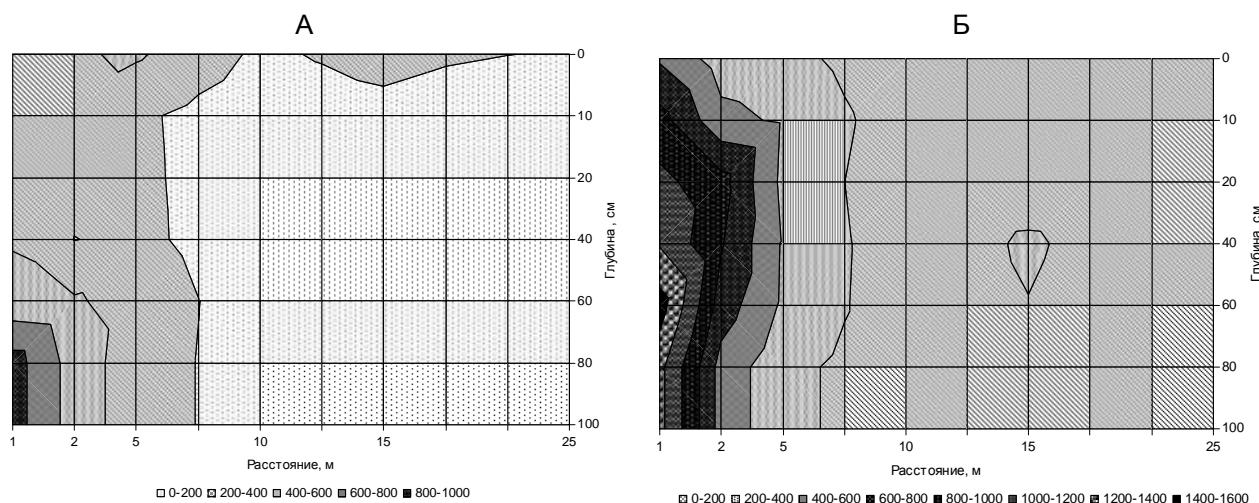
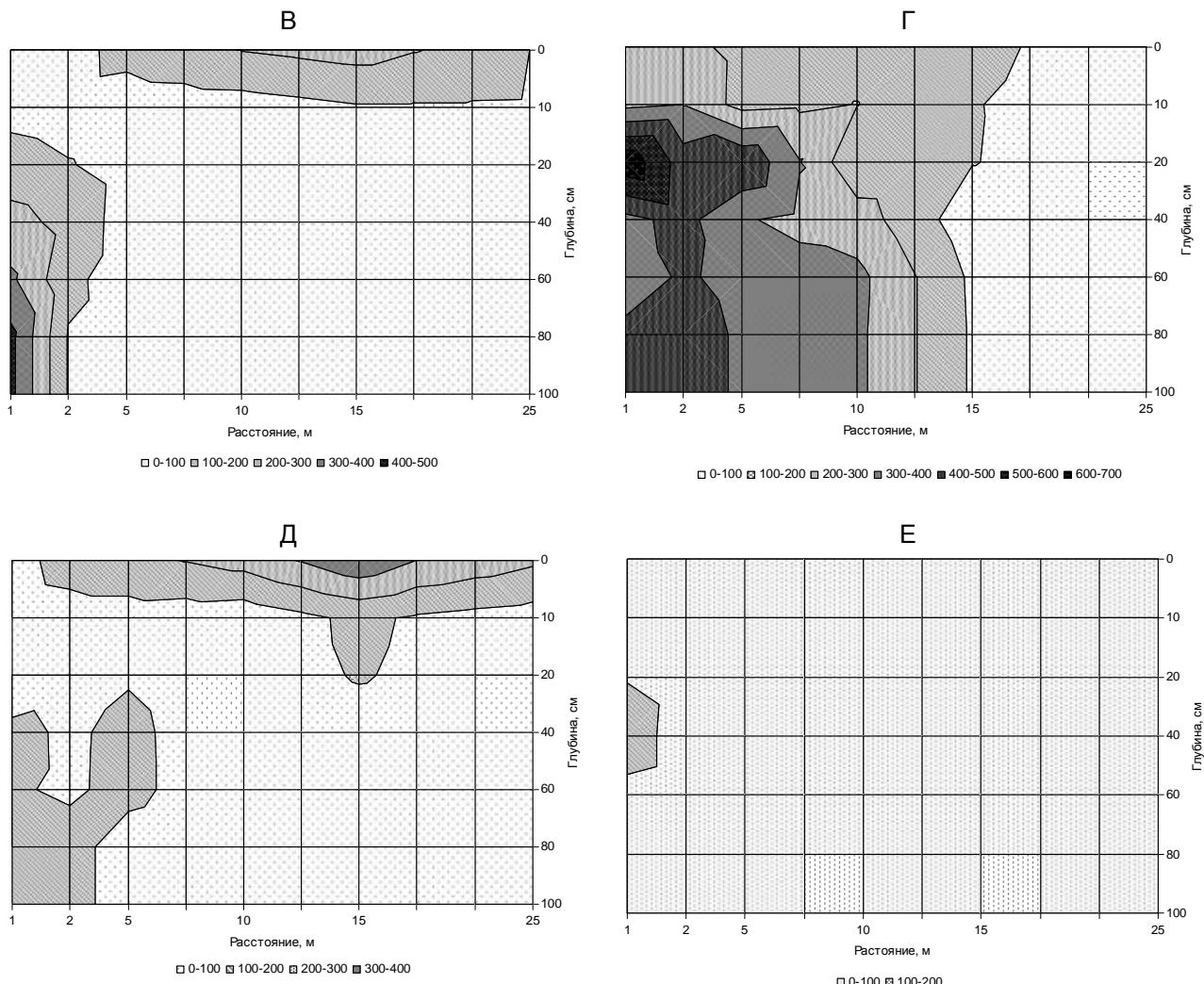


Рис. 2. Латеральное и радиальное распределение содержания суммы ионов натрия, калия и хлора в почвах придорожных территорий с однородными ландшафтными условиями, мг/кг: А – пр. Пушкина, 2005 г.; Б – пр. Пушкина, 2007 г.; В – пр. Партизанский; Г – ул. Казинца; Д – ул. Столетова; Е – ул. Подлесная

## Продолжение рис. 2



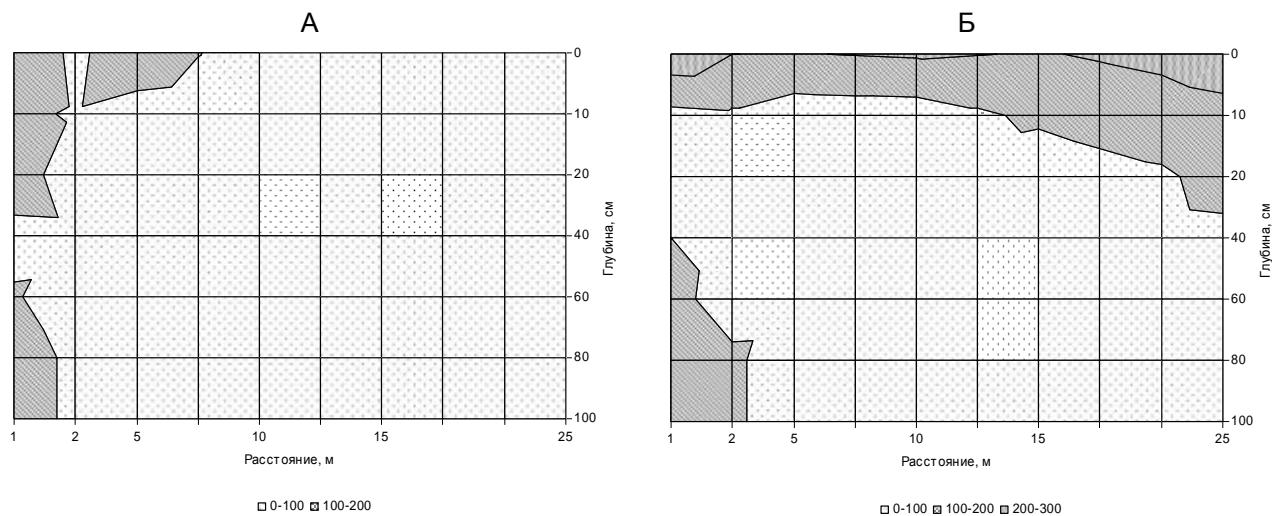
В условиях, где дорога проходит по высокой дорожной насыпи, зона с высоким содержанием водорастворимых веществ в почве увеличивается до 15–25 м (рис. 3, Б), а в выемках с крутыми склонами их максимальные концентрации наблюдаются в непосредственной близости от дорожного полотна – до 1–2 м (рис. 3, А).

В почвенном профиле максимальное содержание ионов, входящих в состав противогололедных солей, чаще фиксируется вблизи дорожного полотна, где почва испытывает наибольшую техногенную нагрузку. Радиальное распределение ионов натрия и калия достаточно равномерное по всему почвенному профилю. Наличие этих ионов во всей почвенной толще свидетельствует о длительном периоде техногенной нагрузки, главным образом за счет ежегодного применения солей на дорогах, поскольку для их миграции необходим значительный период времени. Что касается хлора как наиболее подвижного иона, то его максимальные значения отмечаются на глубинах 60–100 см, что связано с

его вымыванием в нижние слои почвы. На проспекте Пушкина в 2007 г. по сравнению с 2005 г. в слое почвы 20–100 см его содержание возросло в 8–14 раз (рис. 2, А и Б). Увеличение концентраций хлора связано с большими объемами противогололедных реагентов, внесенных на дорогах в 2007 г., и, в частности, с увеличением доли «чистой соли», не смешанной с песком.

Оценка степени засоления почв с использованием «суммарного эффекта» токсичных ионов позволяет отнести почвы на всех исследуемых участках, кроме улицы Подлесной, к засаленным (средне- и слабозасоленным).

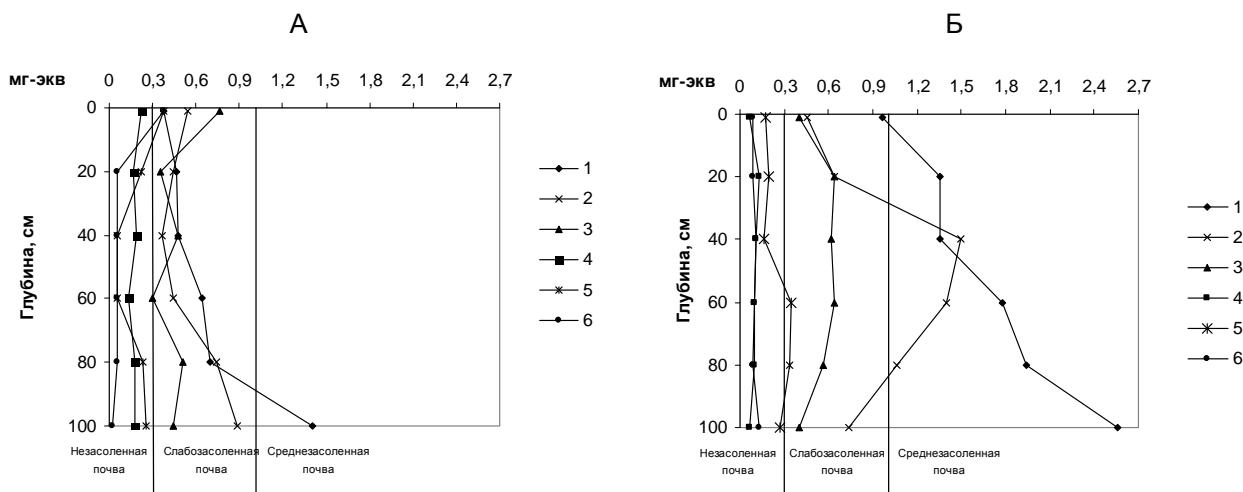
*Среднезасоленные почвы* со значением «суммарного эффекта» от 1,0 до 3,0 мг-экв/100 г почвы отмечены на улице Казинца и проспекте Пушкина. В первом случае они фиксируются на расстоянии 1 м от проезжей части на глубине 20–40 см (рис. 4, Г), во втором – на расстоянии 1–2 м, где значения «суммарного эффекта» по всему почвенному профилю колеблются от 1,0 до 2,5 мг-экв/100 г почвы.



**Рис. 3. Латеральное и радиальное распределение содержания суммы ионов натрия, калия и хлора в почвах придорожных территорий с однородными ландшафтными условиями: А – ул. Богдановича; Б – ул. Раковское шоссе**

Результаты исследований, проведенных в разные годы, показали, что уровень содержания солей в почве в 2007 г. значительно увеличился по сравнению с 2005 г. (рис. 4, А и Б). Так, на проспекте Пушкина зона со среднезасоленными почвами в 2005 г. фиксировалась в нижних горизонтах почвы на расстоянии 1 м от дороги. В 2007 г. эта зона увеличилась до 2 м от проезжей части, причем грунты здесь классифицируются как среднезасоленные по всей почвенной толще. Увеличение степени засоления в нижних горизонтах почвенного профиля связано с вымыванием солей инфильтрующимися осадками и талыми водами, чему способствует легкий механический состав грунтов, представленных на этих участках крупнозернистыми песками.

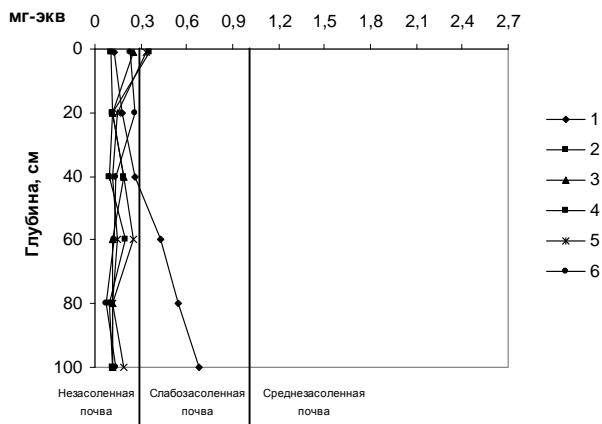
Слабозасоленные почвы («суммарный эффект» – 0,3–1,0 мг-экв/100 г почвы) отмечены практически на всех участках исследования, за исключением улицы Подлесной. Так, на проспекте Партизанском они фиксируются в нижних горизонтах почвенного профиля в полосе шириной до 1 м от дороги и на расстоянии 10 и 15 м в верхних почвенных горизонтах (рис. 4, В), на улице Казинца – на расстоянии от 1 до 10 м от проезжей части и практически по всей почвенной толще, на улице Столетова – в полосе до 10 м от дороги, где слабая степень засоления отмечена только в верхних слоях почвы (рис. 4, Г и Д). На проспекте Пушкина слабозасоленные почвы как в 2005 г., так и в 2007 г. зафиксированы на расстоянии от 5 до 10 м от проезжей части (рис. 4, А и Б).



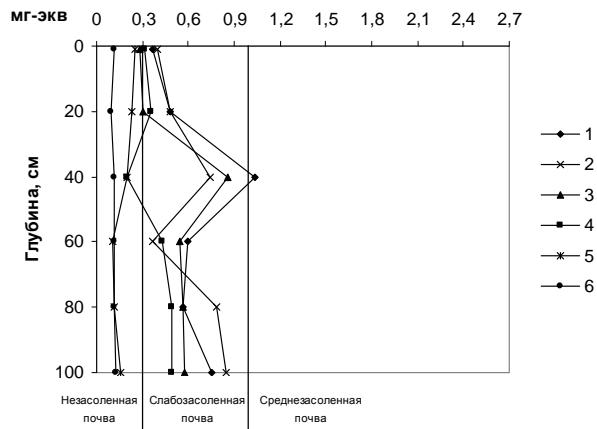
**Рис. 4. Степень засоления придорожных почв по величине «суммарного эффекта» токсичных ионов: А – пр. Пушкина, 2005 г.; Б – пр. Пушкина, 2007 г.; В – пр. Партизанский; Г – ул. Казинца; Д – ул. Столетова; Е – ул. Подлесная. Расстояние от дороги: 1–1 м; 2–2 м; 3–5 м; 4–10 м; 5–15 м; 6–25 м**

## Продолжение рис. 4

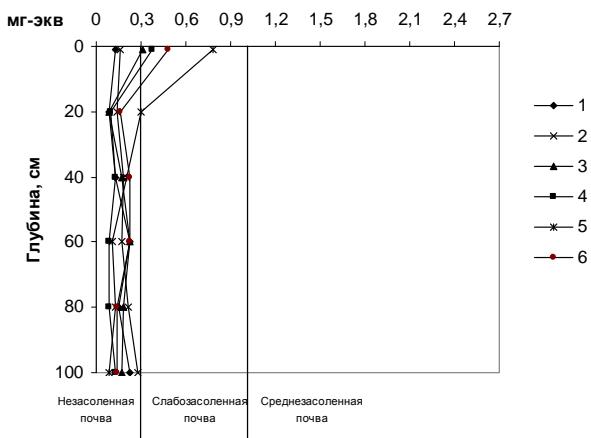
В



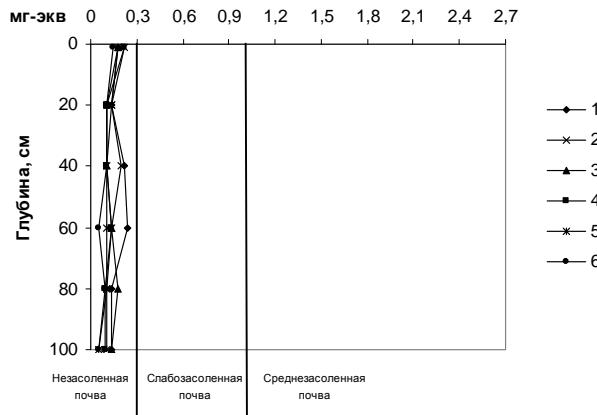
Г



Д



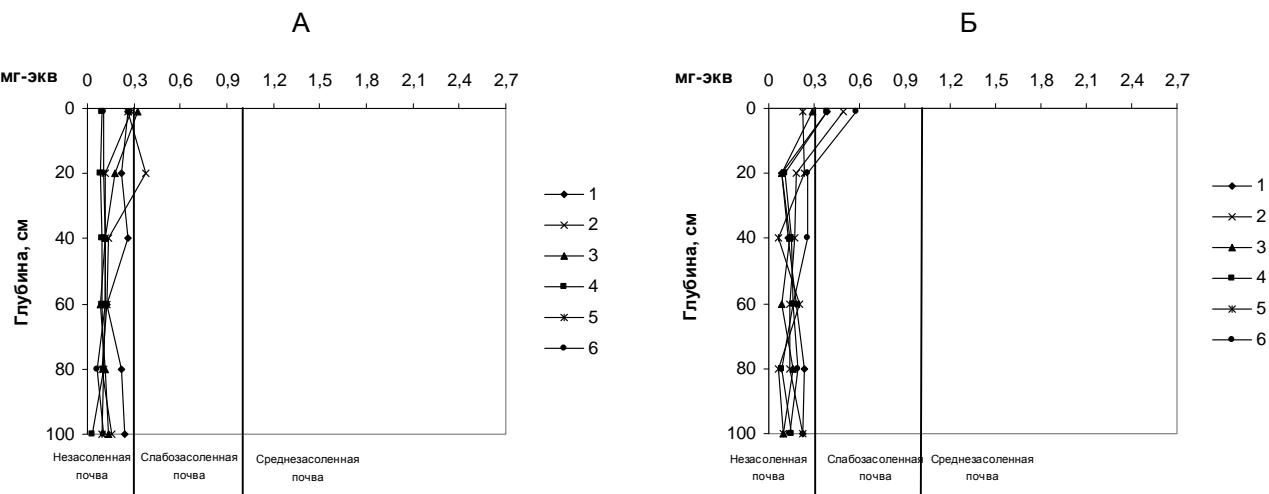
Е



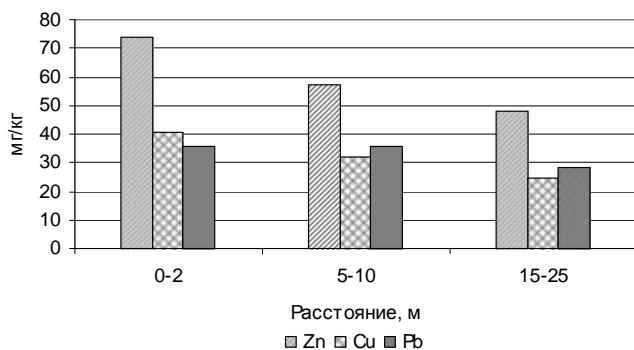
Что касается участков дорог, проходящих по высокой дорожной насыпи (улица Раковское шоссе) и внизу выемки с крутыми склонами (улица Богдановича), то в первом случае среднезасоленные почвы распространены практически по всей придорожной полосе и встречаются даже на наиболее удаленных от дороги участках (25 м) (рис. 5, Б), во втором случае они фиксируются в непосредственной близости от дорожного полотна на расстоянии 1 м от него (рис. 5, А).

*Незасоленные почвы* со значением «суммарного эффекта», не превышающим 0,3 мг-экв/100 г почвы, характерны для улицы Подлесной, где содержание солей в почвенном покрове минимально. На остальных участках исследования, кроме улицы Раковское шоссе, незасоленные почвы фиксируются на наиболее удаленных от проезжей части дорог участках – в полосе более 15 м.

**Загрязнение почв тяжелыми металлами.** Латеральное распределение тяжелых металлов в придорожных ландшафтах на различных ключевых участках неоднозначно. На участках с выровненным рельефом (проспекты Пушкина и Партизанский, улицы Столетова, Казинца и Подлесная) максимальные уровни тяжелых металлов фиксируются в непосредственной близости от проезжей части – в зоне до 2 м от нее. Далее концентрации практически всех анализируемых элементов снижаются и в зоне 15–25 м от дорожного полотна их значения минимальны (рис. 6). Поступление тяжелых металлов на прилегающую к дорожному полотну территорию происходит главным образом воздушным путем. Там, где зимой при уборке дорожного полотна используется роторная снегоуборочная техника (проспект Пушкина и улица Казинца), добавляется механический перенос металлов с загрязненным снегом с проезжей части, как правило, в зоне до 10 м от дороги [15].



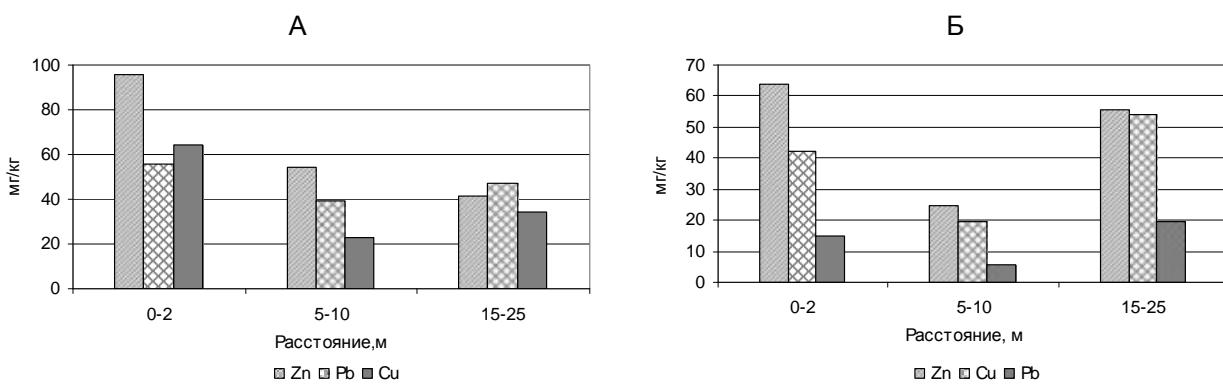
**Рис. 5. Степень засоления придорожных почв по величине «суммарного эффекта» токсичных ионов: А – ул. Богдановича, Б – ул. Раковское шоссе.**  
**Расстояние от дороги: 1–1 м; 2–2 м; 3–5 м; 4–10 м; 5–15 м; 6–25 м**



**Рис. 6. Изменение средних концентраций тяжелых металлов в поверхностном слое почвы с удалением от проезжей части улиц с однородными ландшафтными условиями**

На участках, где дорога проходит по дорожной насыпи (улица Раковское шоссе), наблюдаются два максимума: на расстоянии 1 и 25 м от дороги. Данный факт свидетельствует о том, что поступление металлов на близкое расстояние от дороги происходит воздушным путем, а их накопление на дальнем от дороги участке обусловлено

латеральным перераспределением химических веществ (рис. 7, Б). На улице Богдановича максимальное содержание всех исследуемых металлов отмечено в непосредственной близости от дорожного полотна (внизу дорожной выемки), вверх по склону их концентрации постепенно снижаются (рис. 7, А).



**Рис. 7. Изменение содержания средних концентраций тяжелых металлов в поверхностном слое почвы с удалением от проезжей части улиц с контрастными ландшафтными условиями:**  
**А – ул. Богдановича (в дорожной выемке), Б – ул. Раковское шоссе (на дорожной насыпи)**

Сопоставление данных по валовому содержанию микроэлементов с санитарно-гигиеническими нормативами для почв показало, что на проспектах Пушкина и Партизанском на расстоянии до 5 м от проезжей части имеет место превышение ПДК для цинка в 2 раза и кадмия до 1,7 раза. Причем концентрации цинка с превышением ПДК наблюдаются на глубинах от 20 до 60 см, а кадмия – в поверхностном слое почвы (0–10 см). На данных участках исследования во всех точках отбора проб повышены концентрации валовых форм меди до глубины 20 и 40 см и составляют 1,3 и 2 ПДК. Что касается свинца, то его содержание, превышающее ПДК, отмечено только на проспекте Пушкина в полосе до 5 м от дороги в поверхностных горизонтах почв до глубины 20 см (до 1,3 ПДК).

Для улицы Столетова приоритетным загрязнителем является цинк, где его валовые концентрации (от 1,2 до 2 ПДК) наблюдаются во всех точках отбора проб до глубины 40 см в зоне до 2 м от проезжей части и в слое почвы 0–10 и 10–20 см на остальных участках.

На улице Казинца концентрации свинца и кадмия в почве повышены практически по всей придорожной полосе и составляют до 1,5 ПДК, а для валового цинка и меди – до 2 ПДК в полосе до 5 м от проезжей части.

На улице Богдановича концентрации свинца превышены во всех точках отбора проб (до 2 ПДК), меди – в полосе шириной до 2 м от проезжей части (1,5 ПДК), цинка – до 5 м (2 ПДК). Содержание кадмия не превышает ПДК и фиксируется на расстоянии 2 и 25 м со значениями 0,4 и 0,5 мг/кг соответственно.

На улице Раковское шоссе превышения ПДК для цинка, меди и кадмия наблюдаются как в непосредственной близости от дороги на расстоянии 1–2 м, так и на значительном удалении от нее (25 м), где их значения составляют не более 1,5 ПДК. Для свинца на данном участке исследования таких случаев не отмечено.

**Подвижные формы.** На территории участков исследования в поверхностном горизонте почвы диапазон концентраций подвижных форм свинца равен 6,0–21,6, цинка – 3,3–65,5 мг/кг. В среднем на долю подвижного свинца и цинка приходится 29 и 45 % соответственно от их валовых содержаний при диапазоне значений для первого от 14 до 47 %, для второго – от 8 до 74 %. Пространственное распределение подвижных форм этих элементов соответствует распределению их валовых форм.

Установленный норматив (ПДК) по подвижному цинку для транспортно-коммуникационной зоны населенных пунктов составляет 50 мг/кг [6]. Превышение этой величины фиксируется только в трех случаях: на улице Богдановича на расстоянии 1, 15 и 25 м со значениями 62,5; 65,5 и 59 мг/кг соответственно. Превышение ПДК подвижного свинца (6,0 мг/кг) зафиксировано на всех участках исследования и во всех точках отбора проб, при этом превышения составляют от 1 до 3,5 ПДК.

**Нефтепродукты.** Среднее содержание нефтепродуктов в почвенной толще 0–2 и 2–10 см на проспекте Пушкина составляет 485,5 мг/кг, максимальные уровни их накопления фиксируются в непосредственной близости от проезжей части. На расстоянии 25 м от дорожного полотна их содержание в 10 раз меньше по сравнению с придорожной полосой (рис. 8). Латеральное распределение нефтепродуктов имеет тенденцию к уменьшению их концентраций с удалением от дорожного полотна. Рассматривая радиальное распределение исследуемых углеводородов, следует отметить, что их концентрации снижаются с глубиной, и в слое 2–10 см их значения в 1,6 раза ниже, чем в слое 0–2 см.

Сопоставление данных по содержанию нефтепродуктов в почве с ОДК показало, что в зоне до 2 м от дорожного полотна их концентрации составили от 14 до 7 ОДК, в зоне 5–10 м – 3 и 5 ОДК, а в зоне 15–25 м – до 2 ОДК.

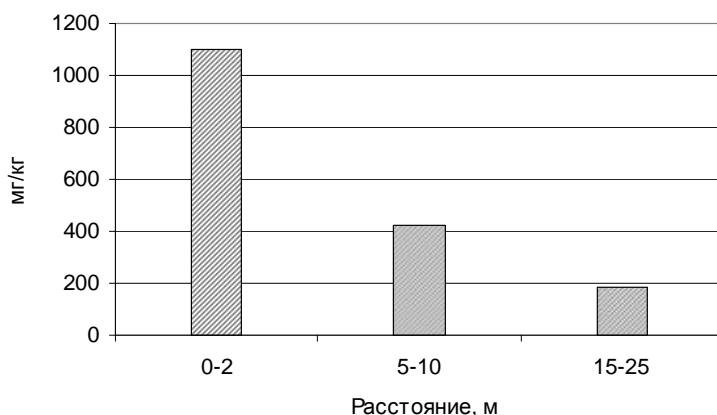
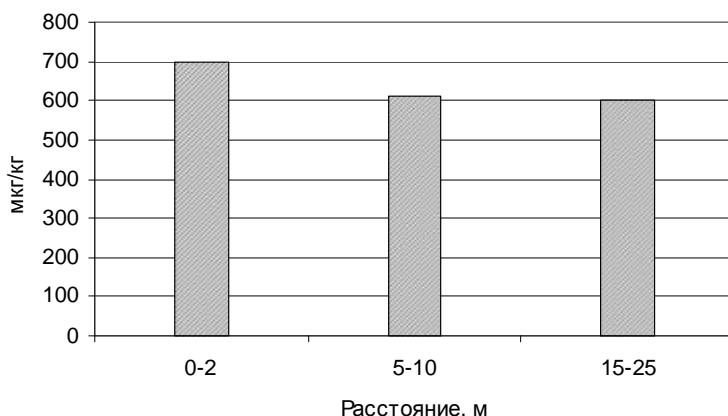


Рис. 8. Изменение содержания средних концентраций нефтепродуктов в поверхностном слое почвы (0–10 см) с удалением от проезжей части проспекта Пушкина

*Полициклические ароматические углеводороды.* Обобщение полученных результатов по содержанию ПАУ в почвах придорожных полос показало, что их максимальные уровни фиксируются в зоне до 2 м от дорожного полотна, далее концентрации постепенно снижаются и в зоне 5–10 и 15–25 м от дороги незначительно отличаются друг от друга (рис. 9). Загрязнение почв ПАУ происходит в результате непосредственного выпадения аэрозолей из загрязненной атмосфе-

ры, в ходе уборки снега с дорог и в ходе перераспределения загрязняющих веществ поверхностным стоком, из которого на почвы осаждаются твердые частицы с сорбированными на них поллютантами, а вглубь почвы проникают растворенные загрязняющие вещества. За счет латеральных процессов перераспределения вещества происходит загрязнение соединениями ПАУ практически всей придорожной полосы.



**Рис. 9. Изменение содержания средних концентраций суммы ПАУ в поверхностном слое почвы с удалением от проезжих частей улиц**

В Республике Беларусь в качестве санитарно-гигиенических нормативов для почв приняты предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) для десяти соединений ПАУ и для суммы шестнадцати соединений ПАУ [5], которые приведены в табл. 2.

Сопоставление полученных значений с установленными нормативами показало, что кратность превышения ПДК (ОДК) в почвах при-

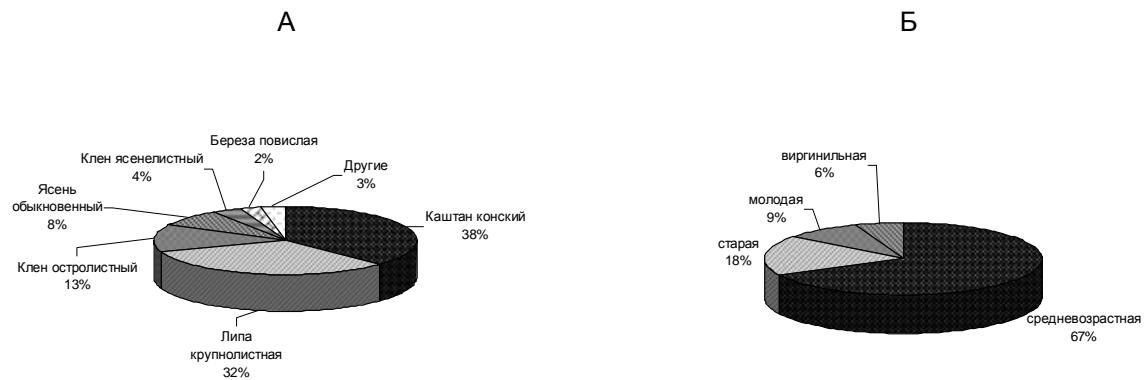
дорожных территорий в отдельных случаях достигает десятков раз, при этом по сумме ПАУ превышение ОДК отмечено только в одном случае – на улице Столетова на расстоянии 2 м от дорожного полотна (кратность превышения 1,1 раза). Наиболее распространенными загрязнителями на исследуемых участках являются нафталин, фенантрен и флуорантен. Их содержание в поверхностном слое почвы в 100 % случаев превышает ПДК (ОДК) (табл. 2).

