

Природо- пользование

ВЫПУСК 17



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ»

Природо- пользование

Сборник научных трудов

Основан в 1996 году

Выпуск 17



МИНСК

Издатель А. Н. Вараксин

2010

УДК 504.(476) (082)

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

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

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

РЕДКОЛЛЕГИЯ:

академик, д-р сел.-хоз наук Н. Н. Бамбалов, д-р техн. наук Н. И. Березовский, д-р техн. наук Г. П. Бровка, д-р 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, канд.техн. наук Г. А. Камышенко, д-р геогр. наук Т. И. Кухарчик (отв. секретарь), д-р геогр. наук В. Н. Киселев, член-корреспондент, д-р геол.-мин. наук А. В. Кудельский, академик, д-р геогр. наук В. Ф. Логинов, академик, д-р техн. наук И. И. Лиштван, канд. техн. наук В. Н. Марцуль, академик, д-р геол.-мин. наук А. В. Матвеев, д-р техн. наук Э. И. Михневич, д-р техн. наук Г. В. Наумова, д-р геогр. наук И. И. Пирожник, член-корреспондент, 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), академик, д-р сел.-хоз наук А. Р. Цыганов

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

С О Д Е Р Ж А Н И Е

I. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Карабанов А. К., Камышенко Г. А.	Основные результаты деятельности Института природопользования НАН Беларуси в 2009 г.	5
Какарека С. В., Мальчихина А. В.	Использование модели RAINS/GAINS для оценки затрат на снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух	13
Мальчихина А. В.	Прогноз выбросов аммиака в атмосферный воздух на территории Беларуси	21
Логинов В. Ф., Кадыров М. А., Камышенко Г. А.	Основные принципы адаптации земледелия Беларуси к изменяющемуся климату	28
Логинов В. Ф., Коляда В. В., Савич-Шемет О. Г.	Сравнительный анализ многолетней урожайности озимой и яровой пшеницы в Беларуси, Польше, Германии, Великобритании и Нидерландах	40
Матвеев А. В., Нечипоренко Л. А.	Современные геологические процессы в среднем течении р. Вилии (Беларусь)	44
Матвеев А. В.	Состояние и перспективы расширения сырьевой базы строительных песков на территории Могилевской области	50
Рогунович В. П., Шнипов Ф. Д., Евдокимов В. А.	Необходимость и возможность создания интегрированной автоматической измерительной информационной системы речных бассейнов	56
Лукашев О. В., Натаров В. М., Лукашева Н. Г., Савченко С. В.	Химический состав суглинистых вод Березинского биосферного заповедника	63
Васнева О. В.	Моделирование процессов распространения пестицидов в подземных водах на территории Поставского захоронения	69
Ракович В. А.	Аккумуляция углерода естественными болотами Беларуси по периодам голоцене	78
Ракович В. А., Молокова Н. В., Селивончик Т. В.	Оценка потери углерода и эмиссии диоксида углерода с выработанных торфяных месторождений	85
Тановицкая Н. И., Ратникова О. Н.	Особенности стратиграфии торфяных залежей верховых болот Западно-Поозерской торфяно-болотной области	91
Рупасова Ж. А., Яковлев А. П., Васильевская Т. И.	Влияние способа эксплуатации торфяников на биохимический состав плодов представителей рода Oxydectes Hill в условиях севера Беларуси	102
Гусев А. П., Шпилевская Н. С.	Фитоиндикационно-геоэкологический анализ антропогенной динамики лесного ландшафта	108
Козловская И. П.	Сравнительная оценка эффективности тепличных агроценозов с использованием синтетических и органических корнеобитаемых сред	114
Коляда В. В., Шубская Ю. А.	Оценки факторов изменения агротермических ресурсов Беларуси	118
Тышкевич В. Е.	Окупаемость расходов и интенсификация охотничье-го хозяйства Беларуси	126

II. БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

Бровка Г. П., Ивашкевич И. И., Левашкевич В. Г.	Компьютерное моделирование процессов взаимовы- теснения газа и воды в подземных газохранилищах	138
Бровка А. Г., Пяткевич К. В.	Моделирование теплообмена в устройствах для ис- следования теплофизических характеристик природ- ных дисперсных систем	145
Фалюшин П. Л., Крайко В. М., Ануфриева Е. В., Смолячкова Е. А.	Термоустойчивость и скоростной пиролиз смесей го- рючего сланца и сапропеля	152
Лиштван И. И., Фалюшин П. Л., Дударчик В. М., Ануфриева Е. В.	Утилизация полимерных отходов методом совмест- ного пиролиза с торфом с получением высококало- рийного газа	159
Братищко Р. Ф., Соколовская Ю. Г.	Технико-экономические показатели пиролиза древес- ных отходов	165
Цыганов А. Р., Томсон А. Э., Соколова Т. В., Пармон С. В., Пехтерева В. С.	Селективные сорбенты на основе модифицированно- го торфа	169
Томсон А. Э., Соколова Т. В., Стригуцкий В. П., Пармон С. В., Пехтерева В. С.	Механизм поглощения амиака модифицированным торфом	174
Дребенкова И. В., Царюк Т. Я., Стригуцкий В. П., Пармон С. В., Фалюшина И. П., Шапорева Л. Д.	Механизм повышения защитной эффективности жир- ных кислот растительных масел моюще-дисперги- рующими присадками	181
Лиштван И. И., Абрамец А. М., Янута Ю. Г., Монич Г. С., Глухова Н. С., Алейникова В. Н.	Гуминовые кислоты и процессы трансформации структурь, водных свойств торфа, торфяных почв при их сушке–увлажнении	188
Бамбалов Н. Н., Смирнова В. В., Решетник А. С.	Сравнительная оценка биологической активности препаратов гуминовых веществ, полученных из тор- фа низинного и верхового типов	194
Зайцева Т. Л., Жуков В. К., Пармон С. В., Шеремет Л. С.	Физико-химическая характеристика и биологическая активность водно-спиртового экстракта коры ивы	200
Томсон А. Э., Наумова Г. В., Шурхай С. Ф., Жмакова Н. А., Овчинникова Т. Ф. Макарова Н. Л. Кашинская Т. Я., Гаврильчик А. П., Шевченко Н. В.	Антиоксидантная активность некоторых компонентов торфа и растительных отходов	205
Красноберская О. Г., Соколов Г. А., Цвирко Л. Ю.	Получение препаратов различного назначения на ос- нове торфа	210
	Изменение группового состава вторичного органиче- ского сырья при его биологической переработке	215

III. НАУЧНЫЕ ДИСКУССИИ

Бамбалов Н. Н.	Дискуссионные вопросы трактовки термина «торф»	219
-----------------------	--	-----

I. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 001.891

А. К. Карабанов, Г. А. Камышенко

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНСТИТУТА ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НАН БЕЛАРУСИ В 2009 г.

Представлены основные результаты научных исследований, полученные в 2009 г. сотрудниками Института природопользования НАН Беларуси в ходе выполнения государственных программ и договоров с субъектами хозяйствования, отражена практическая реализация важнейших разработок. Сформулированы главные направления научно-исследовательской деятельности института в 2010 г.

Экономический рост в стране зависит от использования во всех сферах хозяйственной деятельности достижений научно-технических новшеств, так называемых инноваций. Задача академических институтов – максимально способствовать внедрению в производственную сферу новейших научных разработок. Научно-исследовательская, научно-техническая и инновационная деятельность учреждений НАН Беларуси должна осуществляться в соответствии с приоритетными направлениями социально-экономического развития государства.

Цель публикации – подведение итогов выполнения в 2009 г. основных показателей социально-экономического развития Институтом природопользования НАН Беларуси и в определении стратегии исследовательской, научно-технической и инновационной деятельности института для достижения в 2010 г. утвержденных прогнозных показателей. Из них выделим следующие:

- количество выполняемых заданий государственных программ, качественную характеристику полученных результатов;
 - разработку и внедрение технологий, новой наукоемкой продукции, баз данных и др.;
 - патентно-лицензионную деятельность;
 - редакционно-издательскую деятельность;
 - кадровый состав и подготовку кадров высшей квалификации;
 - международные связи;
 - финансовое обеспечение научных исследований;
 - развитие материально-технической базы;
 - хозяйственную деятельность и др.
- Важнейшими направлениями фундаментальных исследований, развиваемых в институте, являются: разработка теоретических и научно-методических основ оценки геопотенциала страны; разработка теории и методов адаптации

природных комплексов и отраслей народного хозяйства к изменениям окружающей среды и климата, методов мониторинга, прогнозирования и предупреждения чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера; разработка ресурсосберегающих и биосферносовместимых технологий глубокой переработки и комплексного использования торфа, бурых углей, сланцев и сапропеля. Указанные направления соответствуют приоритетам научно-технической деятельности, утвержденным Указом Президента Республики Беларусь от 06.07.2005 № 315: «Экология и рациональное природопользование» и «Технологии производства, переработки и хранения сельскохозяйственной продукции».

В 2009 г. выполнялись научно-исследовательские работы в рамках ГКЦНП «Природопользование», ГКЦНП «Химические продукты и технологии», ГКЦНП «Развитие села». Институт выполнял функции головной организации-исполнителя по реализации мероприятий Государственной программы ориентированных фундаментальных исследований «Природопользование», Государственной научно-технической программы «Экологическая безопасность», Государственной целевой программы «Антарктика», обеспечивал научное сопровождение Государственной программы «Торф» на 2008–2010 гг. и на период до 2020 г.

Задания, выполняемые в рамках государственных программ

Сотрудниками института проводились исследования по 19 заданиям государственных программ фундаментальных и прикладных исследований: 9 заданий ГПОФИ «Природопользование», 7 – ГПОФИ «Недра Беларуси», по 1 – ГПОФИ «Ресурсы растительного и животного мира», ГППИ «Полимерные материалы и технологии», ГППИ «Земледелие и механизация». Выполнялись исследования по 2 отдельным научным проектам.

Проводились исследования по 13 договорам с Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований (7 завершены), по 3 заданиям в рамках Программы Союзного государства «Совершенствование системы обеспечения населения и отраслей экономики Российской Федерации и Республики Беларусь информацией о сложившихся и прогнозируемых погодно-климатических условиях, состоянии и загрязнении природной среды на 2007–2011 гг.» (завершены).

Кроме того, выполнялись 13 научно-технических проектов: 9 заданий ГНТП «Экологическая безопасность» (3 завершены), 3 задания ГНТП «Химические технологии и производства» (1 завершено), 1 задание ГНТП «Агрокомплекс – возрождение и развитие села»; 6 заданий в рамках государственных программ: ГП «Торф» (3), по 1 в рамках ГП геолого-геофизических изысканий для выбора промплощадки размещения АЭС, ГП развития национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь, ГЦП «Антарктика».

Качественная характеристика полученных результатов

Среди важнейших научных результатов в области фундаментальных исследований, открывающих новые возможности научно-технического прогресса, полученных в 2009 г. сотрудниками института, можно выделить следующие:

- раскрыты проблемы взаимодействия природных и природно-техногенных процессов в городах и зонах их влияния, что послужило методологической и информационной основой для разработки территориальных комплексных схем охраны окружающей среды и генпланов городов;

- выявлена закономерность проявления квазиполугодового колебания температуры воздуха, модулируемого адвекцией тепла течениями системы Гольфстрим, отчасти раскрывающая механизмы современного потепления климата, что перспективно для решения прогнозных задач в метеорологии и агроклиматологии;

- установлены закономерности влияния технологических параметров и вида сырья на количественный и качественный состав извлекаемых из торфа CO₂-экстрактов, учет которых позволит повысить выход последних и в перспективе создать на их основе импортозамещающие биологически активные препараты для медицины и косметики;

- впервые экспериментально доказано, что поверхностно-активные свойства водорастворимых солевых форм гуминовых кислот (ГК) зависят не только от реакции дисперсионной среды (pH), но и от противоиона (катиона) обменного комплекса ГК. Водорастворимые солевые формы ГК как поверхностно-активные вещества по активности образуют следующий ряд: Na-ГК > K-ГК > NH₄-ГК. Природные ПАВ на основе солевых

форм ГК определяют возможности разработки новых технологий производства экологически безопасных материалов природоохранного и сельскохозяйственного назначения, в том числе экспортноориентированного;

- выявлены закономерности распространения и формирования плейстоценовых глинистых (глин, суглинков и супесей), песчаных и гравийно-песчаных отложений Беларуси, что позволило выделить 3 перспективных участка для поиска и разведки глинистых, песчаных и песчано-гравийных пород (Лучосинский, Ошмянский, Руденский);

- установлены основные закономерности формирования и распространения нормируемых ингредиентов (Fe, Mn, В и др.) ионно-солевого состава пресных вод, что дало возможность предложить ряд мероприятий по сохранению их высокого качества, подготовить к изданию среднемасштабные гидрохимические карты основных водоносных комплексов Беларуси;

- выполнены оценки эмиссионных факторов тяжелых металлов и стойких органических загрязнителей для стран СНГ, результаты включены в международное руководство по инвентаризации выбросов ЕМЕП/КОРИНЕЙР и используются при оценках выбросов указанных загрязняющих веществ в Украине, России, Казахстане и других странах.

Этими научными результатами далеко не исчерпываются все достижения, полученные специалистами института в 2009 г.

Инновационная деятельность института

В настоящее время важное значение в стране придается выполнению Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь на 2007–2010 гг., включающей наиболее значимые для народного хозяйства разработки. В 2009 г. институт осуществлял научное сопровождение 4 проектов, включенных в указанную программу, в рамках которых разработано следующее:

- технологический процесс производства препаратов природоохранного назначения на основе новых композиций солевых форм ГК и продуктов физико-химической модификации лигнина; запланированный объем выпуска мелиорантов почв (50 т) на РПУП «Житковичское» выполнен;

- технология, нормативно-техническая документация биологически активной добавки для животноводства на основе гуминовых веществ и микроэлементов «Гумосил», производство освоено в опытно-промышленном масштабе на ОАО «Минскоблагсервис»; запланированный объем выпуска продукции выполнен;

- нормативно-техническая документация, подготовлено к производству 6 новых видов продуктов, предназначенных для зеленого обустройства территорий, нарушенных хозяйственной

деятельностью; в соответствии с контрактом в Королевство Саудовская Аравия поставлено 40 т мелиорантов почв гуминовых (торфолигниновых);

- технологии использования продуктов термохимической переработки бурых углей с целью производства углерод-минеральных сорбентов для очистки сточных вод и газовых выбросов, сорбентов на основе ГК, стимуляторов роста растений, мелиорантов.

Кроме того:

- на производственной базе ОАО «Торфобрикетный завод Житковичский» наработаны опытные партии мелиорантов почв гуминовых буроугольных, в том числе порошкообразного – 100 кг, жидкого (водорастворимого) – 1 т; по нетопливному использованию бурых углей наработано 100 л сорбентов ионов тяжелых металлов;

- проведена апробация технологии получения регулятора роста из бурого угля «Бурогумин» и наработана опытная партия (105 кг) на опытно-промышленной установке ЗАО «Белнефтесорб».

Несмотря на полученные результаты, обладающие высокой практической значимостью, имеется ряд проблем, затрудняющих использование важных научных разработок на практике. В частности, проведение опытно-промышленных испытаний разработанных технологий по нетопливному использованию бурых углей затруднительно в связи с отсутствием сырья, необходимо принятие на правительственном уровне решения о промышленной разработке месторождений бурых углей Беларусь. Существует также проблема финансирования испытаний полученных препаратов и материалов и их госрегистрации.

Внедрение результатов НИОКР в народное хозяйство

В течение года в институте выполнено 45 бюджетных и 127 хозяйственных договоров, в том числе 3 контракта с зарубежными странами.

Ряд результатов, полученных в рамках прямых договоров с предприятиями страны, использован в различных отраслях народного хозяйства. Приведем отдельные разработки, выполненные по заказам министерств и ведомств с последующим внедрением.

По заказу Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь разработаны:

- проект организации благоустройства и озеленения санитарно-защитной зоны ЗАО «Август-Бел»;
- анализ возможностей интеграции данных о состоянии атмосферного воздуха в городах Беларусь в европейские информационные системы;
- научное обоснование изменения направления использования выработанного участка торфяного месторождения Корытино с сельскохозяйственного на природоохранное, практическая реализация которого позволит увеличить

объем добываемого торфа на вырабатываемых площадях, сэкономить государственные средства на дорогостоящую сельскохозяйственную рекультивацию и улучшить экологическую ситуацию в Барановичском районе;

- детальная разведка сапропеля в озере Черном, расположенному к западу от д. Видзы-Ловчинские Браславского района, и прилегающем торфяном массиве, позволила утвердить запасы сапропелевых лечебных грязей и разработать документы для получения геологического отвода на производство полевых работ.

По заказу Министерства энергетики Республики Беларусь представлены «Рекомендации по обращению с ПХБ-содержащим оборудованием».

В интересах Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь выполнены:

- расчет нормативов допустимого сброса сточных вод на выпуске в водный объект после городских очистных сооружений г. Мяделя;

- расчет нормативов допустимого сброса поверхностных сточных вод, поступающих в коммунальные сети дождевой канализации г. Новогрудка, на выпуск в реки Валовку и Чемеровку по расширенному перечню показателей нормируемых ингредиентов.

По заказу Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь подготовлены материалы по оценке и допустимом объеме, параметрах и расположении дноуглубительных выработок песка из русел рек Днепр, Припять, Березина, Западная Двина, Сож речными портами.

По заказу Министерства строительства и архитектуры Республики Беларусь разработаны сейсмотектоническая карта Островецкого пункта М 1:200000, карта активных физико-геологических процессов М 1:200000, карта основных геоструктур региона М 1:200000, заключение «Сейсмотектонические условия и оценка сейсмической опасности Островецкого пункта», сейсмотектоническая карта Островецкого пункта М 1:200000, карта разломов М 1:1500000, которые использованы для оценки сейсмотектонических условий района возможного размещения АЭС и других крупных инженерных объектов.

По заказу Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь предложен ряд новых препаратов (кормовые добавки, мелиоранты почв, растительные грунты и др.).

Патентно-лицензионная деятельность

Одним из важнейших показателей, характеризующих инновационный путь развития, является патентно-лицензионная работа. Новизна результатов научных исследований в 2009 г. подтверждена получением 3 патентов РБ на изобретения («Составы для получения комплексных гуматсодержащих микроудобрений для внекорневой подкормки рапса и кукурузы», «Жидкое

удобрение для некорневой подкормки растений», «Консервационная смазка»), положительных решений о выдаче патентов по 3 заявкам на изобретение, подачей в Национальный центр интеллектуальной собственности 5 заявок на получение патентов на изобретение, что дает основание утверждать: данный прогнозный показатель в 2010 г. будет достигнут. В настоящее время поддерживаются в силе 12 патентов (11 патентов РБ на изобретения и 1 патент РБ на полезную модель).

В современных условиях при осуществлении инновационной деятельности особую значимость приобретает дальнейшее развитие важнейших разработок, обладающих практической направленностью, в том числе посредством заключения лицензионных договоров с субъектами хозяйствования. Это один из проблемных вопросов, требующих своего решения в ближайшее время. На сегодняшний день в институте действует 1 лицензионный договор «ноу-хау» – на технологию производства и составы жидких гуминовых удобрений с микроэлементами «ЭлеГум» с ПРУП «Зеленоборское». В данном направлении сотрудникам института следует активнее работать, что будет способствовать внедрению в народное хозяйство значимых разработок, а также создаст предпосылки для получения реальных финансовых выгод для учреждения. В соответствии с постановлением Общего собрания НАН Беларуси от 05.02.2010 г. № 1 необходимо активизировать патентно-лицензионную деятельность, заключение лицензионных договоров, ведение строгого учета и контроля средств, получаемых от коммерциализации интеллектуальной собственности, разрабатываемых передовых производственных технологий и новых материалов.