**Таблица 2. Уровни и опасность загрязнения придорожных почв ПАУ (n = 24; глубина отбора 0–10 см)**

Соединения	Диапазон концентраций, мг/кг	ПДК, мг/кг	ОДК, мг/кг	Доля проб с превышением ПДК (ОДК), %	Кратность превышения ПДК (ОДК), раз
Нафталин	0,019–0,066	–	0,015	100	1,3–4,4
Аценафтилен	0–0,035	–	–	–	–
Аценафтен	0	–	–	–	–
Флуорен	0–0,014	–	–	–	–
Фенантрен	0,070–0,253	0,01	–	100	7–25,3
Антрацен	0	–	0,050	–	–
Флуорантен	0,039–0,240	–	15	100	2,6–16,0
Пирен	0	–	–	–	–
Бензо(а)антрацен	0,018–0,152	–	0,020	95,8	0–7,6
Хризен	0–0,071	–	1,00	–	–
Бензо(b)флуорантен	0,014–0,143	–	–	–	–
Бензо(k)флуорантен	0–0,061	–	–	–	–
Бензо(а)пирен	0–0,026	0,02	–	4	0–2,6
Индено[1,2,3-c,d]пирен	0–0,310	–	0,025	70,8	0–12,4
Дибензо[а,х]антрацен	0	–	–	–	–
Бензо[g,h,i]перилен	0–0,085	–	0,020	50	0–4,2
Сумма ПАУ	0,211–1,081	–	1,00	4	0–1,1

**Состояние зеленых насаждений.** Обобщение полученных данных о видовой и возрастной структуре древесных насаждений показало, что в насаждениях участков исследования доминируют: конский каштан обыкновенный (*Aesculus hippocastanum L.*), липа крупнолистная (*Tilia cordata Mill.*), клен остролистный (*Acer platanoides L.*) и ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior L.*), общая доля которых составляет 91 % (рис. 10, А).

В возрастной структуре зеленых насаждений исследуемых участков наиболее часто встречаются средневозрастные и старые деревья, на их долю приходится 85 % от общего количества деревьев. Молодые и виргинильные насаждения составляют 9 и 6 % соответственно (рис. 10, Б).



**Рис. 10. Структура древесных насаждений автотранспортных ландшафтов в пределах участков исследования: А – видовая; Б – возрастная**

Согласно расчетам индекса состояния вида (IS) [1], в наиболее ослабленном состоянии находятся деревья первой от дороги полосы посадок на всех участках исследования. По значениям индекса они классифицируются как «ослабленные» (IS 1,6–2,5). К этой же категории относятся посадки второй от дороги полосы на проспекте Пушкина и улице Казинца, где индекс состояния равен 1,75 и 1,61 соответственно, а на проспекте Партизанском, улице Столетова и Богдановича его значения изменяются от 1,05 до 1,4, что характеризует зеленые насаждения данной полосы как «здравые». Посадки третьей и четвертой полос на всех участках исследования характеризуются как «здравые» (IS 1–1,2).

В пределах первой и второй от дороги полос посадок, испытывающих наибольшую техногенную нагрузку со стороны автотранспорта, среди произрастающих видов в наиболее ослабленном состоянии находятся насаждения каштана конского обыкновенного (*Aesculus hippocastanum L.*) (IS 1,97–2,52), липы крупнолистной (*Tilia cordata Mill.*) (IS 1,67–1,99) и клена остролистного (*Acer platanoides L.*) (IS 1,65–2,65), классифицируются как «ослабленные» и «сильно ослабленные». Такие деревья имеют большое количество усохших и усыхающих ветвей в верхней части кроны и ряд других повреждений, свидетельствующих об угнетении (пожелтение, скручивание листовой пластиинки, сильный налет копоти на листьях, снижение прироста).

К категории «здравые» по индексу состояния можно отнести насаждения ясения обыкновенного (*Fraxinus excelsior L.*) (IS 1,13), бересклета повислого (*Betula pendula Roth*) (IS 1,0), рябины

обыкновенной (*Sorbus aucuparia L.*) (IS 1,0), тополя канадского (*Populus deltoides Marsh.*) и бальзамического (*P. balsamifera L.*) (IS 1,0), дуба черешчатого (*Quercus robur L.*) (IS 1,0) и др.

На жизненное состояние зеленых насаждений вдоль городских улиц оказывает воздействие множество техногенных факторов, но наиболее существенным является экологическое состояние почв, на которых произрастают растения. В результате выполненных исследований почвенного покрова возле деревьев в пределах первой от дороги полосы посадок, установлено, что средние значения водородного показателя почв очень высокие и составляют 8,92 при диапазоне значений от 8,52 до 9,73. По величине pH почвогрунты по всему корнеобитаемому слою классифицируются как «щелочные» и «сильнощелочные». Данные о зольности почв, позволяющие судить о содержании в них органического вещества, показали, что почвы, на которых произрастают растения, обеднены органикой (среднее содержание не превышает 2 % при диапазоне от 0,46 до 5 %). Значения электропроводности, свидетельствующие о содержании солей в почве, изменяются от 22,0 до 544 мкСм/см, а ее средние значения составляют 192,0 мкСм/см.

Для выявления факторов, наиболее сильно влияющих на жизненное состояние растений, проводились корреляционный и регрессионный анализ между баллом категории состояния дерева и средними значениями содержания органического вещества, pH и электропроводностью почвенного раствора. Данные расчеты были сделаны для четырех видов деревьев, наиболее

часто встречающихся вдоль городских улиц: каштан конский обыкновенный (*Aesculus hippocastanum L.*) (улица Казинца), липа крупнолистная (*Tilia cordata Mill.*) (проспект Пушкина), клен остролистный (*Acer platanoides L.*) (улица Столетова). Все деревья относились к средневозрастной группе.

Согласно выполненным расчетам коэффициент множественной корреляции между баллом состояния вида и средневзвешенными показателями электропроводности почвенного раствора равен 0,57. Соответственно коэффициент детерминации ( $r$ ) составляет 0,43, т. е. степень ослабления древесных насаждений всех исследуемых видов практически на 43 % обусловлена содержанием солей в почве. Однако, помимо высокого уровня содержания солей вдоль дорог, на растения воздействует ряд других факторов (рН почвенного раствора, содержание элементов питания, загрязнение воздуха, микроклиматические показатели, водный режим почв и др.), которые в комплексе дают суммарный эффект воздействия на жизненное состояние растений.

Проведенные эколого-геохимические исследования автотранспортных ландшафтов г. Минска позволили сделать следующие выводы:

1. В результате техногенного воздействия со стороны автотранспортного комплекса придорожные почвы сильно трансформированы. По своим физико-химическим свойствам они не соответствуют природным аналогам, нарушается генетическое сложение почвенного профиля, происходит изменение реакции почвенной среды в щелочную сторону.

2. Поступление загрязняющих веществ (противогололедные соли, тяжелые металлы, нефтепродукты и ПАУ) в почвы придорожных полос зависит от вида уборки снега с дорог, а их дальнейшее латеральное распределение в почвенном покрове определяется ландшафтными условиями прилегающих к дорожному полотну территорий:

на улицах с ровным рельефом и уборкой снега плужно-щеточными машинами максимальные концентрации загрязняющих веществ в почвах фиксируются в зоне до 2 м от проезжей части, при уборке роторной снегоуборочной техникой – в зоне 5–10 м.;

на улицах, проходящих по высоким дорожным насыпям, в накоплении загрязняющих веществ наблюдаются два максимума: на расстоянии 1 и 25 м от дороги, что обусловлено близостью источника техногенного воздействия (авто-

дороги) и латеральным перераспределением загрязняющих веществ;

на улицах, проходящих по днищу дорожной выемки, максимальные концентрации загрязняющих веществ наблюдаются в непосредственной близости от дорожного полотна – в зоне до 2 м.

3. Опасные уровни загрязняющих веществ, превышающие установленные санитарно-гигиенические нормативы, выявлены по валовым формам цинка – до 2 ПДК, кадмия – 1,7, меди – 2 и свинца – до 2 ПДК; по подвижному цинку – до 1,3 ПДК, свинцу – до 3,5 ПДК. Среди соединений ПАУ приоритетными загрязнителями являются нафталин, фенантрен и флуорантен, концентрации которых на всех участках исследования превышают ПДК и ОДК.

4. На основании изучения латерального и радиального распределения водорастворимых веществ в почве и оценки степени засоления почв придорожных полос с использованием «суммарного эффекта» токсичных ионов установлен уровень засоления почв, соответствующий категории засоленных. Несмотря на промывной водный режим, сохраняется слабая и даже средняя степень засоления почв.

Разная степень засоления почв каждой улицы связана с различными объемами внесения противогололедных реагентов на дорогах. Наибольший уровень засоления характерен для улиц общегородского значения, например проспекта Пушкина, и дорог с высокой интенсивностью движения автотранспорта (улица Казинца). Наименьшую степень засоления придорожных почв имеют улицы местного значения, которые отличаются низкой интенсивностью движения автотранспорта и на которых вносится меньшее количество солей. Распределение почв с разной степенью засоления по придорожной территории обусловлено типом уборки снега с дорог и прилегающих к ним тротуаров, а также ландшафтными условиями.

5. Изучение состояния зеленых насаждений показало, что в наиболее ослабленном состоянии находятся деревья первой и второй от дороги полос посадок. Среди древесных пород наиболее угнетены липа крупнолистная, каштан конский обыкновенный, клен остролистный и ясень обыкновенный виргинильных, молодых и средневозрастных групп. Проведенные корреляционный и детерминационный анализы свидетельствуют о связи (43 %) состояния зеленых насаждений с содержанием солей в почвах, на которых они произрастают.

### Л и т е р а т у р а

1. Алексеев В. А. Особенность описания в условиях атмосферного загрязнения. Взаимодействие лесных экосистем и атмосферных загрязнителей. Таллинн, 1982.
2. Базилевич Н. И., Панкова Е. И. Опыт классификации почв по засолению // Почвоведение. 1968. № 11. С. 3–16.
3. Балтренас П., Янкайте А. Исследование загрязненности тяжелыми металлами почвы вдоль магистрали Виа-Балтика // Экология и промышленность России. 2003. Август. С. 41–44.
4. Герасимова М. И., Строганова М. Н., Можарова Н. В., Прокофьева Т. В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. Учебное пособие / Под ред. акад. РАН Г. В. Добровольского. Смоленск, 2003.
5. Гигиенические нормативы «Предельно допустимые концентрации (ПДК) подвижных форм хрома, цинка, кадмия в почвах (землях) различных функциональных зон населенных пунктов, промышленности, транспорта, связи, энергетики, обороны и иного назначения» / Утверждено постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 6.11.2008, № 117.
6. Гигиенические нормативы 2.1.7.12–1–2004: Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно питьевого и культурно-бытового водопользования // Сборник гигиенических нормативов по разделу коммунальной гигиены / Министерство здравоохранения РБ. Мин., 2004. С. 37–92.
7. Головатый С. Е. Тяжелые металлы в агроэкосистемах. Мин., 2002.
8. Лукашев В. К., Окунь Л. В. Загрязнение тяжелыми металлами окружающей среды г. Минска. Мин., 1996.
9. Макарова А. И., Полунин С. Ф., Ильин В. Б. Содержание тяжелых металлов в почвах придорожных полос // Гигиена и санитария. 1983. № 7. С. 63–64.
10. Никифорова Е. М., Алексеева Т. А. Полициклические ароматические углеводороды в почвах придорожных экосистем Москвы // Почвоведение. 2002. № 1. С. 47–58.
11. Петухова Н. Н. Геохимия почв Белорусской ССР. Мин., 1987.
12. Пугачевский А. В., Кравчук Л. А., Судник А. В., Моложавский А. А. Методические подходы к оценке и картографированию состояния и устойчивости к антропогенным нагрузкам насаждений городов // Природные ресурсы. 2007. № 3. С. 33–44.
13. Пугачевский А. В., Судник А. В., Вознячук И. П. и др. Состояние зеленых насаждений в зоне воздействия Минской кольцевой автодороги, пути повышения их устойчивости // Ботаника: исследования. Вып. XXXIV (Юбилейный выпуск, посвящ. 75-летию ИЭБ им. К. И. Купревича НАН). Мин., 2006. С. 220–235.
14. Роўкач А. І., Парфенав В. В. Назапашванне цяжкіх металаў у глебах і раслінах уздоўж аўтадарог у залежнасці ад інтэнсіўнасці руху транспарту // Весці АН БССР. Сер. біял. навук. 1991. № 6. С. 40–44.
15. Рыжиков В. А. Оценка загрязнения снежного покрова в придорожных полосах выбросами автотранспорта и противогололедными реагентами // Весці НАН Беларуси, Сер. біялаг. навук. 2005. № 5/2. С. 42–45.
16. Сборник методик выполнения измерений, допущенных к применению в деятельности лабораторий экологического контроля предприятий и организаций Республики Беларусь: В 2 ч. – Мин., 1997. Ч. I. 264 с; Ч. II. 284 с.
17. Сидорович Е. А., Арабей Н. М., Козырь О. С., Жданец С. Ф. Эколого-морфологическая оценка современного состояния древесных насаждений Минска // Проблемы лесоведения и лесоводства: Сб. науч. тр. Ин-та леса НАН Б. Гомель, 2007. Вып. 67. С. 419–425.
18. Сидорович Е. А., Чубанов К. Д., Арабей Н. М и др. Содержание ионов хлора в почвах под зелеными насаждениями Минска и аккумуляция их в ассимиляционных органах деревьев // Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук. 2001. № 1. С. 9–13.
19. Стоянов П., Етропольский Х. Тяжелые металлы придорожных полос // Почвовнание и агрохимия. 1980. Т. 15, № 4. С. 72–77.
20. Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси. Мин., 2004.
21. Черноусенко Г. И., Ямнова И. А., Скрипникова М. И. Антропогенное засоление почв Москвы // Почвоведение. 2003. № 1. С. 97–105.
22. Щербаков А. П., Свистова И. Д., Джувеликян Х. А. Биомониторинг загрязнения почвы газовыми выбросами автотранспорта // Экология и промышленность России. 2001. Июнь. С. 26–29.
23. Экогеохимия городских ландшафтов / Под ред. Н. С. Касимова. М., 1995.
24. Якубов Х. Г. Экологический мониторинг зеленых насаждений Москвы. М., 2005.

**V. A. Рыжиков****ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА  
АВТОТРАНСПОРТНЫХ ЛАНДШАФТОВ ГОРОДА МИНСКА**

Рассматриваются основные закономерности распределения в придорожных почвах загрязняющих веществ, образующихся при эксплуатации автомобильного транспорта и зимнего содержания дорог (тяжелые металлы, нефтепродукты, ПАУ и противогололедные реагенты).

Исследования проводились на участках улиц в г. Минске (проспектов Пушкина и Партизанского, улиц Казинца, Богдановича, Столетова, Подлесной и Раковское шоссе), отличающихся ландшафтными особенностями придорожной территории, интенсивностью движения автотранспорта (от 7500 до 300 авт/ч) и типом уборки снега с дорожного полотна в зимнее время.

В ходе эколого-геохимических исследований установлено, что поступление загрязняющих веществ в почвы придорожных полос зависит от вида уборки снега с дорог, а их дальнейшее латеральное распределение в почвенном покрове определяется ландшафтными условиями прилегающих к дорожному полотну территорий. Выявлены зоны с максимальным содержанием загрязняющих веществ в почвах вдоль городских улиц и дана оценка степени их загрязнения.

Изучение состояния зеленых насаждений показало, что в наиболее ослабленном состоянии находятся деревья первой и второй от дороги полос посадок. Проведенные корреляционный и детерминационный анализы свидетельствуют о связи (43 %) состояния зеленых насаждений с содержанием солей в почвах, на которых они произрастают.

**V. A. Ryzhikov****ECOLOGICAL-GEOCHEMICAL EVALUATION OF  
AUTO-TRANSPORT LANDSCAPES OF MINSK CITY**

*Basic regularities of the distribution in by-road soils of polluting substances have been regarded in the article during winter vehicles exploitation and winter roads management (heavy metals, oil-products, PAU and anti-icing reagents).*

*Investigations were carried out in streets in Minsk city (avenues Pushkin and Partizanskiy; Kazintsa, Bogdanovicha, Stoletova, Podlesnaya Streets and Rakovskoye highway), specific with landscape peculiarities of by-road territory, auto-transport traffic intensity (from 7500 to 300 vehic/hour) and type of snow removal from the road in winter.*

*In the course of ecology-geochemical researches it has been found that income of pollutants into soils of by-road lanes depends on type of snow removal from roads, and their next lateral distribution in a soil cover is stipulated by landscape conditions of the adjacent to a road territories. Zones of maximum pollutants content in soils along city streets have been revealed and their contamination assessment has been made.*

*Investigation of green plantations state has shown that in most weakened state are trees of the first and second implantation strips off the road. The carried out correlation and determination analysis prove the link (43 %) of the green plantations state with salts content in soils they grow on.*

**В. Е. Тышкевич**

## **ПОКАЗАТЕЛИ НАСЕЛЕННОСТИ ОХОТНИЧЬИХ УГОДИЙ ДИКИМИ КОПЫТНЫМИ (ARTIODACTyla), ТРЕБУЕМЫЕ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ И ИНТЕНСИФИКАЦИИ ОХОТНИЧЬЕГО ХОЗЯЙСТВА БЕЛАРУСИ**

*В Беларуси эксплуатация диких копытных проводится на основании показателей плотности их населения (особей на 1 тыс. га угодий), но применяемые пороговые значения на порядок ниже общевероятных. Заниженные показатели не позволили достичь оптимальных значений населения угодий копытными и интенсивно вести охотничье хозяйство. Восстановить численность и достичь оптимума популяций копытных возможно при установлении пороговых значений (нормативов) населения угодий копытными, достаточной для их устойчивого воспроизведения и соответствующей качеству конкретных охотничьих угодий.*

Восстановление копытных в Беларуси проходило при длительном запрете их добычи, охране и мониторинге состояния популяций (до 1981 г. и после катастрофической депрессии в 1994–1995 гг.). Зачастую сопутствующий запрет охоты в тех районах, где копытные обычны (многочисленны) из-за непродолжительного периода репродукции и жизни (10–12 лет), не оправдан.

Пример восстановления и рационального использования копытных – Скандинавские страны, где установленные по округам нормативные показатели населения копытными – основа управления и эксплуатации. Применяемые подходы настолько эффективны, что при эксплуатации в 300 тыс. в год население лося на конец XX в. стабилизировалось на уровне 600 тыс. особей [2, 6, 7].

До выхода Указа Президента Республики Беларусь №580 [23] в нашей стране отсутствовала научно обоснованная система нормативных оценок показателей численности и плотности населения копытных, требуемых для их устойчивого использования. Проблема безликой эксплуатации разрешима с применением научно обоснованных методик расчета (нормативной оценки) минимальных значений населения угодий копытными. Управление популяциями должно базироваться на аргументированном использовании ресурсов. Рост и достижение оптимума численности популяции возможны за счет сокращения нерациональных потерь, оптимизации возрастной и половой структуры и пр. [13]. Благодаря определению нормативов населения копытными для районов Беларуси, возможно управление копытными на основании фактической численности и емкости среды их обитания. Научно обоснованные нормативы плотности населения диких копытных, при которых возможно управление популяциями, разработаны на основе Проектов организации охотничьих хозяйств (охотустойство), результатов контрольных аэровизуальных учетов (АВУ) численности диких

копытных и данных Министерства статистики и анализа (Минстата).

Возможность формирования или восстановления ареала копытных с фоновой для региона плотностью населения рассматривается с учетом роста их численности в организованных охотничьих хозяйствах (на охраняемых территориях) – за счет естественного или искусственного расселения, применения мер по минимизации гибели животных [2, 3, 6–8, 10, 12–15, 18, 19].

В Госстате численность диких копытных приводится с учетом оптимальных показателей. Продуктивность угодий для дичи оценивается определенным бонитетом – раз в 10 лет (табл. 1). Оптимальная численность угодий копытными, установленная по однотипной методике [4, 13, 14], позволяет рассчитать показатели населения копытными различных районов Беларуси (рис. 1–3).

Фонд охотничьих угодий республики составляет 17663 тыс. га. Лесные угодья представлены лесами и облесившимися участками, переданными в Гослесфонд (ГЛФ); полевые угодья – агроценозами и прочими землями, не переданными в ГЛФ; водно-болотные угодья – водоемами, лугами и болотами. Методики, действовавшие до 1997 г. определили площадь угодий, пригодных для обитания диких копытных, в 8 млн га. В эту категорию входили лесные и водно-болотные угодья, кустарники и 500-метровая полоса опушек лесов. Методики, принятые позднее, сокращают эту площадь на 20 % (исключены полевые угодья, смежные с лесом [4, 14, 15, 17]). Исключение перечисленных категорий угодий, полностью соответствующих жизненным потребностям копытных, противоречит принципам ведения охотничьего хозяйства Европы, где полевые угодья – среда обитания копытных [14, 15]. Увеличение местообитаний диких копытных (зарастание лесом) на фоне исключения их в качестве среды обитания при определении опти-

мальных показателей населения – парадокс, требующий разъяснений.

Начавшаяся в 1994 г. депрессия численности копытных и сокращение их населения выявили множество противоречивых обоснований для эксплуатации. Методики, оценивавшие площадь среды обитания копытных, изменяются – обособленные леса (до 2 тыс. га), опушки и все открытые стации исключаются [14, 15]. В Могилевской области для ведения охотничьего хозяйства было передано 2,7 млн га. Из них арендовано охотпользователями 2,4 млн га угодий (табл. 2, 3), по Проектам охотовстроства пригодно для обитания копытных 0,89 млн га, по нашим расчетам – 1,25 млн га [9, 13, 16]. В пригодные угодья не включили 0,36 млн га (среда обитания 400 лосей, 1500 косуль и 1200 кабанов). Искусственное уменьшение площади, пригодной для обитания копытных, позволило завысить фактические показатели населения и начать промысел, но существенно занижает пастбищные

возможности угодий и препятствует интенсификации работы охотничих хозяйств.

Неравномерное распространение копытных – еще одна проблема оценки среды обитания. Ее качество оценивается только для тех видов, обитание которых зафиксировано учетами. В Минской области 1,3 млн га угодий пригодно для лося, косули и кабана, для оленя – 0,95 млн га, а для зубра – 0,052 млн га при аналогичных требованиях видов к среде обитания (табл. 3).

Из-за отсутствия единых стандартов оценки угодий расчетная оптимальная численность копытных для сходных угодий порой отличается на порядок (часто занижена из-за сокращения площади). Потенциальная емкость среды обитания копытных с 1997 г. достоверно не выяснена, а проектирование охотхозяйств, при отсутствии объективных сведений о качестве и площади угодий – делает невозможным управление (данные по площади и соответственно оптимальной емкости среды обитания копытных, искашены, на пригодность оценены не все угодья) [10, 13–16].

**Таблица 1. Численность диких копытных в 2004 г.**

Пользователь, вид охотничьего животного	Численность, всего в 2004 г.	2004 г., % к оптимальной численности	
		2003 г.	...
Зубр	223	114,9	...
Лось	16 277	101,9	73,6
Олень благородный	5 031	102,9	33,7
Косуля	53 252	104,0	63,4
Кабан	38 726	104,6	111,0
<b>Министерство лесного хозяйства</b>			
Зубр	120	116,5	...
Лось	4 179	101,5	68,7
Олень благородный	2 121	105,7	72,4
Косуля	16 474	107,9	60,1
Кабан	9 937	108,6	94,4
<b>Общественное объединение БООР</b>			
Зубр	3	В 3 р.	...
Лось	8 336	97,6	67,3
Олень благородный	1 357	94,6	13,0
Косуля	27 954	97,9	64,7
Кабан	19 914	97,7	108,3
<b>Общественное объединение БВОО</b>			
Лось	639	100,2	78,6
Олень благородный	131	102,3	81,9
Косуля	1 353	106,5	55,5
Кабан	1 143	109,0	103,7
<b>Управление Делами Президента РБ</b>			
Зубр	38	105,6	...
Лось	1 456	112,2	145,0
Олень благородный	816	107,7	110,3
Косуля	3 196	119,3	63,8
Кабан	3 300	106,1	198,4
<b>Прочие пользователи охотничьих угодий</b>			
Зубр	62	114,8	...
Лось	1 667	120,9	91,2
Олень благородный	606	108,0	97,1
Косуля	4 275	125,0	71,6
Кабан	4 432	134,2	137,9

**Таблица 2. Категории охотугодий Республики Беларусь по данным Минстата**

Пользователь Государственного фонда охотничьих угодий	Всего	Площадь арендуемых угодий, тыс.га				Выполнено охотустройство тыс. га	
		общая	в том числе				
			лесных	полевых	водно- болотных		
Республика Беларусь	313	17 663,0	7 138,0	9 510,0	1 015,0	15 962,4	
Брестская область	34	2 697,2	1 042,8	1 418,3	236,1	2 547,9	
Витебская область	63	3 558,1	1 292,5	1 958,7	306,9	2 951,8	
Гомельская область	44	3 101,4	1 509,4	1 426,6	165,4	2 685,1	
Гродненская область	58	2 140,5	794,0	1 247,8	98,7	2 106,2	
Минская область	66	3 413,1	1 415,2	1 899,3	98,6	3 069,2	
Могилевская область	48	2 752,7	1 084,1	1 559,3	109,3	2 602,2	
Минлесхоз (ГЛХУ):	81	3 402,0	1 845,0	1 356,9	200,1	2 800,6	
Биологические заказники, МЛХ	15	118,7	69,2	41,1	8,4	80,5	
Запретные для охоты зоны МЛХ	46	394,3	163,0	204,1	27,2	274,7	
ОО БООР	110	1 1194,0	3 847,6	6 789,1	557,3	11 099,2	
ОО БВОО	13	390,4	192,9	163,3	34,2	390,4	
БФСО "Динамо"	3	91,6	46,1	40,3	5,2	63,1	
УД Президента РБ	9	824,3	389,1	355,9	79,3	471,4	
Юридические лица	17	486,0	261,8	180,9	43,3	221,1	
Органы госуправления	19	761,7	323,3	378,4	60,0	561,4	

**Рис. 1. Оптимальная плотность населения (населенность) лося на 1 тыс. га лесов****Рис. 2. Оптимальная плотность населения (населенность) дикого кабана на 1 тыс. га лесов****Рис. 3. Оптимальная плотность населения (населенность) косули на 1 тыс. га лесов**

**Таблица 3. Площадь охотничьих угодий, в том числе пригодных для обитания диких копытных**

Источник информации	Всего охот-угодий, тыс. га	В том числе			Вид охот-ничего животного	Фактическая на 2005 г. в особях		Площадь обитания тыс. га
		лесные	полевые	водно-болотные		численнос	плотность	
<b>ИТОГО по Брестской области</b>								
Проекты охот-устройства	3 020,84	1 235,88	1 538,36	246,60	Зубр	186	2,44	76,37
Арендовано	2 670,85	1 041,77	1 401,19	227,89	Лось	1 103	1,02	1 077,29
<b>ИТОГО по Витебской области (без Березинского биосферного заповедника)</b>								
Проекты охот-устройства	3 361,27	1 247,80	1 842,84	270,63	Олень	1 979	1,94	1 022,72
Арендовано	3 589,75	1 360,14	1 942,39	287,22	Косуля	5 774	5,36	1 077,29
<b>ИТОГО по Гомельской области (включая Полесский ГРЭЗ)</b>								
Проекты охот-устройства	3 607,07	1 822,79	1 413,94	370,35	Лось	5 948	4,34	1 369,04
Арендовано	3 127,61	1 514,40	1 442,08	171,13	Олень	610	0,53	1 149,08
<b>ИТОГО по Гродненской области</b>								
Проекты охот-устройства	2 008,44	761,21	1 157,30	89,93	Косуля	11 402	8,31	1 372,34
Арендовано	1 915,78	690,91	1 139,40	85,47	Кабан	11 838	8,61	1 375,64
<b>ИТОГО по Минской области (без Березинского биосферного заповедника)</b>								
Проекты охот-устройства	2 998,89	1 247,26	1 646,57	105,13	Зубр	130	0,39	330,10
Арендовано	3 294,30	1 381,95	1 828,14	84,22	Лось	4 955	3,05	1 624,27
<b>ИТОГО по Могилевской области</b>								
Проекты охот-устройства	2 420,70	1 009,59	1 307,94	103,17	Олень	501	0,41	1 220,08
Арендовано	2 427,66	1 010,03	1 313,32	104,31	Косуля	16 517	10,16	1 625,91
<b>ВСЕГО по Республике Беларусь</b>								
Проекты охот-устройства	17 417,21	7 324,52	8 906,89	1 185,80	Кабан	9 529	5,86	1 626,15
Арендовано	17 025,95	6 999,20	9 066,51	960,25	Зубр	170	2,84	59,91
					Лось	1 511	2,06	732,21
					Олень	1 590	2,16	734,91
					Косуля	6 063	8,25	734,91
					Кабан	4 705	6,40	734,91
					Зубр	90	1,55	57,93
					Лось	2 561	1,90	1 344,64
					Олень	1 504	1,55	971,73
					Косуля	9 212	6,75	1 365,14
					Кабан	7 226	5,29	1 365,04
					Зубр	50	1,27	39,40
					Лось	2 454	2,76	890,05
					Олень	906	1,02	890,05
					Косуля	7 829	8,80	890,05
					Кабан	5 416	6,09	890,05
					Зубр	626	1,11	563,71
					Лось	18 532	2,63	7 037,50
					Олень	7 090	1,18	5 988,58
					Косуля	56 797	8,04	7 065,65
					Кабан	43 899	6,21	7 069,09

В экономике охотничьего хозяйства угодья – среда обитания животных, объектов управления и эксплуатации. Рентабельность основана на получении определенного количества особей (продукции) с единицы площади, занятой популяцией. Максимум отдачи достигается по достижении популяциями оптимума своей численности и в Беларуси исторически основывается на эксплуатации лося и кабана, напрямую завися от их численности [15, 17, 18].

В 1991–1994 гг. из-за отказа от учетов (мониторинга) устойчивость популяций копытных была подорвана перепромыслом и высоким уровнем хищничества, а снижение численности лося делает невозможной его эксплуатацию. Приоритеты охотничьего хозяйства смешаются в направлении эксплуатации кабана и косули, чья численность восстанавливается быстрее, и отчасти олена. Начало же восстановления популяций лося начинает вытеснять косулю в стоимост-

ном эквиваленте доходов [8, 10], и уже к 2005 г. эксплуатация охотничьих ресурсов Беларуси показала недостаточность развития охотничьего туризма (табл. 4).

Важнейшими критериями оценки продуктивности охотничьих угодий являются выход продукции с 1 тыс. га угодий, процент использования ресурсов и среднегодовой хозяйственный прирост популяций (за 2000–2005 гг. [15]) (табл. 5). Продуктивность угодий (по числу копытных, добывших на 1 тыс. га леса) низка: из-за невысокой численности копытных добывают мало. На 1 тыс. га угодий добывается 0,63–2,83 особи кабана, косули и лося. Наибольшую отдачу дают охотхозяйства Витебской области, далее (по убыванию) следуют Гродненская, Могилевская и Минская области. Процент освоения ресурсов популяций копытных также наиболее высок на Витебщине, отчасти на Гродненщине.

**Таблица 4. Добыча диких животных (особей)**

Вид	Добыто (изъято)		В том числе в охотничих угодьях пользователей									
			ОО БООР		Минлесхоза		ОО БВОО		УД ПРБ		Прочих	
	Всего	иностранными охотниками	Всего	иностранными охотниками	Всего	иностранными охотниками	Всего	иностранными охотниками	Всего	иностранными охотниками	Всего	иностранными охотниками
Копытные животные												
Зубр	7	7	—	—	4	4	—	—	—	—	3	3
Лось	582	53	241	8	127	14	30	2	78	21	106	8
Олень	142	27	18	2	69	15	5	—	35	10	15	—
Косуля	2 907	78	1 418	22	921	19	100	—	226	34	242	3
Кабан	6 298	293	2 767	32	1 699	111	191	2	745	99	896	49
Пушные животные												
Заяц-беляк	11 294	—	6 793	—	2 495	—	742	—	283	—	981	—
Заяц-русак	48 981	12	38 638	8	5 797	—	999	4	913	—	2 634	—
Белка	4 025	—	2 652	—	899	—	—	—	23	—	451	—
Бобр	197	—	82	—	60	—	9	—	—	—	46	—
Волк	755	11	440	2	198	—	17	—	36	5	64	4
Лисица	16 915	26	12 306	—	2 967	—	308	—	553	26	781	—
Енотовид- ная собака	4 042	15	2 420	—	687	—	45	—	489	15	401	—
Пернатая дичь												
Глухарь	90	69	22	10	38	33	5	5	10	10	15	11
Тетерев	1 697	148	990	21	396	66	172	15	35	25	104	21
Рябчик	2 999	1	1 965	—	540	—	80	—	72	1	342	—
Куропатка	3 785	958	2 828	550	567	219	155	103	116	86	119	—
Утки	108 947	1 485	81 167	570	15 702	32	3 869	63	3 529	820	4 680	—

**Таблица 5. Продуктивность охотничих угодий, процент использования и среднегодовой хозяйственный прирост популяций копытных**

Регион (область)	Вид	Добыто особей	Фактическая на 2005 г. (особей)		Пло- щадь обита- ния, тыс. га	Средне- годовой хозяй- ственный прирост в 2001– 2005 гг., %	Про- дуктив- ность 1 тыс. га уго- дий	Про- цент исполь- зования популя- ции
			числен- ность	плот- ность				
ИТОГО по Брестской области	Зубр	2	186	2,44	76,37	7,0	0,03	1,08
	Лось	13	1 103	1,02	1 077,29	4,9	0,01	1,18
	Олень	99	1 979	1,94	1 022,72	8,1	0,10	5,00
	Косуля	272	5 774	5,36	1 077,29	6,0	0,25	4,71
	Кабан	679	5 185	4,81	1 077,29	8,1	0,63	13,10
ИТОГО по Витебской облас- ти (без Березинского биосферного запо- ведника)	Лось	401	5 948	4,34	1 369,04	9,3	0,29	6,74
	Олень	5	610	0,53	1 149,08	6,1	0,00	0,82
	Косуля	874	1 1402	8,31	1 372,34	6,7	0,64	7,67
	Кабан	2 504	1 1838	8,61	1 375,64	8,9	1,82	21,15
ИТОГО по Гомельской области (включая Полесский ГРЭЗ)	Зубр	2	128	0,39	330,10	9,5	0,01	1,56
	Лось	47	4 955	3,05	1 624,27	9,3	0,03	0,95
	Олень	2	501	0,41	1 220,08	10,1	0,00	0,40
	Косуля	446	16 517	10,16	1 625,91	13,7	0,27	2,70
	Кабан	596	9 529	5,86	1 626,15	13,6	0,37	6,25

Окончание табл.5

Регион (область)	Вид	Добыто особей	Фактическая на 2005 г. (особей)		Пло-щадь обита- ния, тыс. га	Средне годовой хозяй- ственный прирост в 2001– 2005 гг., %	Про- дуктив- ность 1 тыс. га уго- дий	Про- цент исполь- зования популя- ции
			числен- ность	плот- ность				
ИТОГО по Гродненской области	Зубр	3	170	2,84	59,91	3,8	0,05	1,76
	Лось	30	1 511	2,06	732,21	2,7	0,04	1,99
	Олень	92	1 590	2,16	734,91	3,2	0,13	5,79
	Косуля	529	6 063	8,25	734,91	9,1	0,72	8,73
	Кабан	810	4 705	6,40	734,91	6,9	1,10	17,22
ИТОГО по Минской области (без Березинского биосферного запо- ведника)	Зубр	0	90	1,55	57,93	5,0	0,00	0,00
	Лось	49	2 561	1,90	1 344,64	12,5	0,04	1,91
	Олень	20	1 504	1,55	971,73	6,3	0,02	1,33
	Косуля	447	9 212	6,75	1 365,14	12,8	0,33	4,85
	Кабан	1 166	7 226	5,29	1 365,04	13,5	0,85	16,14
ИТОГО по Могилевской области	Зубр	2	50	1,27	39,40	8,0	0,05	4,00
	Лось	58	2 454	2,76	890,05	9,0	0,07	2,36
	Олень	25	906	1,02	890,05	6,0	0,03	2,76
	Косуля	543	7 829	8,80	890,05	7,5	0,61	6,94
	Кабан	718	5 416	6,09	890,05	9,1	0,81	13,26
ВСЕГО по Республике Беларусь	Зубр	9	624	1,11	563,71	6,7	0,0	1,7
	Лось	598	18 532	2,63	7 037,50	8,0	0,1	2,5
	Олень	243	7 090	1,18	5 988,58	6,6	0,0	2,7
	Косуля	3 111	56 797	8,04	7 065,65	9,3	0,5	5,9
	Кабан	6 473	43 899	6,21	7 069,09	10,0	0,9	14,5

Таким образом, наиболее перспективное направление интенсификации охотничьего хозяйства – восстановление численности и научно обоснованная эксплуатация копытных [10, 15, 17–21].

Традиционно численность копытных устанавливается с помощью взаимодополняющих методов учета. Данные о количестве молодняка копытных (сеголетках) позволяют определить число, оставшееся после эксплуатации, и при суммировании их с числом уже добытых молодых копытных оценить потенциальную плодовитость копытных конкретно взятой популяции и прогнозировать ее динамику. Использование данных за несколько лет позволяет установить сроки достижения оптимума населенности угодий, а на основании установленного в предре-продуктивный период количества взрослых самок и самцов с наибольшей долей вероятности можно рассчитать прирост популяций копытных в текущем году и планировать (по полу и возрасту) их эксплуатацию.

Достоверность применяемых методов учета в 2005 г. проверялась аэровизуальными учеными (АВУ), наиболее близкие данные получены в Гомельской и Витебской областях. Зимний маршрутный учет (ЗМУ) кабана показывает не-доучет. Что касается лося, то учетное количество сеголетков составляет 10–17 % при фактическом показателе в 25–35 %, а телят лося, вероятно, принимают за взрослых особей. Масштабные

мероприятия по мониторингу копытных с помощью авиации (АВУ) в 2006 г. прекратили, позднее отказались и от основного комплексного вида учета – ЗМУ. Возвращение к неупорядоченному использованию ресурсов дичи, как в 1991–1994 гг., чревато перепромыслом и повторением популяционной катастрофы копытных.

Дикие копытные, обладающие, в сравнении с другими видами дичи, более высокой степенью устойчивости к воздействию факторов среды и длительным периодом репродукции, – идеальный объект охотничьего хозяйства. Самки копытных, воспроизводя потомство до 12 лет, способны принести от 50 (кабан) до 10 (зубр, олень) детенышей (косуля – 18, лось – 15) [13]. Выживаемость молодняка копытных снижается (по мере уменьшения размеров и возраста), что связано с уязвимостью их по отношению к факторам среды и хищникам. Наибольшая выживаемость потомства (в порядке убывания) отмечается у зубра, лося, оленя, кабана и косули, и при ведении охотничьего хозяйства необходимо создавать устойчивые к эксплуатации популяции.

Достижение оптимальной численности популяций копытных возможно при увеличении хозяйственного прироста. Для этого применяется регулирование хищников, борьба с незаконным изъятием животных, проведение комплекса биотехнических мероприятий.

Высокая плодовитость кабана позволяет его популяционной структуре восстанавливаться

несколько раньше, чем у оленевых. Оптимум численности достигается снижением смертности, а изъятие ущербных особей повышает качество поголовья и сокращает затраты на подкормку. При создании устойчивых популяций кабана увеличивают долю средневозрастных особей. При выполнении всех мер по восстановлению населенности угодий кабаном для достижения популяционного оптимума необходимо 2 года. При плотности населения менее 3 особей на 1 тыс. га содействуют заселению из прилегающих угодий (рис. 4), при ограниченности срока, требуемого для создания популяции кабана, применяют введение кабанов из других районов [14, 15].

Характерная черта оленевых – низкая репродукция в малонаселенных (менее 3 особей на 1 тыс. га леса) группировках лося (рис. 5), косули (рис. 6) и оленя. Это становится очевидным при сопоставлении среднегодового прироста копытных и плотности их населения в областях (табл. 5). Необходимы нормативы, которые гарантируют успех воспроизводства у копытных [23]. Наиболее известным мероприятием по повышению успеха репродукции оленевых является запрещение добычи взрослых (половозрелых) особей до достижения оптимальной численности. Например, при населенности косуль более 10 особей на 1 тыс. га случаев прохолостания у самок не выявлено [11].



Рис. 4. Средняя многолетняя плотность населения (населенность) кабана на 1 тыс. га лесов



Рис. 5. Средняя многолетняя плотность населения (населенность) лося на 1 тыс. га лесов



Рис. 6. Средняя многолетняя плотность населения (населенность) косули на 1 тыс. га лесов

Благородный олень и лось при поиске партнеров концентрируются в определенных угодьях, а при низкой численности даже совершают миграции [12, 18, 19].

Для достижения оптимума их численности требуется повысить успех воспроизведения и сократить миграции. Очаговость распространения оленевых, сохраняется даже после 40 лет натурализации (в основном у благородного оленя). Прибалтика и Украина, используя при вселении в угодья партии беловежских оленей с высокой долей взрослых самок (консервативных в использовании территории), воссоздали сплошной ареал распространения оленя, сделав его основой охотниччьего хозяйства. В Беларусь формирование сплошного ареала оленя замедлилось с 1994 г., масштабное расселение прервали до 2004 г., а основные причины неудач – формирование популяций при отсутствии естественного обмена («зоны контакта») между ними и разреженность (поиск «зон контакта» вызывает миграции) [12, 18, 19].

В связи с востребованностью трофеев оленя с большой массой развитые страны, основываясь на молекулярно-генетических исследованиях, начали повторную интродукцию идентифицированного европейского благородного оленя, но всего одна белорусская популяция имеет подобный статус и пригодна в качестве поставщика оленей [5]. Проведение интродукции оленя с неизвестным генетическим статусом научно обоснованной и экономически оправданной (из-за способности вызвать деградацию чистокровных популяций оленя) назвать нельзя. Более того, она нарушает ратифицированную Беларусью Конвенцию «О биологическом разнообразии» [5, 21, 22]. Эксплуатация благородного оленя (из-за низкой численности) [23] проводится при его вселении в угодья и допускает 10 %-ное изъятие при численности в 30 и более особей (необходимо осуществить завоз оленей и начать их эксплуатацию).

Возможность формирования новых популяций оленя появляется в случае создания необходимых условий для эмиграционного заселения угодий с территории, на которой наблюдается высокая численность оленя. В связи с тем, что конкурентные взаимоотношения у оленя наступают при плотности его населения от 4 особей на 1 тыс. га и выше, вселять животных следует с учетом сохранения трофических ниш аборигенных видов копытных, параметры которых как трофеев остаются высокими. В любом случае из перспективных планов расселения следует исключать угодья, находящиеся на т. н. «коридорах миграции» или в эпицентре популяций, в которых населенность угодий лосем и косулей высокоустойчива.

Основная задача поддержания нормативной численности – ограниченное изъятие копыт-

ных из природной среды при сохранении их основного популяционного ядра – средневозрастных животных. Популяция парнокопытных, проходя различные фазы динамики численности, характеризуется различным половым и возрастным составом. В фазе роста выше доля средневозрастных (наиболее плодовитых) особей. В фазе стабилизации доля средневозрастных особей сокращается в пользу более старых с пониженной плодовитостью. Емкость среды обитания заполняется низкопродуктивными животными, что существенно снижает хозяйственный прирост популяций и наносит ущерб среде обитания. По этой причине при интенсивном ведении охотничьего хозяйства, с целью предотвращения миграции молодых копытных из-за занятости среды, требуется элиминация особей, прекративших репродукцию. Например, после придания зубру бинарного статуса, допускающего редукцию ущербных особей, уровень воспроизводства вида вырос в 2 раза. Элиминация самцов зубра из старших возрастных групп (от 15 лет) позволяет существенно сократить миграции самцов младшего возраста и получать существенную прибыль от проведения трофейного отстрела, а также избежать естественной гибели животных [8, 10]. Аналогично следует управлять диким кабаном и оленями – направленной редукцией повышая уровень воспроизводства.

При расчете нормативов минимальной численности (плотности) населения копытных, при которой возможно начало их эксплуатации, следует учитывать важнейшие параметры динамики популяций. Например, для устойчивой эксплуатации лося требуется восстановление численности до уровня 1989–1991 гг. с достоверно известными для каждого региона (охотхозяйства) показателями численности (плотности) вида. Распространенная подтасовка оптимальной численности в Проектах охотустроства заставляет при расчете нормативной численности (плотности) использовать показатели за период, когда наблюдалась высокая численность лося [3].

Для управления популяциями косули, кроме установления оптимальной численности, необходимо знание важнейших видовых параметров, обеспечивающих успех репродукции вида. Судя по анализу данных по фактической численности, плотность населения косули в Беларусь зависит от эффективности борьбы с хищниками и охраны от браконьеров (в дополнение к действенной подкормке) [11].

Для прогнозирования динамики численности кабана в связи с устойчивым ростом населения вида, достаточно знать показатели оптимальной и фактической численности и их соотношение. Анализ фактической и оптимальной численности кабана зачастую также свидетельствует о подтасовке оптимальных показателей численности [13]. Вероятно, это связано с рас-

четом показателей без учета подкормки – в Беларуси наблюдается довольно четкая зависимость населенности кабана от продолжительности периода подкормки (с северо-востока на юго-запад и юг) с фрагментарно высокой плотностью населения в высокоорганизованных охотничих хозяйствах.

Установление нормативной численности малочисленных благородного олена и зубра возможно, исходя из площади угодий тех районов, в которых эти виды обитают или будут вселены, но в последнем случае необходимо учитывать размер ввозимой группировки [12, 18].

Таким образом, перспективные планы восстановления популяций методом определения минимального уровня плотности населения, допускающего эксплуатацию копытных, следует рассматривать в отношении видов, имеющих сплошной ареал распространения. В Беларуси это – лось, косуля и дикий кабан (рис. 4–6).

Расчет нормативной численности (плотности населения) копытных, при которой допускается их эксплуатация, ведется исходя из двух наиболее значимых параметров – фактической и оптимальной численности (плотности), установленной исходя из показателей емкости среды их обитания. В том случае, когда была достоверно установлена оптимальная численность, ограниченную эксплуатацию популяций кабана можно начинать при фактической численности в 50 % от ее оптимальных показателей и сохранении положительного хозяйственного прироста [2]; для оленевых (из-за более низкого уровня воспроизводства) – когда фактическая численность лося или косули достигла 60–65 % от оптимальной, а прирост составляет 25–30 %. При таком состоянии группировок олени могут достичь оптимальных показателей населения за 3–4 года [2].

Выше приведены наиболее распространенные факты недостоверного расчета оптимальной численности копытных, выявленные в процессе сопоставления различных категорий угодий по степени их пригодности для жизнедеятельности. По этой причине в расчет нормативной численности копытных необходимо включать показатели за период максимальной численности лося в каждом регионе как показатель естественной емкости среды обитания. При отсутствии подобных сведений необходимо пользоваться усредненными показателями плотности населения лося за период с 1967 по 1989 г. [3].

Для лося нормативную численность получаем, сложив фактическую численность с оптимальной и наиболее высокой (максимальной) для территории хозяйства численностью и разделив полученную сумму на количество примененных для расчета показателей:

$$N_{\text{лося}} = (N_1 + N_2 + N_3)/3, \text{ или } (N_{\text{фактическая}} + N_{\text{оптимальная}} + N_{\text{максимальная}})/3,$$

где  $N_1$  – фактическая численность лося;  $N_2$  – оптимальная численность лося;  $N_3$  – максимальная численность лося, известная для охотхозяйства, или средняя многолетняя плотность по области, умноженная на площадь обитания вида.

В случае, когда необходим пересмотр нормативной численности лося, например по причине изменения площади его обитания, вселения другого конкурирующего вида (зубра, олена и др., проведения экспертизы охотустройства), необходимо оперировать данными по нормативной плотности животных на 1 тыс. га площади, пригодной для обитания вида.

Нормативную плотность населения копытных получаем, разделив нормативную численность на площадь обитания вида:

$$P_{\text{лося}} = N_{\text{лося}} / S_{\text{обитания}},$$

где  $S$  – площадь обитания вида, тыс. га.

Применение рассчитанных показателей позволяет проводить планирование отстрела животных без доработки Проекта охотустройства по нормативам населения охотничьих хозяйств, но не ниже показателей населения, установленных для районов Беларуси (рис. 7).

Минимальный уровень численности (плотности) населения дикого кабана рассчитываем, сложив фактическую численность с оптимальной и разделив полученную сумму на количество примененных для расчета показателей:

$$N_{\text{кабана}} = (N_1 + N_2)/2, \text{ или } (N_{\text{фактическая}} + N_{\text{оптимальная}})/2,$$

где  $N_1$  – фактическая численность кабана;  $N_2$  – оптимальная численность кабана.

Превышение минимального уровня численности (плотности) населения популяции над оптимальной численностью (плотностью) указывает на недостоверность расчета оптимальной численности из-за искусственного снижения площади, пригодной для обитания этого вида либо некачественной бонитировки угодий.

В случае, когда приводимые в Проекте охотустройства значения оптимальной численности (плотности) населения кабана оказались недостоверными, следует придерживаться показателей населения, установленных для административных районов (рис. 8).

Относительно устойчивая численность косули требует применения подходов, учитывающих репродуктивные особенности вида и возможности возникновения трофической конкуренции с более ценными видами копытных (в нашем случае с лосем). Для условий Беларуси известны случаи наступления трофической конкуренции только при высокой численности олена [2]. Достоверные показатели уровня плотности (численности), при которой косуля может вступать в конкурентные отношения с лосем, для Беларуси не выяснены. По литературным источникам

трофическая конкуренция при встречаемости в угодьях 2 или 3 видов копытных наступает при показателе 30 и более особей косули (от 50 в Европе) на 1 тыс. га свойственных виду угодий.

По этой причине за пороговое значение возникновения трофической конкуренции с лосем или зубром можно принять значение в 30 косуль на 1 тыс. га угодий.

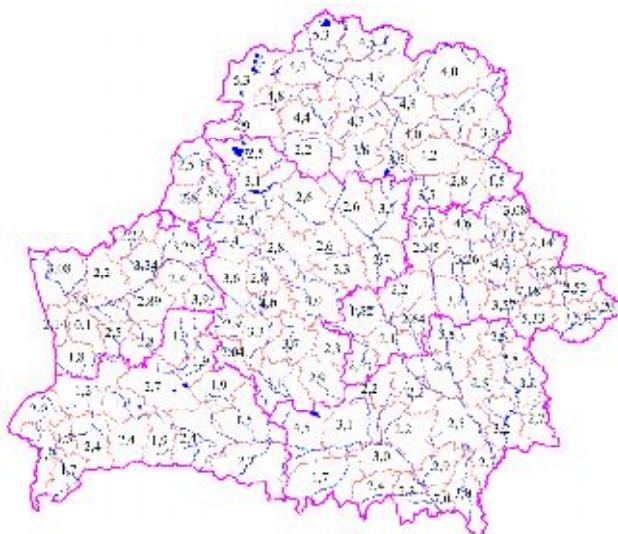


Рис. 7. Расчетная нормативная плотность населения (населенность) лося на 1 тыс. га лесов



Рис. 8. Расчетная нормативная плотность населения (населенность) кабана на 1 тыс. га лесов



Рис. 9. Расчетная нормативная плотность населения (населенность) косули на 1 тыс. га лесов

Для косули минимальный уровень численности получаем, складывая фактическую численность с ее оптимальными показателями и численностью, обеспечивающей успех воспроиз-

водства, а полученную сумму делим на количество примененных для расчета показателей. От полученных данных отнимаем процент трофической конкуренции (рис. 9):

$$N_{\text{косули}} = ((M_1 + N_2 + N_3) / 3) \cdot ((100 \% - T_y) / 100 \%), \text{ или}$$

$$((N_{\text{фактическая}} + N_{\text{оптимальная}} + N_{\text{воспроизводства}}) / 3) \cdot ((100 \% - T_{\text{уровень}}) / 100 \%)$$

где  $M_1$  – фактическая численность косули;  $N_2$  – оптимальная численность косули;  $N_3$  – численность косули, гарантирующая успех воспроиз-

водства;  $T_y$  – уровень трофической конкуренции:  $T_{\text{уровень}} = (P_1/P_2) \cdot 100 \%$ , где  $P_1$  – фактическая плотность населения косули на 1 тыс. га,

$P_2 = 30$  особей на 1 тыс. га (пороговое значение плотности населения косули, при которой наблюдается трофическая конкуренция с лосем).

В случае отсутствия данных, необходимых для расчета нормативной населенности косулей определенных охотничьих хозяйств (например, не установленной оптимальной численностью копытных в связи с истечением срока действия Проекта охотустройства), следует придерживаться нормативов показателей населенности, установленных для районов Беларуси (рис. 9).

Расчет минимальной численности (плотности) населения оленя в связи с особенностями его ареала (фрагментарность) или необходимости завоза партии в 30 особей для начала эксплуатации производим, суммируя имеющуюся численность оленя с количеством особей, необходимым для формирования группировки:

$$\text{Ноленя} = N_1 + G,$$

где  $N_1$  – фактическая численность оленя;  $G$  – количество животных, которое необходимо получить для достижения нормативной численности

благородных оленей для данного охотничьего хозяйства.

Применение различных норм изъятия копытных, различающихся для охотхозяйств с различным уровнем заселенности копытными (плотностью населения), – единственно возможный путь устойчивого использования диких копытных как воспроизводимых природных ресурсов.

Указ № 580 Президента Республики Беларусь позволяет пользователям планировать развитие охотничьих хозяйств исходя из возможности изъятия животных.

Охотничьи хозяйства, сумевшие достичь оптимальной численности диких копытных, способны вести хозяйственную деятельность, окупирующую затраты, и проводить их эксплуатацию, в размере хозяйственного прироста.

Пользователям угодий, находящимся на начальной стадии интенсификации, до достижения оптимальной численности животных следует проводить ограниченную эксплуатацию, придерживаясь нормативов населенности угодий.

## Л и т е р а т у р а

- Гулик В. Н., Янушко А. Д. Определение допустимой плотности населения лосей в лесхозах БССР в зависимости от качества местообитаний и запаса зимних кормов. Минск, 1981.
- Данилкин А. А. Дикие копытные в охотничьем хозяйстве. М., 2006.
- Дунин В. Ф., Козло П. Г. Лось в Беларуси. Минск, 1992.
- Инструкция по разработке проектов организаций и ведения охотничьих хозяйств (охотустройство) в Республике Беларусь. Минск, 2000.
- Кузнецова М. В., Волох А. И., Домнич В. И. и др. Молекулярно-генетические исследования благородного оленя *Cervus elaphus* L. Восточной Европы // Вестник зоологии. 2007. Т. 41, № 6. С. 505–529.
- Нюгрен Т., Данилкин А. А., Кузякин В. А. Динамика численности и добычи лося в Финляндии // Вестник охотоведения. 2006. Т. 3, № 1. С. 81–84.
- Тимофеев-Ресовский Н. В., Яблоков А. В., Глотов Н. В. Очерк учения о популяциях. М., 1973.
- Тышкевич В. Е. Зубр в Беларуси – состояние натурализованных популяций // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства. Киров, 2002. С. 393–396.
- Тышкевич В. Е. Степень загрязнения парнокопытных и среды обитания радионуклидами – основной фактор, определяющий специализацию охотничьего хозяйства. Там же. С. 391–393.
- Тышкевич В. Е. Наиболее перспективные направления развития охотничьего хозяйства Беларуси. Там же. С. 94–97.
- Тышкевич В. Е. Принципы рационального управления популяциями европейской косули // Лесное и охотничье хозяйство. 2002. № 4. С. 50–53.
- Тышкевич В. Е. Миграции и сроки смены стаций благородным оленем в регионе Восточная Европа-Беларусь // Лесное и охотничье хозяйство. 2004. № 2. С. 30–33.
- Тышкевич В. Е. Лесные угодья как среда обитания парнокопытных и зайцеобразных // Лесное и охотничье хозяйство. 2005. № 1. С. 45–51.
- 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.
- Тышкевич В. Е. Перспективы и направления интенсификации охотничьего хозяйства Беларуси на примере управления и эксплуатации популяций диких копытных в 2004–2005 гг. // Лесное и охотничье хозяйство. 2006. № 6. С. 28–32.
- Тышкевич В. Е., Квакин В. И. Современные проблемы охотустройства в Беларуси // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства. Киров, 2007. С. 440–441.
- Тышкевич В. Е., Квакин В. И. Краткая охотэкономическая характеристика состояния охотничьего хозяйства в Республике Беларусь. Там же. С. 442–443.
- Тышкевич В. Е. Факторы, определяющие состояние популяционных группировок благородного оленя в регионах реакклиматизации // Лесное и охотничье хозяйство. 2007. № 7. С. 17–25.
- Тышкевич В. Е. Важнейшие охотничьи ресурсы заказников «Козьянский», «Налибокский» и «Острова Дулебы»: оценка состояния, методы восстановления и перспективы использования // Природопользование. Минск, 2008. Вып. 14. С. 153–162.

20. Тышкевич В. Е. Метод естественного формирования популяций оленя (*Cervus elaphus L.*) в смежных охотничьих угодьях // Лесное и охотничье хозяйство. 2008. № 10. С. 26–32.
21. 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.
22. Тышкевич В. Е. Молекулярно-генетические исследования и реинтродукция европейского благородного оленя (*Cervus elaphus L.*) в Беларуси // Фундаментальные и прикладные аспекты генетики. Мин., 2008. С. 96–99.
23. Указ Президента Республики Беларусь № 580, «О некоторых мерах по повышению эффективности ведения охотничьего хозяйства и рыбохозяйственной деятельности, совершенствованию государственного управления ими». Мин., 2005.

**V. E. Тышкевич**

**ПОКАЗАТЕЛИ НАСЕЛЕННОСТИ ОХОТНИЧЬИХ УГОДИЙ ДИКИМИ КОПЫТНЫМИ  
(ARTIODACTILA) ТРЕБУЕМЫЕ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ И  
ИНТЕНСИФИКАЦИИ ОХОТНИЧЬЕГО ХОЗЯЙСТВА БЕЛАРУСИ**

Установление минимального уровня плотности населения копытных, допускающего эксплуатацию, выявило неравномерность распространения их ресурсов по территории Беларуси. Численность копытных даже на территории одного административного района может отличаться по причине различного уровня ведения охотничьего хозяйства.

Проектирование охотничьих хозяйств в Республике Беларусь ведется с применением различных категорий оценки качества угодий и неупорядоченно: оптимальная численность копытных подгоняется под фактическую. Как было установлено, площади угодий пригодных для обитания копытных занижаются, таким образом, завышается фактическая населенность угодий – обосновывающая возможность эксплуатации ресурсов. По этой причине планирование хозяйственной деятельности, на основании подобных данных является неоправданным.

В Беларуси имеются охотхозяйства, достигшие оптимальной населенности копытных и ведущие охотничье хозяйство методами, применение которых позволяет интенсифицировать охотохозяйственную деятельность в целом по республике.

Организация системы управления ресурсами популяций парнокопытных возможна после проведения экспертизы проектов охотустойства и в дальнейшем с применением современных методов проектирования и ведения охотничьего хозяйства. На начальном этапе интенсификации необходимо использовать нормативы населенности угодий копытными, при которых возможно управление популяцией и ее структурой до достижения оптимальных показателей населенности.

**V. E. Tyskевич**

**RATES OF POPULATION DENSITY OF THE UNGULATES (ARTIODACTILA)  
IN FORESTS REQUIRED FOR RESTORATION OF POPULATIONS AND  
INTENSIFICATION OF GAME-KEEPING IN BELARUS**

*In the course of defining of minimal density level of population of the ungulates under which exploitation is allowed we faced uneven distribution of animal resources in the territory of Belarus. The population can differ greatly even within the range of a district because of different methods of game keeping being used.*

*Projection of game keeping units in Belarus is made with application of different categories of quality estimation of forests. The optimal population of the ungulates is slanted towards the actual number. As it has been stated, the areas suitable for habitation of the ungulates are underestimated; therefore the actual habitat population which grounds for the possibility of exploitation of animal resources is overestimated. That is why planning of game keeping based on such data is unreasonable.*

*There are game management units in Belarus having optimal number of the ungulates and using methods of game keeping which can intensify game management system in whole.*

*Organization of a system of the ungulates management is feasible after making examination of game keeping projects and using modern methods of game planning and keeping. At the first stage of intensification it is necessary to use those norms of population of the ungulates under which management of population structure will lead to achievement of optimal population rate.*

**А. В. Матвеев, Л. А. Нечипоренко, В. П. Зерницкая**

## ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ НОВЫХ ЗАЛЕЖЕЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЕСКОВ И ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНЫХ СМЕСЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ

*По материалам анкетирования предприятий рассчитаны их потребности в строительном песке и песчано-гравийной смеси на период до 2020 г. Показано, что разведанные запасы сырья в целом обеспечивают выполнение запланированных объемов производства. Однако залежи строительных материалов распространены достаточно мозаично, что нередко повышает затраты на перевозку. Для снижения этих затрат и более равномерного обеспечения административных районов Витебской области сырьем выделено 66 прогнозных площадей на строительный песок и 13 – на песчано-гравийную смесь.*

В планах социально-экономического развития Республики Беларусь предусматриваются значительные объемы жилищного и промышленного строительства, ввод в строй новых спортивных сооружений, транспортных магистралей и т. д. Одним из мероприятий, направленных на успешную реализацию этих планов, должно быть дальнейшее укрепление сырьевой базы и сокращение дальности перевозок строительных материалов, наибольшие объемы среди которых на территории Беларуси приходятся на песок и песчано-гравийные смеси. Обеспеченность этими видами сырья и возможность прироста их запасов рассматриваются на примере Витебской области, на территории которой в 2007–2008 гг. проведены соответствующие исследования в рамках выполнения задания «Выделить перспективные участки для постановки геологоразведочных работ на минеральное сырье для производства строительных материалов» из научного обеспечения «Государственной программы геологоразведочных работ по развитию минерально-сырьевой базы Беларуси на 2006–2010 годы и на период до 2020 г.».

Для выяснения потребностей предприятий в сырье на первом этапе уточнялся их перечень. С этой целью изучались материалы в Министерствах статистики и информации, строительства и архитектуры РБ, Администрации Витебской области, научно-исследовательском экономическом институте Министерства экономики РБ. По результатам работ составлен список потребителей сырья. Затем было проведено анкетирование предприятий по вопросам потребностей в минеральных строительных материалах до 2020 г., разрабатываемых месторождений и разведанных в них по промышленным категориям запасах. С учетом этих данных обосновывались предложения по выявлению новых залежей строительного песка и песчано-гравийной смеси. Для этих целей анализировались особенности строения верхней (примерно 30-метровой) толщи четвертичных отложений по литературным данным (Величкевич и др., 2001; Матвеев, 1976; Нечипорен-

ко, 1989; Павловская, 1994; Матвеев и др., 1988), разрезам многочисленных буровых скважин, пробуренных организациями ГРУП «Белгеология», материалам полевых исследований авторов, геологической карте четвертичных отложений Белорусской ССР (1988), геоморфологической карте Белорусской ССР (1990).

*Потребности предприятий в минеральном сырье для производства строительных материалов*

На территории Витебской области основными потребителями минеральных строительных материалов являются 67 предприятий. Больше всего таких предприятий находится в Витебске (12), Орше (7) и Полоцке (7). Анализ планов их развития позволил рассчитать потребности в основных видах сырья до 2020 г., которые по песчано-гравийным смесям составили 43 341 тыс. м<sup>3</sup>, а по строительному песку – 37 915 тыс. м<sup>3</sup>.

Сопоставление этих материалов и данных Госбаланса свидетельствует о том, что в целом на ближайшую перспективу Витебская область обеспечена распространенным на территории региона минеральным сырьем. В частности, суммарные запасы в месторождениях, подготовленных к промышленному освоению (категории A+B+C<sub>1</sub>), составляют по песчано-гравийной смеси – 319 847 тыс. м<sup>3</sup>, песку строительному – 99 168,0 тыс. м<sup>3</sup>. Однако разведанные залежи сырья распространены по территории административных районов достаточно неравномерно, особенно это касается строительного песка (таблица).

Кроме того, как показали выполненные исследования, ряд предприятий, даже расположенных в районах, достаточно обеспеченных сырьем, испытывает дефицит его запасов на площадях вблизи производственных комплексов. К числу таких предприятий относятся следующие:

1. ДСУ-3 (г. Витебск) ОАО «Дорожно-строительный трест № 1, г. Витебск» использует карьеры «Новики», «Шалыги» с оставшимися запа-

сами песка строительного около 500 тыс. м<sup>3</sup>, а потребности до 2020 г. оцениваются в 3,5 млн м<sup>3</sup>. Кроме того, ДСУ-3 покупает песчано-гравийную смесь из-за отсутствия собственной сырьевой базы.

2. ДСУ-4 (г. Верхнедвинск) ОАО «Дорожно-строительный трест № 1, г. Витебск» эксплуатирует месторождение строительных песков «Липовки». Оставшиеся запасы будут исчерпаны в 2009 г. Кроме того, предприятие, не имея собственной сырьевой базы, закупает песчано-гравийную смесь.

3. Оршанский завод железобетонных изделий КУП ПСП «Витебскоблсельстрой» для выпуска продукции использует строительный песок (потребности до 2020 г. – 143,0 тыс. т), но собственной сырьевой базы не имеет.

#### Обеспеченность административных районов Витебской области разведанными запасами минеральных строительных материалов

Район	Песок строительный и силикатный	Песчано-гравийный материал
Бешенковичский	–	+
Браславский	–	+
Верхнедвинский	+	+
Витебский	+	+
Глубокский	–	+
Городокский	–	+
Докшицкий	+	+
Дубровенский	–	–
Лепельский	–	+
Лиозненский	–	+
Мирский	–	–
Оршанский	+	+
Полоцкий	–	+
Поставский	–	+
Россонский	–	+
Сенненский	–	+
Толочинский	+	+
Ушачский	–	+
Чашникский	–	+
Шарковщинский	–	–
Шумилинский	+	+

Примечание: знаки «+» и «–» отражают соответственно достаточную и недостаточную обеспеченность разведенными запасами. Подобный расчет проводился с учетом потребностей реальных и потенциальных потребителей сырья.

#### Перспективы расширения минерально-сырьевой базы строительных материалов

Большая часть территории Витебской области расположена в пределах Белорусского Полозерья. Здесь широко распространены озерно-ледниковые низины и равнины, которые окаймляются холмисто-грядовым ледниковым рельефом и участками моренных и флювиогляциальных равнин, что придает поверхности котловинообразную форму. На большей части территории развиты отложения поозерского времени, и только на юге области с поверхности залегают отложения сожского времени. Основная часть территории дrenируется реками бассейна Западной

Двины, относительно небольшие площади в южной части относятся к бассейнам Днепра, Березины и Вилии. Сырьевой базой строительного песка и песчано-гравийной смеси служат различные фации аллювиальных, краевых ледниковых и флювиогляциальных отложений.