В области стандартизации разработаны 7 технических кодексов установившейся практики и 2 государственных стандарта в области охраны окружающей среды и природопользования.

Деятельность института направлена на повышение эффективности работы реального сектора экономики страны. Среди основных, решаемых как традиционно, так и в связи с требованиями последних лет, проблем, выделим:

- разработку технологий получения новых материалов (веществ, препаратов), имеющих импортозамещающий эффект;

- обоснование предложений по вовлечению новых местных горючих ископаемых (бурового угля, горючих сланцев) в теплоэнергетику; разработку топливных композиций и технологий сжигания с целью обеспечения 25 % топливного баланса страны за счет местных источников;

- проведение комплекса научно-исследовательских работ по выбору площадки для Белорусской АЭС и оценке воздействия АЭС на окружающую среду, что направлено на снижение

стоимости электроэнергии и уменьшение зависимости страны от мировых финансовых кризисов.

При решении указанных важнейших народно-хозяйственных проблем сотрудниками института достигнуты следующие результаты.

В экотехнологическом направлении:

- освоена технология и организовано производство жидких гуминовых удобрений с микроэлементами «ЭлеГум» на ПРУП «Зеленоборское» Смолевичского района;

- разработан и освоен на ПРУП «Зеленоборское» технологический процесс производства биологически активных торфяных горшочков;

- подготовлено опытно-промышленное производство продукции сельскохозяйственного и природопользовательского назначения: консерванта плющеного зерна «Гумоплюс», 4 видов экспортноориентированной продукции для зеленого обустройства пустынных территорий;

- выполнены обоснование и геолого-экономическая оценка целесообразности эксплуатации сапропелевого месторождения в оз. Прибывловичи Лельчицкого района Гомельской области; начата промышленная эксплуатация данного месторождения открытым способом;

- наработаны и прошли испытания на соответствие техническим условиям опытные партии мелиорантов почв гуминовых буроугольных (порошкообразных и жидких);

- представлена рецептура кормовой добавки «Эколин-4», корректирующей обмен веществ у высокопродуктивных коров за производственный цикл, наработана опытная партия новой кормовой добавки;

- разработаны технические условия на получение сорбентов ионов тяжелых металлов буроугольных, кормовой добавки «Ипан» для крупного рогатого скота, гуминового препарата торфяного;

- разработаны составы, рецептура и технические условия приготовления растительных грунтов для озеленения территорий, предложения по их использованию.

Объем реализованной предприятиями страны по разработкам института продукции (регуляторы роста растений, удобрения жидкие гуминовые с микроэлементами «ЭлеГум», почвенные мелиоранты и др.) составил 6,4 млрд руб., в том числе экспорт продукции – 2,7 млрд руб., импортозамещение – 2,1 млрд руб.

Для выполнения плана мероприятий по реализации Директивы Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г. № 3 «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства»:

- разработаны критерии эколого-хозяйственной оценки потенциальной ценности торфяных месторождений различных условий генезиса и методические рекомендации по выделению торфяных месторождений в целевые фонды.

Изучены современное состояние и использование торфяных месторождений Брестской области, оценена потенциальная ценность торфяных ресурсов, разработана Схема рационального использования и охраны торфяных месторождений Брестской области на период до 2020 г.;

- установлена зависимость теплоты сгорания торфополимерной смеси от состава, проявляющаяся в повышении калорийности горючего газа пиролизом торфополимерных смесей за счет роста в его составе углеводородной составляющей, что создает возможность повышения эффективности получаемых энергоносителей. Установлен оптимальный режим пиролиза торфополиэтиленовых смесей для получения горючих газов повышенной калорийности;
- определены технические характеристики бурых углей Лельчицкого углепроявления, доказана перспективность их переработки;
- установлены и рекомендованы для постановки буровых работ на нефть около 70 нефтеперспективных объектов.

По выбору площадки для размещения Белорусской АЭС и оценке воздействия АЭС на окружающую среду:

- разработана сейсмотектоническая модель западных областей Беларуси, использованная в качестве основы для постановки детальных сейсмотектонических исследований на территории Островецкого пункта и площадки возможного строительства АЭС;
- построены неотектоническая карта и карта геохимических ландшафтов района расположения Островецкой площадки строительства АЭС;
- совместно с НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам и Институтом экспериментальной ботаники НАН Беларуси выполнена оценка воздействия на окружающую среду (подземные воды, ландшафты, растительный и животный мир) планируемого строительства атомной станции на Островецкой площадке в Гродненской области; представлена сравнительная оценка и ранжирование Островецкого, Кукшиновского и Краснопольянского пунктов по пригодности для размещения АЭС по ландшафтно-экологическим критериям. Результаты использованы Министерством энергетики Республики Беларусь при выборе площадки строительства АЭС.

Редакционно-издательская деятельность

Сотрудниками института в 2009 г. опубликованы 5 монографий, 2 сборника статей, 1 справочно-информационное издание, 6 брошюр, 158 научных статей, в том числе 32 за пределами Беларуси, 30 тезисов докладов [1–12].

Институт принял участие в работе 8 международных выставок, в том числе проходивших в странах дальнего зарубежья: Италии, Ливии, Королевстве Саудовской Аравии, Катаре, ОАЭ, Китае, на которых экспонировались гуминовые мелиоранты почв на основе торфа и сапропеля.

В 2009 г. специалистами Института природопользования НАН Беларуси совместно с учеными Института географии РАН (Москва) и БГУ организованы и проведены заседание Объединенного научного совета по фундаментальным географическим проблемам при Международной ассоциации Академий наук и Международная научная конференция «Глобальные и региональные угрозы и риски устойчивого развития стран и регионов СНГ».

Кадровый состав и подготовка кадров высшей квалификации

Из общего числа работающих сотрудников в институте (166 человек) 139 – исследователи, из них 67 имеют ученые степени: 5 академиков, 3 члена-корреспондента, 10 докторов наук и 49 кандидатов наук. С целью повышения квалификации отдельные сотрудники (5) прошли курсы обучения при Институте подготовки научных кадров НАН Беларуси.

В 2009 г. защищена 1 кандидатская диссертация [2], подготовлены к защите 1 докторская и 3 кандидатские диссертации.

Через аспирантуру при институте ведется подготовка научных кадров высшей квалификации. В соответствии с решением бюро Президиума Национальной академии наук Беларуси по результатам аттестации института, проведенной в 2009 г., в аспирантуре введена новая специальность: 25.00.27 – гидрология суши, водные ресурсы и гидрохимия (географические науки), что позволит с более полной отдачей использовать имеющийся высококвалифицированный кадровый потенциал.

При институте действуют 2 совета по защите диссертаций (Д 01.23.01 и К 01.23.01). На совете К 01.23.01 в 2009 г. защищены 3 кандидатские диссертации, на совете Д 01.23.01 – 1 кандидатская диссертация.

Международные связи

В рамках международного сотрудничества выполнялись проекты Программы развития ООН и Программы малых грантов Глобального экологического фонда, Программы Союзного государства, а также прямые договоры с научно-техническими фирмами России. Однако, учитывая повышенющиеся требования в направлении оказания экспортных услуг, в институте предстоит решить проблему по расширению объемов экспортноориентированных научно-технических работ в области природопользования и охраны окружающей среды.

В 2009 г. состоялись научные встречи с коллегами из Польши, Венесуэлы, Чили для обсуждения возможного сотрудничества в области природопользования. Сотрудники института приняли участие в работе 21 международной конференции, в том числе Международного семинара по проблемам восстановления болот, состоявшемся в КНР, Финско-украинском совещании по пробле-

мам в области наук о Земле, в совместном заседании ЭЙОНЕТ и Целевой группы по инвентаризации и проектированию выбросов ЕМЕП, состоявшемся в Австрии, и др.

Финансовое обеспечение научных исследований

Бюджетное финансирование на 2009 г. составило 1871,7 млн руб. Объем выполненных работ по бюджетным и хозяйственным договорам – 7035,6 млн руб., в том числе по бюджетным договорам – 6145,6 млн руб., что составило 140 % от плана, по прямым хозяйственным договорам – 890,0 млн руб.

Развитие материально-технической базы

Приборная база института поддерживается в работоспособном состоянии. Имеющееся в наличии оборудование используется для выполнения научно-исследовательских работ по государственным программам и хоздоговорным работам. Приборы и оборудование в настоящее время приобретаются в основном за счет собственных средств института. Из средств республиканского бюджета в 2009 г. институтом закуплена центрифуга ЦВ-01-2, предназначенная для выделения и фракционирования гуминовых веществ из различных каустобиолитов.

Хозяйственная деятельность

Основные усилия в области хозяйственной деятельности направлены на улучшение условий труда сотрудников. Были выполнены ремонтные работы в помещениях, а также гидропромывка системы отопления, аттестация вентиляционных установок.

Много внимания уделялось охране труда и технике безопасности, вопросам энергосбережения путем подготовки здания института к работе в осенне-зимний период, в том числе замены окон на теплосберегающие, замены обычных светильников на более экономичные, недопущения пользования электрообогревателями и другими электрическими приборами.

Признание заслуг ученых института

Научно-технические достижения ведущих сотрудников института отмечены отечественными наградами и премиями.

Академик В. Ф. Логинов награжден медалью Франциска Скорины за значительный личный вклад в развитие климатологии, внедрение результатов исследований в организацию мониторинга окружающей среды, адаптацию различных отраслей народного хозяйства к климатическим изменениям, подготовку кадров высшей научной квалификации.

Академик И. И. Лиштван награжден медалью «За трудовые заслуги» за значительный вклад в развитие физико-химической механики природных дисперсных систем, физической и коллоидной химии твердых горючих ископаемых, разработку научных подходов рационального природопользования и охраны окружающей сре-

ды, многолетнюю плодотворную научно-организационную деятельность и подготовку научных кадров.

Заведующему лабораторией С. В. Какарека за выдающийся вклад в социально-экономическое развитие республики установлена персональная надбавка за счет средств резервного фонда Президента Республики Беларусь.

На 2009 г. назначены стипендии Президента Республики Беларусь:

- аспиранту очной формы обучения О. Е. Белькович;
- м.н.с. Н. К. Быковой как талантливому молодому ученому без степени;
- с.н.с. Ю. Г. Янute как талантливому молодому ученому – кандидату наук.

За существенный вклад в развитие природоохранных задач и рациональное использование природных ресурсов Институт природопользования НАН Беларуси награжден Почетной грамотой Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь (Приказ Минприроды Республики Беларусь от 09.01.2009 № 2-к).

В связи с 80-летием со дня основания Национальной академии наук Беларуси сотрудники института награждены грамотами и благодарностями Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь:

Почетной грамотой:

д.т.н. С. В. Какарека за многолетний и плодотворный труд, значительный вклад в организацию и проведение научных работ по оценке воздействия трансграничных загрязнений на окружающую среду;

Благодарностями:

д.г.н. В. С. Хомич – за большой вклад в организацию научно-исследовательских работ в области земельных ресурсов Беларуси, активное сотрудничество с Минприроды;

к.х.н. А. Э. Томсон – за многолетний и плодотворный труд, значительный вклад в области переработки твердых горючих ископаемых, разработки новых сорбционных материалов, активное сотрудничество с Минприроды.

Академик В. Ф. Логинов награжден Почетной грамотой Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь за вклад в решение проблемы предотвращения риска-ситуаций в части климатических и гидрологических факторов на территории Беларуси и в связи с 80-летием образования Национальной академии наук Беларуси.

Член-корреспондент А. К. Карабанов награжден Почетной грамотой Министерства энергетики Республики Беларусь за большой личный вклад в развитие и совершенствование энергетического комплекса Республики Беларусь, разработку и научное сопровождение программных документов, направленных на обеспечение энер-

гетической безопасности страны и в связи с 80-летием образования Национальной академии наук Беларусь.

Заключение

Планы НИР и показатели социально-экономического и научно-инновационного развития Институтом природопользования НАН Беларусь в 2009 г. выполнены в полном объеме. Успешно велись работы по практическому освоению полученных научных результатов, что позволилонести значимый вклад в решение проблем рационального природопользования, охраны окружающей среды и разработки технологических основ переработки твердых горючих ископаемых.

Институт аттестован по итогам научной, научно-технической, инновационной и иной деятельности за 2004–2008 гг. (постановление Бюро Президиума НАН Беларусь от 2 июля 2009 г. № 365).

С целью повышения эффективности научной, научно-технической и инновационной деятельности 14.07.2009 г. состоялась встреча ведущих научных сотрудников института с Министром природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь В. Г. Цалко, в ходе которой обсуждены перспективы научно-технического сотрудничества в области природопользования и охраны окружающей среды.

2010 г. является завершающим годом пятилетки, что накладывает дополнительную ответственность на исполнителей заданий государственных программ научно-исследовательских работ.

Результаты исследований должны:

- обеспечивать научное сопровождение приоритетных направлений социально-экономического развития и основных направлений научно-технической и инновационной деятельности в Республике Беларусь на 2006–2010 гг. в области экологии и рационального природопользования; новых материалов и новых источников энергии; ресурсосберегающих и энергоэффективных технологий производства конкурентоспособной продукции;
- иметь уровень, обеспечивающий международные конкурентные преимущества Беларусь в развитии прикладных исследований либо обеспечивать экспертные функции по важнейшим вопросам управления экологической ситуацией и природопользованием в стране, в том числе при оценке целесообразности использования иностранных технологий.

Результаты выполнения заданий в рамках государственных программ должны быть ориентированы на потребности министерств и ведомств, с которыми подписаны двусторонние соглашения о взаимной заинтересованности: Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Министерства сельского хозяйства и продовольствия, Министерства по чрезвычайным ситуациям, Министерства лесного хозяйства, Министерства обороны, Белорусского концерна по топливу и гази-

фикации «Белтопгаз», Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь.

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

- разработка научно-методических основ оптимизации структурно-функциональной организации ландшафтно-рекреационных территорий городов;
- районирование территории Беларусь по условиям проявления рисков, обусловленных экстремальными климатическими явлениями;
- разработка предложений по изменению структуры посевных площадей для получения максимальных урожаев в условиях изменяющегося климата;
- научное обоснование критериев и методики оценки стадий деградации осушенных торфяных почв при их сельскохозяйственном использовании;
- исследование условий формирования сапропелевых ресурсов в различных регионах республики для научного обоснования новых сырьевых баз;
- разработка предложений по перераспределению запасов торфа по целевым фондам;
- вовлечение торфяных ресурсов в энергетический комплекс страны;
- исследование особенностей круговорота углерода в восстанавливаемых болотных экосистемах после добычи торфа в целях научного обоснования методики оценки стока диоксида углерода в восстанавливаемые болота;
- обобщение результатов теоретических и экспериментальных работ по переносу энергии и вещества в природных средах и разработка методов оценки их экстремальных состояний и минимизации отрицательных последствий антропогенного нарушения;
- изучение геодинамики земной коры и современных геологических процессов на территории Беларусь; построение соответствующих карт;
- изучение геохимии пресных подземных вод Беларусь и разработка геэкологических основ их рационального использования;
- изучение генезиса и распространения подземных минеральных вод и лечебных рассолов Беларусь в связи с их традиционным и перспективным экологобезопасным использованием в санаторно-курортной реабилитации населения;
- разработка прогноза и рекомендаций по поискам новых типов минеральных вод;
- разработка прогноза нефтегазоносности локальных структур Припятского прогиба;
- разработка ресурсосберегающих технологий получения биологически активных препаратов для животноводства и растениеводства.

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

Важнейшей задачей в 2010 г. является формирование и утверждение в установленном порядке новых государственных программ науч-

ных исследований на 2011–2015 гг., направленных на изучение, всестороннюю оценку и более полное вовлечение в хозяйственный оборот природно-ресурсного потенциала страны, на комплексную переработку ископаемого органического сырья с получением востребованной в республике и ориентированной на экспорт продукции.

Л и т е р а т у р а

1. Библиографический указатель научных трудов д-ра геогр. наук Г. И. Сачка / Сост. и авторы вступительной статьи: В. Ф. Логинов, Г. А. Камышенко, В. С. Хомич. Минск, 2009.
2. **Быкова Н. К.** Функционирование и трансформация болотных комплексов на урбанизированных территориях (на примере г. Минска): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук . Минск., 2009.
3. **Зиновенко Г. В., Гарецкий Р. Г.** Подлясско-Брестская впадина: строение, история развития и полезные ископаемые. Минск, 2009.
4. **Какарека С. В.** Трансграничное загрязнение атмосферного воздуха и его регулирование. Минск, 2009.
5. **Какарека С. В., Кухарчик Т. И., Крылович А. В., Мальчишина А. В.** Методические рекомендации по оценке выбросов твердых взвешенных частиц с учетом дисперсного состава / Ин-т природопользования НАН Беларуси. Минск, 2009.
6. **Карабанов А. К., Гарецкий Р. Г., Айзберг Р. Е.** Неотектоника и неогеодинамика запада Восточно-Европейской платформы. Минск, 2009.
7. **Липский В. К., Лиштван И.И.** Технические средства защиты водных объектов при аварийных разливах нефти. Новополоцк, 2009.
8. Природопользование: Тр. Ин-та природопользования НАН Беларуси / Под ред. А. К. Карабанова. Минск, 2009. Вып. 15.
9. Природопользование: Тр. Ин-та природопользования НАН Беларуси / Под ред. А. К. Карабанова. Минск, 2009. Вып. 16.
10. **Соколов Г. А., Бамбалов Н. Н., Гаврильчик А. П., Назаров В. Н. и др.** Применение жидких комплексных гуминовых удобрений с микроэлементами ЭлеГум: рекомендации / Ин-т природопользования НАН Беларуси. Минск, 2009.
11. Состояние природной среды Беларусь: экол. бюл., 2008 г. / Под общ. ред. В. Ф. Логинова. Минск, 2009.
12. **Томсон А. Э., Наумова Г. В.** Торф и продукты его переработки. Минск, 2009.

Институт природопользования НАН Беларуси

A. K. Карабанов, Г. А. Камышенко

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНСТИТУТА ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НАН БЕЛАРУСИ В 2009 Г.

Представлены основные результаты научных исследований, полученные в 2009 г. сотрудниками Института природопользования НАН Беларуси в ходе выполнения государственных программ и договоров с субъектами хозяйствования, отражена практическая реализация важнейших разработок. Сформулированы главные направления научно-исследовательской деятельности института в 2010 г.

A. K. Karabanov, G. A. Kamysheenko

BASIC RESULTS OF THE INSTITUTE FOR NATURE MANAGEMENT NAS OF BELARUS ACTIVITY IN 2009

Basic researches results for 2009 obtained by employees of the Institute for Nature Management NAS of Belarus in the course of implementation of state programs and treaties with economy subjects are provided, practical realization of most significant developments is shown. The most important directions of scientific-research activity of the institute in 2010 have been formulated.

С. В. Какарека, А. В. Мальчихина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ RAINS/GAINS ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАТРАТ НА СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ

Выполнен анализ статистических данных о расходах на охрану атмосферного воздуха в Беларуси, проанализирован блок модели RAINS/GAINS по оценке затрат на снижение выбросов, выполнен расчет расходов на снижение выбросов твердых взвешенных частиц с использованием RAINS/GAINS от источников, расположенных на территории Беларусь; полученные данные сопоставлены со статистическими данными. Показана необходимость параметризации RAINS/GAINS в соответствии с применяемыми в республике технологиями для получения более точных оценок издержек.

Управление качеством атмосферного воздуха осуществляется, в первую очередь, воздействием на источники выбросов в атмосферу с помощью первичных и вторичных мер. Учитывая многообразие источников выбросов, сложность состава и вызываемых ими изменений в окружающей среде, а также разнообразие мер по снижению выбросов и эффектов от них, выбор оптимального варианта является очень сложной задачей. Воздухоохраные мероприятия весьма дорогостоящи. В связи с этим весьма важным представляется разработка процедур определения оптимальной стратегии снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Такие процедуры в Беларуси к настоящему времени не разработаны. В то же время в Европе созданы эффективные инструменты стратегического планирования воздухоохранной политики на национальном и региональном уровнях, позволяющие на стадии подготовки планов природоохранных мероприятий и международных соглашений в области охраны атмосферного воздуха определить достижимые целевые показатели снижения выбросов, оценить затраты на них и выбрать оптимальную стратегию реализации этих планов и соглашений [2]. К таким инструментам относятся системы интегральной оценки, представляющие собой специализированные модели либо их комплексы.

Модели интегральной оценки, как правило, включают следующие блоки:

- а) оценку выбросов от источников поступления загрязняющих веществ в окружающую среду;
- б) моделирование переноса и выпадения загрязняющих веществ;
- в) оценку воздействия на экосистемы и здоровье человека;
- г) оценку затрат и выгод при реализации мер по сокращению выбросов (воздействий).

Последний блок является важнейшим в данных моделях. Он позволяет оценить затраты на снижение выбросов для различных сценариев и выбрать наиболее подходящий с использова-

нием моделей оптимизации. Основными входными величинами для этого блока являются данные о различных составляющих затрат на снижение выбросов, информация о технологиях снижения выбросов и их эффективности.

Наиболее апробированным и универсальным инструментом для интегральной оценки воздействия на окружающую среду и человека таких соединений, как диоксид серы, оксиды азота, аммиак, твердые взвешенные вещества, НМЛОС, поступающих от основных категорий источников, является модель Международного института прикладного системного анализа RAINS (The 'Regional Air Pollution INformation and Simulation' – Симуляция и информация о региональном загрязнении атмосферного воздуха) и ее последняя версия – GAINS (включающая парниковые газы).

Модель RAINS/GAINS позволяет оценить для определенного сценария развития энергетики и сельского хозяйства расходы и экологические эффекты от мероприятий по снижению выбросов (режим «анализ сценария»). Оптимизационный режим модели делает возможным разработку стратегий контроля загрязнений с учетом различных загрязняющих веществ и их воздействий на окружающую среду и человека (рис. 1).

Модель RAINS/GAINS широко используется для выработки экологически значимых соглашений на региональном и национальном уровнях. Она была использована, в частности, для разработки Тематической стратегии охраны атмосферного воздуха [10], разработки директивы ЕС по потолкам выбросов [7], разработки протоколов к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния [4, 5]. Ранее данная модель применялась нами для оценки выбросов твердых взвешенных частиц [1, 2]. Представляется целесообразным использование данной модели для расчета затрат на снижение выбросов.

Затраты на охрану атмосферного воздуха в Беларуси по данным статистического учета. Согласно [3], расходы на охрану атмосферного воздуха, озонового слоя и климата в

Республике Беларусь в 2007 г. составили 236,8 млрд руб., из которых 58 % на текущие затраты, 2,6 % – затраты на капитальный ремонт и 39,4 % – инвестиции в основной капитал. Если рассматривать период после 2000 г., то до 2005 г. наблюдался стабильный рост затрат, однако в 2006 г. произошел заметный спад (рис. 2). Составляющие общих расходов подвержены

значительным колебаниям, в особенности изменяется уровень инвестиций в основной капитал, инвестиционные издержки составляли от 6 % валовых в 2005 г. до 39 % – в 2007 г.

Проанализированы затраты на снижение выбросов, обобщенные по секторам экономики по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь [3].

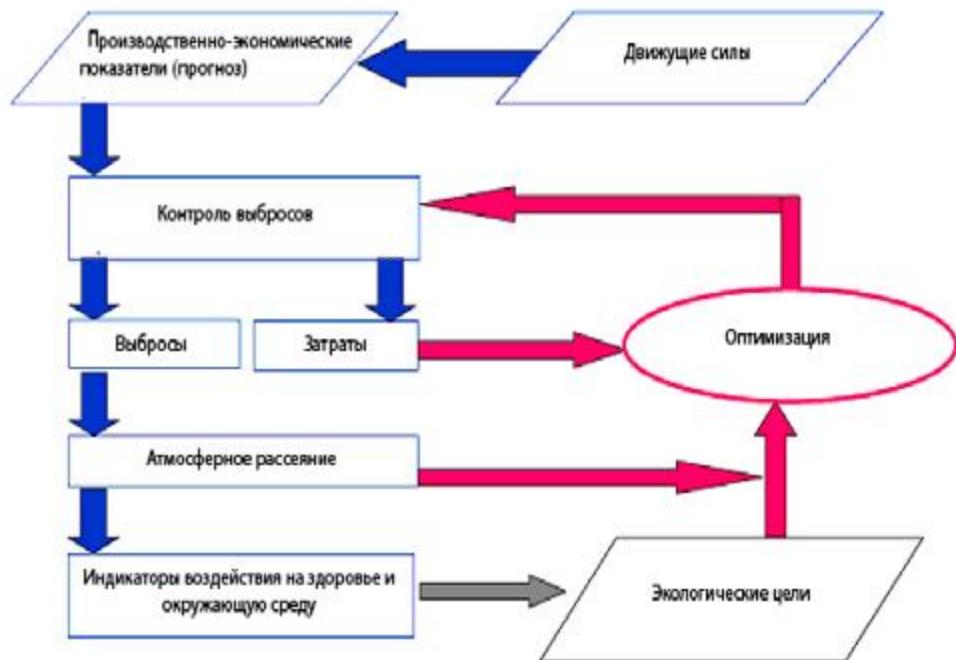


Рис. 1. Концептуальная схема интегральной оценки по модели RAINS/GAINS [8]

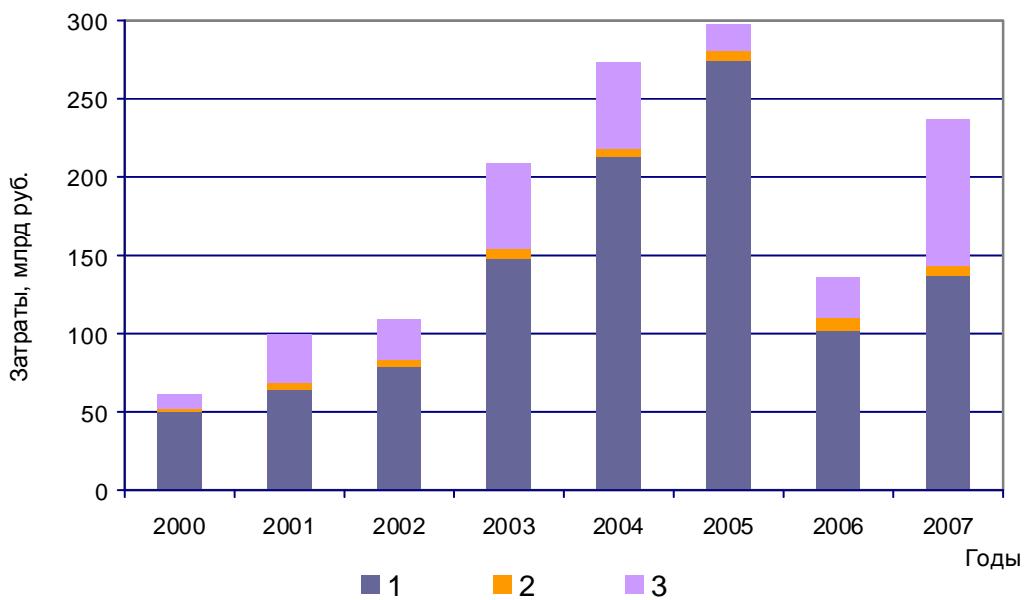


Рис. 2. Структура и динамика затрат на охрану атмосферного воздуха в Беларусь (2000–2007 гг.):
1 – текущие затраты; 2 – затраты на капремонт; 3 – инвестиции в основной капитал

В 2007 г. 94,8 % расходов на охрану атмосферного воздуха в стране (136 млрд руб.) приходилось на долю промышленности (рис. 3). Затраты на воздухоохраные мероприятия в секторе «Транспорт и связь», а также в жилищно-коммунальном секторе составляли около 3 млрд руб. в каждом (2,2 и 2,1 % соответственно). Крайне незначительными в масштабе стра-

ны были расходы на воздухоохраные мероприятия в сельском хозяйстве (менее 0,1 %).

Наиболее высокими в 2007 г. оказались текущие затраты на воздухоохраные мероприятия в химической и нефтехимической промышленности – 43,3 млрд руб. или 33 % от общих текущих затрат в промышленности, а также в топливной промышленности – 27,2 млрд руб. или 21 от % общих расходов (рис. 4).



Рис. 3. Распределение затрат на охрану атмосферного воздуха в Беларуси по секторам экономики

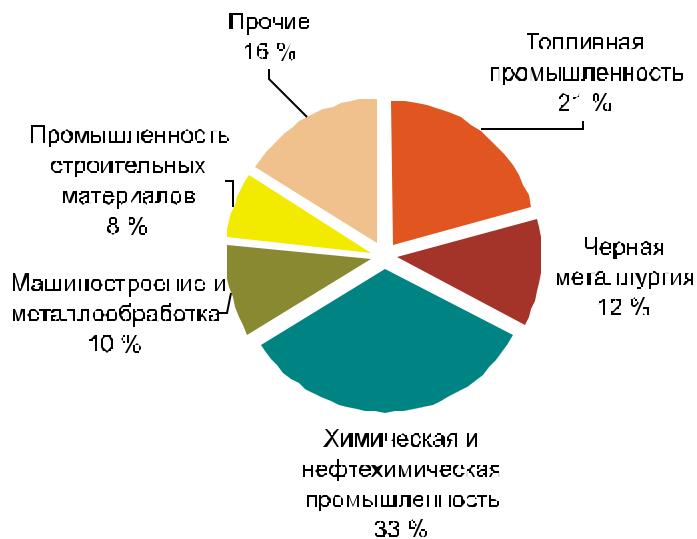


Рис. 4. Распределение текущих затрат на охрану атмосферного воздуха в Беларуси по отраслям промышленности

В то же время статистика как источник информации о затратах на снижение выбросов имеет ряд существенных ограничений. В частности, отсутствуют статистические данные о расходах на очистку выбросов от конкретного вещества, рас-

пределение затрат по технологическим процессам либо по типам пылегазоочистных установок, в то время как эти данные крайне важны для планирования воздухоохраных мероприятий на уровне отрасли либо страны и оптимизации расходов на

охрану атмосферного воздуха. В связи с этим целесообразен поиск методов, позволяющих оценить затраты на охрану атмосферного воздуха независимо от статистики.

Методология оценки затрат на снижение выбросов в модели RAINS/GAINS. Расчет затрат на снижение выбросов в модели RAINS/GAINS основан на себестоимости и не учитывает налоги и наценки. Основное допущение в RAINS/GAINS – существование свободного рынка технологий очистки по всей Европе, т. е. принимается, что возможности и условия покупки технологий снижения выбросов для всех стран одинаковы.

Расходы на снижение выбросов включают следующие составляющие [8]:

- инвестиционные вложения;
- постоянные эксплуатационные затраты;
- переменные эксплуатационные затраты.

На основе этих трех параметров модель оценивает годовые расходы на единицу уровня активности. Затем расходы пересчитываются на 1 т снижения выбросов загрязняющих веществ.

Инвестиционные вложения. Инвестиции включают все затраты, связанные с приобретением и установкой пылегазоочистных установок, включая закупку, согласование, установку, наладку и т.д. Модель приводит такие расходы к одной величине, которая рассчитывается для стационарных источников сжигания на 1000 м³ очищенного газа, либо на размер котла [8]. Инвестиции рассчитываются по формуле

$$I = \left(c^{i^f} + \frac{c^{i^b}}{bs} \right) \cdot v \cdot (1+r),$$

где I – инвестиции; c^{i^f} и c^{i^b} – коэффициенты, описывающие связь между размером бойлера и объемом отходящих газов; bs – размер бойлера; v – коэффициент, учитывающий разницу в объеме отходящих газов при сжигании угля и другого топлива; r – процентная ставка, учитывающая изменение цен.

Инвестиционные затраты измеряются в евро/1000 м³/ч отходящих газов. Рассчитываются также ежегодные затраты, связанные с инвестиционными, по формуле

$$I^{an} = I \cdot \frac{(1+q)^t \cdot q}{(1+q)^t - 1},$$

где I^{an} – ежегодные затраты, связанные с инвестициями; t – время функционирования предприятия; q – процентная ставка.

Эксплуатационные расходы. Постоянные эксплуатационные расходы покрывают затраты на содержание и обслуживание оборудования. Для расчета используется следующая формула

$$\text{OM}^{fix} = I \cdot f,$$

где OM^{fix} – постоянные эксплуатационные издержки; I – инвестиции; f – стандартный процент от инвестиционных затрат.

Переменные эксплуатационные расходы учитывают: дополнительную оплату труда, рост цен на энергию, размещение отходов [14]. Формула расчета:

$$\text{OM}^{var} = \lambda^l \cdot c^l / pf + \lambda^e \cdot c^e + ef_{TSP} \cdot \eta_{TSP} \cdot \lambda^d \cdot c^d,$$

где λ^l – оплата труда (дополнительная); c^l – оплата труда (ставка); pf – число часов полноценной работы предприятия в год; λ^e – необходимость в дополнительной энергии (на единицу использованного топлива); c^e – затраты на электрическую энергию; ef_{TSP} – удельный показатель выбросов ВЧ; η_{TSP} – эффективность пылегазоочистки; λ^d – объем необходимого размещения дополнительных отходов (на единицу уловленной пыли); c^d – затраты на размещение отходов.

Дополнительные (предельные) расходы на снижение выбросов. Предельные затраты являются дополнительными затратами на более эффективные мероприятия по снижению выбросов (в сравнении с мероприятиями с более низкой эффективностью). Модель RAINS/GAINS использует концепцию предельных затрат для ранжирования доступных мер по снижению выбросов [8].

Дополнительные расходы рассчитываются по формуле

$$mc_m = \frac{C_m \cdot \eta_m - C_{m-1} \cdot \eta_{m-1}}{\eta_m - \eta_{m-1}},$$

где mc_m – предельные затраты для пылегазоочистного оборудования m ; C_m – затраты на систему пылегазоочистного оборудования m ; η_m – эффективность пылегазоочистного оборудования m ; C_{m-1} – затраты на систему пылегазоочистного оборудования с более низкой эффективностью $m-1$; η_{m-1} – эффективность пылегазоочистного оборудования $m-1$.

Структура и состав входной производственно-статистической информации в модели RAINS/GAINS. Модель GAINS оперирует следующими основными группами экономических и технологических показателей и параметров:

- 1) производственно-экономическими показателями, характеризующими экономическую деятельность;
- 2) параметрами, характеризующими выбросы (удельные показатели выбросов загрязняющих веществ (без очистки) от основных процессов (секторов));
- 3) параметрами, характеризующими технологии снижения выбросов (например, тип пылегазоочистной установки и ее эффективность);
- 4) сценариями и путями.

Производственно-экономические показатели в модели RAINS/GAINS представляют собой количественные характеристики экономической деятельности в годовом разрезе. В качестве базовых лет в модели RAINS/GAINS используются 1990, 1995, 2000, 2005 гг. и последующий каждый пятый год (до 2030 г.). Производственно-экономические показатели подразделяются на макроэкономические показатели и показатели деятельности в основных секторах экономики. Основные макроэкономические показатели, используемые для интегральной оценки в модели GAINS, включают ВВП, добавленную стоимость в различных секторах экономики, численность населения. Блок о деятельности в основных секторах включает данные о деятельности в энергетическом и транспортном секторах, в промышленности, сельском хозяйстве и др. [8].

Таблица 1. Технологии по снижению выбросов ВЧ, используемые в модели RAINS для энергетики и промышленности [9]

Технология контроля	Код RAINS	Эффективность, %		
		Фракция ВЧ (> 10 мкм)	Грубая фракция (2,5–10 мкм)	Тонкая фракция (< 2,5 мкм)
Циклон	CYC, _CYC	90	70	30
Мокрый скруббер	WSCRB, _WSCRB	99,9	99	96
Электрофильтр, 1 поле	ESP1, _ESP1	97	95	93
Электрофильтр, 2 поля	ESP2, _ESP2	99,9	99	96
Электрофильтр, 3 и более полей	ESP3P, _ESP3P	99,95	99,9	99
Мокрый электрофильтр	PR_WESP	99,95	99,9	99
Тканевый фильтр	FF, _FF	99,98	99,9	99
Регулярные проверки	GHIND	30	30	30
Хорошая практика (промышленные неорганизованные), стадия 1	PRF_GP1	20	15	10
Хорошая практика (промышленные неорганизованные), стадия 2	PRF_GP2	75	50	30

Каждая технология характеризуется не только эффективностью очистки, но и стоимостными показателями: инвестиционными коэффициентами, эксплуатационными издержками, необходимостью в дополнительной энергии и трудозатратах. Данные показатели, как описано выше, используются для определения расходов по внедрению той или иной технологии, определения предельных затрат и построения кривых затрат.

Расчет затрат на снижение выбросов взвешенных частиц в Беларусь по модели RAINS. Нами был выполнен предварительный расчет затрат (валовых и предельных) на снижение выбросов твердых веществ с использованием RAINS 8.0 и on-line версии GAINS.

Согласно выполненным расчетам (табл. 2), валовые затраты на снижение выбросов ВЧ в

Стратегии контроля выбросов в RAINS/GAINS характеризуют процесс внедрения технологий снижения выбросов в различных секторах с 1990 г. по 2030 г.

Пути (pathways) в RAINS/GAINS представляют собой набор основных экономических показателей, характерных для определенной страны в соответствии с некоторым прогнозом. Сочетанием путей и стратегий контроля получают различные сценарии (scenario) выбросов и соответствующих им затрат и экологических рисков.

В качестве методов по снижению выбросов для стационарного сжигания топлива и производственных процессов в модели предлагаются в основном так называемые методы «на конце трубы»: установка различных систем пылегазоочистки. Перечень используемых RAINS/GAINS технологий и их эффективность применительно к взвешенным частицам указан в табл. 1.

2005 г. в Беларусь оцениваются в 91,5 млн евро по сравнению 22,9 млн евро в 2000 г. и 16,1 млн евро в 1990 г. К 2020 г. затраты возрастут до 157,6 млн евро, к 2030 г. – до 340,1 млн евро.

В 2005 г. 48 % затрат приходится на «Бытовое сжигание», 30 % – «Промышленные процессы», 13 % – «Обращение с материалами», 8 % – «Энергетику»; на прочие сектора – 1 % расходов.

Согласно расчетам по сценарию «default», наименьшие предельные (дополнительные) затраты характерны для производства известня (установка циклонов – 0,01 евро/кг ВЧ, установка электрофильтров – 0,08–0,11 евро/кг). Экономически эффективно также снижение выбросов при производстве стали в электродуговых печах (0,02–0,04 евро/кг), оснащение циклонами котлов в бытовом секторе (0,05 евро/кг), запрет сжигания сельскохозяйственных отходов (0,06 евро/кг).