Аллювиальные отложения на большей части территории представлены разнозернистыми песками, реже песчано-гравийно-галечными отложениями, тонкими супесями, чаще всего мощностью 3–5 м, и только местами толща аллювия достигает 12–15 м.

Краевые ледниковые комплексы, сложенные преимущественно песчано-гравийно-галеч-

ными отложениями, образуют несколько цепей. В северной части Витебской области выделена Браславская цепь, к которой отнесены Городокская возвышенность, участок в районе озера Нещердо, Освейская и Браславская гряды. Южнее расположена Витебская цепь, включающая Витебскую возвышенность, Ветринские краевые образования, Свенчанские гряды. Еще южнее прослеживаются образования Оршанской цепи (Алантево-Курейшинская, Высоковская, Лукомльская и Лепельская гряды и возвышенности). Мощность краевых ледниковых отложений обычно составляет 20–30 м, но иногда может возрастать до 70 м и даже 85 м.

Флювиогляциальные отложения чаще всего встречаются в Городокском, Лепельском, Ушачском, Лиозненском и Сенненском районах. Они представлены разнозернистыми песками, реже песчано-гравийными смесями. Общая мощность флювиогляциальных толщ обычно не превышает 10–20 м, в северо-западной части – 2–7 м.

Учитывая строение верхней части четвертичной толщи, можно сделать вывод о наличии реальных перспектив по расширению сырьевой базы и более равномерному обеспечению административных районов разведанными запасами строительных песков и песчано-гравийной смеси. При этом необходимо иметь в виду, что в качестве строительных песков могут использоваться преимущественно средне-крупнозернистые разности с содержанием песчаных фракций (менее 5 мм) более 90 % и модулем крупности более 1,0. К песчано-гравийной смеси относятся отложения, в которых гравийная фракция составляет не менее 10–15 % (Ярцев и др., 2002; Ярцев, Высоцкий и др., 2002). При выделении прогнозных площадей также необходимо учитывать, чтобы отношение мощностей вскрыши и полезной толщи не превышало 1,5:1,0 (Ярцев и др., 2002; Ярцев, Высоцкий и др., 2002).

С учетом этих данных на территории Витебской области выделено около 240 площадей, перспективных на песчано-гравийные смеси, и примерно 110 – на строительные пески. В генетическом отношении песчано-гравийные смеси представлены краевыми ледниковыми образованиями (58 % всех площадей), зандровыми отложениями (24 %), камами и озами с прилегающими участками водно-ледниковых равнин и холмисто-грядового рельефа конечных морен (12 %) и аллювиальными фациями на отдельных участках долин Днепра, Западной Двины, Мнюты, Дисны, Дриссы и некоторых других рек (6 %).

Выделенные прогнозные площади строительных песков по генезису относятся к зандровым (52 %), краевым ледниковым (28 %) образованиями, камам и озам с прилегающими участками зандровых равнин и холмисто-грядового рельефа (15 %), а также к фациям руслового ал-

лювия в долинах Западной Двины, Лучайки, Комайки (5 %), особенно на участках размыва краевых ледниковых комплексов.

Учитывая существующий дефицит разведанных запасов по рассматриваемым видам минеральных строительных материалов (таблица), можно сформулировать следующие предложения по приросту запасов этого сырья.

1. В *Бешенковичском районе* возможно увеличение запасов строительных песков на участке восточнее д. Зорника, в 20 км северо-западнее г. Бешенковичи. Ориентировочные глубины залегания – 0–7 м, мощность 5–14 м.

2. На территории *Браславского района* существуют реальные перспективы по расширению запасов строительных песков восточнее д. Иказнь, в 16 км к востоку – юго-востоку от г. Браслав; в 8 км юго-западнее г.п. Видзы; юго-юго-восточнее д. Далекие, в 14 км к северо-востоку от г.п. Видзы. Глубины залегания варьируют от 0 до 2 м, мощность – от 6 до 10 м.

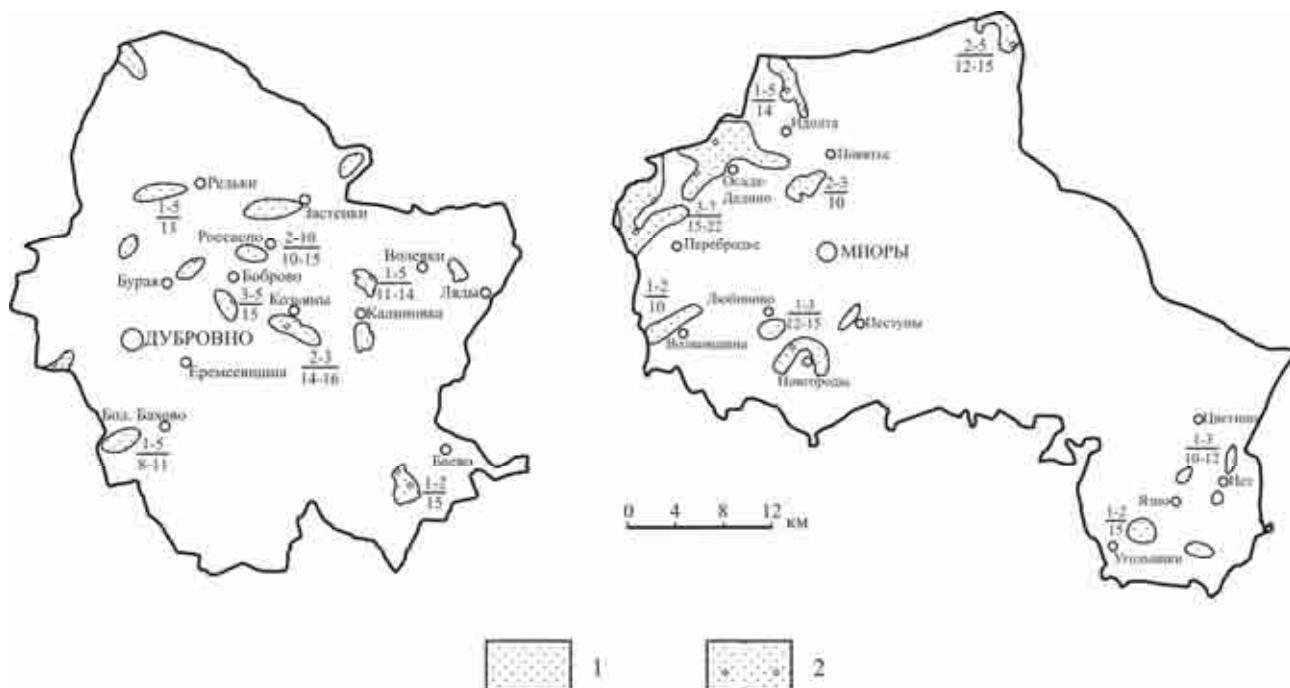
3. В *Глубокском районе* недостаток в разведанных запасах песков может быть покрыт при проведении работ северо-западнее и южнее д. Лидово, в 14 км запад-юго-западнее г. Глубокое; южнее д. Лозичи, в 10 км к западу-северо-западу от г. Глубокое; северо-западнее д. Шипы, в 8 км к юго-востоку от г. Глубокое; северо-западнее д. Голубичи, в 14 км восточнее г. Глубокое. Мощность вскрыши составляет 0–1 м, полезного ископаемого – 10–15 м.

4. Имеющийся дефицит разведанных запасов песка в *Городокском районе* целесообразно восполнить за счет площадей между дд. Вышедки, Веречье и Смоловка, в 20–25 км к северо-востоку от г. Городок; западнее д. Пролетарск, в 26 км к северо-западу от г. Городок; западнее д. Меховое, в 13 км к юго-юго-западу от г.п. Езерище; восточнее д. Лахи, в 8 км к юго-юго-востоку от г.п. Езерище. На этих участках мощность вскрыши в основном составляет 1–5 м (реже до 10 м), слоя песков – 4–15 м (до 20–25 м).

5. В *Дубровенском районе* возможно выявление новых залежей песков западнее и северо-восточнее д. Застенки, юго-западнее д. Бол. Бахово, восточнее д. Волька, а песчано-гравийной смеси – западнее д. Редьки, северо-восточнее д. Бурая, восточнее д. Осиновка, севернее д. Боброво, южнее д. Козьяны, севернее и южнее д. Калиновка, юго-западнее д. Баево (рис. 1).

6. Для прироста запасов песка в *Лепельском районе* интерес представляет площадь юго-западнее д. Заболотье, в 6 км к юго-юго-востоку от г. Лепеля. Мощность вскрыши 1–5 м, залежи – 10–20 м.

7. В *Лиозненском районе* дефицит запасов песков может быть частично устранен в результате работ южнее д. Ситно, на крайнем юге района. Мощность вскрыши составляет 1–4 м, залежи – 8–12 м.



**Рис. 1. Прогнозные площади на строительные пески (1) и песчано-гравийную смесь (2) на территории Дубровенского и Миорского районов**

8. В Миорском районе возможно пополнение разведанных запасов песков на участках между дд. Парадни, Ист, Шараги, Канцерова, песчано-гравийной смеси – в западной части района вблизи дд. Суромщина, Идолга, Нивники, Новгороды, Любиново, Пестуны, а также на крайнем севере восточнее д. Леонполь и на юго-востоке у д. Угольники (рис. 1).

9. Прирост запасов песков в Полоцком районе целесообразно осуществить за счет геологоразведочных работ западнее г.п. Ветрино; западнее д. Боровуха, в 8 км к северо-западу от г. Новополоцк; восточнее д. Полота, в 28 км к северо-востоку от г. Полоцка; восточнее д. Заенки, в 24 км севернее г. Полоцка; юго-восточнее дд. Дретунь и Сухой Бор, примерно в 35–38 км на северо-восток от г. Полоцк; севернее и северо-восточнее д. Нача, в 8 км западнее г.п. Ветрино. Мощность вскрыши 1–3 м, полезного ископаемого – 10–12 м.

10. В Поставском районе можно прирастить запасы песков на участках южнее д. Муляры, юго-западнее д. Сакуны, севернее д. Саранчаны, северо-восточнее д. Мольдовичи, восточнее д. Кашицы, южнее д. Железовщина, севернее и восточнее д. Лукашево, юго-восточнее д. Сергеевичи, восточнее д. Лисица, восточнее г. Поставы, юго-западнее г.п. Воропаево (рис. 2).

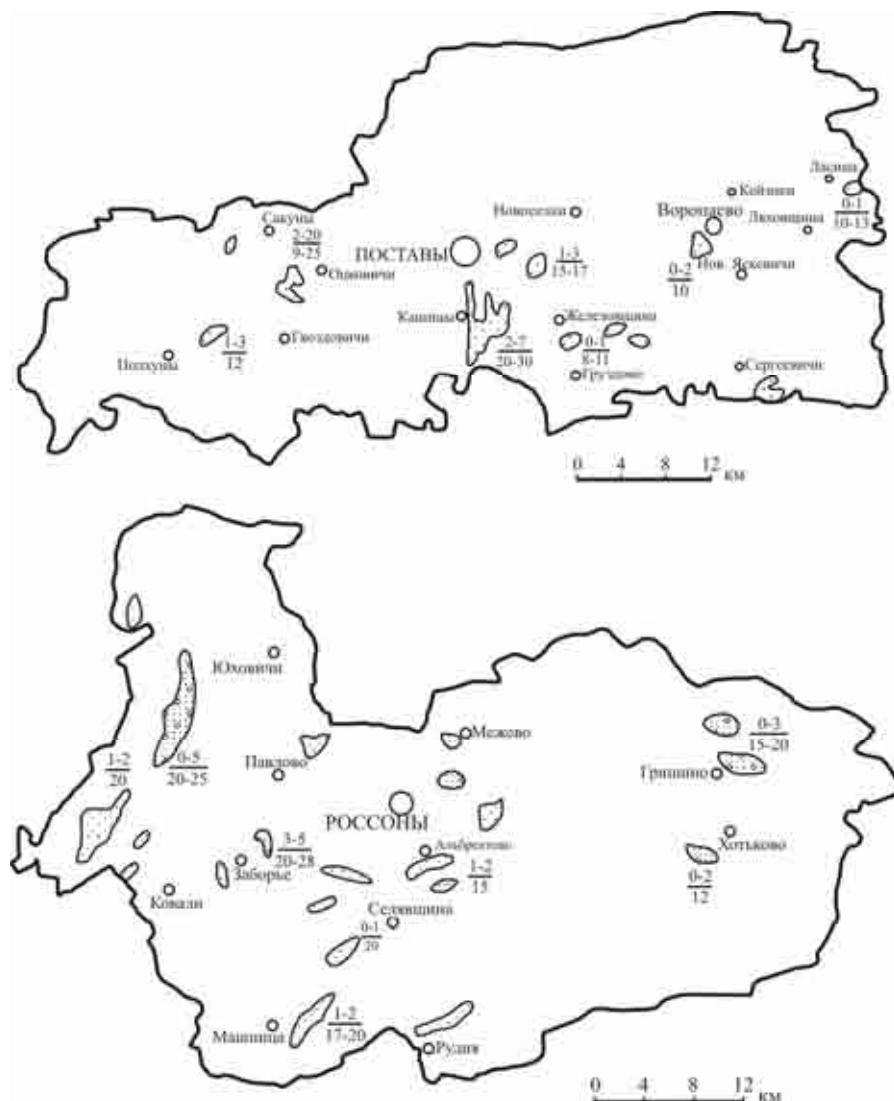
11. Дефицит разведенных запасов песков в Рассонском районе следует покрыть в процессе работ на площадях между дд. Морочково и Якубово, северо-восточнее д. Павлово, юго-западнее оз. Белое, северо-западнее д. Янкови-

чи, южнее и юго-западнее д. Альбрехтово, северо-восточнее д. Бирюзово, восточнее д. Машница, севернее д. Рудня (рис. 2).

12. В Сенненском районе сравнительно небольшие разведанные запасы песков можно прирастить на площадях восточнее д. Поженьки, в 8 км к западу-северо-западу от г. Сенно; в 3 км западнее г. Сенно; северо-западнее д. Студенка, в 8 км восточнее г. Сенно; северо-западнее д. Оболь, в 16 км к северо-востоку от г. Сенно; западнее д. Кругляны, в 17 км к северо-востоку от г. Сенно; южнее д. Серкути, в 16 км юго-восточнее г. Сенно. Мощность вскрыши 1–3 м, песков – 11–15 м.

13. В Ушачском районе относительно небольшие разведанные запасы песков можно пополнить на следующих площадях: восточнее д. Ковалевщина, в 4 км юго-восточнее г. Ушачи; юго-юго-восточнее д. Ореховно, в 4 км восточнее г. Ушачи. Мощность вскрыши 0–1 м, песчаной залежи – 6–12 м.

14. Увеличение разведанных запасов песка в Чашникском районе возможно при проведении геологоразведочных работ на площадях восточнее д. Бол. Ведрень, восточнее д. Трухановичи, в 14 км на юго-восток от г. Чашники; северо-западнее д. Гора, к западу-юго-западу от д. Рыжанки, южнее д. Черея, в крайней юго-восточной части района; восточнее д. Бол. Ольшанки, в 8–10 км к востоку и северо-востоку от г. Чашники. Мощность вскрыши 1–5 м, толща полезного ископаемого – 9–30 м.



**Рис. 2. Прогнозные площади на строительные пески и песчано-гравийную смесь на территории Поставского и Россонского районов.** Условн. обозн. см. на рис. 1

15. На территории Шарковщинского района существует дефицит разведанных запасов песка и песчано-гравийной смеси. С целью пополнения этих запасов необходимо обратить внимание на следующие перспективные площади: песка – севернее д. Иоды, примерно в 18 км северо-западнее г.п. Шарковщина; песчано-гравийной смеси – севернее д. Бильдюги, в 18 км к северу-северо-западу от г.п. Шарковщина; восточнее д. Попки, в 10 км к востоку-северо-востоку от г.п. Шарковщина. Мощность вскрыши над песками – 1–3 м, песчано-гравийной смесью – 2–5 м, мощность песков 8–10 м, песчано-гравийной смеси – 12–20 м.

#### Выводы

1. Выполненные исследования потребностей в минеральных строительных материалах на территории Витебской области на перспективу до 2020 г. показали, что предприятия в целом

обеспечены разведенными ресурсами строительного песка и песчано-гравийной смеси.

2. Известные залежи минеральных строительных материалов распространены довольно неравномерно. Наиболее обеспечены сырьем Верхнедвинский, Витебский, Докшицкий, Оршанский, Толочинский и Шумилинский районы.

3. Отмечая неравномерность распределения разведенных запасов строительных материалов, следует подчеркнуть, что ряд предприятий, даже размещающихся в районах с относительно развитой сырьевой базой, нуждается в дополнительной разведке залежей вблизи производственных комплексов.

4. Для административных районов, испытывающих дефицит в разведенных запасах сырья, предложены объекты, работы в пределах которых позволяют восполнить этот дефицит. В частности, для открытия новых залежей строи-

тельного песка представляют интерес в Бешенковичском районе – 1 площадь, в Браславском – 3, в Глубокском – 5, в Городокском – 9, в Дубровенском – 4, в Лепельском, Лиозненском, Миорском – по 1, в Погоцком – 8, в Поставском – 12, в Россонском – 9, в Сенненском – 6, в Ушачском, Чашникском и Шарковщинском районах – по 2. В

дополнительных работах по расширению сырьевой базы песчано-гравийных смесей нуждаются только три района. На их территории интерес для пополнения запасов представляют: в Дубровенском районе – 8 площадей, в Миорском – 3 и в Шарковщинском – 2.

### Л и т е р а т у р а

1. Величкевич Ф. Ю., Деруго Г. В., Зерницкая В. П. и др. Четвертичная система (квартер) // Геология Беларуси. Мин., 2001. С. 325–386.
2. Геологическая карта четвертичных отложений Белорусской ССР. М. 1:500 000 / Гл. ред. Г. И. Горецкий. Л., 1988.
3. Геоморфологическая карта Белорусской ССР. М. 1:500 000 / Гл. ред. Б. Н. Гурский. М., 1990.
4. Матвеев А. В. Ледниковая формация Беларуси. Мин., 1976.
5. Матвеев А. В., Гурский Б. Н., Левицкая Р. И. Рельеф Беларуси. Мин., 1988.
6. Нечипоренко Л. А. Условия залегания и тектоническая предопределенность антропогенного покрова Белоруссии. Мин., 1989.
7. Павловская И. Э. Полоцкий ледниково-озерный бассейн: строение, рельеф, история развития. Мин., 1994.
8. Ярцев В. И., Высоцкий Э. А., Губин В. Н. и др. Поиски и разведка месторождений минерального строительного сырья (на примере четвертичных отложений). Мин., 2002.
9. Ярцев В. И., Гуринович А. И., Коротенко И. А. и др. Строительные пески и песчано-гравийные породы // Полезные ископаемые Беларуси. Мин., 2002. С. 365–395.

**A. V. Matveyev, L. A. Nechiporenko, V. P. Zernitskaya**

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ НОВЫХ ЗАЛЕЖЕЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЕСКОВ И ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНЫХ СМЕСЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ**

На территории Витебской области сырьевая база минеральных строительных материалов в основном используется 67 предприятиями. По результатам анкетирования установлено, что потребности этих предприятий в строительном песке и песчано-гравийных смесях на период до 2020 г. соответственно составляют 37 915 тыс. м<sup>3</sup> и 43 341 тыс. м<sup>3</sup>, что значительно меньше выявленных на территории области запасов. Однако эти залежи распространены довольно неравномерно. Более обеспечены запасами Верхнедвинский, Витебский, Докшицкий, Оршанский, Толочинский и Шумилинский районы, но и на их территории есть предприятия, которым необходимы дополнительные поиски сырья вблизи производственных комплексов. Для более полного обеспечения административных районов и предприятий строительными материалами на территории области выделено 66 прогнозных площадей на строительный песок и 13 – на песчано-гравийную смесь.

**A. V. Matveyev, L. A. Nechiporenko, V. P. Zernitskaya**

### **PERSPECTIVES OF FINDING NEW DEPOSITS OF BUILDING SAND AND SANDY-GRAVEL MIXTURES IN VITEBSK REGION**

*In Vitebsk region 67 enterprises use raw resources of building materials. As it has been revealed by the questionnaire method, needs of these enterprises in building sand and sandy-gravel mixtures for the period until 2020 are 37 915 thousand m<sup>3</sup> and 43 341 thousand m<sup>3</sup> respectively, what is significantly less than the volume of the resources already found in the region. However the deposits are distributed unevenly within the area. Verkhnedvinsk, Vitebsk, Dokshytsy, Orsha, Tolochin and Shumilino regions are better supplied than other ones, although some enterprises located in their territories need additional prospecting of raw materials in the vicinities of producing complexes. With the purpose of more abundant supply of administrative regions and enterprises with building materials 66 areas perspective for building sand and 13 areas perspective for sandy-gravel mixture were recognized in the territory of Vitebsk region.*

### III. БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 661.183.2

**Т. Д. Дамбовская, В. К. Жуков, Ю. В. Медведева, Л. И. Леоненко**

#### МЕЗОПОРИСТЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ АДСОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ

Рассмотрены методы получения малозольных углеродных адсорбентов (активированных углей) с развитой системой мезопор и высокой удельной поверхностью, пригодных для использования в качестве энтеросорбентов и основы катализаторов. Наиболее подходящим местным сырьем для их получения являются верховой торф низкой степени разложения и древесные отходы торфоразработки – т. н. «торфяной пень». Полученные в оптимальных условиях адсорбенты имеют удельную поверхность  $\geq 1000 \text{ м}^2/\text{г}$  при содержании минеральных компонентов (зольности) не более 1 %.

Углеродные адсорбенты (активированные угли) играют важную роль в обеспечении экологической безопасности населения и охраны окружающей среды. Согласно классификации академика Дубинина, активированные угли подразделяются на три типа: газовые, рекуперационные и осветляющие, отличающиеся характером пористой структуры. Учитывая все возрастающую потребность населения в питьевой воде надлежащего качества, а также увеличение сброса неочищенных сточных вод, активированные угли осветляющего типа занимают большую долю в общем объеме их производства и потребления.

Рассмотрим структуру потребления активированных углей в США в 1999 г. [5]. Выбор США обусловлен тем, что эта страна по объему производства и потребления активированных углейочно занимает лидирующее положение в мире: общее потребление углей достигает 200 тыс. т/год. На рис. 1 обобщены данные по ежегодному использованию активных углей для очистки питьевой воды, сточных вод и других жидких сред. Суммарная потребность в гранулированных углях составляет 30 400 т, в порошкообразных – 46 300 т.

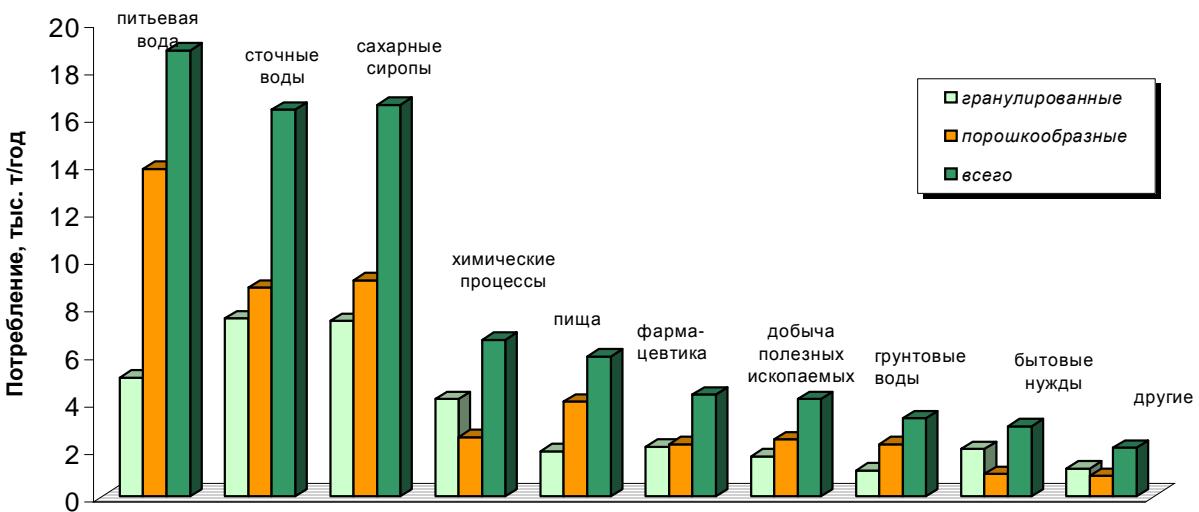


Рис. 1. Структура потребления осветляющих активных углей в США

Таким образом, общее количество обоих типов угля равно 76 700 т. Около 24 % всего количества углей используется для получения питьевой воды, 21 % – для очистки сточных вод. Обратим внимание на то, что потребление порошкообразных углей в полтора раза превышает потребление гранулированных, т.е. при выборе сырья для производства осветляющих углей требований по прочности к углам практически нет.

В западноевропейских странах потребление активированного угля по отраслям промышленности следующее:

- очистка питьевой воды – 25 500 т (34 %);
- пищевая промышленность – 16 500 т (22 %);
- химическая и фармацевтическая промышленность – 12 750 т (17 %);
- очистка газов, воздуха и др. – 19 500 т (26 %)

т.е. также преобладает применение углей осветляющего типа.

Различные аспекты здоровья человека на современном этапе развития общества не могут рассматриваться в отрыве от экологического состояния окружающей среды. Загрязненная окружающая среда, ухудшение качества продуктов питания и питьевой воды, безусловно, наносят вред здоровью, поэтому необходима нейтрализация отрицательного воздействия этих факторов на человека.

В период развития многих заболеваний возникает состояние, именуемое эндогенной интоксикацией, или эндотоксикозом. В процессе жизни человек переносит эндогенную интоксикацию не раз – при гриппе или банальных простудах, расстройствах пищеварения или высокой температуре и во многих других случаях. Интоксикация дает ощущение болезни и плохого общего состояния, определяя его тяжесть. Эндогенная интоксикация рассматривается современной наукой как синдром, характерный для многих патологических процессов и состояний. Действенным способом, обеспечивающим эффективное решение задачи нейтрализации негативного воздействия окружающей среды, является разработка препаратов и методов детоксикации организма человека [3].

О лечебных свойствах древесных углей знали еще древние египтяне, а также основоположник античной медицины Гиппократ. Имеются сведения о применении древесных углей в медицине в Древней Греции, Риме, Индии и других восточных странах [6].

Углеродные энтеросорбенты являются по сути активированными углами, но, поскольку они применяются перорально, к ним предъявляются чрезвычайно высокие требования по химической чистоте: минимальное содержание минеральных примесей, в т.ч. железа – не более 0,04–0,06 %

(требования в разных странах немного различаются, но порядок значений таков).

Не менее высокие требования по химической чистоте предъявляются и к углеродным носителям катализаторов или к углеродным адсорбентам, применяющимся в качестве катализаторов [1]. Например, в ряде химических процессов, где углерод выполняет функции катализатора или носителя металлического катализатора (синтез фосгена, хлористого сульфурила, хлорорганических соединений, оксосоединений и т.д.), наряду с основными реакциями на углеродной поверхности происходит образование побочных продуктов, вызванное примесями галогенов, серы, азота, кислорода и др. Это существенно сокращает срок эксплуатации углеродных материалов, осложняет процесс выделения основных продуктов и неблагоприятно сказывается на экологической обстановке.

Данные классы материалов востребованы различными отраслями народного хозяйства Республики Беларусь: углеродные энтеросорбенты используются для лечения хронических и производственных токсикозов, катализаторы широко применяются в нефте- и газопереработке. И если потребности в отечественных энтеросорбентах частично покрываются за счет выпускаемых на заводе «Химволокно» (Светлогорск) углеродных волокон и тканей, производство катализаторов отсутствует.

По химическим и адсорбционным свойствам углеродные волокнистые энтеросорбенты «Белосорб» полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к медицинским сорбентам, но недостатком их является очень высокая стоимость – 80 000 долларов США за тонну, поэтому разработка аналогичных по свойствам, но гораздо более дешевых сорбционных материалов является актуальной в плане как удовлетворения собственных потребностей, так и организации производства экспортно-ориентированной продукции. Существенным недостатком этой формы энтеросорбента является то, что они представляют собой иглоподобные частицы диаметром менее 10 мкм и способны проникать через стенки желудочно-кишечного тракта в кровь, вызывая тромбозы.

Согласно требованиям, предъявляемым к углеродным энтеросорбентам и катализаторам, кроме высокой химической чистоты они должны обладать развитой структурой супермикропор размером 1–1,2 нм и мезопор размером 3–5 нм, косвенным свидетельством наличия которых является высокая адсорбционная активность по красителю метиленовому голубому (МГ), молекулы которого имеют размер 1,2 нм [1, 4].

Проведенными нами ранее исследованиями показано [2], что торф и продукты его переработки являются наиболее подходящим сырьем для получения активированных углей осветляющего типа: при объеме сорбирующих пор более

0,5 см<sup>3</sup>/г объем мезопор достигает 0,3–0,4 см<sup>3</sup>/г, а их поверхность – 200 м<sup>2</sup>/г и более.

Поскольку зольность углеродных адсорбентов, предназначенных для осветления жидких сред, относится к числу наиболее важных показателей, изучен характер накопления минеральных компонентов в процессе прогрессирующей активации торфяного сырья. Для этого получен ряд адсорбентов из верхового малозольного торфа ( $A^c = 1,98\%$ ) тм «Дукора» при активировании водяным паром. Результаты представлены на рис. 2.

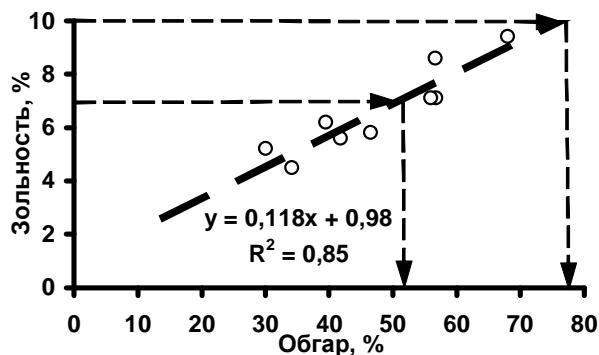


Рис. 2. Изменение зольности торфяных углеродных адсорбентов в процессе прогрессирующей активации

Пользуясь установленной зависимостью, можно определить максимальную степень обогара, до достижения которой зольность угля не выйдет за оговоренные в нормативных документах пределы; в данном случае угли, активированные до обогара 52 %, можно применять в формованном виде (аналог – БАУ, максимальная зольность 7 %), при обогаре до 77 % – в порошкообразном виде (аналог – ОУ–А). Как установлено нами ранее [2], для полного раскрытия пор, образовавшихся в процессе карбонизации, необходимо достичь степени обогара активации 35–40 %, что соответствует общему обогару 50–55 %. При обогарах до 65–68 % образования новых пор не происходит, уже существующие поры укрупняются, на что указывает снижение величины Е характеристической энергии адсорбции.

Если активирование угля продолжить, наблюдается процесс «переактивирования», когда значительной убыли массы угля соответствует практически «нулевой» прирост адсорбционной активности. Исходя из полученных результатов теоретически рассчитано, что для получения торфяных активированных углей с максимальной зольностью 10 % необходимо использовать торф с зольностью до 2,0 %, углей с максимальной зольностью до 7,0 % – торф с зольностью до 1,4 %.

При рассмотрении взаимосвязи между ботаническим составом торфа и адсорбционной активностью по МГ установлено, что повышение содержания в торфе сфагновых мхов благоприятствует развитию в адсорбенте супермикро- и мезопор (рис. 3).

Более четко влияние исходного продукта на свойства активированных углей прослеживается при невысоких обогарах. При обогаре 25–50 % пористость активного угля не превышает 0,69 см<sup>3</sup>/г; сорбционная способность по метиленовому голубому еще очень низка (14–35 %), а по йоду уже достаточно велика. Это говорит о том, что при малых степенях обогара активный уголь паровой активации обладает довольно развитой системой микропор малого радиуса (значения по йоду), а крупные микропоры еще не образовались в достаточном количестве. Повышение содержания сфагновых мхов в данном случае увеличивает количество крупных микропор.

В случае получения активированных углей с большей величиной обогара, 60–63 %, эта тенденция проявляется слабее, так как большую роль в образовании крупных микропор, обуславливающих сорбцию молекул метиленового голубого, играет выгорание углерода полукокса при взаимодействии с водяным паром, и влияние состава исходного торфа сглаживается.

Известно, что с увеличением степени разложения торфа в нем снижается содержание веществ углеводного характера и накапливаются продукты их биохимических превращений – гуминовые вещества. Как показано на рис. 3, сорбция метиленового голубого прямо пропорциональна содержанию в торфе сфагновых мхов, поэтому с увеличением степени разложения сорбционная емкость активированных углей должна падать.

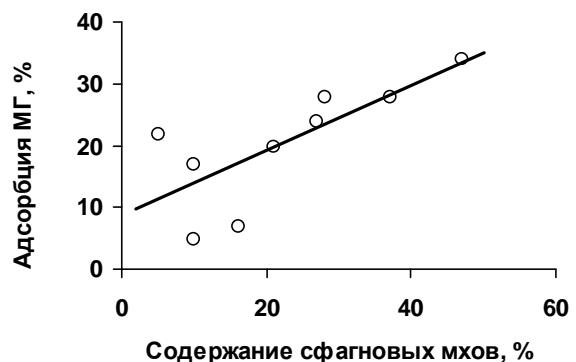


Рис. 3. Зависимость адсорбции метиленового голубого от содержания в торфе сфагновых мхов

Нами обработаны экспериментальные данные, полученные для образцов верхового торфа различной степени разложения, и установлена зависимость адсорбции МГ от степени разложения торфа. Она имеет вид прямой линии в логарифмических координатах  $\ln A - \ln R$ :

$$\ln A = -1,299 \ln R + 8,51 \pm 0,152,$$

откуда  $A, \% = (4964 \pm 757) * R^{1,299}$  при коэффициенте корреляции  $r = -0,913$ .

Поскольку торф низкой степени разложения практически не гранулируется, имеет малую

насыпную плотность и получение из него активированных углей по классической схеме невозможно, нами приготовлены образцы из смесей торфа т/м «Дукора» высокой степени разложения ( $R = 35\text{--}40\%$ ), являющегося своего рода «свя-

зующим» при грануляции, и торфа слабой степени разложения т/м «Татарка» ( $R = 15\%$ ).

Характеристика пористой структуры полученных адсорбентов приведена в табл. 1.

**Таблица 1. Характеристика пористой структуры адсорбентов из смеси верховых торфов высокой и слабой степени разложения**

Образец	Количество торфа слабой степени разложения в шихте, %	Объем пор, см <sup>3</sup> /г			Удельная поверхность пор, м <sup>2</sup> /г		
		сорбирующих, $V_S$		макро-	микро-по БЭТ	мезо-	
		всего	в том числе				
1	0	0,50	0,24	0,26	0,68	636	115
2	25	0,49	0,25	0,24	0,58	620	90
3	50	0,53	0,22	0,31	0,78	656	135
4	75	0,50	0,21	0,29	1,46	567	129

Из данных табл. 1 следует, что введение до 25 % торфа низкой степени разложения в состав шихты слабо сказывается на характеристиках пористой структуры. Использование смеси равных количеств торфа низкой и высокой степени разложения (образец 3) позволяет получить адсорбент с большей степенью развития мезопор; кроме того, зольность адсорбента будет снижаться, т.к. торф низкой степени разложения (верхний горизонт торфяника) имеет пониженную зольность.

Использование шихты, содержащей 75 % малоразложившегося торфа, нецелесообразно, поскольку в адсорбенте доминирует макропористая составляющая, не принимающая участия в процессе адсорбции. Способ шихтования торфов различной степени разложения позволяет снизить зольность адсорбента и повысить содержание в нем мезопор.

При разработке торфяного месторождения из торфяной залежи удаляют крупные древесные включения, т.н. «торфяной пень». В залежах низинного типа стволы лиственных пород древесины (ольха, осина, береза) превращаются в бесструктурную массу, при механическом воздействии легко рассыпающуюся в труху. Напротив, древесина хвойных пород в залежах верхового типа достаточно устойчива к механическим воздействиям и удаляется специальной машиной – «корчевателем». Для опытов нами использована

только корневая часть древесины («торфяной пень»). Получение активированных углей проводили по технологии, принятой для торфа: карбонизация без доступа воздуха до температуры 550 °C со скоростью нагрева 3–5 К/мин, активирование водяным паром во вращающейся реторте из нержавеющей стали при 900 °C со скоростью подачи пара 200 %/ч на сухое вещество кокса до достижения нужной степени обогара.

Характеристика полученных углеродных адсорбентов приведена в табл. 2.

Из таблицы видно, что по сорбционным характеристикам углеродные адсорбенты на основе «торфяного пня» отличаются высокой химической чистотой (содержание зольных элементов не превышает 1 %, а при кислотной промывке снижается до 0,2 %), большими значениями адсорбционной емкости по молекулам как йода (диаметр молекул 0,49 нм), так и красителя метиленового голубого (диаметр молекул 1,2 нм). Кроме того, образцы характеризуются чрезвычайно низкой насыпной плотностью и, естественно, механической прочностью. Показатели прочности не определяли, т.к. образцы планируется использовать в порошкообразном виде.

Для всех образцов определили параметры пористой структуры на ртутно-вакуумной установке по адсорбции стандартного пара – бензола – при 20 °C (рис. 4).

**Таблица 2. Характеристика активных углей из отходов добычи торфа**

№ образца	Обгар общий, %	Выход, %		Зольность, %	Насыпная плотность, г/дм <sup>3</sup>	Адсорбция					
						метиленового голубого		йода			
		на кокс	на сырье			%	мг/г	%	мг/г		
1	37,2	62,8	20,1	0,12	130	33,3	125	56,8	721		
2	53,1	46,9	15,0	0,04	104	65,2	245	69,3	879		
3	65,9	34,1	10,9	0,17	90	71,4	268	71,3	905		
4	72,2	27,8	8,9	1,05	67	91,1	342	81,8	1038		

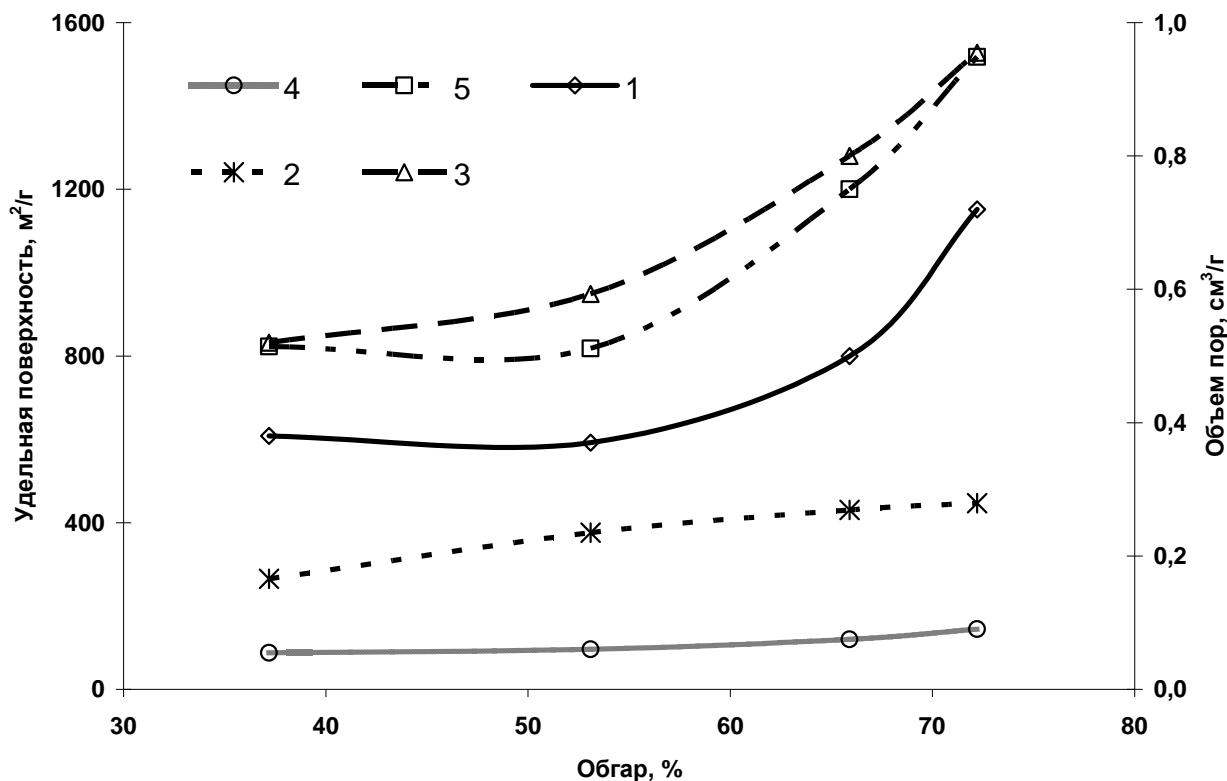


Рис. 4. Зависимость параметров пористой структуры углеродных адсорбентов из «торфяного пня» от степени обгара: 1 – объем микропор по уравнению Дубинина-Астахова,  $V_{DA}$ , см<sup>3</sup>/г; 2 – объем мезопор по адсорбционной ветви,  $V_{me}$ , см<sup>3</sup>/г; 3 – объем сорбирующих пор,  $V_S$ , см<sup>3</sup>/г; 4 – поверхность мезопор из адсорбционной ветви,  $S_{me}$ , м<sup>2</sup>/г; 5 – удельная поверхность по БЭТ,  $S_{BET}$ , м<sup>2</sup>/г

Так как предполагаемым применением данного адсорбента является использование в качестве энтеросорбента и основы катализатора, по изотермам адсорбции было рассчитано распределение мезопор и построен график зависимости распределения от степени обгара (рис. 5).

На рис. 5 видно, что при обгаре 72 % происходит «переактивирование» образца: в области мезопор диаметром 5–8 нм на линии распределения образуется «провал», т.е. поры настолько укрупняются, что пики максимумов смещаются на 10 и 15 нм. Вероятно, при этом обгаре соседние поры соединяются между собой за счет выгорания стенки между ними и размер мезопор увеличивается в два раза. Как и для торфяных углей, оптимальной степенью обгара образцов из «торфяного пня» является обгар 65–68 %.

В табл. 3 приведена сравнительная характеристика углеродных адсорбентов из «торфяного пня» (ТП), активированного угля из древесины берескы (ОУ-А), применяемого в качестве энтеросорбента под маркой «Карболен», обеззоленного угля ОУ-А, применяемого в качестве основы катализатора под маркой ПН, и косточкового активного угля КАУ, применяемого в качестве энтеросорбента.

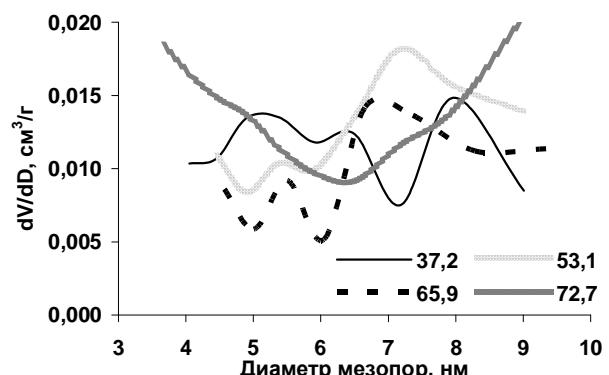


Рис. 5. Распределение мезопор размером до 10 нм углеродных адсорбентов из «торфяного пня», полученных активированием водяным паром до обгаров 37,2–72,7 %

Результаты показывают, что предлагаемые нами образцы углеродных адсорбентов на основе отходов торфодобывающей промышленности находятся на уровне лучших аналогов, выпускаемых в России и Украине.

**Таблица 3. Сравнительные характеристики углеродных адсорбентов на основе торфяного пня (ТП) и выпускаемых в РФ (ПН, ОУ-А) и Украине (КАУ)**

Образец	Зольность, %, не более	Адсорбция метиленового голубого, мг/г, не менее	pH водной вытяжки	Содержание железа, % на Fe <sup>3+</sup> , не более
ТП (исх.)	1,0	250	8–9	0,04
ТП (промыт HCl)	0,2	250	4–6	0,02
ПН (обеззолен)	1,2	210	4–6	0,05
КАУ	2,0	250	8–9	0,05
ОУ-А	10,0	225	8–9	0,20

Исследования выполнены по проекту Х07М-121, профинансированному Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований.

### Л и т е р а т у р а

1. Активные угли. Эластичные сорбенты. Катализаторы, осушители и химические поглотители на их основе. Номенклатурный каталог / Под общ. ред. В. М. Мухина. М., 2003.
2. Глушанков С. Л., Мазина О. И., Жуков В. К., Кутумин В. А. Получение из торфа активных углей осветляющего типа // Углеродные адсорбенты и их применение в промышленности. Ч. 1. Получение углеродных адсорбентов. Пермь, 1987. С. 51–65.
3. Лопаткин Н. А., Лопухин Ю. М. Эфферентные методы в медицине. М., 1989.
4. Мухин В. М., Тарасов А. В., Клушин В. Н. Активные угли России. М., 2000.
5. Олонцев В. Ф. Некоторые тенденции в производстве и применении активных углей в мировом хозяйстве // Химическая промышленность. 2000. № 8 (395).
6. Тарковская И. А. Сто «профессий» угля. Киев. 1990.

**T. D. Dambovskaya, V. K. Zhukov, Yu. V. Medvedeva, L. I. Leonenko**

### **МЕЗОПОРИСТЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ АДСОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ**

Изучены сорбционные свойства и характер пористой структуры активированных углей паровой активации на основе торфяного сырья. Установлено, что наибольшим объемом мезопор обладают адсорбенты на основе малозольного верхового торфа низкой степени разложения и смеси его с равным количеством торфа высокой степени разложения – до 0,3 см<sup>3</sup>/г.

Более перспективными являются углеродные адсорбенты из отхода торфяного производства, т.н. «торфяного пня», обладающие превосходной адсорбционной емкостью по метиленовому голубому, ≥ 300 мг/г, и йоду, ≥ 1000 мг/г. Активированный уголь на основе этого сырья по совокупности характеристик ( $S_{BET} \geq 1000 \text{ м}^2/\text{г}$ ,  $A^d \leq 1,0 \%$ ) находится на уровне углеродной активированной ткани АУТ-М медицинского назначения, и превосходит углеродный носитель катализатора марки ПН и активированный уголь медицинского назначения марки ОУ-А, производимые на основе древесины березы.

**T. D. Dambovskaya, V. K. Zhukov, Yu. V. Medvedeva, L. I. Leonenko**

### **PEAT RAW-MATERIAL-BASED MEZOPOROUS CARBON ADSORBENTS**

*Sorption properties and the character of porous activated carbons structure of steam activation on peat raw material basis have been studied. It has been found that the greatest mesopores volume have adsorbent on the basis of small-ash raised peat of low decomposition degree and its blend with equal high decomposition peat – till 0,3 sm<sup>3</sup>/g.*

*More perspective are carbon adsorbents of peat industry waste, so-called «peat stump», having exclusive adsorption capacity as for methyl blue, ≥ 300 mg/g, and iodine, ≥ 1000 mg/g. The activated carbon on the basis of this raw material in joint characteristics ( $S_{BET} \geq 1000 \text{ m}^2/\text{g}$ ,  $A^d \leq 1,0 \%$ ) is found to be at the level of carbon activated tissue ACT-M of medicine assignment, and exceeds carbon carrier of a catalyst of PN mark and activated carbon of medical purpose OU-A mark produced on birch tree basis.*

**И. В. Дребенкова, Т. Я. Царюк, Т. Д. Дамбовская**

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИРНЫХ КИСЛОТ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ ДЛЯ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ**

*На основе оптимального содержания жирных кислот и товарной присадки для минеральных масел алкилфенольного типа создан ингибитор коррозии для моторных масел, по уровню вытесняющих, защитных, антакоррозионных и термоокислительных свойств не уступающий современным зарубежным аналогам.*

В настоящее время применяются присадки к топливам, имеющие разнообразное назначение, в том числе ингибиторы коррозии, предотвращающие вредное воздействие топлив на топливную аппаратуру, трубопроводы и емкости. Использование ингибиторов для улучшения защитных свойств топлив имеет универсальное значение и является основным способом снижения коррозии в условиях применения топлив, допускающих наличие влаги.

В России в 70-е годы XX в. разработан ряд ингибиторов коррозии, рекомендованных для практического применения в топливах, однако, несмотря на широкий ассортимент защитных присадок, ГОСТ 9.014 устанавливает использование только АКОР-1 и КП [1, 7].

В Беларуси производство ингибиторов коррозии для моторных топлив отсутствует, в то время как проблема защиты от коррозии топливных систем двигателей при длительном хранении и эксплуатации является актуальной.

Цель работы – разработка отвечающего современным требованиям ингибитора коррозии для моторных топлив, предназначенного для консервации топливных систем автотракторной техники с возможным вводом ее в эксплуатацию.

Для создания ингибитора коррозии в данном случае использовали олеиновую кислоту (ОК).

Для повышения уровня защитной эффективности жирных кислот использованы моно-, ди- и триэтаноламины, сульфонатная присадка С-150, алкилфенольные присадки ВНИИ НП-354, ВНИИ НЦ-357 и ВНИИ НП-714 [4, 5, 8].

Сульфонатная присадка С-150 представляет собой коллоидную дисперсию карбоната кальция в масле И-20А, стабилизированную сульфонатом кальция;

присадки ВНИИ НП-354 и ВНИИ НП-357 – растворы диалкилфенилдитиофосфата цинка в масле;

ВНИИ НП-714 – среднешелочная алкилфенольная присадка, представляющая собой коллоидную дисперсию карбоната кальция, стабилизированную сульфиддиалкилфенолятом кальция.

Объектами исследований были защитные композиции ОК и вышеперечисленных товарных присадок в индустриальном масле И-20А в суммарной концентрации 10 % и разработанные ингибиторы в моторных топливах в концентрации 5 %.

Для установления уровня защитной эффективности разработанного ингибитора коррозии по сравнению с зарубежными использовали товарные присадки АКОР-1 (Россия) и Cortec VCI 329 (Германия).

Оценку вязкостных и низкотемпературных свойств объектов исследования проводили стандартными методами испытания нефтепродуктов.

Физическую стабильность разработанных ингибиторов в моторных топливах оценивали по количеству осадка при хранении этих растворов в течение 30 суток при комнатной температуре.

Коррозионные свойства и термоокислительную стабильность объектов исследования по отношению к стали определяли путем окисления воздухом при температуре 60 °С этих образцов с добавлением 10 % воды до появления первых признаков коррозии. Критерием термоокислительной стабильности служило наличие осадка, коррозионной агрессивности – изменения на поверхности стальной пластины.

Вытесняющую способность исследуемых объектов оценивали по ГОСТ 9.054 при воздействии бромистоводородной кислоты. Критерием оценки являлась площадь коррозионного поражения стали, вызванного воздействием оставшейся на ее поверхности бромистоводородной кислоты после погружения стальной пластины в исследуемый раствор.

Защитные свойства объектов исследования определяли по ГОСТ 9.054 на стали 10 в камере влажности и электролите. Критериями оценки служили время до появления первых признаков коррозии, площадь коррозионного поражения и потеря массы стали после удаления продуктов коррозии.

Характер взаимодействия компонентов в изучаемых изопроцентных композициях анализировали методами ИК- и ЭПР-спектроскопии.

Основные требования к разрабатываемому ингибитору коррозии обоснованы с помощью

анализа уровня качества зарубежных ингибиторов для моторных топлив [1,7]:

защитные свойства ингибитора в концентрации 5 % в моторных топливах, сталь 10:

камера влажности – не менее 3 циклов,  
электролит – не менее 5 ч;

вытесняющие свойства ингибитора в концентрации 5 % в моторных топливах, сталь 10:

вытеснение бромистоводородной кислоты – более 50 %.

В последнее время широкое применение находят ингибиторы коррозии из альтернативных источников сырья, в частности растительных масел, животных жиров и продуктов их переработки [2, 6]. По комплексу физико-химических и эксплуатационных свойств наиболее приемлемой для создания ингибитора коррозии к моторным топливам оказалась олеиновая кислота, которая по вытесняющей способности находится на уровне лучших зарубежных ингибиторов, однако по защитной эффективности, особенно при воздействии электролита, уступает им.

Исходя из этого обстоятельства дальнейшие исследования были направлены на создание комбинированного ингибитора коррозии к моторным топливам путем химической модификации олеиновой кислоты для усиления ее за-

щитных свойств. Для этой цели на основании ранее выполненных работ в качестве модификаторов были использованы амины и товарная присадка для минеральных масел сульфонатного типа С-150 [3]. Аминирование ОК проводилиmonoэтаноламином, триэтаноламином или их смесью в соотношении 1:1 с 15 % содержанием аминоспиртов с получением соответственно N-алканоламидов, сложных эфиров или их смеси; защелачивание – присадкой С-150 при ее 40 % концентрации с образованием кальциевых солей олеиновой кислоты. В результате аминирования получены соответственно ингибиторы Олеин М, Т и МТ, защелачивания – МКМ.

Для выявления наиболее эффективного из синтезированных ингибиторов проведена оценка физической и термоокислительной стабильностей, а также вытесняющих, защитных и антикоррозионных свойств их растворов в моторных топливах, в результате анализа которой из синтезированных ингибиторов коррозии для моторных топлив предпочтение было отдано Олеину Т.

Однако испытаниями этого ингибитора на соответствие требованиям ТЗ установлено, что защитная эффективность его раствора в бензине при воздействии на сталь среды электролита не соответствует этим требованиям (табл.1).

**Таблица 1. Результаты оценки вытесняющих и защитных свойств ингибиторов коррозии в моторных топливах**

5 % ингибитора в моторном топливе	Камера влажности, 20 циклов		Электролит, 10 суток		Вытеснение HBr, площадь поражения, %
	ППК, цикл	потеря массы, г/м <sup>2</sup>	ППК, ч	потеря массы, г/м <sup>2</sup>	
Требования ТЗ	Не менее 3,0	–	Не менее 5,0	–	Не более 50
Бензин без ингибитора	0,1	25,5	0,5	15,9	90
АКОР-1	0,3	1,0	0,5	8,3	60
Олеин Т	19,0	0,2	2,5	8,4	2
Дизельное топливо без ингибитора	0,1	18,8	0,5	14,4	98
АКОР-1	3,0	3,4	1,5	9,9	70
Олеин Т	19,0	1,3	8,0	1,9	5

В связи с этим возникла необходимость поиска других маслорастворимых ПАВ в качестве модификаторов жирных кислот.

Анализ результатов изучения химической структуры, функциональных свойств, обеспеченности сырьем и производством товарных присадок для минеральных масел различного функционального назначения Новополоцкого нефтеперерабатывающего производства «Нафтан» показал, что для этой цели могут быть использованы алкилфенольные присадки ВНИИ НП-354, ВНИИ НЦ-357 и ВНИИ НП-714.

Исследованием вытесняющих и защитных свойств изопроцентных композиций ОК с присадкой ВНИИ НП-354 установлено, что они облада-

ют высокой способностью к вытеснению бромистоводородной кислоты, а их защитная эффективность характеризуется экстремальными зависимостями с максимумом защиты в сернистом ангидриде при 6 % содержании присадки, в электролите – при 4 % (рис.1).

Оценка вытесняющей способности композиций ОК с присадкой ВНИИ НЦ-357 показала, что полное вытеснение бромистоводородной кислоты обеспечивается при концентрации присадки не более 2 %. Изменение защитных свойств этих композиций носит экстремальный характер с минимумом потери массы стали при содержании присадки в сернистом ангидриде – 2 %, в электролите – 6 % (рис. 2).

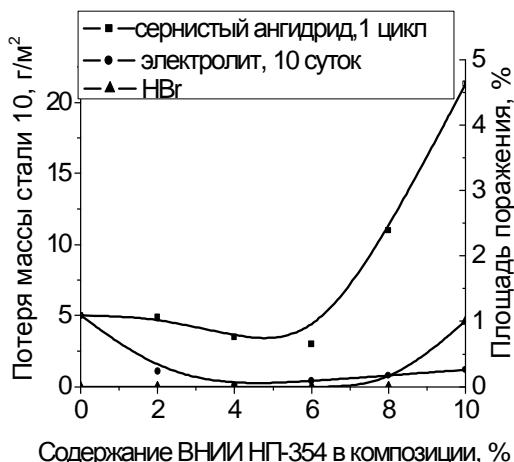


Рис. 1. Зависимость вытесняющих и защитных свойств композиций ВНИИ НП-354 и ОК в масле И-20А от содержания ВНИИ НП-354

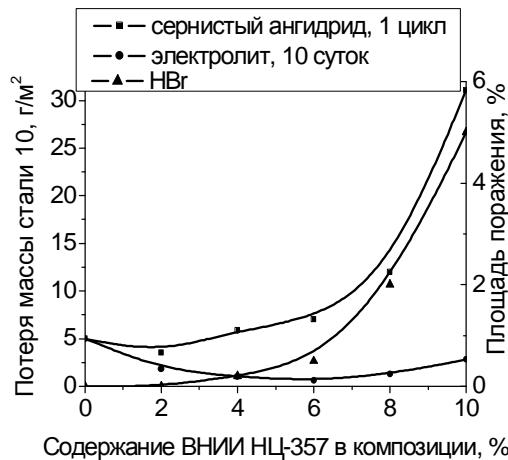


Рис. 2. Зависимость вытесняющих и защитных свойств композиций ВНИИ НЦ-357 и ОК в масле И-20А от содержания ВНИИ НЦ-357

Характер изменения защитной эффективности композиций ОК и присадки ВНИИ НП-714 зависит от типа коррозионной среды. Так, при воздействии сернистого ангидрида защитные свойства композиций снижаются с увеличением концентрации ВНИИ НП-714, в электролите происходит некоторое их повышение при 4 % содержании присадки (рис.3).

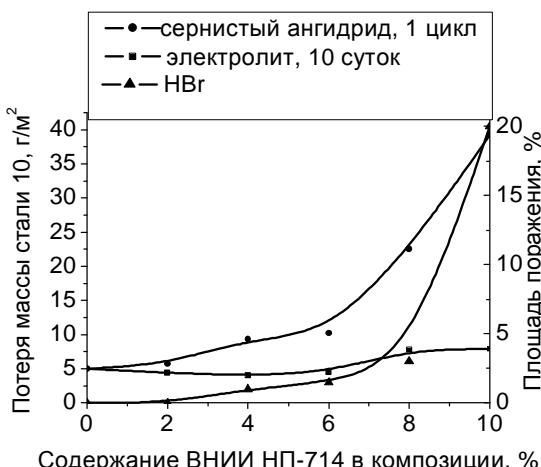


Рис. 3. Зависимость вытесняющих и защитных свойств композиций ВНИИ НП-714 и ОК в масле И-20А от содержания ВНИИ НП-714

Механизм взаимодействия компонентов в изучаемых композициях исследован методами ИК- и ЭПР-спектроскопии. Вид экспериментальной кривой зависимости оптической плотности полосы поглощения свободных карбоксильных групп от содержания ОК в композиции с присадкой ВНИИ НП-714 свидетельствует о химическом взаимодействии. Установлено, что карбоксильные группы ОК взаимодействуют с карбонатным ядром присадки ВНИИ НП-714 с образованием

кальциевых солей олеиновой кислоты. В композициях ОК с присадками ВНИИ НП-354 и ВНИИ НЦ-357 имеет место межмолекулярное взаимодействие, приводящее к образованию лабильных ассоциатов, обладающих повышенной способностью к адсорбционно-хемосорбционному взаимодействию с поверхностью металла.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлена целесообразность применения для модификации олеиновой кислоты присадок ВНИИ НП-354 и ВНИИ НЦ-357, в композициях с которыми зафиксировано явление синергизма их защитных свойств. На основе анализа полученных данных для дальнейшего изучения были изготовлены образцы ингибиторов № 1–4, представляющие собой композиции этих присадок с ОК. Для выявления возможности применения выбранных ингибиторов в моторных топливах проведена комплексная оценка их влияния на физико-химические и эксплуатационные параметры топлив.

Установлено, что введение разработанных ингибиторов в моторные топлива не оказывает существенного влияния на их вязкостную и низкотемпературные характеристики, и эти растворы обладают высокой физической стабильностью.

Исследование влияния разработанных ингибиторов на антикоррозионные свойства и термоокислительную стабильность топлив показало, что наиболее эффективными по первому показателю являются ингибиторы, содержащие присадку ВНИИ НЦ-357. По термоокислительной стабильности разработанные ингибиторы равнозначны.

В результате проверки соответствия ингибиторов требованиям ТЗ установлено, что по вытесняющим и защитным свойствам в среде повышенных влажности и температуры они все

соответствуют им, но в электролите – только ингибитор № 1 (табл. 2).

Анализ и обобщение результатов выполненных исследований позволили разработать состав ингибитора для моторных топлив «Микор», соответствующий образцу № 1.

На созданный ингибитор коррозии для моторных топлив разработаны технические условия и опытно-промышленный регламент его производства. Выпущена опытно-промышлен-

ная партия ингибитора «Микор», которая с положительными результатами прошла приемочные испытания.

Для установления уровня функциональных свойств ингибитора коррозии «Микор» по отношению к товарным аналогам проведена оценка его вытесняющей способности и защитной эффективности по сравнению с российским ингибитором АКОР-1 и немецким Cortec VCI 329 (табл.3).

**Таблица 2. Вытесняющие и защитные свойства разработанных ингибиторов коррозии в моторных топливах**

5 % ингибитора в моторном топливе	Камера влажности, 40 циклов		Электролит, 5 ч		Вытеснение НВр, площадь поражения, %
	ППК, цикл	потеря массы, г/м <sup>2</sup>	ППК, ч	потеря массы, г/м <sup>2</sup>	
Требования ТЗ	Не менее 3,0	–	Не менее 5,0	–	Не более 50
Бензин без ингибитора	0,1	80,0	0,5	1,9	92
АКОР-1	0,3	34,0	0,5	1,6	60
Образец №1	3,5	17,7	Более 5,0	Отс.	Отс.
Образец №2	4,0	17,2	2,0	0,5	Отс.
Образец №3	5,0	15,8	3,0	0,3	Отс.
Образец №4	4,0	16,9	2,0	0,4	Отс.
Дизельное топливо без ингибитора	0,1	63,0	0,5	1,7	98
АКОР-1	3,0	9,8	1,5	1,2	70
Образец №1	55,0	2,1	Более 5,0	Отс.	Отс.
Образец №2	45,0	5,0	3,0	0,3	Отс.
Образец №3	48,0	4,0	3,0	0,4	Отс.
Образец №4	48,0	3,8	2,0	1,0	Отс.

**Таблица 3. Результаты сравнительной оценки вытесняющих и защитных свойств 5 % разработанного ингибитора в моторных топливах**

Показатель качества	Бензин			Дизельное топливо		
	Микор	АКОР-1	Cortec VCI 329	Микор	АКОР-1	Cortec VCI 329
Вытесняющие свойства Вытеснение НВр, площадь коррозионного поражения стали 10, %	Отс.	60,0	Отс.	Отс.	70,0	Отс.
Защитные свойства Камера влажности	5 циклов			60 циклов		
Время защиты стали 10, циклы	3,5	0,3	4,0	55,0	3,0	56,0
Потеря массы, г/м <sup>2</sup>	0,2	3,0	0,2	2,1	10,1	1,6
Электролит	1 сутки					
Время защиты стали 10, ч	5,5	0,5	5,0	24,0	1,5	20,0
Потеря массы, г/м <sup>2</sup>	0,9	2,4	0,6	0,1	2,2	0,3

Исследование вытесняющих свойств ингибиторов показало, что по этой характеристики Микор и Cortec VCI 329 равнозначны и превосходят АКОР-1 почти на два порядка.

При воздействии повышенных влажности и температуры разработанный и немецкий ингибиторы в моторных топливах имеют одинаковую защитную эффективность, время защиты стали ингибионным бензином составляет 3,5–4 цикла, дизельным топливом – 55–56. Защитные свойства АКОР-1 значительно хуже.

В среде электролита сохраняется такая же тенденция: ингибиторы Микор и Cortec VCI 329 обеспечивают практически одинаковое время защиты металла, АКОР-1 уступает разработанному ингибитору в 11–16 раз.

Таким образом, в результате выполненных исследований разработан ингибитор коррозии для моторных топлив «Микор», который по вытесняющим и защитным свойствам значительно превосходит российский ингибитор АКОР-1 и находится на уровне немецкого аналога Cortec VCI 329.

## Л и т е р а т у р а

1. Данилов А. М. Применение присадок в топливах. М., 2005.
2. Дребенкова И. В. Консервационное масло с ингибитором коррозии на основе жирных кислот растительного сырья: Дис. ... канд. техн. наук.. Мин., 2006.
3. Дребенкова И. В., Царюк Т. Я., Иванова Л. А. Использование жирных кислот растительных масел в качестве компонентов комбинированных маслорастворимых ингибиторов коррозии // Материалы 20 междунар. НТК «Химические реагенты. Реагенты и процессы малотоннажной химии», «Реактив-2007». Мин., 2007. С. 131–137.
4. Курило С. М., Главати О. Л., Цукрук В. В., Шилов В. В. Надмолекулярная структура дисперсной фазы детергентных присадок к маслам // Химия и технология топлив и масел. 1990. № 6. С. 25–30.
5. Лиштван И. И., Майко Л. П., Стригуцкий В. П. и др. О механизме синергетического эффекта защитных композиций на основе маслорастворимых ПАВ // Доклады НАН Беларуси. 1999. Т. 43, № 2. С. 110–112.
6. Майко Л. П., Царюк Т. Я. Альтернативные маслорастворимые ингибиторы коррозии и консервационные материалы на их основе // Природопользование. Мин., 2002. № 8. С. 129–143.
7. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справ. / Под ред. В. М. Школьникова. М., 1999.
8. Царюк Т. Я., Дребенкова И. В., Стригуцкий В. П. Товарные присадки для минеральных масел – компоненты комбинированных ингибиторов коррозии // Вестн. Полоцкого гос. ун-та. Сер В. Прикладные науки. 2007. Т. 1. С. 129–132.