Согласно кривой общих затрат (рис. 5), для снижения выбросов взвешенных частиц до 100 тыс. т/г. затраты составят порядка 100 млн евро/г., до 80 тыс. т/г. – 250 млн евро/г. до 70 тыс. т/г. – 1750 млн. евро/г. Таким образом, затраты на снижение выбросов до 100 тыс. т увеличиваются постепенно, дальнейшее сниже-

ние выбросов потребует значительного увеличения затрат. В то же время кривая затрат, показанная на рис. 5 не учитывает расходы на снижение выбросов ВЧ от производства цемента, стекла и чугуна, так как стратегия, заложенная в RAINS предполагает, что в данных секторах уже внедрены наилучшие имеющиеся меры.

Таблица 2. Валовые затраты на снижение выбросов ВЧ в Беларуси (1990–2005 гг.) и прогноз до 2030 г. (расчет по модели RAINS), млн евро

Сектор	Затраты по годам								
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Преобразование топлива	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,02	0,0	0,0	0,0
Бытовое сжигание топлива	0,0	0,0	0,0	43,9	55,3	25,5	0,2	0,0	0,0
Сжигание топлива в промышленности	0,4	0,1	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
Энергетика	1,7	1,0	6,7	7,4	3,9	1,2	1,2	1,3	1,6
Передвижные источники	0	0	0	0	16,3	59,1	115,4	185,2	298,4
Промышленность	13,8	14,8	15,7	27,5	28,7	28,4	28,2	27,9	27,6
Добыча полезных ископаемых	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Обращение с материалами	0	0	0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
Всего	16,1	16,2	22,9	91,5	116,9	126,8	157,6	226,9	340,1

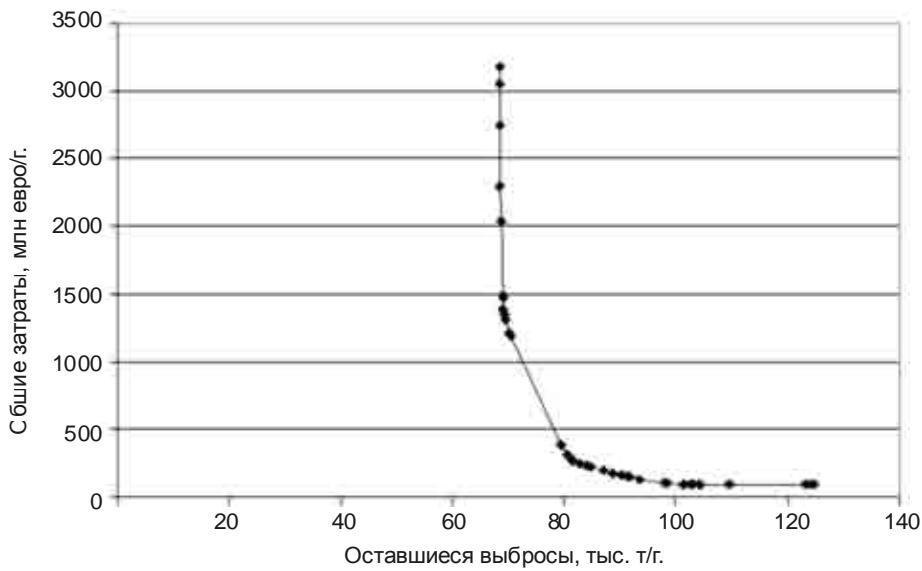


Рис. 5. Кривая общих затрат на снижение выбросов ВЧ для Беларуси по модели RAINS (сценарий «default»)

Расчет затрат на снижение выбросов твердых частиц с использованием модели GAINS. Результаты расчетов затрат на снижение выбросов ВЧ по видам технологий с использованием модели GAINS приведены в табл. 3. Согласно расчетам, суммарные затраты на снижение выбросов ВЧ составили в 1990 г. 34,8 млн евро, в 1995 – 33,6, в 2000 – 39,0, в 2005 г. – 65,6 млн евро. Прогнозируется, что к 2020 г. они возрастут до 102,5 млн евро. Валовые расчетные затраты на сокращение выбросов пыли по GAINS на период после 2000 г. существенно более низкие, чем по RAINS.

Однако полученные оценки затрат выглядят недостаточно точными. В частности, расходы на снижение выбросов твердых частиц от бытовых печей и неорганизованных выбросов составляли в 2005 г. 2/3 общих затрат, что явно завышено. Столь высокие расходы в бытовом секторе связаны с предусматриваемой моделью заменой в этот период старых печей на новые. В то же время занижены затраты в металлургии. При добыче и распределении ископаемого топлива и в сельском хозяйстве предлагается использование «хорошей практики хранения и обработки материалов».

Таблица 3. Затраты на снижение выбросов твердых частиц в Беларуси, согласно расчетам по модели GAINS по категориям источников, млн евро/г.

Категория источника	Годы						
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Производство топлива	7,7	4,4	3,6	3,6	3,7	3,7	3,7
Энергетика	17,4	15,9	21,4	22,6	31,3	44,9	59,7
Сжигание топлива в промышленности	1,1	0,2	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1
Промышленность	8,7	13,1	13,0	27,9	28,3	27,9	27,6
Добыча и распределение ископаемого топлива	—	—	—	7,6	7,6	7,6	7,6
Сельское хозяйство	—	—	—	2,8	2,8	2,8	2,8
Всего	34,9	33,6	39,0	65,6	74,8	88,0	102,5

Результаты расчетов затрат по моделям RAINS и GAINS были сопоставлены со статистическими данными по расходам на охрану атмосферного воздуха. Прямое сопоставление статистических затрат с расчетами по модели RAINS из-за различий в методологиях оценки затрат и различий в классификаторах источников выбросов затруднено, однако определенные соответствия могут быть установлены.

Анализ показал, что валовые оценки расходов на очистку выбросов (с учетом того, что выбросы очищаются в основном от твердых частиц) по данным статистики и модели RAINS/GAINS сопоставимы. Оценки на уровне секторов существенно различаются; статистические – пока более точные, однако использование RAINS/GAINS представляется перспективным, поскольку модель потенциально позволяет получать более дифференцированные оценки затрат на снижение выбросов с использованием апробированной методологии, определять приоритетные сектора и технологии для повышения

уровня очистки выбросов, строить прогнозы расходов.

Таким образом, несмотря на высокий в целом потенциал модели RAINS/GAINS, получаемые по модельным расчетам оценки затрат пока недостаточно точны вследствие неточности заложенных в модели параметров применительно к Беларуси. Необходима параметризация RAINS/GAINS в соответствии с применяемыми в республике технологиями. К параметрам, подлежащим первоочередному уточнению, относятся типы и характеристики пылегазоочистного оборудования, используемого в том или ином секторе, включая его эффективность, заложенные в RAINS/GAINS, а также удельные показатели выбросов.

Для эффективного использования данной модели в Беларуси необходимо создать базу данных производственной и технологической информации в требуемом формате, что является одной из задач дальнейших исследований.

Работа выполнена в рамках задания 2.26 ГНТП «Экологическая безопасность».

Литература

1. **Какарека С. В.** Источники и уровни выбросов твердых взвешенных частиц на территории Беларуси // Природные ресурсы. 2007. № 2. С. 20–32.
2. **Какарека С. В.** Трансграничное загрязнение атмосферного воздуха и его регулирование. Минск, 2009.
3. Охрана окружающей среды в Беларуси: Статистический сборник / Министерство статистики и анализа Республики Беларусь. Минск, 2008.
4. Протокол к конвенции 1979 г. о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния относительно дальнейшего сокращения выбросов серы. 1994.
5. Протокол о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном к конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния 1979 года. 1999.
6. Статистический ежегодник. Республика Беларусь / Министерство статистики и анализа Республики Беларусь. Минск, 2008.
7. Directive 2001/81/EC on National Emission Ceilings for Certain Atmospheric Pollutants / European Parliament and the Council. 2001.
8. Modelling Particulate Emissions in Europe. A Framework to Estimate Reduction Potential and Control Costs // Z. Klimont, J. Cofala, I. Bertok, M. Amann, C. Heyes, F. Gyarfas. 2002. IR-02-076.
9. RAINS Review. Documentation of the model approach prepared for the RAINS, 2004.
10. Thematic Strategy on Air Pollution / Commission of the European Communities. Brussels, 2005.

C. В. Какарека, А. В. Мальчихина

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ RAINS/GAINS ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАТРАТ
НА СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ**

Выполнен анализ статистических данных о затратах на охрану атмосферного воздуха в Беларуси, проанализирован блок модели RAINS/GAINS по оценке расходов на снижение выбросов, проведен расчет затрат на снижение выбросов твердых взвешенных частиц с использованием RAINS/GAINS от источников расположенных на территории Беларуси; полученные данные сопоставлены со статистическими данными.

Показано, что модель RAINS/GAINS может быть использована для получения более дифференцированных оценок расходов на снижение выбросов, определения приоритетных секторов и технологий для повышения уровня очистки выбросов, построения прогнозов затрат. Однако, несмотря на высокий в целом потенциал модели RAINS/GAINS, получаемые по модельным расчетам оценки затрат пока недостаточно точны вследствие неточности заложенных в модели параметров применительно к Беларуси. Необходима параметризация RAINS/GAINS в соответствии с применяемыми в республике технологиями. К параметрам, подлежащим первоочередному уточнению, относятся типы и характеристики пылегазоочистного оборудования, используемого в том или ином секторе, включая его эффективность, а также удельные показатели выбросов.

Для эффективного использования данной модели в Беларуси необходимо создать базу данных производственной и технологической информации в требуемом формате, что является одной из задач дальнейших исследований.

S. Kakareka, H. Malchykhina

**APPLICATION OF THE RAINS/GAINS MODEL
FOR EMISSIONS ABATEMENT COSTS ESTIMATION INTO ATMOSPHERIC AIR**

The analysis of statistical data on air protection costs in Belarus is made. The abatement costs module of RAINS/GAINS model is reviewed. The assessment of particle matter abatement costs using RAINS/GAINS model for Belarus emissions sources is made. Obtained data were compared with statistical data.

It is shown that the RAINS/GAINS model can be used for obtaining of differentiated abatement costs assessments, determining of main sectors and technologies for emission reduction, compiling of costs projection. But, in spite of high potential of RAINS/GAINS model, assessments on abatement costs that are derived from the model are not enough precise because of uncertainty of input data for Belarus. Thus the RAINS/GAINS model parameterization in accordance with Belarus technologies is needed. The main parameters that are necessary to define more exactly are types and characteristics of abatement utilities for different sectors, including effectiveness, and emissions factors.

For effective use of this model it is necessary to develop data base on economic activity and technological information in accordance with required format in Belarus. It will be one of the main tasks of future work.

А. В. Мальчихина

ПРОГНОЗ ВЫБРОСОВ АММИАКА В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Представлены результаты прогноза выбросов аммиака до 2020 г. на территории Беларуси для четырех сценариев социально-экономического развития: базового, текущего законодательства, оптимистичного и реалистичного. Прогноз выбросов аммиака составлен на основе методологии прогнозирования выбросов Программы ЕМЕП и прогнозе социально-экономического развития.

Беларусь выбрала путь устойчивого развития, который определяется как система гармоничных отношений в триаде «человек–окружающая среда–экономика», реализующая сбалансированное социально ориентированное, экономически эффективное и природоохранительное развитие страны в интересах удовлетворения потребностей нынешнего и будущего поколений. Одним из принципов устойчивого развития является предотвращение причинения вреда окружающей среде. Основным инструментом выявления и предсказания проблемной экологической ситуации служит экологический прогноз. Несмотря на то, что возможности экологического прогнозирования в управлении качеством окружающей среды очевидны, в Беларуси оно пока не является систематическим, в отличие от социально-экономического прогнозирования.

Прогнозирование загрязнения атмосферного воздуха – составляющая экологического прогнозирования. В международном сообществе разработка прогнозов выбросов является важным элементом управления качеством атмосферного воздуха в рамках Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния 1979 г. Проекты выбросов используются для разработки и оценки стратегий сокращения выбросов; оценки альтернативных возможностей по их сокращению в рамках заданных социально-экономических параметров (изменение численности населения, валового национального продукта, развития секторов экономики).

Вышесказанное определило постановку и реализацию проекта по разработке прогноза до 2020 г. выбросов загрязняющих веществ, в том числе, аммиака, с учетом программ по модернизации основных производственных фондов в энергетике, использованию местных видов топлива и др.

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

Методология проектирования выбросов. Прогнозирование, в том числе, экологическое, направлено на опережающее отражение

действительности. Возможны 2 основных варианта предсказания – целевое и поисковое. Первое предполагает постановку конкретного результата, который должен быть достигнут к определенному времени. Второе ориентировано на оценку состояния окружающей среды [9].

Прогнозы могут быть разработаны для различных периодов времени: до 1 года (сезонный), от 1 года до 5 лет (краткосрочный), от 5 до 15 лет (среднесрочный), от 15 лет до нескольких десятилетий (долгосрочный) и на несколько столетий (сверхдолгосрочный) [12].

В соответствии с приведенной классификацией выполненный прогноз относится к среднесрочному поисковому.

При прогнозировании выбросов загрязняющих веществ в зависимости от учитываемых параметров выделяют социально-экономический и технологический подходы [15]. Второй подход учитывает не только изменение социально-экономических параметров, но и технологические изменения, выражющиеся в изменениях удельных показателей выбросов; этот подход в настоящее время используется более широко. При составлении прогноза с его использованием выделяют следующие параметры:

- интенсивность деятельности (описывает влияние социально-экономических условий);
- удельные показатели выбросов (описывают используемые технологии при производстве продукции, сжигании топлива и других процессов, а также мероприятия по снижению выбросов);
- схемы внедрения технологий (описывают изменения технологий) [4].

Проектирование этих параметров, как правило, выполняется независимо друг от друга. В качестве базовых показателей прогноза экономической деятельности служат официальные данные. Следует отметить, что зачастую такая информация носит общий характер и является малопригодной для непосредственного использования при разработке проектов выбросов. Удельные показатели выбросов могут быть получены из различных источников, включая международные руководства и результаты проведе-

ния измерений [15, 16, 18]. Основная и самая сложная задача – моделирование изменения технологий и предпринимаемых мер по сокращению выбросов.

Важным критерием использования прогноза в управленческой деятельности является совместимость с данными о выбросах (прошлых и будущих). По этой причине проекты выбросов составляются на основе существующей инвентаризации выбросов, которая и служит стартовой точкой прогноза.

Прогноз изменения интенсивности деятельности (сценарии социально-экономического развития). Сценарий социально-экономического развития включает в себя изменение интенсивности деятельности в будущем и основывается на экономических теориях и зависимостях. При составлении сценария часто используются различные допущения и предположения (например, о формировании цен на энергоносители). Сценарии социально-экономического развития могут разрабатываться как для международного уровня, так и для уровня отдельного предприятия.

Прогноз технологических изменений. Объемы выбросов (а следовательно, и удельные показатели выбросов) регулируются различными факторами, в том числе требованиями экологического законодательства. Одним из методов регулирования выбросов является разработка норм выбросов, что приводит к необходимости изменения существующих технологий производства, использования систем очистки и пр. Данные изменения можно учесть с помощью удельных показателей выбросов и доли внедрения технологий при разработке проектов выбросов. Так как на практике удельные показатели выбросов часто используются на высоком уровне агрегирования, то происходит некоторое усреднение прогнозных показателей выбросов.

В данной работе автором был применен технологический подход для составления прогноза выбросов аммиака до 2020 г. Разработка проекта выбросов аммиака базировалась на следующих принципах:

а) методологической базой подготовки проекта (прогноза) выбросов послужили Руководящие принципы проектирования выбросов в рамках Женевской Конвенции [15];

б) прогноз выбросов базировался на прогнозе экономических показателей, прогнозе технологических изменений, влияющих на выбросы, и прогнозе влияния планируемых воздухоохраных мер на снижение выбросов;

в) прогноз выполнялся по категориям источников выбросов на уровне Республики Беларусь в целом;

г) в основу прогноза экономических и технологических показателей и влияния планируемых воздухоохраных мер на выбросы положены целевые показатели государственных и отраслевых программ социально-экономического развития и охраны окружающей среды, программ развития сельского хозяйства, программ по модернизации основных производственных фондов в энергетике, использованию местных видов топлива и др. [1, 2, 6–8, 10, 13, 14];

д) оценивались выбросы для 4 сценариев: базовый (без мероприятий по снижению выбросов); сценарий текущего законодательства (с учетом влияния на выбросы законодательных и нормативно-правовых актов, принятых в соответствии с принципами Конвенции до 2006 г.), сценарий с учетом всех возможных мероприятий по снижению выбросов аммиака (так называемый оптимистичный сценарий), сценарий с учетом технически доступных мероприятий по снижению выбросов аммиака (реалистичный сценарий).

Прогноз изменения социально-экономических показателей

В табл. 1 приведены прогнозные статистические показатели потребления топлива, производства продукции, поголовья скота и внесения удобрений. Индексы для прогнозных лет были рассчитаны, исходя из данных Государственной комплексной программы модернизации основных производственных фондов белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли использования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов в 2005–2010 гг., и данных, предоставленных Министерством экономики Республики Беларусь. При определении индексов изменения объемов производства для прогнозных лет использовались данные Министерства экономики, Министерства сельского хозяйства и продовольствия (поголовье скота), Государственной программы возрождения и развития села на 2005–2010 гг. (производство и внесение удобрений).

Прогноз изменения технологических параметров

Как показано в работе [3], более 75 % валовых выбросов аммиака обусловлено процессами обращения с навозом в животноводстве, 15 % – применением азотных удобрений; в связи с этим основное внимание при разработке прогноза выбросов аммиака удалено процессам производства животноводческой и растениеводческой продукции.

Таблица 1. Прогнозные индексы изменения экономических показателей по отношению к базовому году

Экономический показатель	Индекс по отношению к показателю 2007 г.		
	2010 г.	2015 г.	2020 г.
Потребление угля	5,65	11,3	17,80
Потребление дров топливных	0,9	1,12	1,24
Потребление торфа	1,03	1,22	1,31
Производство аммиака	1	1	1
Производство азотных удобрений	1,46	1,49	1,49
Внесение органических удобрений	0,98	1,06	1,14
Внесение азотных удобрений	1,32	1,29	1,25
Поголовье молочных коров	1,06	1,52	1,48
Поголовье прочего крупного рогатого скота	1,09	1,18	1,20
Поголовье свиней	1,07	1,09	1,10
Поголовье лошадей	0,98	1,05	1,13
Поголовье кур	1,04	1,04	1,04

При составлении прогноза сделаны следующие допущения:

а) принято, что при производстве животноводческой продукции существует возможность снизить выбросы только от животных сельскохозяйственных предприятий, т.е. 81 % от общего поголовья КРС, 76 – свиней и 83 % – птицы;

б) снижение выбросов от животноводства оценивалось по стадиям (содержание в помещении, выпас, хранение навоза, использование навоза в качестве удобрений) для всех сценариев, кроме сценария текущего законодательства. При этом на основании данных [19] сделано допущение, что около 20 % выбросов от содержания свиней составляют выбросы от помещений, в которых содержатся животные, 35 – от мест хранения навоза и 45 % – от использования навоза в качестве удобрений; для КРС данные показатели составляют 30, 20 и 50 % соответственно.

Сценарий текущего законодательства

За основу составления сценария текущего законодательства взят Национальный план действий по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды Республики Беларусь на 2006–2010 гг. (НПДООС). Согласно ему, приоритетным является улучшение качества воздуха для обеспечения экологически безопасной жизнедеятельности человека, ограничение и сокращение выбросов серы, оксидов азота, твердых частиц, аммиака, стойких органических загрязнителей и летучих органических соединений, вызванных антропогенной деятельностью. Для решения проблемы загрязнения воздуха аммиаком в Национальном плане на 2007–2008 гг. было запланировано разработать и осуществить меры по сокращению выбросов аммиака при хранении и внесении в почву органических удобрений, в результате ожидаемое сокращение выбросов аммиака должно было составить 40–60 %. Следует отметить, что в Национальном плане не указано, какие мероприятия

тия необходимо было выполнить для получения такого снижения выбросов.