**I. V. Дребенкова, Т. Я. Царюк, Т. Д. Дамбовская**

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИРНЫХ КИСЛОТ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ ДЛЯ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ**

*В результате исследований физической и термоокислительной стабильностей, коррозионной агрессивности, вытесняющей способности и защитной эффективности продуктов масложирового производства и ингибиторов коррозии, синтезированных на основе олеиновой кислоты путем защелачивания и аминирования, показано, что даже наиболее эффективный из них не отвечает современным требованиям к ингибиторам для моторных топлив в условиях воздействия электролита. Изучением функциональных свойств изопроцентных композиций олеиновой кислоты с присадками алкилфенольного типа установлено, что для модификации жирных кислот целесообразно использовать присадки ВНИИ НП-354 и ВНИИ НЦ-357. В качестве комбинированных ингибиторов коррозии выбраны наиболее эффективные композиции, испытаниями которых на соответствие техническим требованиям обоснован состав ингибитора коррозии для моторных топлив. Разработаны технические условия ТУ BY 100289079.024–2008 «Ингибитор коррозии «Микор» и опытно-промышленный технологический регламент его производства ТР-П 100289079.009–2008. Опытно-промышленная партия ингибитора, изготовленная ОАО «Завод горного воска», с положительными результатами прошла приемочные испытания. Сравнительная оценка качества разработанного ингибитора коррозии «Микор» с присадкой российского производства АКОР-1 и немецкого Cortec VCI 329 показала, что созданный ингибитор по вытесняющим и защитным свойствам значительно превосходит российский товарный аналог и не уступает немецкому.*

*I. V. Drebenkova, T. Y. Tsaruk, T. D. Dambovskaya*

### **USE OF FAT ACIDS OF VEGETATION OILS TO CREATE CORROSION INHIBITOR FOR MOTOR FUELS**

*As a result of investigation of physical and thermal-oxidative stabilities, corrosion aggression, replacing ability and protective efficiency of oil-fat industry products and corrosion inhibitors, synthesized on the basis of olein acid by alkali and amino adding it has been shown that most effective of them does not meet modern requirements for inhibitors for motor fuels in conditions of electrolyte impact. By studying functional features of izoprocent composites of olein acid with additives of alkilphenol type it has been found that for fat acids modification it is better to use additives VNII NP-354 and VNII NC-357. As combined corrosion inhibitors most effective composites were chosen, testing which for matching technical demands a composition of corrosion inhibitor for motor fuels has been substantiated. Technical conditions TC BY 100289079.024–2008 «Corrosion inhibitor «Mikor» and pilot-industrial technology rules of its production TR-P 100289079.009–2008 have been developed. Pilot-test batch of the inhibitor, produced by Ltd «Mountain Wax Plant» with positive results passed reception tests. A comparative assessment of the quality of the developed corrosion inhibitor «Mikor» with Russian production additive AKOR-1 and German Cortec VCI has shown that the inhibitor designed having replacing and protective properties exceeds greatly a Russian trade analog and does not give in to a German one.*

**Г. М. Бокая**

## ЗАЩИТНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАСЛОРАСТВОРИМОГО ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ ИК-М В ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВАХ И РАСЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫТЕСНЯЮЩИХ СВОЙСТВ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

*Изучены защитные и вытесняющие свойства ингибитора коррозии ИК-М в дизельных топливах. Показано, что созданный на основе сульфонатной присадки и алкилфенола ингибитор обладает эффективностью на уровне российского аналога – ингибитора АКОР-1.*

*Проведен расчет неопределенности измерений вытесняющих свойств дизельного топлива, содержащего ингибитор. Установлено, что коэффициент вариации измерений методом составляет 5 %.*

Временную защиту деталей и узлов техники производят с помощью консервационных материалов, что обеспечивает предохранение их от коррозии при производстве, транспортировке и хранении. Консервационные материалы представлены консервационными маслами, смазками и защитными тонкопленочными покрытиями, активным началом которых являются маслорастворимые ингибиторы коррозии.

При создании маслорастворимых ингибиторов коррозии в качестве защитных компонентов широко используются различные классы химических соединений [1]. В консервационных материалах применяются нейтральные, среднешелочные и высокошелочные сульфонаты из нефтяного или синтетического сырья, обладающие моющими свойствами. Среди них основными являются соли кальция, бария и магния, которые используют в смазочных маслах в концентрации от 2 до 30 % [5, 8].

В республике для приготовления рабочеконсервационных масел разработан маслорастворимый ингибитор коррозии ИК-М на основе сульфонатной присадки и алкилфенола [4].

Цель работы – исследовать возможность использования маслорастворимого ингибитора коррозии ИК-М в дизельных топливах.

Для достижения цели потребовалось изготовить образец ингибитора коррозии ИК-М; исследовать защитные и вытесняющие свойства дизельных топлив, содержащих маслорастворимые ингибиторы коррозии; рассчитать неопределенность измерения вытесняющих свойств дизельного топлива.

В качестве исходного сырья для создания ингибитора коррозии выбраны сульфонатная присадка С-150 [6] и алкилфенол (АФ) [3].

Сульфонатная присадка представляет собой 50 %-ную коллоидную дисперсию карбоната кальция в минеральном масле, стабилизированную сульфонатом кальция.

АФ получают алкилированием фенола полимердистиллятом. Его используют в качестве сырья для производства большинства присадок,

при изготовлении шин и резинотехнических изделий.

Оценку защитных и вытесняющих свойств ингибитора ИК-М проводили в сравнении с товарным ингибитором коррозии российского производства АКОР-1 и немецким концентратом присадок Cortec VCI 329.

Ингибитор коррозии АКОР-1 производит Ярославский нефтеперерабатывающий завод на основе дистиллятных нитрованных масел с добавлением при защелачивании 10±1 % технического стеарина.

На РУП «Минский тракторный завод» используют немецкий концентрат присадок Cortec VCI 329 – концентрат высокоеффективных органических ингибиторов коррозии низкой вязкости, носитель – минеральное масло. Концентрат предназначен для защиты от коррозии как черных, так и цветных металлов. Продолжительность защиты зависит от толщины нанесенного слоя и составляет до 2 лет при хранении на складе без упаковки.

При проведении испытаний образца ингибитора в качестве объектов исследования использованы дизельные топлива: топливо «Л» – летнее с содержанием серы до 1,00 % применяется при температурах окружающего воздуха 0 °C и выше; топливо «ДЛЭЧ» – летнее экологически чистое с содержанием серы до 0,05 %.

Физико-химические свойства объектов изучали стандартными методами испытаний нефтепродуктов, защитные свойства – методами ГОСТ 9.054-75 на стали 10 в сернистом ангидриде, электролите, вытесняющие – при воздействии 0,1 %-ного раствора бромистоводородной кислоты. Критерием оценки служили площадь коррозионного поражения, выраженная в % (здесь и далее % масс.), и потеря массы стальной пластины (г/м<sup>2</sup>).

Физико-химические свойства сульфонатной присадки С-150 и алкилфенола изменяются в широких пределах (табл. 1).

Анализ данных показывает, что исходные компоненты по физико-химическим свойствам

соответствуют требованиям технических условий (ТУ). Изготовление образца ингибитора ИК-М проведено в соответствии с комплектом доку-

ментов на единичный технологический процесс производства ингибитора (табл. 2).

**Таблица 1. Физико-химические свойства исходных компонентов**

Показатель	Присадка С-150		Продукт АФ	
	норма по ТУ	фактически	норма по ТУ	фактически
Внешний вид	Маслянистая жидкость	Маслянистая жидкость	Маслянистая жидкость	Маслянистая жидкость
Вязкость кинематическая при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с	Не более 50	45	–	–
Температура вспышки в открытом тигле, °С	Не ниже 180	190	Не ниже 120	130
Массовая доля воды, %	Не более 0,12	0,10	–	–
Массовая доля механических примесей, %	Не более 0,08	0,06	Не более 0,1	0,08
Массовая доля фенола, %	–	–	Не более 1,0	0,7
Массовая доля диалкилфенолов, %	–	–	Не более 15	12

**Таблица 2. Физико-химические и защитные свойства образца ингибитора коррозии ИК-М**

Показатель	Норма ТУ	Фактически
Внешний вид	Маслянистая жидкость темно-коричневого цвета	Маслянистая жидкость темно-коричневого цвета
Условная вязкость при 20°C по ВЗ-4, с	Не более 200	195
Температура вспышки в открытом тигле, °С	Не ниже 160	160
Массовая доля воды, %	Отсутствие	Отсутствие
Массовая доля механических примесей, %	Не более 0,12	0,10
Время защиты стали 10 в камере влажности*, циклы камера сернистого ангидрида, цикл, % коррозионного поражения, не более электролит, 5 суток, потеря массы, г/м <sup>2</sup> , не более	Не менее 30 75 6,0	55 65 4,8
Воздействие НВч за 4 ч, % коррозионного поражения, не более	40	35

\* Защитные свойства моторного масла М-10Г2к, содержащего 10 % ингибитора ИК-М.

Изготовленный образец ингибитора ИК-М находится в пределах норм и требований ТУ.

Для сравнительной оценки защитных и вытесняющих свойств ингибиторов проведены испытания, результаты которых представлены в табл. 3.

Установлено, что введение в концентрации 5 % ингибитора ИК-М повышает уровень защитных свойств дизельных топлив в сернистом ангидриде в 1,6–3,2 раза; в камере влажности – в 6,5–22,2 раза; в электролите – в 1,5–2,0 раза, и по эффективности он находится на уровне российского аналога – ингибитора АКОР-1. Немецкий концентрат проявляет в указанных средах более высокие защитные свойства.

При воздействии бромистоводородной кислоты практически все образцы имеют одинаковую площадь коррозионного поражения, за исключением немецкого концентрата, который полностью вытесняет кислоту с поверхности металла.

Проведен расчет неопределенности измерений вытесняющих свойств дизельного топлива, содержащего ингибитор коррозии [2, 7]. Метод основан на способности вытеснять агрессивный электролит с поверхности пластины.

Используемое оборудование, материалы и реактивы: весы ВЛР 200 класса точности 2; посуда мерная стеклянная лабораторная; химические реактивы марки х.ч. или ч.д.а.

**Таблица 3. Эффективность ингибиторов коррозии в дизельных топливах**

Название и содержание ингибитора в топливе, %	Камера сернистого ангидрида *, 1 цикл		Камера влажности, 40 циклов		Электролит, 1 сутки		Воздействие НВЧ, 4ч
	потеря массы стали10, г/м <sup>2</sup>	площадь коррозионного поражения, %	потеря массы стали10, г/м <sup>2</sup>	площадь коррозионного поражения, %	потеря массы стали10, г/м <sup>2</sup>	площадь коррозионного поражения, %	
Дизельное топливо «ДЛЭЧ»							
Без ингибитора	20,2	95	176,1	98	3,9	60	70
АКОР-1,1	16,9	90	125,4	95	3,5	55	60
То же, 3	7,9	65	45,7	75	3,1	50	50
-«-, 5	6,9	60	30,5	25	2,8	40	35
ИК-М, 1	15,0	85	120,1	95	3,0	50	60
То же, 3	7,1	60	40,6	70	2,1	30	45
-«-, 5	6,3	60	27,1	20	1,9	30	30
Cortec VCI 329, 5	2,6	40	15,6	10	1,0	25	Отсутствие
Дизельное топливо «Л»							
Без ингибитора	28,1	95	51,2	80	3,3	50	70
АКОР-1, 1	25,0	95	31,3	30	3,0	50	50
То же, 3	21,4	95	4,1	15	2,9	50	25
-«-, 5	19,8	95	2,7	5	2,5	35	25
ИК-М, 1	23,7	95	30,2	25	2,8	40	50
То же, 3	20,6	95	3,7	10	2,4	35	25
-«-, 5	17,2	90	2,3	5	2,2	30	25

\* При концентрации сернистого ангидрида в 10 раз меньше стандартной.

#### Модель измерения.

Построение графической зависимости вида:

$$y = a + bx, \quad (1)$$

где  $x$  – концентрация ингибитора коррозии  $C_{\text{инг}}$ ,  
 $y$  – площадь коррозионного поражения пластины.

$$C_{\text{инг}} = \frac{m_i P \cdot 100}{M_d}, \quad (2)$$

где  $m_i$  – масса ингибитора;  $M_d$  – масса дизельного топлива;  $P$  – степень чистоты ингибитора.

#### Выявление источников погрешности.

1. Степень чистоты ингибитора.

Согласно ТУ 100649721.039-2002 содержание основного компонента ингибитора 99,88 %, отсюда степень чистоты  $P = 0,999; 0,999 \pm 0,001$ .

2. Погрешность аналитических весов равна  $\pm 0,75$  мг.

Исходные данные представлены в табл. 4.

**Таблица 4. Исходные данные**

Величина $X_i$	Обозначение	Единица измерения	Стандартное отклонение
Степень чистоты ингибитора	$P$	–	0,00057
Масса ингибитора	$m$	г	0,00433

#### Исходные величины некоррелированные.

3. Суммарная погрешность растворов ингибитора в дизельном топливе рассчитана по формуле [2, 7], и данные представлены в табл. 5.

$$\text{И}(C_{\text{инг}}) = Ci \sqrt{(u(P)/P)^2 + (u(m)/m)^2}. \quad (3)$$

**Таблица 5. Расчетные данные относительной суммарной погрешности**

Концентрация ингибитора коррозии в дизельном топливе ( $C_i$ ), %	Относительная суммарная погрешность И ( $C_i$ ), %
0	0,0
1	0,00057
2	0,00114
3	0,00171
4	0,00228
5	0,00285

Относительная суммарная погрешность концентрации ингибитора в дизельном топливе колеблется от 0,0000 до 0,0029.

4. Для построения графической зависимости сведены в табл. 6.

Расчет значений коэффициентов  $a$  и  $b$  для графической зависимости и их коэффициента корреляции  $r(a, b)$  произведен с помощью метода наименьших квадратов по формулам [2, 7]:

$$a = 68,7142; b = -6,6857; r(a, b) = 0,8257.$$

Получено уравнение:

$$y = 68,7142 - 6,6857 C_{\text{инг}}. \quad (4)$$

**Таблица 6. Данные и расчеты параметров графической зависимости**

№ эксперимента	Концентрация ингибитора в дизельном топливе, %, $C_i$	Площадь коррозионного поражения пластины из стали 10, %, $y_i$	$y_{\text{среднее}}$
1	0	70	
2	0	73	70,0
3	0	67	
4	1	60	
5	1	63	60,0
6	1	57	
7	2	55	
8	2	57	55,0
9	2	53	
10	3	50	
11	3	48	50,0
12	3	52	
13	4	42	
14	4	40	42,0
15	4	44	
16	5	36	
17	5	35	35,0
18	5	34	
$\Sigma$	45	936	

Обычно считается, что уравнение приемлемо, если коэффициент корреляции больше или равен 0,7, коэффициент эффективности больше или равен 2, а коэффициент вариации меньше или равен 12 %.

Определены значения дисперсий в нулевой точке и адекватности  $S_o^2 = 46,4706$  и  $S_{\text{ад}}^2 = 7,7619$ , среднее квадратическое отклонение опыта  $S_o = 6,8169$  и среднее квадратическое отклонение, характеризующее точность полученной зависимости  $S_t = 2,786$ .

Найдено расчетное значение критерия Фишера по формуле:

$$F_p = S_o^2 / S_{\text{ад}}^2 = 5,987 \quad (5)$$

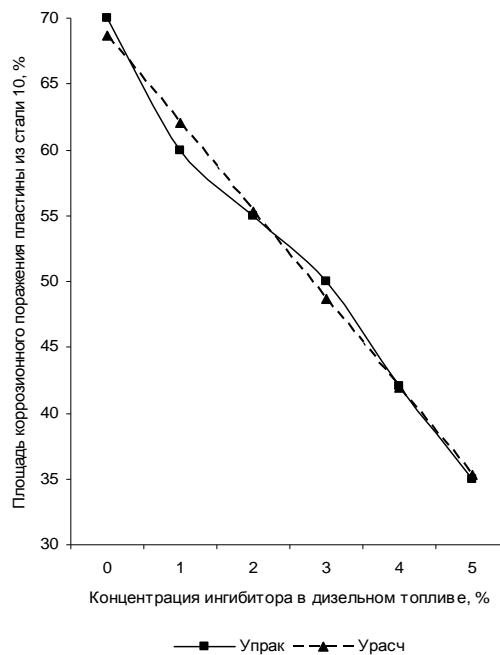
Если расчетное значение критерия Фишера меньше или равно табличному, в данном случае  $F_t = 18,5$ , то считается, что полученное уравнение пригодно для описания параметра, то есть вытесняющих свойств дизельного топлива.

Рассчитан коэффициент вариации по формуле:

$$K_v = S_t / y_{\text{среднее}} \cdot 100, \% \quad (6)$$

Коэффициент вариации равен 5,4 %.

Построен график зависимости вытесняющих свойств дизельного топлива от содержания ингибитора (рисунок).



#### Зависимость вытесняющих свойств дизельного топлива от содержания ингибитора коррозии

Экспериментально полученная зависимость близка к расчетной. Введение ингибитора коррозии в концентрации 5 % улучшает вытесняющие свойства дизельного топлива в 2 раза.

В соответствии с ГОСТ 9.054-75 расхождение результатов испытаний на отдельных пластинах не должно превышать 20 %; коэффициент вариации измерений вытесняющих свойств дизельного топлива, содержащего ингибитор, составляет 5 %. Данные, полученные в результате эксперимента, находятся в пределах погрешности ГОСТ.

#### Заключение

1. Исследованы защитные и вытесняющие свойства ингибиторов коррозии. Показано, что по защитной эффективности в дизельных топливах ингибитор коррозии ИК-М находится на уровне российского ингибитора АКОР-1, при воздействии бромистоводородной кислоты немецкий ингибитор полностью вытесняет кислоту с поверхности металла.

2. Проведен расчет неопределенности измерений вытесняющих свойств дизельного топлива, содержащего ингибитор коррозии. Установлено, что коэффициент вариации измерений метода составляет 5 % и находится в пределах погрешности ГОСТ 9.054-75.

### Л и т е р а т у р а

1. Алцыбеева А. И., Левин С. З. Ингибиторы коррозии. Л., 1968.
2. Боровиков В. П., Ивченко Г. И. Прогнозирование в системе STATISTICA в среде WINDOWS: Учеб. пособие. М., 1999.
3. Государственная система стандартизации Республики Беларусь. Алкилфенол. ТУ РБ 05778477-24-93. Введ. 02.04.93. Мин.: Госстандарт: Бел. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1993.
4. Ингибитор коррозии для приготовления рабоче-консервационных масел: пат. 10788 Республика Беларусь, МПК 7 C1 / Л. А. Глазков, Л. П. Майко, Г. М. Бокая, В. В. Мулярчик, В. Г. Константинов, Л. А. Иванова, А. В. Сиводед, К. М. Алексейчик, А. А. Табулин; заявитель Ин-т пробл. использования природ. ресурсов и экологии НАН Беларуси; Белорусский национальный технический университет; Научно-техническое и производственно-внедренческое общество с ограниченной ответственностью «Токема». № а 20021077; заявл. 16.01.03; опубл. 30.06.08 // Афіцыйныя блюл. / Нац. цэнтр інтелектуал. уласнасці. 2008. № 3. С. 106.
5. Кулиев А. М. Химия и технология присадок к маслам и топливам. Л., 1985.
6. Присадка С-150. ТУ 38. 101685-84.
7. Стрекалов П. В., Митягин В. А. Применение статистических методов для анализа защитной способности консервационных средств и прогнозирование срока их службы // Защита металлов. 1995. Т. 31, № 5. С. 489–496.
8. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справочник / И. Г. Анисимов, К. М. Бадыштова, С. А. Бнатов и др.: Под ред. В. М. Школьникова. М., 1999.

**Г. М. Бокая**

### **ЗАЩИТНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАСЛОРАСТВОРИМОГО ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ ИК-М В ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВАХ И РАСЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫТЕСНЯЮЩИХ СВОЙСТВ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА**

*При создании маслорасторимых ингибиторов коррозии в качестве защитных компонентов широко используют различные классы химических соединений. В республике разработан ингибитор коррозии ИК-М на основе сульфонатной присадки и алкилфенола, применяемый в качестве ингибитора для приготовления рабоче-консервационных масел.*

*Показана возможность использования маслорасторимого ингибитора коррозии ИК-М в дизельных топливах.*

*При проведении испытаний образца ингибитора в качестве объектов исследования использованы дизельные топлива марок «ДЛЕЧ» и «Л».*

*Исследованы защитные и вытесняющие свойства ингибиторов коррозии. Показано, что по защитной эффективности в сернистом ангидриде и электролите в дизельных топливах ингибитор коррозии ИК-М находится на уровне российского ингибитора АКОР-1, при воздействии бромистоводородной кислоты немецкий ингибитор полностью вытесняет кислоту с поверхности металла.*

**G. M. Bokaya**

### **PROTECTIVE EFFICIENCY OF OIL-SOLUBLE CORROSION INHIBITOR CI-O IN DIESEL FUELS AND CALCULATION OF PROBABILITY OF MEASUREMENT OF REPLACING FEATURES OF DIEZEL FUEL**

*When designing oil-soluble corrosion inhibitors various classes of chemical compounds are widely used as protective components. In the republic, a corrosion inhibitor IC-O on the basis of sulphonate and alkyl-phenol, used as an inhibitor to prepare work-conservation oils has been developed.*

*A possibility to use oil-soluble corrosion inhibitor IC-O in diesel fuels has been shown.*

*When testing a corrosion inhibitor sample diesel fuels «DLEC» and «L» marks have been used as research objects.*

*Protective and replacing features of corrosion inhibitors have been investigated. It has been shown that regarding protective efficiency in sulphonate anhydrite and electrolyte in diesel fuels a corrosion inhibitor IC-O is on the level of Russian AKOR-1 inhibitor, under the impact of brome-hydrogen acid a German inhibitor replaces completely acid from the metal surface.*

**К. А. Агутин, А. Г. Бровка, И. Н. Дорожок, И. И. Ивашкевич**

## **ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПОЧВ И ГРУНТОВ ТЕРРИТОРИИ ПОДРАБОТКИ ШАХТНОГО ПОЛЯ КРАСНОСЛОБОДСКОГО УЧАСТКА СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ**

*Представлена база данных, которая содержит характеристики тепломассопереноса почв и грунтов первого водоносного горизонта с территории подработки шахтного поля Красносlobодского рудника Старобинского месторождения калийных солей, включающая табличные данные и аппроксимирующие зависимости характеристик сорбции и тепло- и массопереноса (количества незамерзшей воды, коэффициента коммуникации жидкой фазы, коэффициента фильтрации мерзлой породы, коэффициента распределения водорасторимого соединения в породе, коэффициента теплопроводности, объемной теплоемкости, коэффициента диффузии влаги) от определяющих их параметров (температуры, гидростатического давления, концентрации водорасторимых соединений, плотности скелета породы, влагосодержания, удельных объемов веществ, участвующих в процессе переноса). Разработан программный модуль, который позволяет получать значения заданной характеристики в зависимости от типа почвы или грунта, температуры, влагосодержания, концентрации минеральных водорасторимых соединений.*

Данные экологического мониторинга свидетельствуют о том, что ореолы загрязнения окружающей среды хлоридами калия и натрия в районе добычи калийных руд с течением времени расширяются в горизонтальном и вертикальном направлениях. Этому способствуют естественная неоднородность ландшафта и техногенные просадки дневной поверхности почв вследствие выемки больших объемов пород из земных недр, в результате чего происходит заболачивание местности, изменяется рельеф, динамика поверхностных и грунтовых вод, растительность; за счет поверхностного стока и переноса по верхним водоносным пластам соли локализуются на пониженных участках и могут попадать в водотоки и колодцы.

В настоящее время вводится в эксплуатацию Краснослободский участок Старобинского месторождения калийных солей. При этом необходимо разрабатывать сценарии трансформации геосистем в результате добычи калийных руд на указанном объекте на ближайшую и отдаленную перспективу.

Основными параметрами состояния окружающей среды, определяющими функционирование фито- и биоценозов, а также пригодности ее для производства сельскохозяйственной продукции и условий обитания человека, являются температура, влагосодержание и концентрация водорасторимых соединений в деятельном слое почвогрунтов и водоносных горизонтах. Поэтому компьютерное моделирование представляется наиболее эффективным и достоверным способом прогноза трансформации природной среды на основе численных решений и визуализации

процессов переноса тепла, влаги и водорасторимых соединений в исследуемых объектах.

Одна из основных задач при разработке компьютерных методов прогноза процессов тепломассопереноса в почвах и грунтах – обеспечение соответствующих математических моделей данными по характеристикам тепломассопереноса. Сложность задачи состоит в том, что эти характеристики сильно варьируют в зависимости от типов почв и грунтов, а также от изменяющихся в процессе переноса параметров, таких как температура, влагосодержание, концентрация водорасторимых соединений.

Для использования данных по характеристикам тепломассопереноса почв и грунтов в программных средствах необходимо экспериментальными методами получить соответствующие зависимости, произвести их аппроксимацию и сформировать базу данных, включающую аналитические зависимости и параметры аппроксимации.

В данной работе представлена база данных, которая содержит параметры по характеристикам тепломассопереноса почв и грунтов с территории подработки шахтного поля Краснослободского рудника Старобинского месторождения калийных солей. Полученная информация используется в программах, моделирующих процессы переноса тепла, влаги, водорасторимых соединений на территории подработки шахтного поля.

### **Объект исследования**

Для учета влияния динамики температурно-влажностного режима почвенного покрова, определяемой метеорологическими условиями, на формирование поверхностного стока, инфильтрации влаги и миграции водорасторимых

соединений в горизонтальном и вертикальном направлениях в лабораторных условиях исследованы характеристики тепло- и массопереноса образцов почв, отобранных при экспедиционных обследованиях изучаемого объекта (рис. 1).

Анализ топографической информации и данных по геологоразведочным работам показывает, что общая площадь территории, оказавшейся в зоне влияния отработки шахтного поля Краснослободского рудника, составляет порядка 70 км<sup>2</sup>. В центральной части данной территории

абсолютные отметки поверхности земли составляют 182 м, а на периферийных участках не превышают 160 м. На западе и северо-западе зоны влияния Краснослободского рудника находится сеть мелиоративных каналов, которые впадают в речки Вызенка и Волка, которые в свою очередь впадают в Краснослободское водохранилище. На востоке сеть мелиоративных каналов разгружается в речку Сивельга, которая впадает в Солигорское водохранилище.

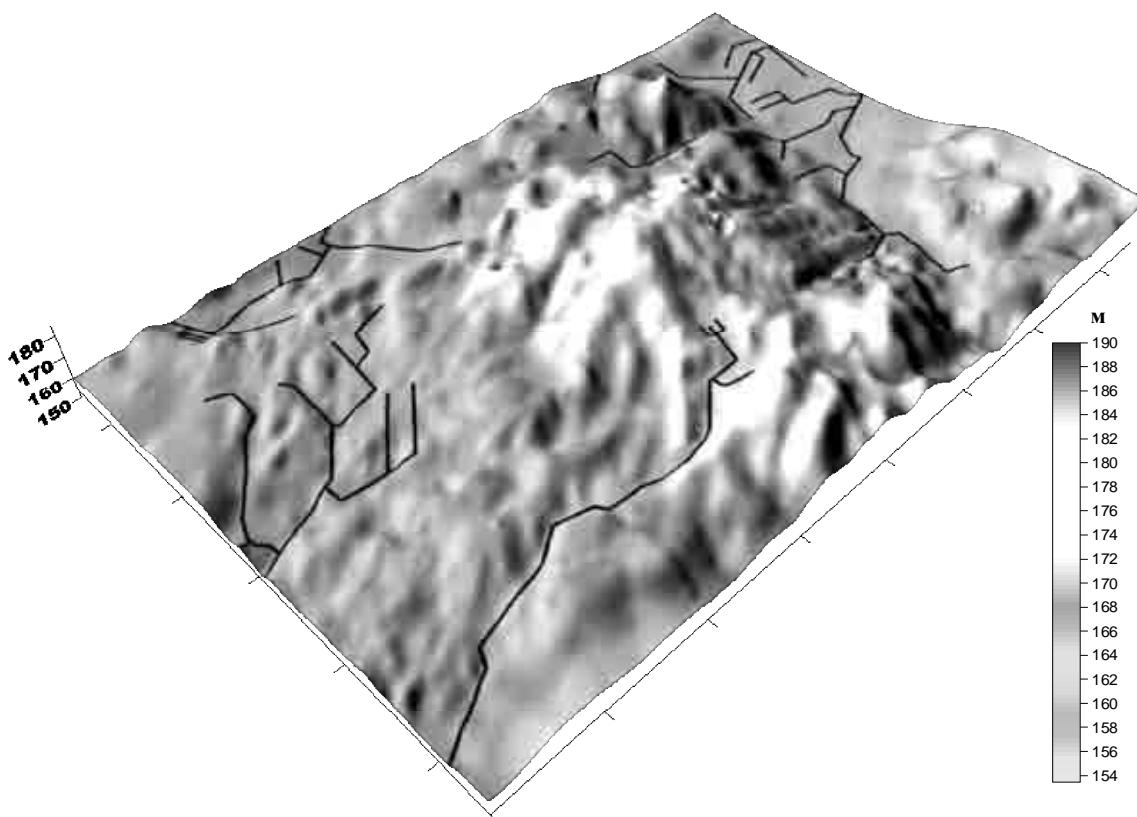


Рис. 1. Рельеф поверхности Краснослободского рудника

При формировании базы данных учтены особенности геологического строения зоны активного водообмена изучаемого объекта. Зона активного водообмена включает почвенный покров, первый водоносный горизонт и горизонт четвертичных отложений. Зону активного водообмена подстилают породы с низкой влагопроницаемостью, такие как глины, мел, мергель.

Почвенный покров описываемой территории в основном представлен тремя типами почв автоморфного и полугидроморфного рядов: дерново-подзолистыми, дерново-подзолистыми заболоченными и дерново-глееватыми (80 %). В структуре почвенного покрова значительная доля приходится на автоморфные дерново-подзолистые почвы, сформированные на супесчаных и песчаных породах. Есть мелиорирован-

ные торфяные почвы, занимающие сравнительно небольшие площади. Однако эти почвы находятся в локально пониженных участках рельефа и играют важную роль в формировании гидрологического режима территории. В рамках данной работы рассмотрены в основном широко развитые типы почв, приуроченные к элементам рельефа исследуемой территории, которые представляется возможным выделить (и экстраполировать), исходя из допущения, что топографически и генетически сходные элементы рельефа несут аналогичные типы и разности почв и растительности.

Первый водоносный горизонт в центральной части объекта, которая составляет около 70 % рассматриваемой площади, представлен моренной супесью с включениями гравия и галь-

ки. Мощность этого слоя – 15–25 м. На периферийных участках объекта первый водоносный горизонт представлен аллювиальными, озерно-аллювиальными и флювиогляциальными отложениями в виде песков и супесей.

#### *Методы и результаты исследования*

По методикам, разработанным в лаборатории физико-химической механики природных дисперсных систем ИГИПРЭ НАН Беларуси, были экспериментально определены характеристики переноса тепла, влаги и водорастворимых соединений в типичных почвах и грунтах первого водоносного горизонта территории подработки шахтного поля Краснослободского рудника Старобинского месторождения.

На первом этапе работы было проведено исследование водно-физических и физико-химических свойств образцов отобранных почв. Определены естественное влагосодержание, полная влагоемкость, относительное количество органической составляющей, кислотность дисперсионной среды (рН) и электропроводность. Полученные данные представлены в табл. 1. Из приведенных данных видно, что дерново-подзолистые почвы, которые составляют 80 % рассматриваемой территории, обладают наиболее низкой водоудерживающей способностью. Полная их влагоемкость изменяется в пределах

от 0,25 до 0,34 кг/кг, молекулярная влагоемкость – от 0,03 до 0,05 кг/кг. Количество органической составляющей в них не превышает 2 %. Кислотность их вытяжки изменяется в пределах 6,8÷7,7. Дерново-глеевые почвы обладают более высокой водоудерживающей способностью по сравнению с дерново-подзолистыми; полная влагоемкость – 0,32÷0,48, молекулярная влагоемкость – 0,04÷0,10 кг/кг. Кислотность вытяжки дерново-глеевых почв изменяется в пределах 6,9÷7,25. Дерново-подзолистые заболоченные почвы характеризуются более высоким содержанием органической составляющей и благодаря этому обладают более высокой водоудерживающей способностью по сравнению с дерново-подзолистыми и дерново-глеевыми. Полная влагоемкость дерново-подзолистых заболоченных почв изменяется от 0,49 до 0,70 кг/кг, а молекулярная влагоемкость их составляет 0,10÷0,11 кг/кг. В ряде пониженных мест встречаются торфяные почвы, водоудерживающая способность которых определяется соотношением органической и минеральной составляющих. Полная влагоемкость таких почв изменяется от 1,0 до 3,5 кг/кг, кислотность вытяжки – от 6,5 до 7,3.

**Таблица 1. Водно-физические и физико-химические характеристики образцов почв**

№ обр.	Тип почвы	Естественное влагосодержание, кг/кг	Полная влагоемкость, кг/кг	Молекулярная влагоемкость, кг/кг	К-во орг. состав., %	pH водной вытяжки	Концентр. K <sup>+</sup> , мг/кг	Концентр. Na <sup>+</sup> , мг/кг
1	Дерново-глееватая	0,17	0,32	0,04	4	7,25	155	142
1a	"	0,19	0,36	0,06	5	6,9	131	123
9	"	0,40	0,46	0,009	8	7,2	102	84
9a	"	0,42	0,48	0,10	8	7,3	105	88
16	Дерново-подзолистая	0,15	0,25	0,03	2	6,9	102	88
2	"	0,18	0,26	0,03	2	6,8	202	44
3	"	0,22	0,29	0,03	2	6,9	153	51
5	"	0,23	0,29	0,04	2	7,75	354	83
6	"	0,22	0,30	0,04	2	7,70	316	87
8	"	0,23	0,30	0,05	2	7,6	105	121
7	"	0,19	0,31	0,04	2	7,5	108	124
12	"	0,18	0,31	0,04	2	7,4	224	91
13	"	0,17	0,33	0,04	2	7,2	150	91
17	"	0,27	0,34	0,05	2	7,1	106	91
11	Дерново-подзолистая	0,27	0,40	0,08	7,1	7,2	112	120
19	"	0,36	0,49	0,11	8	7,15	114	62
4	Дерново-подзолистая, заболоченная	0,27	0,40	0,07	2	6,3	102	32
15	"	0,31	0,46	0,10	10	7,6	88	95
14	"	0,31	0,49	0,11	12	7,6	101	98
10	"	0,52	0,70	0,11	12	7,35	75	94
18	Торфяная	0,80	1,05	0,27	48	7,3	101	53
18a	"	0,93	1,15	0,29	53	7,3	105	56
15a	"	2,5	3,5	0,65	80	6,5	94	63

С помощью калориметрической установки и устройства для определения коэффициентов теплопроводности определены зависимости количества незамерзшей воды от температуры и коэффициенты теплопроводности в талом и мерзлом состояниях почвенного покрова и основных пород первого водоносного горизонта. Полученные данные представлены в табл. 2 и на рис. 2, 3. Видно, что коэффициенты теплопроводности почв и пород первого водоносного горизонта, содержащих в своем составе незначительное количество органической составляющей, с переходом из талого в мерзлое состояние увеличиваются не более чем на 20 %. Это объясняется относительно высокими коэффициентами теплопроводности и преобладанием минеральной составляющей. При наличии в почвах существенного количества органической составляющей коэффициенты теплопроводности с переходом в мерзлое состояние увеличиваются в 1,5–2,5 раза.