Принимая во внимание современные уровни выбросов аммиака, а также целевые показатели Национального плана, и с учетом допущения, что к 2020 г. будет достигнуто снижение выбросов на 60 % относительно современного уровня для сценария текущего законодательства, принято, что удельный выброс аммиака в животноводстве в 2010 г. составит 85 % от уровня 2007 г., в 2015 г. – 60 и в 2020 г. – 40 %. Для прочих источников выбросов принято допущение, что удельные выбросы аммиака до 2020 г. не изменятся.

Сценарий с учетом всех возможных мероприятий по снижению выбросов аммиака

В данном сценарии рассматривались только процессы содержания животных и внесения удобрений, коэффициенты для остальных процессов остались такими же, как и в сценарии текущего законодательства. Были использованы мероприятия, зарекомендовавшие себя в различных странах и описанные в литературных источниках [15, 17, 18]:

1) изменение диеты питания животных (эффективность 10 %);

2) модификация мест содержания: для КРС – наклонный пол или глубокая подстилка (эффективность 30 %); свиней – частично щелевой пол с каналом для удаления навоза (60 %), кур-несушек – расположенные вертикальными ярусами клетки с ленточными транспортерами и усиленной принудительной сушкой воздуха (80 %); бройлеров – ярусный пол, принудительная сушка воздухом (80 %);

3) изменение условий хранения навоза – жесткая крышка, кровля или навес (эффективность 80 %);

4) быстрая запашка внесенных удобрений (эффективность для твердых удобрений 90 %, для жидких – 80 %).

Коэффициенты снижения выбросов относительно уровня 2007 г. по категориям животных представлены в табл. 2.

Таблица 2. Коэффициенты снижения выбросов аммиака от различных категорий животных по отношению к 2007 г. (оптимистичный сценарий)

Категория животных	2010 г.	2015 г.	2020 г.
Молочный КРС	0,80	0,60	0,46
Прочий КРС	0,75	0,55	0,32
Свиньи	0,70	0,45	0,24
Куры	0,70	0,40	0,17

Сценарий с учетом технически доступных мероприятий по снижению выбросов аммиака

Потенциал по снижению выбросов зависит от эффективности того или иного мероприятия в условиях сельского хозяйства и возможности его применения. Применимость различных мероприятий зависит от системы (практики ведения) сельского хозяйства, а также от ряда других факторов, например рельефа местности, климатических условий и типа почвы, наличия специальных навыков у персонала и их социального окружения.

На данный момент одним из основных методов по снижению выбросов аммиака может служить сокращение времени между внесением удобрений и запашкой. В то же время следует отметить, что возможно внедрение мероприятий на стадии содержания животных, таких как современное напольное покрытие, закрытые навозохранилища. При выборе мер по снижению выбросов для сценария с учетом технически доступных мероприятий одним из лимитирующих параметров являлись затраты.

Изучение планов реконструкции ферм показало, что на них предполагается использовать беспривязное содержание животных, приводящее к некоторому увеличению выбросов аммиака от мест содержания КРС.

По данному сценарию предполагается реализация следующих мероприятий:

1) модификация мест содержания. Для КРС – постепенное внедрение боксовой системы содержания без привязи (увеличение выбросов на 30 %); для свиней – постепенный переход к частично решетчатому полу с вакуумной системой и бетонными планками (эффективность 40 %);

2) изменение условий хранения навоза – пластиковые покрытия (эффективность 60 %);

3) быстрая запашка внесенных удобрений (эффективность для твердых удобрений 90 %, для жидких – 80 %).

Коэффициенты снижения выбросов относительно уровня 2007 г. по данному сценарию представлены в табл. 3.

Итоговые результаты прогнозирования выбросов аммиака по четырем сценариям представлены на рис. 1. Согласно полученным данным, при нулевом сценарии выбросы аммиака в 2020 г. составят 169,1 тыс. т, т.е. превысят порог, указанный для Беларуси в Гетеборгском протоколе (158 тыс. т к 2010 г.). При реализации технически возможных мероприятий выбросы к 2015 г. будут ниже данного порога и составят 142,7 тыс. т, а к 2020 г. снизятся до 125,8 тыс. т. Сценарий текущего законодательства позволит снизить к 2010 г. выбросы до 133 тыс. т (см. рис. 1), что ниже порога, установленного данным протоколом, а к 2020 г. – 95 тыс. т. При реализации всех возможных мер (оптимистичный сценарий) выбросы аммиака в 2020 г. составят 99,8 тыс. т.

Таблица 3. Коэффициенты снижения выбросов аммиака от различных категорий животных по отношению к 2007 г. (реалистичный сценарий)

Категория животных	2010 г.	2015 г.	2020 г.
Молочный КРС	0,91	0,76	0,61
Прочий КРС	0,98	0,93	0,89
Свиньи	0,85	0,61	0,38
Куры	0,82	0,55	0,30

Выбросы аммиака по сценарию текущего законодательства будут близки к уровням выбросов по оптимистичному сценарию, т.е. можно предположить, что затраты на мероприятия для этих сценариев также будут близки. Оптимистичный сценарий учитывал максимально эффективные мероприятия, которые, как правило, являются самыми дорогостоящими, т.е. для снижения выбросов аммиака до уровня, указанного в НПДООС, необходимы большие финансовые вложения, что на данный момент трудновыполнимо.

Для верификации прогноза выбросов аммиака выполнено сравнение полученных результатов с прогнозами выбросов, имеющимися в базе данных ЕМЕП для других стран.

Анализируя прогнозные данные по выбросам аммиака за указанные годы, можно отметить, что в соответствии с действующим ныне законодательством большинство стран планирует снизить выбросы аммиака (рис. 2). Однако в некоторых странах, например в Болгарии и Словении, ожидается увеличение выбросов аммиака по отношению к 2004 г. В Словении прогнозируется увеличение выбросов аммиака примерно на 11 % в 2010 г. и на 7 % в 2015 и 2020 гг. по отношению к 2004 г. В Болгарии ожидается увеличение выбросов аммиака на 100 %.

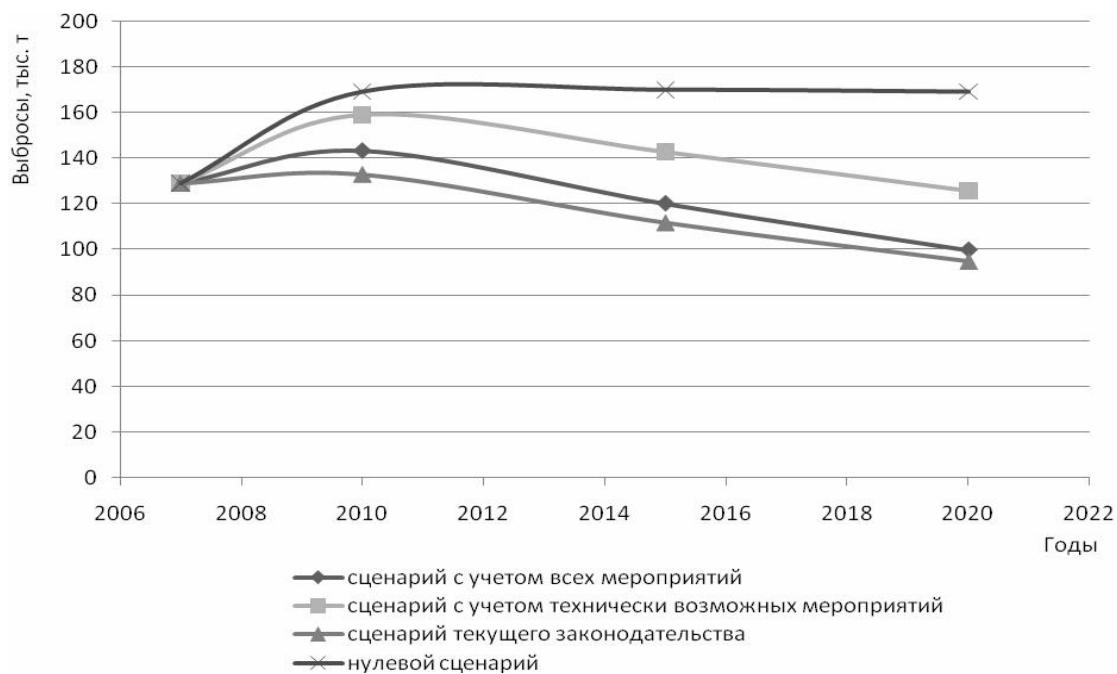


Рис. 1. Прогноз выбросов аммиака на территории Беларуси на период до 2020 г.

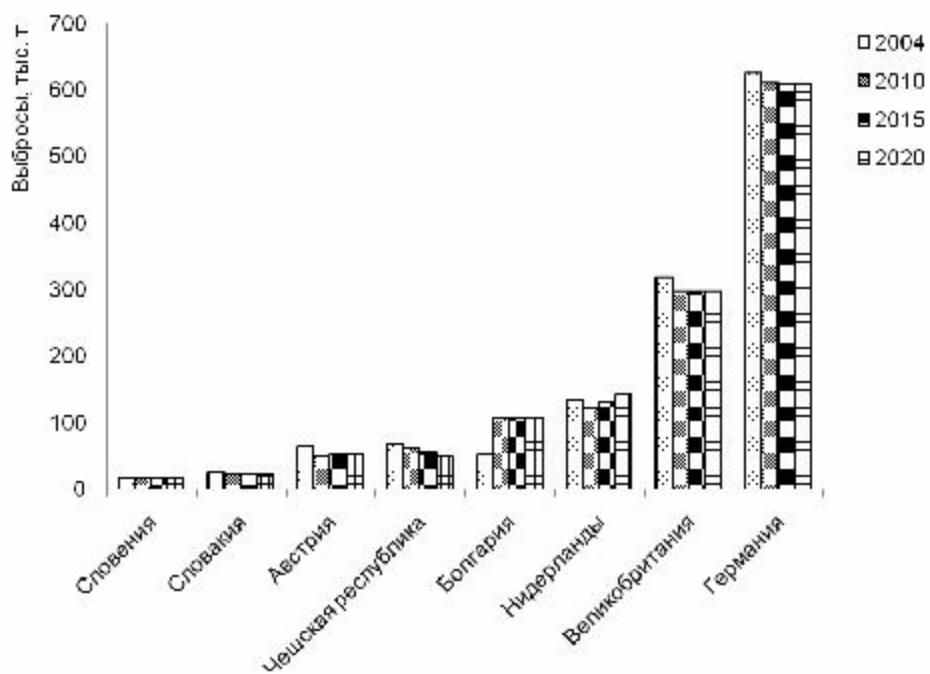


Рис. 2. Прогноз выбросов аммиака в различных странах на период до 2020 г.

В Словакии планируется сокращение выбросов аммиака на 9 % в 2010 г. и на 13 % в 2015 и 2020 гг. В Австрии прогнозируется сокращение выбросов на 16–17 %, в Великобритании – на

12 % для указанных лет по отношению к 2004 г. На 5 % ожидается уменьшение выбросов в Германии. Следует отметить, что в Германии, несмотря на планируемое снижение выбросов, их

предельное значение, установленное Гетеборгским протоколом (550 тыс. т), будет превыshено.

Полученные результаты для реального сценария согласуются с данными других стран, в то же время прогноз выбросов для сценария текущего законодательства предусматривает снижение выбросов аммиака на 34 %, что гораздо выше показателей других стран.

Разработка прогноза выбросов является для Республики Беларусь новым инструментом при разработке стратегий по сокращению выбросов, в то время как проектирование выбросов широко используется в различных странах для оценки и выбора альтернативных возможностей по сокращению выбросов для достижения поставленных целей в рамках заданных социально-экономических трендов. В Беларуси впервые разработаны проекты выбросов аммиака, кото-

рые учитывают как социально-экономическое, так и техническое развитие республики. Выполненные исследования показали, что при базовом сценарии развития выбросы аммиака возрастают и в 2020 г. превысят порог, предложенный для Беларуси Гетеборгским протоколом. По остальным сценариям выбросы аммиака, начиная с 2010 г., будут снижаться. Минимальные выбросы достигаются при сценарии текущего законодательства, осуществление которого затруднительно в современных экономических условиях Беларуси. Реализация технически возможных мероприятий позволит в значительной степени предотвратить увеличение выбросов аммиака, которое может произойти вследствие роста продукции в секторах экономики, в частности увеличения производства сельскохозяйственных товаров.

Работа выполнена в рамках договора № 247-07 с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Л и т е р а т у р а

1. Государственная комплексная программа модернизации основных производственных фондов Белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли использования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов в 2006–2010 гг. Указ Президента Республики Беларусь от 25 августа 2005 г. № 399. (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2005 г., № 137, 1/6735). Минск, 2005.
2. Государственная Программа возрождения и развития села на 2005–2010 годы. Утверждено Указом Президента Республики Беларусь 25.03.2005 № 150. Минск, 2005.
3. **Какарека С. В., Мальчихина А. В.** Источники и уровни поступления аммиака в окружающую среду на территории Беларуси // Природопользование. Минск, 2009. Вып. 15. С. 69–78.
4. Какарека С.В., Мальчихина А.В. Прогноз выбросов загрязняющих веществ до 2020 г. на территории Беларуси // Природопользование. Минск, 2009. Вып. 16. С. 23–29.
5. Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния. 1979 г.
6. Концепция энергетической безопасности и повышения энергетической независимости. Указ Президента Республики Беларусь от 25 августа 2005 г. № 399. Минск, 2005.
7. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 года / Национальная комиссия по устойчивому развитию Республики Беларусь. Минск, 2004.
8. 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. Минск, 2006.
9. Прогноз изменения окружающей природной среды на 2010–2020 гг. / Под ред. В. Ф. Логинова. Минск, 2004.
10. Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2006–2010 годы. Минск, 2006.
11. Протокол о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном к конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния 1979 г. ООН, 2000.
12. Рабочая книга по прогнозированию / Редкол.: И. В. Бестужев-Лада и др. М., 1982.
13. Республиканская программа энергосбережения на 2006–2010 годы. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 2 февраля 2006 г. № 137. Минск, 2006.
14. Целевая программа обеспечения в республике не менее 25 процентов объема производства электрической и тепловой энергии за счет использования местных видов топлива и альтернативных источников энергии на период до 2012 г. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 30 декабря 2004 г. № 1680. Минск, 2004. (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2005 г., № 4, 5/15414).
15. Atmospheric Emission Inventory Guidebook. A Joint EMEP / CORINAIR Production Prepared by the EMEP Task Force on Emission Inventories, Copenhagen. EEA. 3^d edition updated – 2006.
16. Draft RAINS Input Data for Projections of Air Pollutant Emissions and their Sources in the Non-EU Countries up to 2020 // EMEP CIAM Report 1/2006.

17. Guidance document on control techniques for preventing and abating emissions of ammonia / Economic and Social Council ECE/EB.AIR/WG.5/2007/13. Geneva, 2007.
18. RAINS. User Guide. / F. Wagner, W. Schopp, Ch. Heyes. – IIASA, Laxenberg, Austria, 2004.
19. Reducing Ammonia Emission from Animal Husbandry / W. Berg – Germany. 2000.

Институт природопользования НАН Беларуси

A. V. Мальчихина

**ПРОГНОЗ ВЫБРОСОВ АММИАКА В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ
НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

Изложены основные принципы, входная информация и результаты прогнозирования выбросов аммиака на территории Беларуси до 2020 г. на основе методологии прогнозирования выбросов Программы ЕМЕП. Разработаны проекты выбросов для четырех сценариев социально-экономического развития: базового сценария, сценария текущего законодательства, оптимистичного и реалистичного сценариев.

Выполненные оценки показали, что предельные значения выбросов аммиака для Беларуси, установленные Гетеборгским протоколом, будут превышены только при нулевом сценарии. В статье также показано, что сценарий текущего законодательства достаточно трудно выполним для современных условий республики.

Реализация технически возможных мероприятий позволит в значительной степени предотвратить увеличение выбросов аммиака, которое может произойти вследствие роста продукции в секторах экономики, в частности роста производства сельскохозяйственных товаров.

A. V. Malchykhina

**PROJECTIONS OF AMMONIA EMISSIONS IN TO ATMOSPHERE
IN BELARUS TERRITORY**

The main principles, input data, and results of ammonia emissions projections in Belarus up to 2020 are provided in the article. Emission projections were made using EMEP methodology. The ammonia emission projections for baseline, current legislation, optimistic, and realizable socio-economic scenarios were made.

The assessment of emissions projections have shown that emission limit for ammonia according to Gutenberg Protocol will be exceeded in the case of baseline scenario only. Current legislation scenario is very difficult to implement due to present economic conditions of Belarus.

It is shown that the realization of technically possible abatement measures will allow to prevent emissions increase. Such increase can occur as a result of economic growth especially in agricultural sector.

В. Ф. Логинов, М. А. Кадыров, Г. А. Камышенко

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ АДАПТАЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ БЕЛАРУСИ К ИЗМЕНЯЮЩЕМУСЯ КЛИМАТУ

Представлены результаты исследований в области климатологии, проанализированы различные аспекты влияния современных погодных условий на сельское хозяйство Беларуси, изложены основные принципы адаптации земледелия при изменяющемся климате.

Проблема изменения климата и его воздействия на различные экосистемы является одной из актуальнейших в современной науке. Аномальные климатические условия, проявляющиеся особенно сильно в последние десятилетия, оказывают значительное влияние на сельское хозяйство. Назрела необходимость разработки стратегии адаптации сельскохозяйственного производства к современным переменам погодных условий.

Цель исследования – анализ происходящих на территории Беларуси климатических изменений и их последствий для растениеводства, разработка и логическое обоснование основных принципов адаптации земледелия к изменяющемуся климату.

В работе использованы данные Департамента по гидрометеорологии Республики Беларусь.

Изменения климата Беларуси

Температура воздуха. На протяжении почти всего XX в. до конца 80-х гг. кратковременные периоды потеплений сменялись близкими по величине и продолжительности периодами похолоданий. Потепление, не имеющее себе равных по продолжительности и интенсивности, началось в теплом 1988 г. с последовавшим затем резким повышением температуры зимой 1989 г. Средняя температура января и февраля этого года превысила норму на 7–7,5 °C, марта и апреля – на 3–5 °C. В целом год оказался самым теплым за столетний период, превысив норму почти на 2,0 °C. Второе и третье место разделили 2000 и 2007 гг. (+1,8 °C). В 1990 г. в январе–марте средняя по стране температура воздуха на 6–8,5 °C превысила обычную. Среднегодовое потепление было значительнее на севере республики (+1,2 °C в Витебской области) и несколько меньше на западе (+0,8 °C в Брестской и Гродненской областях) [4, 5].

Повышение температуры пришлось в основном на первые четыре месяца года. Положительная аномалия, максимальная в январе (около 3,5 °C), медленно уменьшалась и составила в апреле +2,0 °C. Температура в это время в Минске примерно соответствовала средним многолетним температурам во Львове и Киеве.

Более теплыми оказались и летние месяцы (положительная аномалия составила в июле

+0,7 °C, а в августе +0,8 °C), особенно ярко повышение температуры летом проявилось в последнее десятилетие. В 1999, 2000 и 2002 гг. температура превысила норму в среднем на 2 °C, что приближается по величине к аномалиям холодного периода года.

Только в переходные месяцы (май, сентябрь и ноябрь) наблюдается некоторое понижение температуры воздуха, не превышающее 0,5 °C по сравнению со средними многолетними значениями.

Генеральной особенностью изменения температурного режима на территории Беларуси является наличие двух наиболее существенных потеплений в последнем столетии. Первое, известное как потепление Арктики, наблюдалось в основном в теплое время года в период с 1910 по 1939 г. Далее последовала мощная отрицательная аномалия температуры в январе–марте 1940–1942 гг. Указанный период был самым холодным за всю историю инструментальных наблюдений. Среднегодовая аномалия температуры в эти годы составляла около -2,5 °C, а в январе и марте 1942 г. среднемесячная – около -10 °C и -8 °C соответственно.

С 1998 по 2007 гг. во все годовые сезоны аномалии температуры воздуха положительны, однако зимы более холодные по сравнению с предыдущим десятилетием. Важно отметить, что если в 1988–1997 гг. температура воздуха летом была несколько выше нормы, а осенью даже ниже нормы, то в последнее десятилетие температура осенью и особенно летом существенно превышала норму (рис. 1).

Осадки. В среднем для осадков на территории республики в период последнего потепления не наблюдалось длительных серий положительных или отрицательных аномалий. Близкими к норме оказались и средние суммы осадков как теплого, так и холодного периодов года, что отражено в табл. 1. Исключение составляет крупная положительная аномалия в 1998 г.

Отклонения средней по Беларуси суммы осадков от нормы по десятилетиям на протяжении более чем 100-летнего периода проиллюстрированы на рис. 2.

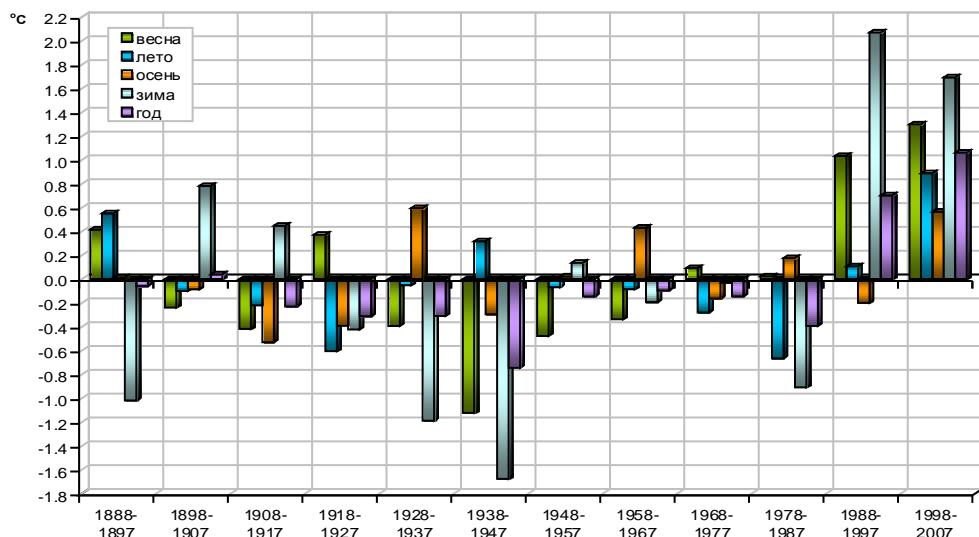


Рис. 1. Отклонения средней для Беларуси температуры от нормы по десятилетиям (1888–2007 гг.)

Таблица 1. Средняя сумма осадков в холодный и теплый периоды года в административных областях Беларуси в период современного потепления (в процентах от климатической нормы)

Период	Область					
	Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская
Холодный (XI–III)	95	114	98	103	100	90
Теплый (IV–X)	93	101	103	96	93	98
Год	93	105	102	99	95	95

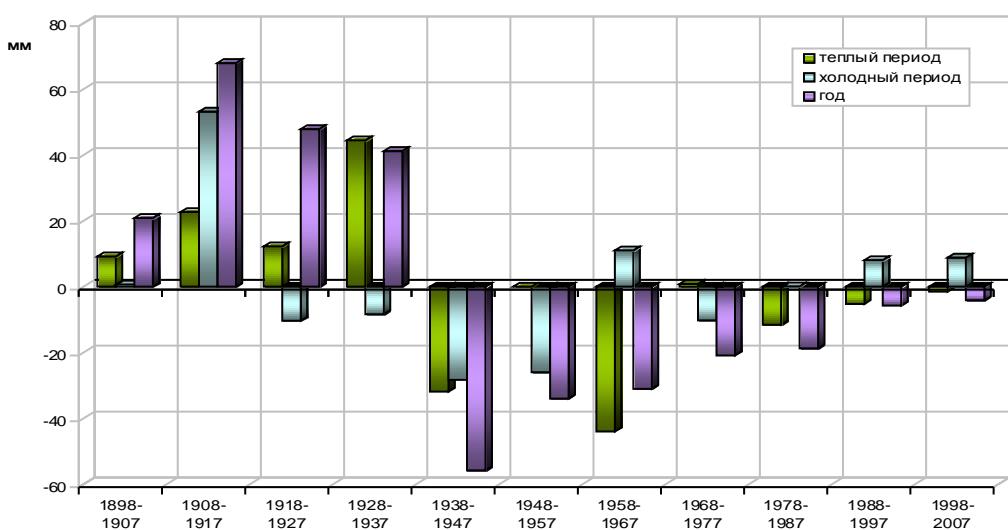


Рис. 2. Отклонения средней для Беларуси суммы осадков от климатической нормы по десятилетиям (1898–2007 гг.)

Территориально осадки в Брестской и Могилевской областях в последние десятилетия оказались несколько ниже нормы как в теплое, так и в холодное время года, а в Минской области – в теплый период года. Детальный анализ показал, что на севере республики (Витебская и север Минской области) осадки и холодного, и теплого периодов оказались выше нормы, а на юго-западе (Брестская и юг Минской области) – ниже.

Важным обстоятельством является то, что на территории Беларуси увеличилась контрастность осадков. Если по многолетним данным годовые суммы атмосферных осадков больше 700 мм наблюдались только на возвышенных территориях в районе Лынтул, Воложина и Новогрудка, то в среднем за период потепления годовые суммы осадков, превышающие 700 мм, имеют место, кроме указанных районов, на северо-востоке (Полоцк, Витебск, Езерище), в районе Борисова, Березинского заповедника и на юге (Житковичи). Особенno интересным в этом отношении является район станции Житковичи, где среднегодовая сумма осадков выше, чем на соседних станциях Лельчицы и Полесская, на 40–50 мм, что, вероятно, связано с увеличением роли местного испарения (в этом районе находится озеро Червонное). За период потепления в Житковичах выпало осадков больше, чем в любой другой части страны (исключение составляют Лынтулы).

Анализ осадков за теплое и холодное полугодие, а также за год в целом, показывает падение их количества в период с 1950 по 1990 г. на юге страны примерно на 60 мм по сравнению с 1891–1935 гг. Падение количества осадков на севере страны менее выражено и закончилось в середине 1970-х гг. Асинхронность в изменении среднегодовых осадков на севере и юге страны отмечалась с 1891 по 1910 г., когда высокие значения выпадающих осадков регистрировались на юге, а низкие – на севере. Второй раз асинхронность в изменении осадков на севере и юге наблюдалась в 1970–1980-е гг., т. е. через 80 лет. Асинхронность осадков, выпадающих на севере и юге, выражена в осадках теплого полугодия. В холодное время года отмечается скорее синхронное изменение осадков на севере и юге до середины 1960-х гг. В последние 20–25 лет на севере выпадало осадков выше нормы, а на юге – ниже нормы. Исключение составляют последние 10 лет, когда в среднем на юге и севере страны выпадало около нормы осадков.

Анализ разностей осадков на метеорологических станциях, расположенных в западной и восточной частях страны, показал, что в последние 50–60 лет больше осадков выпадало в западной части в холодное время года; противоположная ситуация отмечалась в конце XIX – первой трети XX в., когда их больше выпадало на

востоке страны. В теплый период года большее количество осадков выпадало в 40–80-е гг. XX в. в западной части. Ситуация была противоположной в конце XIX в. – первой трети XX столетия и в 90-х гг. XX в., когда в теплый период больше атмосферных осадков выпало в восточной части Беларуси. В среднем разности осадков составляют ±25 мм в месяц, хотя в отдельные годы они превышают указанную величину в 2–3 раза.

Таким образом, изменение осадков на территории Беларуси отличается большей пространственно-временной изменчивостью по сравнению с температурой. Особенностью изменения осадков является понижение их количества в послевоенное время по сравнению с довоенным. Наибольшее количество атмосферных осадков выпало в период с 1905 по 1935 г.

Среднегодовые суммы осадков в период современного потепления существенно не изменились, но значения среднемесячных сумм осадков в августе, апреле и мае уменьшились, а в июне и сентябре – увеличились. Схематически в изменении атмосферных осадков выделяются две зоны: северо-восточная – с их ростом и юго-западная – с уменьшением. Кроме того, выделены аномальные зоны: Лельчицкий, Житковичский и Костюковичский районы, где количество выпадающих осадков увеличивается.

Если провести сравнение атмосферных осадков за последний период современного потепления, начавшегося с 1988 г., и осадков предшествующего периода (1966–1987 гг.), то можно увидеть более сложную пространственную структуру разностей осадков: рост осадков отмечается в восточной части Витебской, Могилевской и на большей части территории Гомельской областей, а также в Гродненской области. Наибольшее понижение осадков в период потепления климата произошло в Брестской и на северо-западе Витебской областей.

Генеральная особенность пространственно-временного изменения осадков в последние 15–20 лет состоит в росте осадков на большей части территории страны, исключение составляют Брестская область и небольшой район на северо-западе Витебской области (Шарковщина), где количество осадков уменьшается.

Вышеизложенные особенности пространственно-временных изменений осадков необходимо учитывать при развитии сельскохозяйственного производства.

Экстремальные погодные и климатические явления. Такие явления как засухи, заморозки, разрушительные шквалы охватывают значительную территорию и наносят большой ущерб экономике страны.

Засухи. Увеличившаяся в конце XIX в. неравномерность выпадения осадков и повышение температуры привели к увеличению повторяемости засушливых явлений. Они регистрируются

чаще, чем 1 раз в 2 года, причем в отдельные годы (1992, 1993 и 2002) засушливые явления отмечались на большей части территории Беларуси. Анализ показал, что число весенних засух (апрель–май) увеличилось в последнее десятилетие по сравнению с их числом в большинстве предыдущих десятилетий, особенно это проявилось в Брестской, Витебской и Минской областях. Ситуация практически не изменилась в Гродненской области.

В июне–июле в последнее десятилетие количество засушливых дней несколько уменьшилось по сравнению с предшествующими десятилетиями. Самым засушливым летним периодом на территории Беларуси был временной интервал с 1987 по 1996 г., а в Гомельской и Брестской областях еще и период с 1967 по 1976 г. Повторяемость засух в августе за последние 20 лет остается высокой, хотя в последние годы их число в этом месяце несколько снизилось.

Выявлена территориальная и временная приуроченность засушливых лет, доля которых возрастает с севера (30 %) на юго-восток (52 %). В центральном регионе страны и в южных областях засуха чаще всего отмечается в первой половине периода активной вегетации (май, июнь), в Витебской и Гродненской областях – в августе. В восточном регионе выявлена одинаковая повторяемость засухи во все эти месяцы. С 1990 г. на территории Беларуси значительно повышается повторяемость засух во все месяцы теплого периода, кроме того, увеличивается площадь распространения, интенсивность и продолжительность данного явления.

Заморозки. На территории Беларуси заморозки чаще всего наблюдаются в мае и сентябре. Анализ временного изменения повторяемости проявления заморозков в регионах страны показал увеличение в последние два десятилетия повторяемости поздних весенних заморозков (май) во всех регионах Беларуси, особенно в Витебской, Гродненской, Минской и Могилевской областях.

По сравнению с предшествующими десятилетиями в период с 1997 по 2006 г. выявлено повышение частоты заморозков в июне в Брестской, Гродненской, Минской и Могилевской областях. Во многих регионах Беларуси частота заморозков в сентябре повысилась, главным образом, в последнее десятилетие. Исключение составляет Витебская область, в которой данная тенденция выражена слабо.

Таким образом, последние два десятилетия отличаются повышенной повторяемостью заморозков в мае–сентябре на большей части территории Беларуси. Особенно четко это прослеживается в Брестской области.

Анализ показал, что число заморозков в последние десятилетия выросло по сравнению с домелиоративным периодом, особенно в цен-

тральной и южной частях страны. Если в период с 1946 по 1964 г. количество заморозков на севере республики было в 2,2 раза больше, чем на юге, то в последние десятилетия это соотношение уменьшилось до 1,5–1,0 раза.

Повторяемость как весенних, так и осенних заморозков на осушенных торфяниках более чем в 2 раза превышает число заморозков над супесчаными почвами юга. Даже в июне заморозки на торфяниках наблюдались каждые 2–3 года, в то время как на минеральных почвах они регистрируются на юге в среднем 1 раз в 20–50 лет. Возможны заморозки на торфяниках и в июле, тогда как на минеральных почвах заморозки в этот месяц за последний 50-летний период не регистрировались. Средняя продолжительность безморозного периода над осушенными торфяниками на 15–20 дней меньше, чем над минеральными почвами юга республики. В отдельные годы заморозки на почве в южных районах даже интенсивнее, чем в северных районах.

Мелиорация южных районов страны привела к увеличению площади морозоопасных территорий, что, в свою очередь, способствовало определенному охлаждению и соседних территорий с минеральными почвами – яркий пример влияния хозяйственной деятельности на климат в локальном и региональном масштабах.

Разрушительные шквалы. Наблюдаются при повышенном температурном режиме в теплый период года в предгрозовой обстановке. Разрушительными шквалы становятся при скоростях ветра 25 м/с и более. Наблюдаемое в последнее время уменьшение средних скоростей ветра не сопровождается уменьшением его шквалистых разрушительных усилий. Разрушения от шквалов в республике регистрируются практически ежегодно. В целом по стране за теплый период наблюдается около 4 дней с разрушительными шквалами, от которых страдают отдельные хозяйства 5–10 административных районов. Повторяемость разрушительных шквалов особенно высока на северо-востоке и юго-западе Витебской области, на юге Гродненской и юго-западе Могилевской областей. Заметна также «ось шквалов», проходящая по северной части Полесья, через Волковыск – Барановичи – Бобруйск. Но лидерство в данном вопросе принадлежит Витебщине, а именно, Городокскому, Шарковщинскому и Докшицкому районам.

Последствия изменения климата для растениеводства. Среднегодовая температура воздуха в Беларуси за 120 лет повысилась более чем на 1 °С. При этом в последние годы суммы активных температур выше 5 и 10 °С увеличились в среднем соответственно на 110 и 60 °С, а изолинии сумм температур сдвинулись к северу примерно на 100 и 60 км. Происходящие изменения климатических условий свидетельствуют об актуальности выполнения дополнительных науч-

ных исследований с использованием более обширной пространственно-временной информации для уточнения (подтверждения) наличия новой агроклиматической зоны на юге страны. Если исходить из современных сценариев изменения климата, связанного с ростом парниковых газов и аэрозолей в атмосфере, то агроклиматическим аналогом Беларуси по теплообеспеченности становится современная лесостепь Украины.

Наибольшее влияние погоды на развитие сельскохозяйственных культур проявляется в вегетационный период. Увеличение продолжительности и теплообеспеченности вегетационного периода открывает следующие возможности в области растениеводства:

- внедрение более урожайных умеренно позднеспелых сортов (гибридов) зерновых культур и овощей, которые используют возросшие тепловые ресурсы;

- расширение посевов и под некоторыми традиционными и новыми высокоэффективными культурами (кукуруза, просо, соя, сахарная свекла, яровой рапс и др.);

- некоторое улучшение условий для выращивания пожнивных и поукосных культур;

- закладку садовых насаждений с новым набором видового и сортового состава;

- сдвиг сроков сева яровых культур на более раннее время. Это позволит эффективнее использовать запасы влаги в почве после весеннего снеготаяния, приведет к раннему созреванию, что увеличит возможности пожнивных культур. Однако необходимо учитывать риск майских заморозков (возделываемые культуры должны быть устойчивы к заморозкам);

- продвижение несколько севернее на (100–120 км) зоны выращивания теплолюбивых культур;

- более раннее наступление первого укоса (на 7–12 дней), но менее благоприятные условия для формирования полноценного второго укоса (увеличения вероятности засушливых условий в июле–августе);

- увеличение эффективности мер, направленных на повышение плодородия почв;

- некоторое улучшение условий перезимовки сельскохозяйственных культур и сеянных многолетних трав, но сохранение высокой вероятности вымерзания при резком возрастании морозов (до -18 °C) и отсутствии снежного покрова;

- улучшение условий и сокращение сроков уборки.

Однако климатические изменения приводят и к негативным последствиям в растениеводстве. В последние годы в республике стали чаще отмечаться засушливые условия с повышенным температурным режимом на протяжении двух и более месяцев в период активной вегетации растений. Среди основных негативных проявлений,

вызванных современными климатическими изменениями, можно выделить следующие:

- потери урожайности озимой ржи и пшеницы, а также пожнивных культур вследствие уменьшения количества осадков, что снижает действенность увеличения теплообеспеченности при потеплении климата;

- снижение водорегулирующего эффекта оросительных мелиораций;

- снижение уровня грунтовых вод и их более быстрая сработка;

- в целом ухудшение условий увлажнения почв;

- улучшение условий перезимовки вредителей, возбудителей болезней растений, роста сорной растительности, что усложнит фитосанитарную ситуацию на полях и приведет к большим затратам на закупку пестицидов.

Как показано выше, особенностью изменения климата за последние десятилетия является усиление экстремальности гидрометеорологических явлений. В настоящее время основные потери в сельском хозяйстве связаны с воздействием таких опасных явлений погоды, как засухи, заморозки, сильные ливни, град и т.д. Есть основания предполагать, что в результате роста среднегодовой температуры воздуха увеличится повторяемость экстремальных уровней тепла и влажности, что отрицательно скажется на развитии сельскохозяйственных культур. Согласно исследованиям [6], снижение урожайности основных сельскохозяйственных культур из-за неблагоприятных погодных условий может достигать 50–60 %, а в отдельные годы и больше. Основное падение урожайности (особенно яровых зерновых культур) вызывается засушливыми условиями.

Исследования свидетельствуют об участии проявления засух, особенно в южной части страны. Влагообеспеченность сельскохозяйственных культур в данных районах будет снижаться. При таких погодных условиях необходимо увеличить количество площадей под засухоустойчивыми культурами, наладить их селекцию, семеноводство (многие засухоустойчивые культуры тратят воды на формирование урожая в 1,5–3 раза меньше традиционных, отличаются глубокопроникающей корневой системой), что отражается в измененных ныне структурах посевых площадей в Гомельской области [3]. Для культурных пастбищ и возделывания овощей необходимо орошение, обеспечивающее гарантированное получение высоких урожаев. Требуется дальнейшее развитие системы страхования от последствий засухи.

В целом же увеличение продолжительности вегетационного периода, теплообеспеченности сельскохозяйственных культур, улучшение условий перезимовки и так далее не является

гарантией роста урожайности сельскохозяйственных культур.

Повышение среднегодовой температуры воздуха приводит к росту теплообеспеченности растений, способствует более быстрому созреванию и укорачивает период налива зерна. При таких обстоятельствах наблюдается ослабление закалки растений, ухудшение условий формирования урожая средних и поздних сортов картофеля, льна, капусты, второго укоса трав из-за сухой и жаркой второй половины лета. Кроме того, многие сельскохозяйственные культуры умеренных широт нуждаются в периоде низких температур (яровизации) в начале зимнего периода. В результате потепления зимнего периода происходит увеличение вероятности повреждения озимых культур от вымокания, выпревания, вымерзания, снежной плесени.