В отношении зависимости количества незамерзшей воды от температуры можно выделить три группы почв, которые отличаются диапазоном изменения количества незамерзшей воды (рис. 2). В первой группе, где органическая

составляющая достигает порядка 50 %, количество незамерзшей воды изменяется от 0,16 до 0,30 кг/кг. Во второй группе почв с органической составляющей до 8–12 % количество незамерзшей воды изменяется от 0,07 до 0,12 кг/кг. В третьей группе, где количество органической составляющей не превышает 2 %, количество незамерзшей воды изменяется от 0,02 до 0,07 кг/кг. Необходимо также отметить, что в образцах торфяной залежи, где органическая составляющая достигает 80 %, количество незамерзшей воды в диапазоне температуры -20...-1 °C изменяется от 0,30 до 0,60 кг/кг. На рис. 2 эти данные не представлены, но учтены в таблицах аппроксимирующих параметров по незамерзшей воде.

Следует обратить внимание, что количество незамерзшей воды в исследованных почвах коррелирует с молекулярной влагоемкостью этих почв, приведенной в табл. 1. Поэтому данные по количеству незамерзшей воды в почвах и грунтах представляют интерес не только в отношении теплофизических характеристик при отрицательной температуре, но и в отношении их воднофизических характеристик при положительной температуре.

**Таблица 2. Обобщенные теплофизические характеристики почв и грунтов первого водоносного горизонта территории Краснослободского рудника**

Характеристика образца	Объемная масса скелета грунта, кг/м <sup>3</sup>	Влагосодержание, кг/кг	Объемная масса, кг/м <sup>3</sup>	Коэф. теплопроводности, Вт/(м·К)		Удельная теплоемкость скелета грунта, Дж/(кг·К)
				t = +10 °C	t = -10 °C	
Дерново-подзолистая почва	1634	0,199	1960	2,01	2,30	1110
Дерново-подзолистая заболоченная почва	1468	0,253	1840	1,53	1,70	1200
Дерново-глееватая почва	1668	0,185	1976	1,83	2,05	1150
Торфяная почва	756	0,800	1360	0,72	1,25	1500
Моренная супесь с примесью гравия и гальки (gt II sz)	1552 1706	0,035 0,225	1606 2090	0,93 2,38	1,03 2,80	820 820
Флювиогляциальные пески (f II sz)	1770 1878	0,035 0,150	1833 2160	1,63 2,60	1,84 3,05	780 780
Озерно-аллювиальная супесь (al III-IV)	1835 1905	0,068 0,139	1960 2170	1,91 2,51	2,20 2,80	850 850
Болотные отложения, торф (b IV)	200 180	2,00 4,00	600 900	0,25 0,50	0,48 1,36	2100 2100

На рис. 3 приведены данные по количеству незамерзшей воды в горных породах первого водоносного горизонта. Видно, что в исследованных породах количество незамерзшей воды изменяется от 0,01 до 0,08 кг/кг. При этом количество незамерзшей воды сравнительно большее в моренной супеси, а наименьшее – в флювиогляциальных песках, озерно-аллювиальная супесь занимает промежуточное положение.

Для расчета конвективно-диффузационного переноса минеральных водорастворимых соединений определен комплекс характеристик сорб-

ции и переноса, таких как коэффициент распределения  $K_d$ , характеризующий соотношение в равновесном состоянии количества водорастворимого соединения сорбированного твердой фазой почвогрунтов и количества этого соединения, находящегося в поровом растворе, и коэффициент коммуникации водопроводящих путей  $K_c$ , характеризующий диффузционную проводимость жидкой фазы. Коэффициент распределения  $K_d$  определялся путем отжима порового раствора из породы с помощью центрифугирования. Затем, определяя удельное содержание элемента в от-

жатом поровом растворе и влажном твердом остатке, вычисляли  $K_d$  по формуле

$$K_d = \frac{C_{\text{вм}}(1+W)}{C_p} - W, \quad (1)$$

где  $C_{\text{вм}}$  – удельная концентрация элемента в расчете на единицу массы влажного материала твердого остатка;  $C_p$  – удельная концентрация элемента отделенного центрифугированием порового раствора;  $W$  – влагосодержание твердого остатка после центрифугирования.

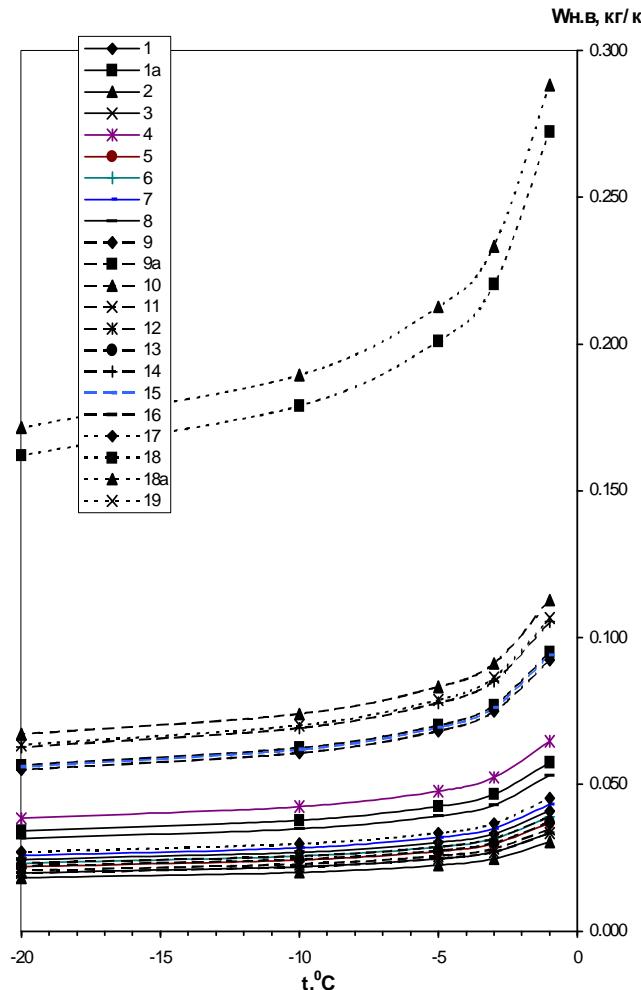


Рис. 2. Зависимость количества незамерзшей воды в почвах от температуры  
(нумерация образцов соответствует табл. 1)

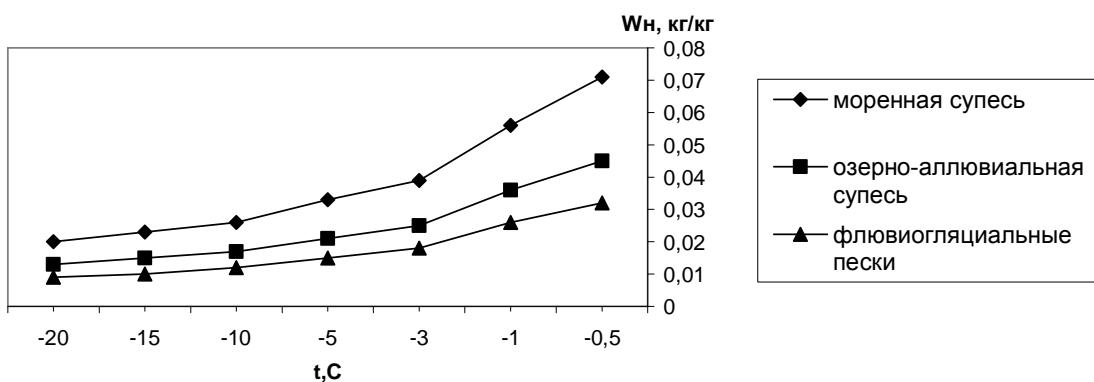


Рис. 3. Зависимость количества незамерзшей воды от температуры в грунтах первого водоносного горизонта

В табл. 3 представлены данные по коэффициентам распределения  $K^+$  в образцах почв шахтного поля Краснослободского рудника при концентрации хлорида калия в поровом растворе почв 0,05 н и 0,5 н. Из приведенных данных видно, что коэффициенты распределения  $K^+$  в исследованных почвах сильно варьируют. Наименьшие значения характерны для дерново-подзолистых почв. С изменением концентрации порового раствора от 0,05 до 0,5 н коэффициенты распределения  $K^+$ , как правило, уменьшаются в 1,5–3,0 раза, что характерно для катионов электролитов металлов.

Коэффициент коммуникации водопроводящих путей  $K_c$  определяли с помощью кондуктометрического метода. В его основу положена предпосылка о том, что диффузионные пути ионов и пути электрической проводимости при большой концентрации электролита в поровом растворе в первом приближении идентичны. Для проведения экспериментов использовали прямоугольную кассету размером 10×4×1 см с вмонтированными латунными электродами, которую заполняли исследуемым материалом. Сопротивление материала определяли посредством измерительного моста переменного тока. В кассете определяли электрическое сопротивление рас-

твора KCl такой же концентрации, что и в поровом растворе материала. Коэффициент коммуникации водопроводящих путей рассчитывали по формуле

$$K_c = R_p \rho_v / (\rho_{sk} R_m W), \quad (2)$$

где  $R_m$  – удельное сопротивление материала, увлажненного KCl с концентрацией 1 г-экв/л, Ом·м;  $R_p$  – удельное сопротивление раствора KCl (1 г-экв/л), Ом·м;  $W$  – влагосодержание материала, кг/кг;  $\rho_{sk}$  – плотность скелета материала, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_v$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

Экспериментальное исследование коэффициентов коммуникации водопроводящих путей  $K_c$  почв и пород первого водоносного горизонта показывает (рис. 4, 5), что зависимость коэффициентов коммуникации от влагосодержания определяется степенью влагонасыщения. При приближении влагосодержания образцов к значению, соответствующему полной влагоемкости, коэффициенты коммуникации достигают 0,8. С уменьшением влагосодержания до значений, соответствующих молекулярной влагоемкости, коэффициенты коммуникации снижаются до 0,05–0,10.

**Таблица 3. Коэффициенты распределения ионов калия  $K^+$  в образцах почвы Краснослободского рудника**

№ обр.	Тип почвы	Полная влагоемкость, кг/кг	Коэффициент распределения	
			C = 0,05 н	C = 0,5 н
1	Дерново-глееватая	0,32	0,61	0,40
1а	"	0,36	2,16	1,87
9	"	0,46	5,68	2,07
16	Дерново-подзолистая	0,25	0,15	0,08
2	"	0,26	0,09	0,08
3	"	0,29	0,30	0,13
5	"	0,29	0,19	0,14
6	"	0,30	0,24	0,16
8	"	0,30	1,74	0,56
7	"	0,31	0,60	0,22
12	"	0,31	0,60	0,11
13	"	0,33	0,36	0,08
17	"	0,34	1,02	0,28
11	"	0,40	0,48	0,10
19	"	0,49	1,53	0,56
4	Дерново-подзолистая, заболоченная	0,40	0,53	0,27
15	"	0,46	3,85	2,36
14	"	0,49	1,88	0,54
10	"	0,70	2,88	0,88
18	Торфяная	1,05	2,76	1,53
18а	"	1,15	2,22	0,91

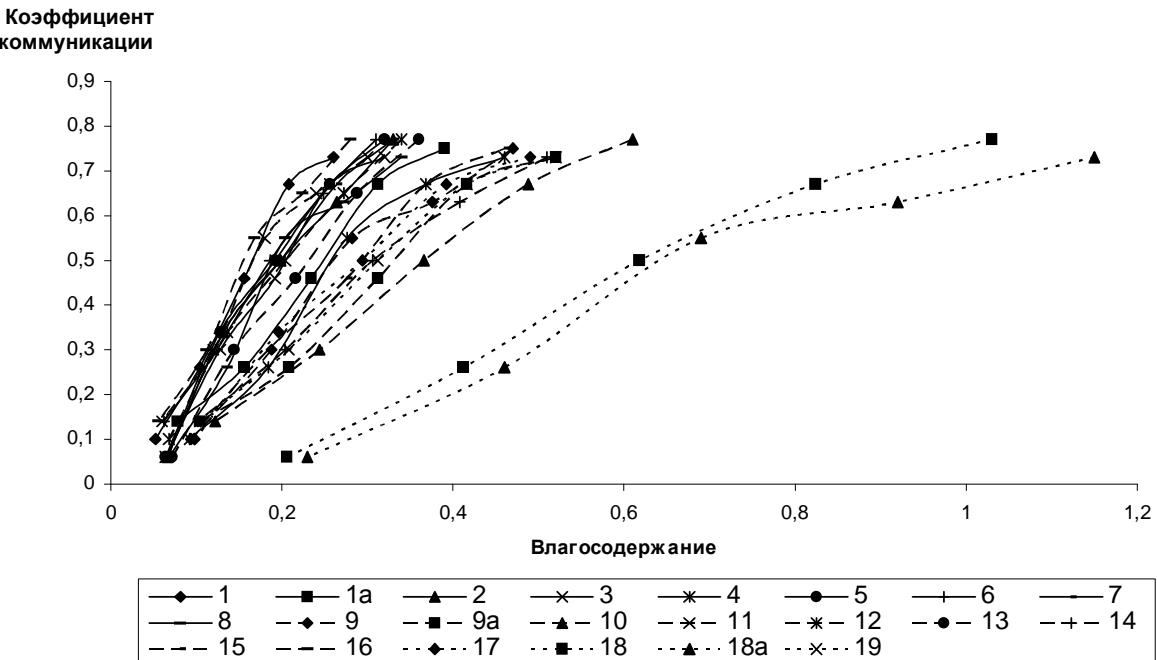


Рис. 4. Зависимость коэффициента коммуникации водопроводящих путей почв от влагосодержания (нумерация образцов соответствует табл. 1)

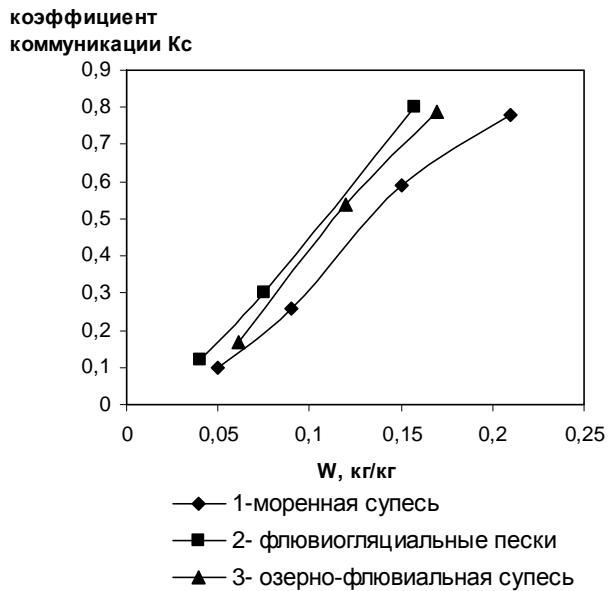


Рис. 5. Зависимость коэффициентов коммуникации от влагосодержания в грунтах первого водоносного горизонта

#### Аппроксимация характеристик тепломассопереноса

Для описания миграции водорастворимых соединений в различных породах в талом и мерзлом состояниях уравнением конвективно-диффузионного переноса необходим ряд характеристик: количество незамерзшей воды  $W_n$  (кг/кг), коэффициент коммуникации жидкой фазы

$K_c$ , коэффициент фильтрации мерзлой породы  $K_{\text{фм}}$ , коэффициент распределения  $K_d$  конкретного водорастворимого соединения в породе. Обычно данные характеристики получают экспериментальным путем, в данной работе предложен, наряду с экспериментальными данными, ряд зависимостей для расчета характеристик как функций основных параметров переноса водораствори-

мых соединений (температуры, гидростатического давления, концентрации водорастворимых соединений, плотности скелета породы, влагосодержания, удельных объемов веществ, участвующих в процессе переноса). При этом использованы экспериментальные данные, полученные для почв и пород первого водоносного горизонта шахтного поля Краснослободского рудника, а также данные по аналогичным почвогрунтам и водорастворимым соединениям, полученные ра-

$$W_{\text{H}} = \frac{C_m \cdot b_4}{T_0 - T \cdot \left(1 + \frac{P \cdot (V_l - V_b)}{L}\right)} + a_0 + a_1 \cdot \left[ T_0 - T \cdot \left(1 + \frac{P \cdot (V_l - V_b)}{L}\right) \right]^{-\frac{1}{3}}, \quad (3)$$

$$b_4 = \frac{R \cdot T^2 \cdot v \cdot M_b}{L \cdot M_c},$$

где  $C_m$  – концентрация водорастворимого соединения в расчете на массу сухого материала, кг/кг;  $P$  – гидростатическое давление, Па ( $\text{Н}/\text{м}^2$ );  $L$  – удельная теплота фазового перехода вода–лед, Дж/кг;  $T_0$  – температура фазового перехода вода–лед,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T$  – температура,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $v$  – число ионов, на которые диссоциирует водорастворимое соединение;  $M_b$  – молярная масса воды,  $M_c$  – молярная масса водорастворимого соединения;  $V_l$  – удельный объем льда,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ;  $V_b$  – удельный объем воды,  $\text{м}^3/\text{кг}$ .

Параметры аппроксимации экспериментальной зависимости количества незамерзшей воды от температуры  $a_0$  и  $a_1$  для основных типов почв и грунтов первого водоносного горизонта приведены в табл. 5.

Диффузионный перенос водорастворимого соединения в пористой среде характеризуется коэффициентом молекулярной диффузии  $D_{\text{np}}$  ( $\text{м}^2/\text{с}$ ) водорастворимого соединения:

$$D_{\text{np}} = K_c \cdot D_0, \quad (4)$$

где  $D_0$  – коэффициент молекулярной диффузии водорастворимого соединения в свободной среде [1];  $K_c$  – коэффициент коммуникации жидкой фазы, характеризующий извилистость пор.

Коэффициент молекулярной диффузии водорастворимого соединения в свободной среде является табличной величиной, а для коэффициента коммуникации было получено аппроксимирующее выражение в зависимости от влагосодержания  $W$  для почв (рис. 4) и грунтов первого водоносного горизонта (рис. 5):

$$K_c = a_{c1} + a_{c2} \ln W, \quad (5)$$

где  $a_{c1}$ ,  $a_{c2}$  – параметры эмпирической аппроксимации для расчета коэффициента коммуникации водопроводящих путей (табл. 4).

нее в лаборатории физико-химической механики природных дисперсных систем.

Для количества незамерзшей воды  $W_{\text{H}}$  (кг/кг) вид зависимости определяется в основном законами термодинамического равновесия и параметрами  $a_0$  и  $a_1$ , которые подбираются при аппроксимации экспериментальной зависимости количества неподвижной воды  $W_{\text{H}}$ :

$$K_{\text{фм}} = a_{\phi} \cdot K_c \cdot \rho_{\text{ск}} \cdot W_{\text{H}}^3, \quad (6)$$

Для расчета конвективного потока водорастворимого соединения под воздействием градиентов гидростатического давления, температуры и мольной концентрации водорастворимого соединения необходимо знать коэффициент фильтрации мерзлой породы  $K_{\text{фм}}$ , для которого была получена следующая зависимость от количества неподвижной влаги:

$$K_{\text{д}} = a_d \cdot \left(-\ln C_m\right)^{n_d}, \quad (7)$$

где  $a_d$ ,  $n_d$  – параметры эмпирической аппроксимации для расчета коэффициента распределения водорастворимого соединения (табл. 4).

Катионы щелочных, щелочно-земельных и тяжелых металлов, а также радионуклидов могут сорбироваться твердой фазой скелета породы. Соотношение водорастворимых соединений, находящихся в сорбированном и водорастворимом состояниях, характеризуется коэффициентом распределения  $K_d$ :

$$P_{\text{сц}} = \frac{A_p}{W_{\text{H}}^{n_1}}, \quad (8)$$

где  $A_p$ ,  $n_1$  – параметры эмпирической аппроксимации для расчета прочности структурного сцепления (табл. 5).

Промерзание пород может приводить к явлению морозного пучения. Для проявления пучения необходимо, чтобы давление, развиваемое незамерзающими прослойками между линзой льда и поверхностью грунта, было выше его механической прочности, которая характеризуется прочностью структурного сцепления:

$$P_{\text{сц}} = \frac{A_p}{W_{\text{H}}^{n_1}}, \quad (8)$$

где  $A_p$ ,  $n_1$  – параметры эмпирической аппроксимации для расчета прочности структурного сцепления (табл. 5).

**Таблица 4. Параметры эмпирической аппроксимации по характеристикам сорбции ионов металлов в исследуемых породах**

Параметры	K		Cu		Pb		Cs		Sr	
Порода	a <sub>d</sub>	n <sub>d</sub>								
Дерново-подзолистая почва	0,14	1,5	53	1,7	65	1,6	3	1,8	2,4	1,8
Дерново-подзолистая заболоченная почва	0,99	1,8	666	1,6	720	1,6	23,4	1,8	14,8	1
Дерново-глееватая почва	2,17	1,7	673	1,5	727	1,5	23,6	1,7	14,9	1,8
Торфяная почва	5,2	1,9	89,8	1,2	158,7	1,2	32,9	2,3	167,7	1,62
Моренная супесь с примесью гравия и гальки	0,05	0,1	0,2	2	0,1	2	0,8	2	0,7	2
Флювиогляциальные пески	0,02	1	0,1	2	0,1	2	0,5	2	0,4	1
Озерно-аллювиальная супесь	0,01	1	0,1	2	0,1	2	0,4	2	0,2	2
Болотные отложения, торф	0,87	2	15	1,28	26,5	1,3	5,5	2,4	28	1,7

**Таблица 5. Параметры эмпирической аппроксимации по характеристикам массопереноса в почвах и грунтах**

Параметры	a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>c1</sub>	a <sub>c2</sub>	a <sub>φ</sub>	A <sub>p</sub>	n <sub>1</sub>
Порода							
Дерново-подзолистая почва	0,035	0,015	1,30	2,9·10 <sup>5</sup>	1·10 <sup>-13</sup>	8,0·10 <sup>5</sup>	2,0
Дерново-подзолистая заболоченная почва	0,08	0,045	1,05	1,3·10 <sup>7</sup>	1,1·10 <sup>-14</sup>	8,1·10 <sup>5</sup>	1,8
Дерново-глееватая почва	0,06	0,03	1,22	1,6·10 <sup>8</sup>	4·10 <sup>-14</sup>	7,0·10 <sup>5</sup>	2,0
Торфяная почва	0,15	0,13	0,79	2,1·10 <sup>7</sup>	2,4·10 <sup>-14</sup>	7,03·10 <sup>5</sup>	1,5
Моренная супесь с примесью гравия и гальки	0,02	0,04	1,78	9,5·10 <sup>5</sup>	7,7·10 <sup>-14</sup>	5,8·10 <sup>5</sup>	1,5
Флювиогляциальные пески	0,01	0,02	2,23	9,6·10 <sup>4</sup>	2,06·10 <sup>-13</sup>	3,5·10 <sup>5</sup>	1,5
Озерно-аллювиальная супесь	0,015	0,025	2,18	3,0·10 <sup>5</sup>	2,32·10 <sup>-13</sup>	7,2·10 <sup>5</sup>	1,5
Болотные отложения, торф	0,36	0,33	2	2,0·10 <sup>8</sup>	2,5·10 <sup>-14</sup>	1,2·10 <sup>6</sup>	1,2

Для аппроксимации характеристик тепло-массопереноса торфяно-болотных почв, имеющих в своем составе различное соотношение органической и минеральной составляющих, используются ранее полученные эмпирические зависимости, приведенные в работах [2, 3]:

$$\lambda = a_0 + a_1 \rho_B + a_2 \rho_{PT} + a_3 \rho_{PB} + a_4 \rho_P^2 + a_5 \rho_T^2 + a_6 \rho_B^2, \quad (9)$$

где  $\rho_P$ ,  $\rho_T$ ,  $\rho_B$  – соответственно содержание в единице объема органо-минеральной среды песка, торфа и воды, кг/м<sup>3</sup>; [λ] – Вт/(мК).

Для аппроксимации зависимости плотности органо-минеральных пород от их состава используется уравнение, приведенное в работах [2, 3]:

$$\rho = a_0 + a_1 W + a_2 AW + a_3 A^2, \quad (10)$$

где коэффициенты имеют следующие значения:  $a_0 = 227$ ;  $a_1 = 85,1$ ;  $a_2 = 410$ ;  $a_3 = 1808$ ; [ $\rho$ ] – кг/м<sup>3</sup>, [W] – кг/кг, [A] – безразмерная величина.

Параметры  $\rho_P$ ,  $\rho_T$ ,  $\rho_B$  связаны с плотностью  $\rho$ , влагосодержанием  $W$  и массовой долей песка А посредством формул:

$$\rho_P = \rho A / (W+1), \quad \rho_T = \rho (1-A) / (W+1), \quad \rho_B = \rho W / (W+1). \quad (11)$$

Коэффициенты в уравнении принимают следующие значения при положительной температуре:

$$\begin{aligned} a_0 &= 1,99 \cdot 10^{-2}; & a_1 &= 6,57 \cdot 10^{-4}; \\ a_2 &= -1,23 \cdot 10^{-6}; & a_3 &= 8,70 \cdot 10^{-7}; \\ a_4 &= 6,44 \cdot 10^{-7}; & a_5 &= 2,12 \cdot 10^{-7}; \\ a_6 &= -1,25 \cdot 10^{-7}; \end{aligned}$$

при отрицательной температуре:

$$\begin{aligned} a_0 &= 2,39 \cdot 10^{-2}; & a_1 &= 5,38 \cdot 10^{-4}; \\ a_2 &= -3,48 \cdot 10^{-6}; & a_3 &= 2,76 \cdot 10^{-6}; \\ a_4 &= 8,82 \cdot 10^{-7}; & a_5 &= 2,05 \cdot 10^{-7}; \\ a_6 &= 1,72 \cdot 10^{-6}. \end{aligned}$$

Объемная теплоемкость аппроксимируется следующими зависимостями при положительной температуре:

$$C_{ob} = \rho_p \cdot C_p + \rho_t \cdot C_t + \rho_b \cdot C_b, \quad (12)$$

при отрицательной температуре:

$$C_{\text{об}} = \rho_{\text{n}} \cdot C_{\text{n}} + \rho_{\text{t}} \cdot C_{\text{t}} + \\ + \rho_{\text{r}} \cdot W_{\text{h}} \cdot C_{\text{v}} + (\rho_{\text{v}} - \rho_{\text{t}} \cdot W_{\text{h}}) \cdot C_{\text{n}} . \quad (13)$$

Коэффициент диффузии влаги при положительной температуре для органо-минеральных систем аппроксимируется по формуле:

$$a_w = 10^{-11} \left( \exp[4,395 \frac{W}{1,04 - A} - \right. \\ \left. - 0,52 \frac{W^2}{(1,04 - A)^2}] + 10 \right). \quad (14)$$

#### Структура программного модуля

На основании статистической обработки зависимостей характеристик переноса тепла, влаги и водорасторимых соединений от определяющих их основных параметров получены параметры эмпирической аппроксимации исследованных зависимостей для основных типов почв и грунтов первого водоносного горизонта территории проектного шахтного поля Краснослободского рудника. С помощью специально разработанного программного модуля по входным параметрам, которыми являются тип породы, гидростатическое давление, температура, влагосодержание и концентрация водорасторимых соединений, можно однозначно определить значения указанных характеристик для конкретного состояния рассматриваемой горной породы. В код программы эмпирические формулы для характеристик тепломассопереноса введены в общем виде, а конкретные значения параметров и констант задаются через базу данных. База данных является частью программного модуля.

Входными параметрами для вычисления характеристик переноса являются:  $T$  – температура,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $W$  – общее влагосодержание, кг/кг;  $C_m$  – концентрация водорасторимого соединения в расчете на массу сухого материала, кг/кг;  $P$  – гидростатическое давление, Па ( $\text{Н}/\text{м}^2$ ); *тип почво-грунта*.

Для органо-минеральных пород; торфа, торфяных почв и заторфованных грунтов указывается степень минерализации  $A$ , характеризующая соотношение в них органогенной и минеральной составляющих.

Выходными данными являются следующие рассчитываемые характеристики:

$\rho_{\text{ск}}$  – плотность скелета грунта, кг/ $\text{м}^3$ ;

$W_h$  – влагосодержание по незамерзшей воде (количество незамерзшей воды), кг/кг;

$K_c$  – коэффициенты коммуникации;

$K_{\text{фм}}$  – коэффициент фильтрации мерзлой породы, задается как функция температуры и концентрации водорасторимого соединения;

$D_{\text{пр}}$  – коэффициент диффузии водорасторимого соединения в поровом растворе,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$P_{\text{сц}}$  – прочность структурного сцепления как функция температуры и концентрации водорасторимого соединения;

$K_d$  – коэффициенты распределения водорасторимого соединения;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ;

$C_{\text{об}}$  – объемная теплоемкость,  $\text{Дж}/(\text{м}^3\cdot\text{К})$ ;

$a_w$  – коэффициент диффузии влаги торфоминеральных почв.

Программный модуль представляет собой форму, состоящую из двух разделов: «База данных» и «Расчет», реализованных в виде закладок.

Раздел «База данных» предназначен для ведения базы данных параметров аппроксимации. База данных организована в виде трех таблиц в формате Paradox 7:

1. Справочник типов грунтов, в котором указываются основные типы почв и грунтов первого водоносного горизонта территории проектного шахтного поля Краснослободского рудника (рис. 6).

The screenshot shows a software window titled 'Файл Расчет' (File Calculation). Below it are two tabs: 'База данных' (Database) and 'Расчет' (Calculation). The 'База данных' tab is selected. On the left, there is a toolbar with icons for file operations. On the right, there is a table titled 'Типы грунтов' (Soil types) with the following data:

Тип породы	Название
1	Дерново-подзолистая почва
2	Дерново-подзолистая заболоченная почва
3	Дерново-глееватая почва
4	Торфяная почва
5	Моренная супесь
6	Флювиогляциальные пески
7	Озерно-аллювиальная супесь
8	Болотные отложения (Торф)

Рис. 6. Интерфейс системы.  
Справочник типов грунтов

2. Справочник параметров аппроксимации характеристик тепломассопереноса: количества незамерзшей воды ( $A_0$ ,  $A_1$ ,  $b_4$ ); коэффициента коммуникации водопроводящих путей ( $A_{c1}$ ,  $A_{c2}$ ); коэффициента фильтрации мерзлой породы ( $A_f$ ); прочности структурного сцепления ( $N_1$ ,  $A_p$ ) (рис. 7).

3. Справочник параметров аппроксимации характеристик сорбции: коэффициента распределения ( $A_d$ ,  $N_d$ ), диффузии ( $D_0$ ) (рис. 8).

Тип породы	A0	A1	Ac1	Ac2	Af	Epsilon	B3	B4	Np	Ap	N1	A
1	0.035	0.015	1.3	290000	1E-13	7E-10	0.95	1	4	800000	2	0.85
2	0.08	0.045	1.05	13000000	1.1E-14	2E-10	0.95	1	4	810000	1.8	0.85
3	0.06	0.03	1.22	16000000	4E-14	2E-9	0.9	1	4	700000	2	0.9
4	0.15	0.13	0.79	21000000	2.4E-14	5E-10	0.9	1	4	703000	1.5	0.6
5	0.02	0.04	1.78	950000	7.7E-14	6E-9	0.95	1	4	580000	1.5	0.95
6	0.01	0.02	2.23	96000	2.06E-13	7E-9	0.95	1	4	350000	1.5	0.99
7	0.015	0.025	2.18	300000	2.32E-13	7E-9	0.95	1	4	720000	1.5	0.99
8	0.36	0.33	2	200000000	2.5E-14	1E-11	0.9	1	4	1200000	1.2	0

Рис. 7. Интерфейс системы. Параметры аппроксимации характеристик тепломассопереноса

Тип породы	Элемент	Ad	Nd	D0
1 K		0.14	1.5	1.96
1 Cu		53	1.7	0.71
1 Pb		65	1.6	0.92
1 Cs		3	1.8	2.06
1 Sr		2.4	1.8	0.95
2 K		0.99	1.8	1.96
2 Cu		666	1.6	0.71
2 Pb		720	1.6	0.92
2 Cs		23.4	1.8	2.06
2 Sr		14.8	1	0.95
3 K		2.17	1.7	1.96
3 Cu		673	1.5	0.71
3 Pb		727	1.5	0.92
3 Cs		23.6	1.7	2.06
3 Sr		14.9	1.8	0.95
4 K		5.2	1.9	1.96
4 Cu		89.8	1.2	0.71
4 Pb		158.7	1.2	0.92
4 Cs		32.9	2.3	2.06
4 Sr		167.7	1.62	0.95
5 K		0.05	0.1	1.96
5 Cu		0.2	2	0.71
5 Pb		0.1	2	0.92
5 Cs		0.8	2	2.06
5 Sr		0.7	2	0.95

Рис. 8. Интерфейс системы. Параметры аппроксимации характеристик сорбции (коэффициенты диффузии  $D_0 \cdot 10^9 \text{ м}^2/\text{с}$ )

В этом разделе может проводиться как просмотр заполненных таблиц, так и ввод новых данных. Реализованы все основные процедуры работы с таблицей баз данных: добавление новой записи, редактирование записи, удаление записи.