При проявлении погодных экстремальных условий, таких, как ураганы, шквалистые ветры, обычно невозможно избежать их отрицательных последствий ни подбором культур, ни технологиями возделывания.

Для реализации потенциальных преимуществ потепления климата необходимо проведение мероприятий по адаптации сельскохозяйственного производства к происходящим изменениям, а также требуется пересмотр системы кадастровой оценки земель. В Витебской области оценка станет несколько выше, а в Брестской, где легкие и мелиорированные почвы, – ниже.

Основы оптимизации земледелия в Беларуси в условиях изменяющегося климата. В условиях изменяющегося климата первостепенную значимость в республике приобретает практическая реализация стратегии экономически целесообразной адаптивной интенсификации системы земледелия [2], заключающаяся в улучшении показателей плодородия и фитосанитарного состояния почвы при увеличении эффективности использования «бесплатных», практически безграничных, а также возобновляемых и антропогенно малозатратных сил природы, для получения экологически безопасного, качественного для потребления урожая растениеводческой продукции при нормативном материально-техническом обеспечении технологических процессов.

Возобновляемые силы природы – солнечный свет, вода, тепло, углекислый газ, естественное плодородие почв, плюс региональная (почвенно-климатическая) специализация растениеводства, обоснованный набор культур и рациональные (в том числе ландшафтно-контурные) севообороты, азот бобовых, растения-почвоулучшатели, генетически устойчивые сорта, смешанные посевы, использование ландшафтных преимуществ, оптимальные сроки выполнения технологических операций, фитоценоти-

ческие меры борьбы с сорной растительностью и т. д.

Крупнейший специалист в области адаптивного растениеводства, вице-президент Российской академии аграрных наук академик А. А. Жученко считает: «Следует со всей определенностью подчеркнуть, что даже избыток техногенных средств (удобрений, пестицидов, техники) и государственных дотаций не может компенсировать неадаптивность в земледелии, приводящую к катастрофическим масштабам ухудшения почв, неоправданным затратам ресурсов, энергии, труда».

В Научно-практическом центре НАН Беларуси по земледелию разработаны основные принципы адаптации земледелия и растениеводства в условиях изменяющегося климата [2, 8]:

1. Повышение общей культуры земледелия (сроки, качество основной обработки почвы, переход к влагосберегающим обработкам).

В земледелии Беларуси в настоящее время обработка почвы – одно из самых «узких мест». Проведение качественной и своевременной обработки возможно лишь при наличии в достаточном количестве энергонасыщенных тракторов, высокоеффективных почвообрабатывающих машин и орудий, квалифицированных механизаторов и полной обеспеченности топливом. Это в основном организационно-технические и финансовые проблемы.

В системе мероприятий по обработке почвы наиболее затратной является отвальная вспашка. Мировой опыт свидетельствует, что этот способ обработки не всегда целесообразен и оправдан. Во многих странах службу обработку с успехом заменяют безотвальной и даже «нулевой».

Минимизация обработки почвы должна решаться в различных почвенно-климатических условиях по-разному. По мнению многих исследователей, плуг еще долго будет применяться там, где атмосферных осадков выпадает более 700 мм в год, а где меньше 700 мм – уступит место чизельным орудиям и комбинированным машинам на их основе.

В хозяйствах с низкой культурой земледелия с сильно засоренными полями, большими потерями зерна при уборке, не успевающих проводить полевые работы в оптимальные агротехнические сроки, плуг еще долго останется основным орудием обработки почвы.

Однако если в хозяйстве соблюдается се-вооборот, имеется необходимая система машин, обработка почвы проводится в оптимальные сроки, выдерживаются нормативы технологических регламентов, то здесь можно эффективно использовать комбинированную систему (50 % площадей обрабатывается отвальной вспашкой, 50 % – безотвальной), которая является влагосберегающей, что особенно важно для районов

южной части страны, так как позволяет провести обработку почвы в оптимальные агротехнические сроки и сэкономить ресурсы.

По результатам исследований Института земледелия и селекции НАН Беларуси, ежегодное проведение основной обработки почвы во второй половине октября снижает урожайность яровых культур севооборота на 4,0–6,8 ц/га к.ед. Под озимую пшеницу, озимое тритикале, картофель, свеклу, кукурузу лучше применять вспашку, а под такие культуры как озимая рожь, ячмень, овес, люпин можно с успехом использовать безотвальную обработку, что позволит примерно на 30 % сократить расход топлива, на 25 % – время на обработку.

Второй путь минимизации обработки почвы – широкое применение комбинированных агрегатов, выполняющих за один проход по полю подготовку почвы и посев. Экономия топлива в данном случае составляет 45–50 % и затраты труда сокращаются в 2,5–3 раза.

2. Радикальное изменение травосеяния, использование улучшенных сенокосов и культурных пастбищ, гарантированное самообеспечение семенами трав.

Необходимо на ближайшие годы при оптимизации в целом структуры посевых площадей радикально изменить структуру посевов многолетних трав на пашне, отдав предпочтение (наряду с клеверами) другим многолетним бобовым травам: люцерне, лядвенцу, доннику, галеге, а также сераделле, разместив их посевы на соответствующих почвах. В РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» уже развернута селекция, первичное семеноводство, созданы отечественные или внесены в Государственный реестр инорайонные сорта многолетних бобовых трав: люцерны посевной, лядвенца рогатого, галеги восточной, донника.

Особо следует отметить люцерну. Она требует плодородных почв, но, в отличие от клевера, не «выпадает» из посева и успешно произрастает на одном месте до 5 лет. Она более засухоустойчива, чем клевер, в том числе и по причине глубоко проникающей корневой системы. Люцерна имеет большую обеспеченность кормовой единицы белком, чем клевер, почти в 2 раза больше оставляет в почве биологического азота. Семена люцерны дороги – гектарная норма стоит 18–20 долларов США. Но следует иметь в виду, что однажды высеванные семена «работают» 5 лет, т.е. «годовая» стоимость гектарной нормы семян люцерны составляет всего 3–4 доллара США. К тому же, в отличие, к примеру, от кукурузы, под люцерну не надо каждый год пахать почву, культивировать, сеять, тратиться на гербициды, семена, азотные удобрения. Необходимо только своевременно скашивать и вносить фосфорно-калийные удобрения. Поэтому и кормовая единица люцерны в 2–3 раза дешевле. В ре-

публике более 800 тыс. га люцернопригодных почв. Правильный выбор участка под закладку посевов – важнейший фактор в системе мер по успешному возделыванию данной культуры.

В совокупности задействование адаптивного потенциала только многолетних бобовых трав в масштабе республики позволит:

- увеличить производство травяных кормов на 15–20 %; удешевить кормовую единицу травяных кормов в 2–3 раза (по сравнению со злаковыми травами и кукурузой);

- сбалансировать кормовую единицу по белку всех травяных кормов и, следовательно, на 30–35 % повысить коэффициент их полезного действия;

- получить «бесплатно» около 140 тыс. т биологического азота, что равноценно 290–300 тыс. т аммиачной селитры (с примерно 1/3 всей мощности Гродненского ПО «Азот»);

- оставить в почве корневые и пожнивные остатки, эквивалентные по действию на 1 га 20–25 т качественного навоза, что особенно важно в настоящее время при сокращении более чем на 40 % поголовья скота (по сравнению с 1990 г.) и прекращении добычи торфа;

- увеличить площади хороших предшественников для зерновых, что обеспечит 2–3,5 ц/га прибавки урожая зерна без дополнительных затрат;

- снизить потребность (10–15 %), а следовательно, и затраты на технические средства, топливо, так как многолетние травы не требуют ежегодной обработки почвы, а люцерна, лядвенец, галега растут на одном месте 5–10 лет. Поэтому отпадает необходимость каждый год пахать, культивировать, вести механические обработки по уходу за посевами;

- уменьшить затраты на химические средства защиты (протравители, гербициды, фунгициды), что имеет не только экономическое, но и экологическое значение.

3. Оперативное внедрение засухоустойчивых культур, в том числе недостаточно распространенных и нетрадиционных для Беларуси, таких как просо, чумиза, диплоидная рожь, люпин узколистный, лядвенец, люцерна, донник, амарант, озимая суперица, сорго-суданковые гибриды и др.

4. Эффективное использование ранневесенних запасов влаги, так называемый «ход от засухи». Например, осенью посев озимой ржи в смеси с озимой сурепицей, весной – уборка до 15–20 мая на зеленую массу или силос. Далее посев проса или другой засухоустойчивой культуры на зеленую массу или зерно. Такой вариант ведения сельского хозяйства впервые апробирован в Лоевском районе.

5. Наращивание осеннего внесения органических удобрений (навоз, компости), используя

зование многолетних бобовых трав и пожнивных культур на пашне как компенсаторов дефицита органического вещества и улучшателей влагоудерживающей способности почв и их водного и теплового режима.

6. Экономически оправданный полив овощей и перезалуженных культурных пастищ установками типа УД-2500, «Монсун».

7. Расширение на юге семеноводства теплолюбивых культур для потребностей республики: кукурузы, люцерны, клевера гибридного, чумизы, свеклы кормовой и др.

Особое внимание следует обратить на просо, одну из самых засухоустойчивых культур мирового земледелия, которое на 1 кг сухого вещества затрачивает 277 л воды (для сравнения: кукуруза – 349 л, клевер – 720 л, зерновые – 520 л). Урожайность зеленой массы проса составляет до 400–450 ц/га, из нее получают силос с содержанием переваримого белка в 1,8 раза выше, чем в кукурузном; солома из проса, содержащая 6,5 % белка (овсяная – 3,5 %), соответствует качеству на уровне сена 2-го класса. Просо имеет растянутый период сева – от мая до июля, как на зеленую массу, так и на зерно, а убирают эту культуру позже всех основных сельскохозяйственных культур, когда комбайны уже свободны.

Разработаны основные принципы экологического равновесия, которые должны обязательно учитываться в практике сельскохозяйственного производства, а именно, в области земледелия и растениеводства. Среди них выделим [1]:

- поддержание баланса питательных веществ в почве и создание благоприятной среды для развития сельскохозяйственных растений;
- применение сбалансированного комплекса минеральных удобрений и химических средств защиты растений с установлением контроля по критерию минерального фактора;
- использование химических средств, максимально приспособленных к особенностям растений, и адаптацию растений к наиболееному использованию питательных веществ и почвенной среды;
- создание и использование технологий обработки почвы и возделывания растений, поддерживающих почвенный потенциал и благоприятно влияющих на почвенные организмы и флору;
- последовательное и поэтапное расширение воспроизводства почвенного плодородия, создание устойчивого потенциала, обеспечивающего необходимый иммунитет почвы и стабильную благоприятную природную среду;
- создание системы удобрений и защиты растений, адаптированной к условиям окружающей среды;
- формирование системы севооборотов и ротации сельскохозяйственных культур в соот-

ветствии с необходимостью поддержания экологического равновесия и расширенного воспроизводства почвенного плодородия (создание новых сортов растений, имеющих необходимую адаптационную способность к условиям окружающей среды).

Для эффективной адаптации растениеводства к изменяющемуся климату необходим комплексный, системный, многофакторный, нелинейный подход. Система земледелия может быть представлена в виде структурной схемы (рис. 3), включающей следующие земледельческо-растениеводческие составляющие: организацию территории хозяйства; структуру посевов, организованную в севообороты; технологии возделывания сельскохозяйственных культур (обработку почвы, удобрения, защиту растений, семена и др.).

Вполне понятно, что собственно земледельческо-растениеводческие составляющие системы земледелия (технологический потенциал) не существуют автономно. Фон для их существования задают так называемые «входы» в систему: почвенно-климатические, материально-технические, организационно-экономические, финансово-ценовые, морально-психологические и социальные факторы. Именно они создают условия, которые во многом определяют эффективность системы земледелия. А на «выходе» системы находится тот или иной набор продукции, ее качество, воспроизведение почвенного плодородия, влияние на состояние окружающей среды, экономическая эффективность. Представленная схема охватывает все основные составляющие системы земледелия, действующие факторы, цели и демонстрирует, как, используя методологию системного анализа, можно наглядно, целостно и комплексно представить такое сложнейшее образование, как система земледелия в целом.

Возникает вопрос: можно ли применить к системе земледелия принцип «главного звена», используя который можно в целом улучшить состояние земледелия? Чему отдать приоритет? На первый взгляд, самым главным является техническое оснащение. Но тогда возникает вопрос – какие культуры, сорта, семена будем сеять и в какие руки попадет уборочная техника? Казалось бы, лучше сосредоточиться на увеличении внесения удобрений в почву. Но при нынешней засоренности полей (до 260 сорных растений на m^2) и инфицированности семенного материала и самих почв удобрения достанутся не столько культурным растениям, сколько сорнякам и болезнестворным микроорганизмам. Не исключено, что в этом случае предпочтение следует отдать активному использованию средств защиты растений. Однако при отсутствии роста общей культуры земледелия, технологической дисциплины и они не дадут должной отдачи.

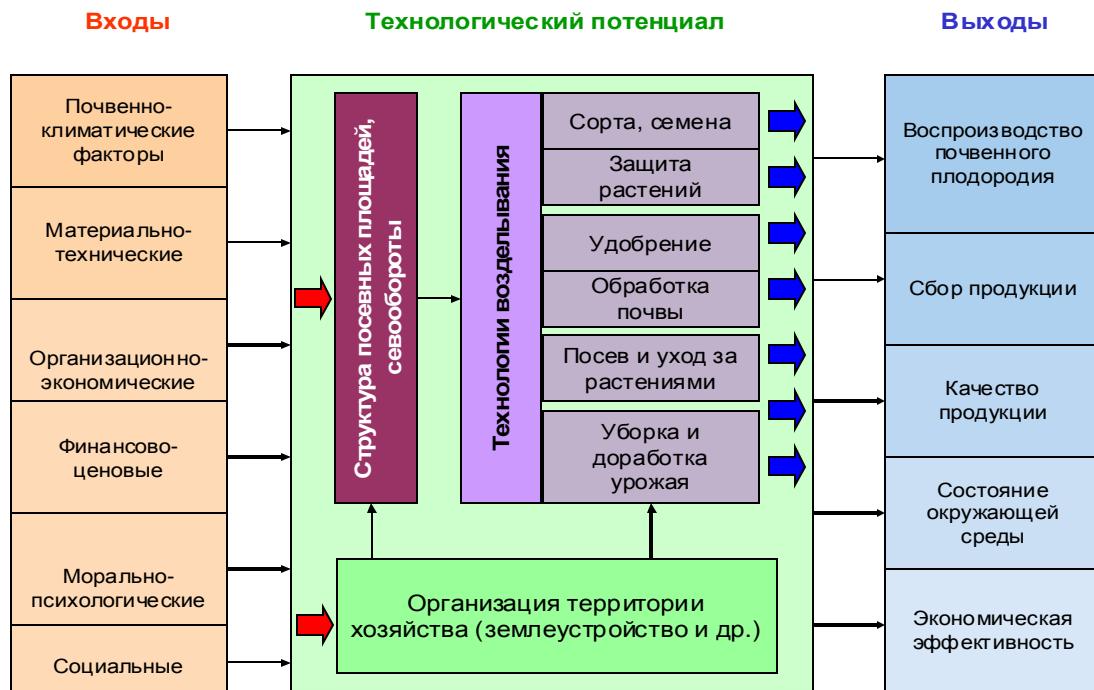


Рис. 3. Система земледелия и ее составляющие

Таким образом, можно утверждать, что система земледелия – высокоинтегрированное образование с теснейшими взаимосвязями между ее составляющими. И здесь принцип «главного звена» не приемлем. Образно говоря, нужно браться за все звенья сразу. Но в этом как раз и состоит основная трудность.

Исследования показывают, что только за счет внутренних земледельческо-растениеводческих резервов системы земледелия можно повысить ее продуктивность на 20–25 % [2]. Основные 75–80 % резервов повышения эффективности связаны со «входами» в систему. Только при должном их обеспечении можно получить на выходе нужный сбор продукции, необходимое ее качество, воспроизведение почвенного плодородия, улучшение состояния окружающей среды и экономическую эффективность.

Когда в системе много «узких мест» (лимитирующих факторов), единственно правильный подход – обоснование «иерархии» узких мест, которые следует последовательно устранять. В нынешних условиях представляется следующая последовательность избавления от ограничивающих эффективную хозяйственную деятельность факторов:

- организация экономически оптимальных форм хозяйствования субъектов землепользования;
- введение адекватной структуры посевных площадей и севооборотов;

- техническое переоснащение;
- полный и достаточный набор средств защиты;
- удобрения;
- комплекс мер по задействованию потенциала адаптивности растениеводства, включающих, в том числе, наиболее всесторонний учет почвенно-климатических условий.

В идеале, все эти меры должны были бы осуществляться одновременно.

Главной задачей земледелия республики является обеспечение уровня продовольственной безопасности по основным видам сельскохозяйственной продукции. Всестороннее и детальное обоснование объемов и ассортимента продукции с учетом почвенно-климатических условий, минимизации затрат, рынков сбыта и т.д. – первая задача бизнес-планов на конкретный год или период для конкретного первичного субъекта хозяйствования. В целом для страны обоснование объемов производства возможно и с определенной точностью необходимо в качестве государственно важных ориентиров (квот) для обеспечения продовольственной безопасности республики, допустимого экспорта и импорта продовольствия и товаров и т.д. Для первичных субъектов хозяйствования на земле при разработке бизнес-планов необходим экономико-животноводческо-земледельческий подход. Земледелие и растениеводство – это обслуживающие отрасли. Какими им быть – должны в основном опре-

делить рынки сбыта товарной продукции. В рамках структуры реализуемой сельскохозяйственной продукции надо развивать приемлемые в данных почвенно-климатических условиях земледелие и растениеводство. «Алгоритм» выхода на оптимальную структуру посевных площадей следующий: потенциально возможная товарная продукция → рыночно-выгодная (спрос, цена) → административно навязываемая → почвенно-климатически предпочтительная → материально-технически возможная → реально возможная (компромиссная) товарная продукция → структура посевных площадей.

В настоящее время в Беларуси урожай ограничивают не только агрохимические показатели плодородия пашни, сколько часто неудовлетворительные показатели ее фитосанитарного состояния (болезни, сорняки, вредители), обусловленные нарушениями сроков и качества выполнения основных технологических операций, нарушенной системой севооборотов.

Стратегия интенсификации сельского хозяйства (земледелия), избранная в СССР в 1965 г. включает механизацию, химизацию, мелиорацию, обустройство села и т.д. Это был путь массированных государственных преференций для коллективных крупнотоварных хозяйств с государственной формой собственности по всей территории республики. Может ли он быть взят за основу в современных условиях?

Чтобы ответить на этот вопрос, отметим главные особенности современного сельскохозяйственного производства страны, определим факторы, снижающие урожай нынешнего земледелия и растениеводства.

Главные причины, определяющие состояние земледелия, несомненно, находятся в организационно-экономической, мотивационной, финансово-ценовой сферах. Важнейшие из них: недостаток инвестиций в основной капитал, диспаритет цен, убыточность хозяйств, дефицит оборотных средств и т.д. Именно они и породили в земледелии негативные следствия:

1) возрастающие ресурсные дефициты (техника, удобрения, топливо, средства защиты);

2) грубейшие нарушения технологических требований при возделывании сельскохозяйственных культур из-за хронического дефицита ресурсов;

3) убывающее плодородие почв, ухудшение фитосанитарного состояния.

4) еще больше усугубили ситуацию изменяющийся климат (увеличение частоты засух и других экстремальных природных факторов), нарушенная система севооборотов и неоптимальная структура посевных площадей.