Раздел «Расчёт» предназначен для ввода входных параметров и получения рассчитанных характеристик. Введенные параметры отображаются в таблице, расположенной в верхней части экрана, полученные результаты – в нижней.

Загрузить параметры можно тремя способами:

1) из главного меню *Файл* -> *Загрузить параметры для расчёта*,

2) по кнопке на панели инструментов ,

3) из контекстного меню, вызываемого по правой кнопке мыши над таблицей «Параметры расчётов». *Загрузить из файла и рассчитать* – при выполнении этого действия будут загружены параметры и проведён расчёт характеристик.

Загруженные параметры могут быть изменены перед расчётом непосредственно в таблице и сохранены после этого в файл. Расчёт характеристик может быть произведён, если введены входные параметры, по нажатию

кнопки на панели инструментов либо из главного меню *Расчёт* -> *Рассчитать характеристики*. При расчёте автоматически происходит выбор необходимых констант для функциональных зависимостей из базы данных в зависимости от типа грунта.

Полученные характеристики могут быть сохранены в виде файла ASCII и переданы в любое приложение для дальнейших расчётов. Результаты расчета для рассматриваемых почв и грунтов представлены на рис. 9.

**Параметры для расчёта**

	1	2	3	4	5	6	7	8
Тип почвы	1	2	3	4	5	6	7	8
T <sub>0</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0
T	10	10	10	10	10	10	10	10
W	0.199	0.253	0.185	0.8	0.225	0.15	0.139	2
C <sub>m</sub>	0.000206	0.000195	0.00025	0.000193	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
P	5.78607E-5							
Элемент	K	K	K	K	K	K	K	K

**Расчитанные характеристики**

	1	2	3	4	5	6	7	8
R <sub>окк</sub>	1620	1643	1775	1143	1966	2073	2067	397.2
W <sub>н</sub>	0.02802	0.05909	0.04605	0.08964	0.001414	0.0006968	0.003376	0.2068
P	3.339E-8	1.166E-8	1.593E-7	1.533E-8	8.609E-7	1.091E-6	1.045E-6	2.951E-12
K <sub>c</sub>	0.2754	0.06798	0.00341	0.0499	2.258E-5	3.138E-5	0.001133	0.002768
K <sub>фм</sub>	9.81E-16	2.535E-16	2.365E-17	9.857E-16	9.654E-24	4.534E-24	2.09E-20	2.431E-16
D <sub>пр</sub>	5.398E-10	1.332E-10	6.684E-12	9.78E-11	4.426E-14	6.151E-14	2.22E-12	0.005424
R <sub>сц</sub>	1.019E9	1.317E8	3.301E8	2.619E7	1.091E10	1.903E10	3.67E9	7.952E6
K <sub>d</sub>	3.462	47.04	79.13	306.9	0.06194	0.1703	0.08517	63.11
Lambda	1.16	1.209	1.627	0.4935	2.298	2.934	2.931	0.189
Со <sub>б</sub>	2.447E6	2.672E6	2.537E6	2.936E6	2.889E6	2.594E6	2.528E6	1.372E6
aw	6.642E-11	1.484E-10	1.442E-10	5.395E-10	2.303E-9	4.949E-9	3.649E-9	6.946E-10

Рис. 9. Интерфейс системы. Результаты расчета характеристик для рассматриваемых почв и грунтов

На основе экспедиционных и лабораторных исследований сформирована база данных по характеристикам почв и грунтов первого водоносного горизонта территории Краснослободского участка Старобинского месторождения калийных солей.

Путем статистической обработки зависимостей характеристик тепло- и массопереноса от определяющих их параметров были получены аппроксимирующие формулы. С помощью специально разработанного программного модуля

по входным параметрам, которыми являются тип породы, плотность ее скелета, температура, влагосодержание и концентрация водорастворимых соединений можно однозначно определить значения указанных характеристик для конкретного состояния рассматриваемой горной породы. Этим самым создано информационное обеспечение методов прогноза миграции минеральных водорастворимых соединений в почвах и грунтах, с учетом динамики в них температурно-влажностного режима.

#### Л и т е р а т у р а

1. Антропов Л. И. Теоретическая электрохимия. М., 1984.
2. Бровка Г. П., Ровдан Е. Н. Теплопроводность торфяных почв // Почвоведение. 1999. № 5. С. 587–592.
3. Бровка Г. П. Преобразование структуры, тепломассоперенос и фазовые переходы в органогенных дисперсных системах: Автореф. дис. ... д-ра. техн. наук. Мн., 2001.

*К. А. Агутин, А. Г. Бровка, И. Н. Дорожок, И. И. Ивашкевич*

**ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПОЧВ И ГРУНТОВ ТЕРРИТОРИИ ПОДРАБОТКИ ШАХТНОГО ПОЛЯ КРАСНОСЛОБОДСКОГО УЧАСТКА СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ**

Представлена база данных, которая содержит характеристики тепломассопереноса почв и грунтов первого водоносного горизонта с территории подработки шахтного поля Краснослободского рудника Старобинского месторождения калийных солей. База данных содержит табличные данные и аппроксимирующие зависимости характеристик сорбции и тепломассопереноса (количества незамерзшей воды, коэффициента коммуникации жидкой фазы, коэффициента фильтрации мерзлой породы, коэффициента распределения водорастворимого соединения в породе, коэффициента теплопроводности, объемной теплоемкости, коэффициента диффузии влаги) от определяющих их параметров (температуры, гидростатического давления, концентрации водорастворимых соединений, плотности скелета породы, влагосодержания, удельных объемов веществ, участвующих в процессе переноса). Разработан программный модуль, который позволяет получать значения заданной характеристики в зависимости от типа почвы или грунта, температуры, влагосодержания, концентрации минеральных водорастворимых соединений. Полученная информация используется в программах, моделирующих процессы переноса тепла, влаги, водорастворимых соединений на территории подработки шахтного поля с учетом динамики температурно-влажностного режима.

*K. A. Agutin, A. G. Brovka, I. N. Dorozhok, I. I. Ivashkevich*

**DATABASE FORMATION AND CHARACTERISTICS OF SOILS AND GROUNDS HEAT-MASS TRANSFER OF TERRITORIES WORKING OF THE MINE FIELD OF THE KRASNOSLOBODSKY SITE OF THE STAROBINSKY DEPOSIT OF POTASH SALTS**

*The database with characteristics of soils and grounds heat-mass transfer and the first water-carrying horizon from the territory of mine field working of Krasnoslobodsky mine of the Starobinsky deposit of potash salts is presented. The database contains the tabular given and approximating dependences of characteristics of sorption and heat-mass transfer (quantities of unfrozen water, factor of liquid phase links, factor of a filtration of frozen rock, factor of distribution of water-soluble link in rock, factor of heat conductivity, a volume thermal capacity, factor of moisture diffusion ) from parameters defining them (temperature, hydrostatic pressure, concentration of water-soluble compounds, density of a skeleton of rock, moisture content, specific volumes of the substances participating in transfer process). The program module which allows to receive values of the set characteristic depending on type of soil or a ground, temperatures, moisture contents, concentration of mineral water-soluble connections is developed. The received information is used in the programs modeling processes of heat transfer, a moisture, water-soluble connections in territory of working a mine field taking into account the dynamics of temperature-moister mode.*

П. Л. Фалюшин, Т. П. Смычник, В. М. Дударчик

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ БУРЫХ УГЛЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЕЛАРУСИ

*Приведен краткий анализ технологий термохимической переработки твердых горючих ископаемых и выделены наиболее перспективные применительно к бурым углям Беларуси.*

Актуальность энергетической проблемы для Беларуси связана с недостатком собственных энергоресурсов и зависимостью от их поставок экспортёрами, что значительно снижает энергобезопасность страны. Правительством республики поставлена задача по увеличению доли использования местных энергоресурсов с 17 % от общего потребления котельно-печного топлива в настоящее время до 25 % к 2012 г. в основном за счет древесины, торфа и горючих отходов (на 2,8 млн т. условного топлива).

Во многих странах мира интенсивно проводятся исследования, направленные на разработку и совершенствование технологий получения высококалорийных энергоносителей на основе твердых топлив (торфа, бурых углей, горючих сланцев и др.).

Среди местных видов топлива в республике потенциальными возможностями в качестве сырья для энерготехнологической переработки обладают бурые угли, составляющие в эквиваленте по условному топливу 0,8–1,0 млн т.

В Беларуси прогнозные общие запасы бурых углей составляют около 1 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 западной части Гомельской области – Житковичское, Бриневское и Тонежское. Средняя мощность пластов – 3–4 м, максимальная – 19,9 м, вскрыши – от 21 до 81 м [10].

Результаты научно-экспериментальных исследований, проведенных в ГНУ «ИПИПРЭ НАН Беларусь» по изучению состава, свойств и процессов термохимической конверсии органического вещества бурых углей Бриневского месторождения в широком интервале температур, показали возможность и перспективность их использования как полноценного сырья для прямого сжигания и энерготехнологической переработки.

Для проведения исследований Белорусской геологоразведочной экспедицией на глубине залегания 66,1–81,6 м добыта и сформирована технологическая проба из 86 образцов бурого угля Бриневского месторождения.

Исследование качественных показателей образцов технологической пробы углей показало,

что бурые угли Бриневского месторождения являются твердыми горючими ископаемыми 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. Влажность углей колеблется в пределах 38–68 %, зольность – 8–42 %, истинный удельный вес в зависимости от количества влаги и минеральных примесей – 1,10–1,35 г/см<sup>3</sup>. В составе органической массы бурых углей содержится 61–68 % гуминовых веществ и до 9 % битумов. Выход летучих веществ составляет 55–64 %, что характерно для этого класса твердых горючих ископаемых невысокой степени углефикации. Содержание основных горючих элементов колеблется в пределах 54–65 % углерода, 5,6–6,0 % водорода. Низкое содержание серы (0,6–1,5 %) позволяет отнести бурые угли Бриневского месторождения к категории малосернистых, что имеет существенное экологическое значение для термохимической переработки. Низшая рабочая теплота сгорания в зависимости от влажности углей и содержания в них золы составляет 1000–2000 ккал/кг сухого вещества [11].

Работы по энерготехнологическому использованию бурых углей с характеристиками, близкими белорусским углем, проводят в России, Китае, Украине, Израиле и других странах.

Анализ исследований по использованию бурых углей различных месторождений в энергетике, включая патентный поиск, а также результаты собственных экспериментальных исследований, позволили выделить перспективные технологии переработки землистых бурых углей Беларуси (таблица).

Первые две технологии освоены для торфа и применимы для переработки бурого угля.

Мелкокусковое топливо, полученное в результате сушки исходного бурого угля, и торфоугольные брикеты пригодны для прямого сжигания в бытовых топках и топочных устройствах, приспособленных для сжигания твердого топлива с влажностью не более 40 %. Существует принципиальная возможность использования бурых углей для сжигания в кипящем слое в котлах малой мощности, а также прямого сжигания в котлах, работающих на мелкозернистом топ-

ливе в виде смесей углей с низкозольными горючими отходами (опилками, щепой и др.) и полимерными отходами. Бурые угли России (Подмосковного и Южно-Уральского бассейнов), Украина (Днепровского бассейна), КНР и других стран в настоящее время используют для полу-

чения тепловой и электрической энергии путем прямого сжигания в котлах с кипящим слоем [1], а также в котлах, работающих на мелкозернистом топливе, в виде смесей углей с низкозольными горючими отходами (опилками, щепой и др.).

### Перспективные технологии переработки бурых углей Беларуси

Технология	Энергоноситель, назначение	Низшая теплота сгорания, ккал/кг, ккал/НМ <sup>3</sup>	Выход, % на сухое вещество
Сушка (снижение влажности с 55 до 40 %)	Мелкокусковое котельное топливо	~2 500	~80
Брикетирование угля и торфа (измельчение, сушка, прессование)	Торфоугольный брикет	3 700	60
Термическое разложение в плотном слое кускового угля	Полукокс, кокс, котельное топливо Смола Газ	5 500–6 500 9 000 3 000	~50 12–15 20–25
Высокоскоростной пиролиз измельченного угля	Газ Кокс Смола	350–4 000 5 500–6 500 8 500	~35 50 5–10
Процесс Фишера-Тропша	Моторное и котельное жидкое топливо	10 000	~15–20
Гидрогенизация	Моторное и котельное жидкое топливо	10 000	50–60
Термическое растворение или высокотемпературная экстракция	Моторное и котельное жидкое топливо	10 000	50–70
Получение топливных суспензий	Суспензионное котельное топливо (углемазутное)	7 500–8 500	
Газификация угля на воздушном или паро-воздушном дутье	Газообразное котельное, технологическое топливо	1 000–1 500	1 000–1 500 м <sup>3</sup> /т
Газификация угля на парокислородном дутье под давлением	Газообразное котельное, технологическое топливо	4 000	
Газификация буроугольного полукокса и кокса	Синтез-газ (CO+H <sub>2</sub> )	2 700	
Энергетическая переработка	Смола Полукокс Тепловая и электрическая энергия	9 000 5 500	10–13 ~50
Получение водорода	Водород	2 600	12

Бурые угли хорошо брикетируются в смеси с торфом с получением бытового топлива – торфоугольного брикета, отличающегося высокими качественными показателями с теплотой сгорания около 3700 ккал/кг. Процессы подготовки, сушки, прессования осуществляются по технологии, аналогичной применяемой для фрезерного торфа, что позволяет рекомендовать производство торфоугольных брикетов на действующих торфобрикетных заводах. Совмещение в брикетах свойств бурого угля и торфа позволяет создать улучшенное бытовое топливо. Буроугольные брикеты как топливо характеризуются низкой

температурой воспламенения, высокими реакционной способностью и к.п.д. процесса сжигания. Торфоугольные брикеты имеют хорошие качественные показатели: однородную форму кусков, что делает их удобными при использовании, легкую загораемость (не требуется большого расхода растопки), отсутствие копоти при горении [5,12].

Влага и зола являются балластом топлива, снижающим его энергетическую ценность. В связи с этим необходимо предусматривать предварительную сушку углей до содержания влаги не более 40 % в зависимости от технологии сжигания.

Кроме прямого сжигания бурые угли можно превращать в твердые, жидкие и газообразные энергоносители путем термохимической переработки различными способами.

Технологии скоростного пиролиза, позволяющие получать как высококалорийные твердые и жидкие продукты, так и горючие газы, гидрогенизации с получением моторных топлив, газификации с получением генераторных газов, водорода и высокотемпературной экстракции (термического растворения) разрабатываются во многих странах (США, Великобритании, Польше, Индии, Японии, ФРГ и др.).

В настоящее время скоростной пиролиз (до нескольких десятков °С/с) утвердился как технология термохимической конверсии твердых топлив и растительной биомассы со значительным потенциалом. По типу применяемого оборудования это может быть процесс в потоке, аблационный и наиболее перспективный – в кипящем слое, осуществляемый в одном или в двух реакторах [4]. Первичными продуктами пиролиза могут быть газ (обычно среднекалорийный – 3600–5250 ккал/нм<sup>3</sup> с выходом до 80 % массы сухого угля), жидкий продукт (смола) с теплотой сгорания 8000–9000 ккал/кг и твердое углистое вещество (кокс или полукокс в зависимости от температуры процесса) с теплотой сгорания 6000–8000 ккал/кг, выход которого может достигать 50 % массы сухого угля; вторичными – энергия, топливо и химические продукты.

Выход и качество продуктов пиролиза зависят от состава перерабатываемого сырья, способа обогрева, скорости подвода тепла, начальной температуры процесса, типа применяемого оборудования. При медленном пиролизе за счет вторичных термохимических превращений уменьшается выход первичной смолы и увеличивается выход твердого продукта. Характерная особенность полукоксовых смол – высокое содержание низкомолекулярных алифатических углеводородов, из которых получают моторное топливо. Полукоксовый газ содержит большое количество метана и других углеводородов и является высококачественным бытовым топливом.

Буроугольный полукокс – эффективное бытовое и энергетическое топливо. Он легко воспламеняется, горит бездымно, имеет относительно высокую теплоту сгорания даже при большой зольности за счет значительного уменьшения органического балласта (кислорода и азота) по сравнению с углем. Такие из его качественных характеристик, как элементный состав, высокая реакционная способность, пористость структуры, в значительной мере определяющиеся режимом термопереработки – конечной температурой пиролиза и скоростью подъема температуры, представляют интерес для расширения областей его применения.

В ГНУ «ИПИПРЭ НАН Беларусь» разрабо-

тана и испытана экспериментальная крупнолабораторная установка по термохимической переработке твердых горючих ископаемых методом пиролиза с внешним обогревом и горизонтальной шнековой подачей топлива. Разработана технология получения среднекалорийного горючего газа и порошкообразного полукокса методом скоростного пиролиза бурых углей Бриневского месторождения. В сравнении с пиролизом в неподвижном слое процесс может осуществляться в непрерывном режиме, имеется возможность регулировать скорость процесса, что позволяет направленно изменять количественный выход и качественный состав продуктов пиролиза в зависимости от поставленной цели. Производительность установки по сырью 30 кг/ч.

В ходе испытаний кроме технологических параметров определен выход продуктов пиролиза: полукокса (или кокса), жидких продуктов – смолы и воды, состоящей из свободной и пирогенетической воды и газа пиролиза в зависимости от температуры процесса. Также определены их качественные показатели – зольность, элементный состав и теплота сгорания полукокса (или кокса); влажность, зольность, элементный состав и теплота сгорания смолы; состав и теплота сгорания газа.

Конструкция установки обеспечивает соблюдение технологических параметров процесса и получение продуктов пиролиза со следующими основными показателями: выход продуктов пиролиза (% сухой массы): полукокса (температура процесса 500 °С) – 56 с теплотой сгорания 5280 ккал/кг; кокса (температура 800 °С) – 51 с теплотой сгорания 5950 ккал/кг; смолы – до 1,5 с теплотой сгорания 8300 ккал/кг; газа – 43–48 с теплотой сгорания около 3200 ккал/нм<sup>3</sup>.

Результаты проведенных испытаний подтвердили возможность получения газообразных, твердых и жидких продуктов пиролиза бурых углей, по выходам и качественным характеристикам не отличающихся от полученных на лабораторной установке. Кроме того, показано, что, изменяя время нахождения сырья в зоне реакции и температуру пиролиза, можно получать пиролизный газ с высоким содержанием в его составе синтез-газа (CO+H<sub>2</sub>). Такой газ может быть использован для получения жидкого моторного топлива или синтеза других ценных химических продуктов, а также в качестве моторного топлива в двигателях внутреннего сгорания.

При сжигании низкосортного твердого топлива, особенно с высоким содержанием влаги, что характерно для землистых бурых углей Беларусь, невозможно достижение высокой температуры, тогда как при сжигании газа, полученного из этого же топлива, такая температура достижима.

Испытания показали, что для термохимической переработки бурых углей методом пиролиза необходимо предусматривать их предвари-

тельную сушку до содержания влаги не более 10 %.

Одним из наиболее важных и традиционных способов получения газообразного топлива является газификация – горение и неполное окисление топлива, часть которого сгорает для обеспечения процесса теплом, а часть реагирует с окислителями с образованием водорода, оксида углерода и других горючих газов, состав которых зависит в основном от природы используемого топлива, химического состава продуктов дутья и скорости его подачи, температуры процесса и его аппаратурного оформления. В газогенераторных установках возможно получение горючих газов с теплотой сгорания от 900 до 8000 ккал/нм<sup>3</sup>, что позволяет эффективно использовать их в различных высокотемпературных технологических процессах и энергетике. Газификации может быть подвергнуто большинство известных видов твердых топлив, в том числе бурьи угли [3, 9].

В современных топочных устройствах реализован, как правило, двухстадийный процесс сжигания твердого топлива – газогенерация и дожигание газа. В газогенераторах типа Пинча (смешанный процесс в тонком слое топлива) газ, полученный на колосниковой решетке в камере газификации, без охлаждения поступает в жаровой канал на дожигание. При этом достигается температура 1000–1300 °С в зависимости от состава и теплоты сгорания генераторного газа [9].

Из всего многообразия способов газификации, отработанных в промышленных условиях, двухстадийный процесс (газификация в неподвижном тонком слое топлива на воздушном дутье и дожигание образующегося газа в жаровом канале) наиболее предпочтителен для переработки бурьи углей на малых энергоустановках с получением тепловой энергии. При газификации бурого угля на воздушном дутье теплота сгорания газа составляет 800–900 ккал/нм<sup>3</sup>. Обычно этот газ частично сгорает уже на колосниковой решетке и в жаровой канал поступает с теплотой сгорания 500–750 ккал/нм<sup>3</sup>, где и дожигается, создавая температуру, превышающую температуру горения исходного топлива на колосниковой решетке примерно на 100–300 °С.

Наиболее эффективным способом конверсии твердых топлив в горючие газы является газификация на паровоздушном и парокислородном дутье. При газификации кускового (брикета) бурого угля на паровоздушном дутье получается дешевый газ с теплотой сгорания 1500 ккал/нм<sup>3</sup> и выходом около 2000 м<sup>3</sup> из одной тонны сухого угля [2].

Заметным достижением в технологии получения газов стало использование парокислородного дутья, что позволило отказаться от периодических процессов газификации твердого топлива и дало возможность регулировать соотношение компонентов в синтез-газе (CO+H<sub>2</sub>) для

получения из него высококалорийного жидкого топлива. Теплота сгорания получаемого в этом случае газа – 2600–2800 ккал/нм<sup>3</sup> [2]. Значительный эффект дает применение высоких давлений при парокислородной газификации твердого топлива. Изменением давления, концентрации кислорода и расхода пара можно получать газ различного качества с теплотой сгорания 3000–4000 ккал/нм<sup>3</sup>. При газификации на парокислородном дутье под высоким давлением резко увеличивается содержание в газе метана [3].

Экспериментально показана возможность получения технологического газа газификацией угля в кипящем слое под давлением на парокислородном дутье. Разработан метод газификации углей Канско-Ачинского бассейна с использованием газогенератора Винклера на парокислородном дутье в псевдоожженном слое и давлении 1 МПа. Состав газа, об. %: 2,5 CO<sub>2</sub>; 0,6 O<sub>2</sub>; 29,2 CO; 63,4 H<sub>2</sub>; 3,8 CH<sub>4</sub> и 0,4 N<sub>2</sub>. Теплота сгорания – 3190 ккал/нм<sup>3</sup>. Независимо от способа осуществления процесса газогенерации во всех случаях желательно подвергать переработке частицы, максимально однородные по размерам.

По составу, свойствам и теплотехническим характеристикам бурьи угли Бриневского месторождения могут быть использованы в качестве полноценного сырья для получения газообразного котельного и технологического топлива (а также синтез-газа с последующей его конверсией в жидкое топливо) путем газификации на парокислородном дутье как при атмосферном давлении так и с применением высоких давлений.

В качестве перспективных методов переработки местных бурьи углей можно рассматривать также эффективные технологии получения моторных топлив – каталитическую конверсию синтез-газа в процессе Фишера-Тропша с получением жидких углеводородов; гидрогенизацию и термическое растворение.

Существующая в настоящее время технология получения моторных топлив на основе бурьи углей представляет собой комбинацию двух процессов – газификации угля с получением синтез-газа с регулируемым соотношением CO и H<sub>2</sub> и его каталитической конверсии в процессе Фишера-Тропша, ведущем к селективному образованию углеводородов с оптимальным для получения жидкого топлива составом. Синтез углеводородов из CO+H<sub>2</sub> представляет собой сложный каталитический экзотермический процесс, состоящий из ряда последовательных и параллельных реакций, на ход которых влияют давление, температура, состав исходного газа, продолжительность контакта, тип катализатора. В зависимости от этого конечными продуктами могут быть углеводороды, спирты, альдегиды [8].

В промышленном масштабе производство синтетического жидкого топлива из низкокачественных бурьи углей в процессе Фишера-Тропша

успешно осуществляется в Южно-Африканской Республике. Работают четыре завода общей производительностью 8–10 млн т топлива в год. Заводы фирмы Mossgas являются самыми крупными в мире производителями углеводородов из CO и H<sub>2</sub> (180 тыс. брл/сут в 2003 г.). Бурый уголь подвергают газификации под давлением по методу Лурги. Бензин и дизельное топливо из CO и H<sub>2</sub> получают по технологии «Sasol». Используют реакторы двух типов: с неподвижным слоем нанесенного Fe-катализатора и в потоке взвешенного порошкообразного железного катализатора (псевдоожиженным). В настоящее время ЮАР полностью обеспечивает свои потребности в бензине и дизельном топливе за счет получаемого синтетического жидкого топлива. Сегодня предприятия «Sasol» перерабатывают около 47 млн т угля и выпускают 7 млн т топлива в год. При этом 25,3 % общих капитальных затрат приходится на долю собственно установки синтеза; 44,7 % – на систему приготовления синтез-газа; 9,4 % – на переработку продуктов; 6,7 % – на вспомогательные установки и 13,9 % – на внепроизводственные общезаводские установки [7].

В ряде стран проводят исследования, направленные на разработку технологий получения жидкого топлива методами гидрогенизации и термического растворения бурых углей.

Процесс гидрогенизации представляет собой совокупность химических реакций между органическим веществом перерабатываемого твердого топлива и водородом: гидрирования (при соединении водорода), деструктивной гидрогенизации и восстановления, протекающих при повышенной температуре, высоком давлении и в присутствии катализаторов [6]. В странах с ограниченными запасами углеводородного сырья наблюдается тенденция к интенсификации таких разработок.

Одним из перспективных направлений энергетического использования бурых углей Беларусь является их переработка в жидкое топливо методом термического растворения – высокотемпературной экстракцией (ВТЭ). Сущность метода термического растворения заключается в воздействии на уголь органических растворителей (антраценового масла, фракций первичных смол, фенолов, спиртов и других и их смесей) при высоких температурах (350–450 °C) и давлениях (до 25 атм.). При этом органическая масса топлива на 70–90 % переходит в жидкое состояние – экстракт (топливо типа мазута марки М–200), горючий газ и нерастворимый органоминеральный остаток. Экстракт можно использовать в качестве котельного топлива или перерабатывать в моторное топливо, горючий газ – для технологических целей; органоминеральный остаток, по-видимому, целесообразно применять в дорожном строительстве.

Преимущества ВТЭ бурых углей перед другими методами получения котельного или моторного топлива заключаются в более высоком К.П.Д. (в 2 раза выше по сравнению с другими

методами) и соответственно высоким выходе основного продукта – котельного топлива, а также более простой в эксплуатации технологической схеме [13].

В республике есть условия для успешной разработки и реализации проекта по переработке местных бурых углей методом высокоскоростной экстракции с получением жидкого котельного топлива или использования супензионных топлив с включением бурых углей и других продуктов.

Основные недостатки современных технологий каталитического ожигания угля обусловлены невысокой производительностью процесса, применением высоких давлений водорода, необходимости выделения катализатора для повторного использования в процессе. Чем более жесткие условия процесса термического растворения, тем больше выход жидких продуктов, но выше и затраты на оборудование и расход энергии. Однако в случае решения указанных проблем (например, подбором дешевых катализаторов, заменой молекулярного водорода синтез-газом, что исключит ряд технологических стадий, связанных с получением водорода) использование термического растворения бурых углей в высококипящих фракциях нефти или в буруугольных смолах может стать весьма перспективным направлением их переработки для производства жидкого топлива.

Перспективна комплексная переработка углей, когда высокозольные (более 30 %) угли используют для переработки с получением продуктов нетопливного назначения, а низкозольные – в энергетике для термохимической переработки с получением газообразных и жидких энергоносителей, тепловой и электрической энергии.

Таким образом, бурые угли месторождений Беларусь с зольностью до 30 % можно использовать в энергетике для получения тепловой, электрической энергии, газообразных, жидких и твердых энергоносителей следующими методами:

- прямым сжиганием после подсушки в качестве котельно-печного топлива;
- прямым сжиганием в виде торфобуроугольных брикетов (коммунально-бытовое топливо);
- пиролизом с получением среднекалорийного горючего газа, смолы и полуокси или кокса;
- газификацией на воздушном или паро-воздушном дутье с получением низкокалорийного горючего газа.

В качестве перспективных методов переработки бурых углей в республике можно рекомендовать эффективные, но более сложные в осуществлении технологии получения моторных топлив:

- газификацию на парокислородном дутье с получением синтез-газа (CO+H<sub>2</sub>) заданного состава для последующей его конверсии в моторное топливо в процессе Фишера-Тропша;
- гидрогенизацию и термическое растворение с получением высококалорийных моторных и котельных топлив.

### Л и т е р а т у р а

1. Беляев А. А. Сжигание высокозольного топлива и возможность его использования на ТЭС // Химия твердого топлива. 2005. № 1. С. 44–53.
2. Головин Г. С., Роде В. В., Малолетнев А. С., Лунин И. З. Уголь – сырье для получения продуктов топливного и химико-технологического назначения // Химия твердого топлива. 2001. № 4. С. 3–29.
3. Зорина Г. И., Брун-Цеховой А. Р. Современные тенденции развития технологий газификации твердых топлив // Химия твердого топлива. 1986. № 3. С. 2–93.
4. Каширский В. Г. Получение бензольных углеводородов и тиофена путем скоростного пиролиза // Химия твердого топлива. 1986. № 4. С. 70–72.
5. Крапчин И. П. Эффективность использования углей. М., 1976.
6. Кричко А. А. Гидрогенизация твердого топлива // Сб. научн. тр. ИГИ. М., 1983. С. 3–21.
7. Кудинов Ю. С. Уголь сегодня, завтра: технология, экология, экономика. М., 2001.
8. Малолетнев А. С., Кричко А. А., Гаркуша А. А. Получение синтетического жидкого топлива из угля. М., 1992.
9. Печуро Н. С., Капкин В. Д., Песин О. Ю. Химия и технология синтетического жидкого топлива и газа. М., 1986.
10. Полезные ископаемые Беларуси / Под ред. П. З. Хомича. Мн., 2002.
11. Фалюшин П. Л., Коврик С. И., Смычник Т. П., Смолячкова Е. А. Качественные характеристики бурых углей Бриневского месторождения // Природопользование. Мн., 2007. Вып. 13. С. 109–113.
12. Фалюшин П. Л. Исследование возможности переработки горючих сланцев и бурых углей Беларуси // Твердые горючие отложения Беларуси и проблемы охраны окружающей среды. Мн., 1992. С. 154–160.
13. Чернецкая Н. В., Баженов Б. А., Полубенцева М. Ф., Дуганова В. В. Оживление бурых углей в условиях ионного гидрирования в присутствии растворителей различного типа // Химия твердого топлива. 2001. № 2. С. 41–55.

*П. Л. Фалюшин, Т. П. Смычник, В. М. Дударчик*

### **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ БУРЫХ УГЛЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЕЛАРУСИ**

*Приведен краткий обзор существующих в мире технологий термохимической переработки бурых углей. Рассмотрены технологии газификации, гидрогенизации, высокотемпературной экстракции, каталитической конверсии синтез-газа по Фишеру-Тропшу с получением жидких углеводородов. На основании изученных качественных показателей (зольности, влажности, выхода гуминовых и летучих веществ, битумов, элементного состава, теплоты сгорания и др.) бурых углей Бриневского месторождения выделены наиболее перспективные для углей Беларуси.*

*Рассмотрена перспектива использования скоростного пиролиза бурых углей Беларуси и приведены результаты испытаний на созданной в ИПИПРЭ НАН Беларуси крупнолабораторной установке по пиролизу в подвижном слое с получением горючих газов и полукокса. Предложена схема комплексной переработки бурых углей, включающая топливное и нетопливное направления.*

*P. L. Falushin, T. P. Smychnik, V. M. Dudarchik*

### **THE ANALYSIS OF TECHNOLOGIES OF THERMOCHEMICAL PROCESSING OF BROWN COALS OF BELARUS DEPOSITS**

*The short review of technologies of thermochemical processing of brown coals existing in the world has been done. Technologies of gasification, hydrogenation, high-temperature extraction, catalytic synthesis-gas conversion on Fisher-Tropsh with reception of such hydrocarbons are considered. On the basis of the studied quality indicators (ash-content, moisture content, outcome of humic and volatile substances, bitumens, element structure, warmth of combustion heat, etc.) of brown coals of the Brinevsky deposit the most perspective are allocated for coals of Belarus.*

*The prospect of use of high-speed pyrolysis of brown coals of Belarus is considered and results of tests to create in INM NAS, Belarus, of large-lab pyrolysis installation in a mobile layer with production of combustible gases and semicoke are given. A scheme of complex brown coals processing has been offered, including fuel and non-fuel trends.*

Научное издание  
**ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**

Сборник научных трудов  
Выпуск 15

*Посвящен*  
**80-летию Национальной академии наук Беларуси**  
**и 75-летию Института природопользования**

Редактор И. А. Алябьев  
Компьютерная верстка Н. В. Данькова, Т. Н. Козловская

---

Подписано в печать 2009. Формат 60x90/8. Бумага офсетная.  
Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. Уч.-изд. л.  
Тираж 150 экз. Заказ № Заказное.

Издательство

Отпечатано в типографии

УДК 504.(476) (082)  
ББК