В Беларуси исторически сложилась определенная структура посевных площадей. Однако исследования показали, что наиболее оптимальной для большинства хозяйств является сле-

дующая структура: 50 % (а в перспективе около 56 %) – зерновые и зернобобовые культуры, 10–12 % – пропашные, 12–25 % – многолетние бобовые травы, 12,5 % – другие культуры.

Это значит, что в конкретном севообороте, скажем, 8-польном, должно быть 4 поля зерновых культур, 1 поле пропашных, 1 поле любой технической культуры, 2 поля клеверов одногодичного пользования (варианты: 1 поле клевера и 1 – однолетних трав и кукурузы, 1 поле люцерны, галеги восточной, лядвенца рогатого).

Анализ земледелия многих хозяйств республики показывает, что до 30 % и более площади зерновых культур высеваются по неблагоприятным предшественникам. Во многих областях, к примеру, многолетних трав на пашне до 20–30 %, но из них клеверов, даже по официальной статистике, – только 20 %. При этом многолетние злаковые травы, продуктивность которых составляет не более 30 % от продуктивности клевера одногодичного использования, возделываются 5 лет и дольше. Применительно к 8-польному севообороту получаем, что 2 поля пашни под многолетними злаковыми травами на 4 года выведены из обращения. 4 поля зерновых используют фактически в 6-польном севообороте. Это означает, что 2 поля зерновых культур высеваются по зерновым. Следовательно, в первый год посева зерновых по зерновым недобираем 5 ц/га зерна.

Ситуацию со структурой посевных площадей при достатке семян клевера и других многолетних бобовых трав можно быстро изменить, буквально за год–два, но последствия «испорченной» почвы будут давать о себе знать еще лет пять.

Неоптимальный предшественник может значительно снизить урожайность зерновых культур. Так, по обобщенным данным, размещение пшеницы по неблагоприятным предшественникам приводило к снижению урожайности до 40 % даже при однократном повторении, ячменя – до 30 %;

5) непаритетное изменение цен на сельскохозяйственную и промышленную продукцию.

Существенно изменяется не только климат, но и экономическая среда хозяйствования в Беларуси и окружающих ее странах. Растет открытость и взаимозависимость их экономик. В связи с этим необходимо своевременно и оперативно с целью снижения негативных издержек адаптироваться к климату и к новым условиям хозяйствования. Становится все более очевидным, что «вторая адаптация» (к новым условиям хозяйствования) является неизбежно необходимым условием успешной адаптации к изменяющемуся климату.

Заключение. Климат всегда оказывал и будет оказывать огромное влияние на уровень продовольственной безопасности страны, состояние природных ресурсов и здоровье населения. Потенциальный ущерб от неблагоприятных погодных и климатических условий для стран умеренной зоны – наибольший в сельскохозяйственном производстве (около 70 %). При принятии защитных мер ущерб может быть снижен на 35–40 %.

Воздействия климата на сельское хозяйство осуществляются по двум схемам – через изменение частоты опасных и особо опасных явлений погоды, а также через тенденции–тренды, отражающиеся в осредненных показателях сельскохозяйственного производства.

Повышение среднегодовой температуры на 1 °C (в течение всего временного интервала) приводит к увеличению вегетационного периода на 10 дней и суммы температур на 200 °C, что соответствует сдвигу по широте (к северу) более южных климатических условий на 150–200 км [7]. Изменится климатическая (природная) зональность страны, произойдет существенный сдвиг дат фенофаз (особенно весной), удлинится вегетационный период. Однако сохраняется опасность поздневесенних (майских) и раннеосенних заморозков, что потребует соответствующей селекционной работы по получению заморозкоустойчивых и засухоустойчивых сортов традиционных культур.

Потребуются существенные меры по расширению орошаемого земледелия, так как при развитии мощных засушливых явлений возрастают расходы, связанные с незапланированной обработкой земли, пересевом зерна на больших площадях, дополнительным использованием техники, горючего, непредусмотренной оплатой труда и т.д. Затраты на производство зерновых культур во время крупных засушливых явлений возрастают по сравнению с благоприятными годами на 15–20 %, что приводит к существенному снижению производительности труда в сельском хозяйстве приблизительно на такую же величину.

Изменения основных агроклиматических характеристик требуют разработки соответствующих планомерных мер адаптации сельскохозяйственного производства. Эти меры должны основываться на результатах соответствующих научных исследований, поддержанных в различных формах государством (прямое финансирование, гранты, кредиты и т.п.). Необходима разработка стратегии сельскохозяйственного производства, учитывающей новые агроклиматические условия. Научные исследования должны охватывать все направления сельскохозяйственного производства – от определения оптимальных сроков проведения агротехнических работ до выбора и селекции оптимальных сортов, соответствующих новым условиям.

Показано, что эффективность системы земледелия зависит не только от технологического потенциала. «Входами» в систему оптимального земледелия являются почвенно-климатические, материально-технические, организационно-экономические, финансово-ценовые, морально-психологические и социальные факторы. С разной степенью детальности показана роль каждого из них. С использованием комплексного подхода рассмотрена система земледелия в стране в целом.

Приведенные результаты развивают идею о важности учета влияния изменяющихся климатических ресурсов на общество и могут быть использованы при текущем и перспективном планировании развития растениеводства в Республике Беларусь для обоснования видового состава сельскохозяйственных культур, экономически эффективных для выращивания в различных регионах страны с учетом изменяющихся погодно-климатических условий.

Авторы убеждены, что без осуществления мер по адаптации сельскохозяйственного производства к комплексу изменяющихся почвенно-климатических, социальных и экономических факторов нельзя решить проблему продовольственной безопасности страны.

Л и т е р а т у р а

1. Гусаков В. Г. Методологические принципы экологизации сельскохозяйственного производства // Природные ресурсы. 2004. № 4. С. 77–82.
2. Кадыров М. А. Стратегия экономически целесообразной адаптивной интенсификации системы земледелия Беларуси. Минск, 2004.
3. Климат меняется. Пора действовать? // Беларуская думка. 2008. № 10. С. 26–33.
4. Логинов В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия. Минск, 2008.
5. Логинов В. Ф., Сачок Г. И., Микуцкий В. С. и др. Изменения климата Беларуси и их последствия. Минск, 2003.
6. Мельник В. И. Влияние изменения климата на агроклиматические ресурсы и продуктивность основных сельскохозяйственных культур Беларуси: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Минск, 2004.
7. Мельник В. И., Комаровская Е. В. Влияние изменений климата на агроклиматические ресурсы Полесья: Материалы Междунар. сем. Минск, 2007. С. 221–225.

8. Стратегия и тактика экономически целесообразной адаптивной интенсификации земледелия: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Отв. ред. М. А. Кадыров. В 2-х т. Минск, 2004.

**Институт природопользования НАН Беларуси
Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию**

В. Ф. Логинов, М. А. Кадыров, Г. А. Камышенко

**ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ АДАПТАЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ БЕЛАРУСИ
К ИЗМЕНЯЮЩЕМУСЯ КЛИМАТУ**

Выполнен анализ климатических изменений на территории Беларусь за период с 1888 по 2007 г. Показано, что среднегодовая температура воздуха в Беларусь за последние 120 лет повысилась более чем на 1 °C, особенно повышение температурного режима проявилось в последние два десятилетия. Среднегодовые суммы осадков в период современного потепления существенно не изменились, но значения среднемесячных сумм осадков в августе, апреле и мае уменьшились, а в июне и сентябре – увеличились. Особенностью изменения климата за последние десятилетия является усиление экстремальности гидрометеорологических явлений.

Современные климатические изменения приводят к увеличению продолжительности и теплообеспеченности вегетационного периода, что сопряжено как с положительными, так и с отрицательными последствиями в растениеводстве.

Изложены основные принципы адаптации земледелия и растениеводства в условиях изменяющегося климата, разработанные в Научно-практическом центре НАН Беларуси по земледелию. Показано и логически обосновано, что эффективность системы земледелия зависит не только от технологического потенциала, но и от комплекса изменяющихся почвенно-климатических, социальных и экономических факторов, без учета которых нельзя решить проблему продовольственной безопасности страны.

V. F. Loginov, M. A. Kadyrov, H. A. Kamyshenko

**MAIN PRINCIPLES OF ADAPTATION OF BELARUS AGRICULTURE
TO A CHANGING CLIMATE**

The analysis of climatic changes in territory of Belarus from 1888 to 2007 was made. It has been shown, that the mid-annual temperature of air in Belarus for last 120 years has raised more than by 1 °C, the increase of a temperature mode especially occurred in last two decades. The mid-annual sums of precipitation in modern warming have not changed essentially, but values of the monthly average sums of precipitation in August, April and May have decreased, and in June and September – have increased. Feature of climate change for last decades is strengthening of extremeness of hydro-meteorological phenomena.

Modern climatic changes result in the increase of duration and warmth provision of the vegetative period that is linked both with positive and with negative consequences in plant growing.

Main principles of adaptation of agriculture and plant growing in the conditions of the changing climate, developed in Scientific-practical centre of Belarus NAS on agriculture are stated. It has been shown and logically substantiated that the agriculture system effectiveness depends not only on technological potential, but also on a complex of changing soil-climatic, social and business factors without which account it is impossible to solve a problem of food safety of the country.

В. Ф. Логинов, В. В. Коляда, О. Г. Савич-Шемет

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНЕЙ УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМОЙ И ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В БЕЛАРУСИ, ПОЛЬШЕ, ГЕРМАНИИ, ВЕЛИКОБРИТАНИИ И НИДЕРЛАНДАХ

Проанализировано распределение величины нормированной урожайности в ряде стран Европы и Беларуси. Выявлена относительная климатическая устойчивость земледелия в Германии, Нидерландах и Великобритании, связанная с культурой возделывания почвы, и существенное климатообусловленное изменение урожайности для Беларуси и Польши.

Последствия происходящих изменений климата можно оценить не только по средним показателям урожайности, а исходя из оценки ожидаемых изменений повторяемости потерь, т. е. позиций климатообусловленного изменения уровня хозяйственных рисков.

В работе [3] вводится показатель изменения риска η , который определяется как отношение повторяемости неблагоприятных событий (заморозков, засух, суровых и теплых зим и т. д.) в условиях изменяющегося климата (P_1) к повторяемости таких же событий при современном климате (P_0). Последствия ожидаемых климатических изменений оцениваются величиной

$$\eta = \frac{P_1}{P_0}.$$

Риск крупных потерь возрастает при условии, что $P_1 > P_0$. В этом случае величина $\eta > 1$.

Следующий этап – построение кривых распределения урожаев (Y_i) для современных и ожидаемых климатических условий.

Снижение среднего урожая определяется

величиной $\Delta \bar{Y} = \bar{Y}_0 - \bar{Y}_1$, где \bar{Y}_0 и \bar{Y}_1 – средние урожаи при современных и прогнозируемых климатических условиях. Вводится понятие – «критически низкая урожайность, обеспечивающая, например, самый низкий уровень продовольственной безопасности страны». За такой уровень принимается 5500–6000 тыс. т или 550–600 кг зерна на человека в год [2]. Важным статистическим параметром для оценки риска является также изменение среднеквадратических отклонений урожайности сельскохозяйственных культур (σ). Если $\sigma_1 > \sigma_0$, то это приведет к дополнительному повышению риска крупных хозяйственных потерь. Повышение риска неурожаев, превышающих заданный критический уровень, можно хотя бы частично компенсировать, если уменьшить σ . Последнего можно достичь путем повышения устойчивости ведения сельского хозяйства, например, за счет получения стабильного урожая в широком диапазоне варьирования воздействующих факторов (агротехники, использования удобрений, средств борьбы с вредителями и т. п.).

Риски чувствительны к климатообусловленным изменениям законов распределения

урожайности и, как следствие, валовых сборов зерна. Если построить распределение урожайности сельскохозяйственных культур для благоприятных климатических условий, то вероятность получения критически низких урожаев невелика и площадь под кривой распределения урожайности также невелика (P_0) (рис. 1).

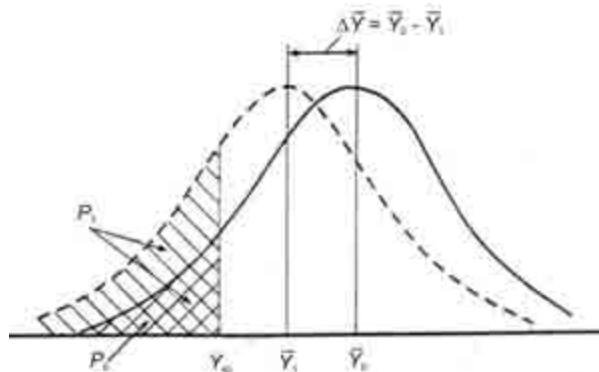


Рис. 1. Кривые распределения урожаев (Y) для современных и ожидаемых климатических условий

Ухудшение климатических условий делает вероятность получения критически опасных урожаев высокой и площадь под кривой распределения достаточно большой (P_1). «Сужая» кривую распределения урожайности посредством улучшения технологии сельскохозяйственного производства, можно достичь снижения рисков получения критически опасных урожаев.

Рассмотрим распределение величины нормированной урожайности $\left(\frac{Y_i - \bar{Y}}{\sigma^2} \right)$ [Ежегодные данные Национального статистического комитета Республики Беларусь, Mitchell B.R. International historical statistics / Europe 6 th. Ed. 2007] для стран Европы и Беларуси (рис. 2). Значения второго статистического момента изменяются от 0,01 для Беларуси и Польши до 0,003 для Германии, Великобритании и Нидерландов, что свидетельствует об уменьшении разброса значений ряда. Значения третьего статистического момента равны 3,56; 2,55; 0,34; 0,12; 0,18 для Беларуси, Польши, Германии, Нидерландов и Великобритании соответственно, что свидетельствует о снижении « крутизны» правого склона

распределения в указанном ряду стран Европы и приближении распределения урожайности в этих странах к нормальному. Из рис. 2 следует различная крутизна кривых распределения урожайности. «Суженные», островершинные кривые распределения урожайности в Германии, Великобритании и Нидерландах свидетельствуют о большей климатической и технологической ус-

тойчивости земледелия в этих странах. На рис. 3 представлены кривые распределения урожайности пшеницы в странах Европы и Беларуси с привязкой к средней урожайности. Они наглядно показывают, как в будущем должна изменяться кривая распределения урожайности пшеницы в нашей стране.

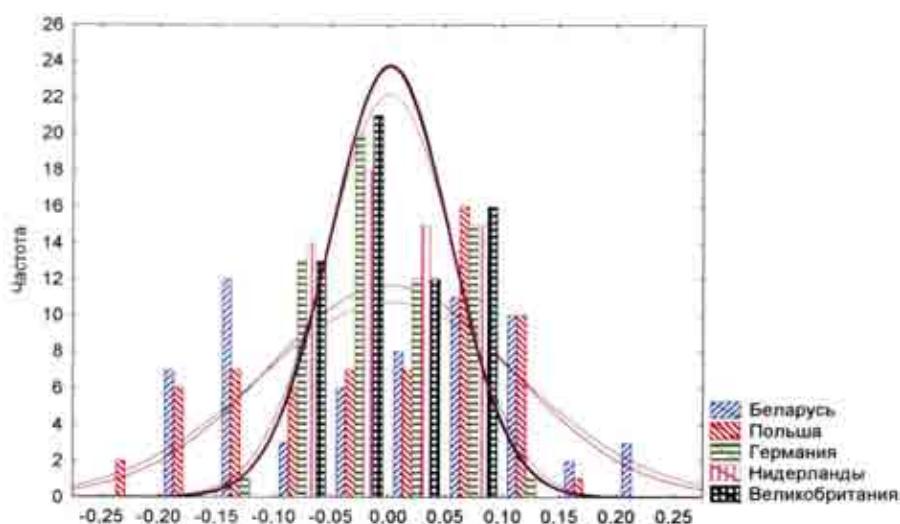


Рис. 2. Кривые распределения нормированной урожайности для стран Европы и Беларуси

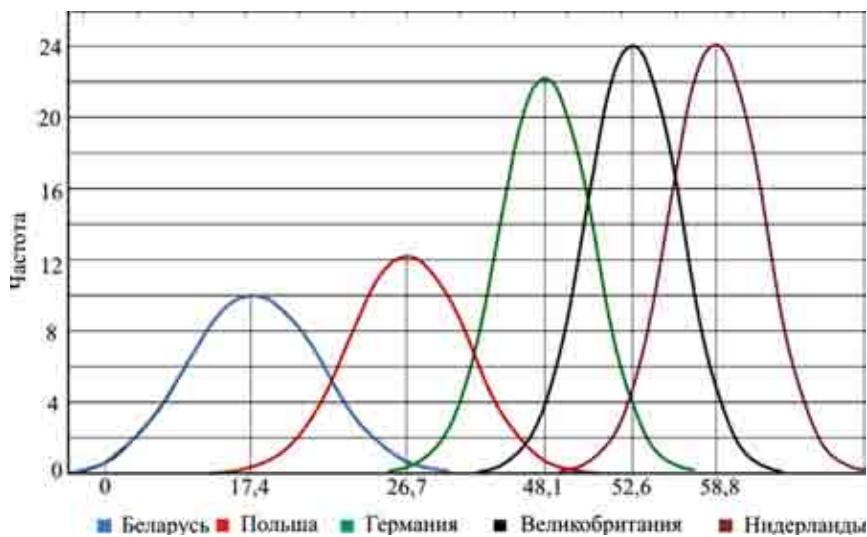


Рис. 3. «Линейка» кривых распределения урожайности стран Европы и Беларуси

Большой интерес представляет сравнительный анализ урожайности озимой и яровой пшеницы по группам стран, имеющих разный климатический потенциал и разный уровень культуры земледелия. Средняя урожайность пшеницы за период 1946–2007 гг. составила: в Беларуси – 17,4; Польше – 26,7; Германии – 48,1; Великобритании – 52,6; Нидерландах – 58,8 кг/га.

Сравнительные характеристики земледелия в ряде стран Европы приведены в табл. 1.

Из таблицы следует, что соотношение урожайности пшеницы в Беларуси и других странах испытывает существенные изменения, достигая более чем трехкратной величины. Климатический

потенциал, если исходить из данных, приведенных в работе [1], изменяется менее значительно. Если климатический потенциал нашей страны принять за единицу, то отношение потенциала Беларуси составляет 77, 59, 67 и 56 % от климатического потенциала соответственно Польши, Германии, Великобритании и Нидерландов.

Оценка уровня развития технологии сельскохозяйственного производства нашей республики отличается особенно сильно от оценок уровня технологий Германии, Великобритании и Нидерландов, но в перспективе она может приблизиться к оценке уровня технологии сельскохозяйственного производства в Польше.

Наиболее показательно совместное влияние на урожайность пшеницы климатического потенциала и совершенства технологии сельскохозяйственного производства (в более широком

смысле культуры земледелия, которая включает и организацию производства) выражены в фактической урожайности пшеницы в сопоставляемых странах (рис. 4).

Таблица 1. Сравнительные характеристики урожайности в ряде стран Европы

Параметр	Польша – Беларусь	Германия – Беларусь	Великобритания – Беларусь	Нидерланды – Беларусь
Соотношение урожайности озимой и яровой пшеницы стран Европы и Беларусь	1,5	2,8	3,0	3,4
Климатический потенциал стран [1]	1,3	1,7	1,5	1,8*
Нормированные значения соотношений урожайности пшеницы на климатический потенциал стран**	1,25	1,9	2,0	2,3

Примечания: * – экспертная оценка; ** – это соотношение можно рассматривать как показатель уровня развития технологии сельскохозяйственного производства в Беларуси по сравнению с другими странами.

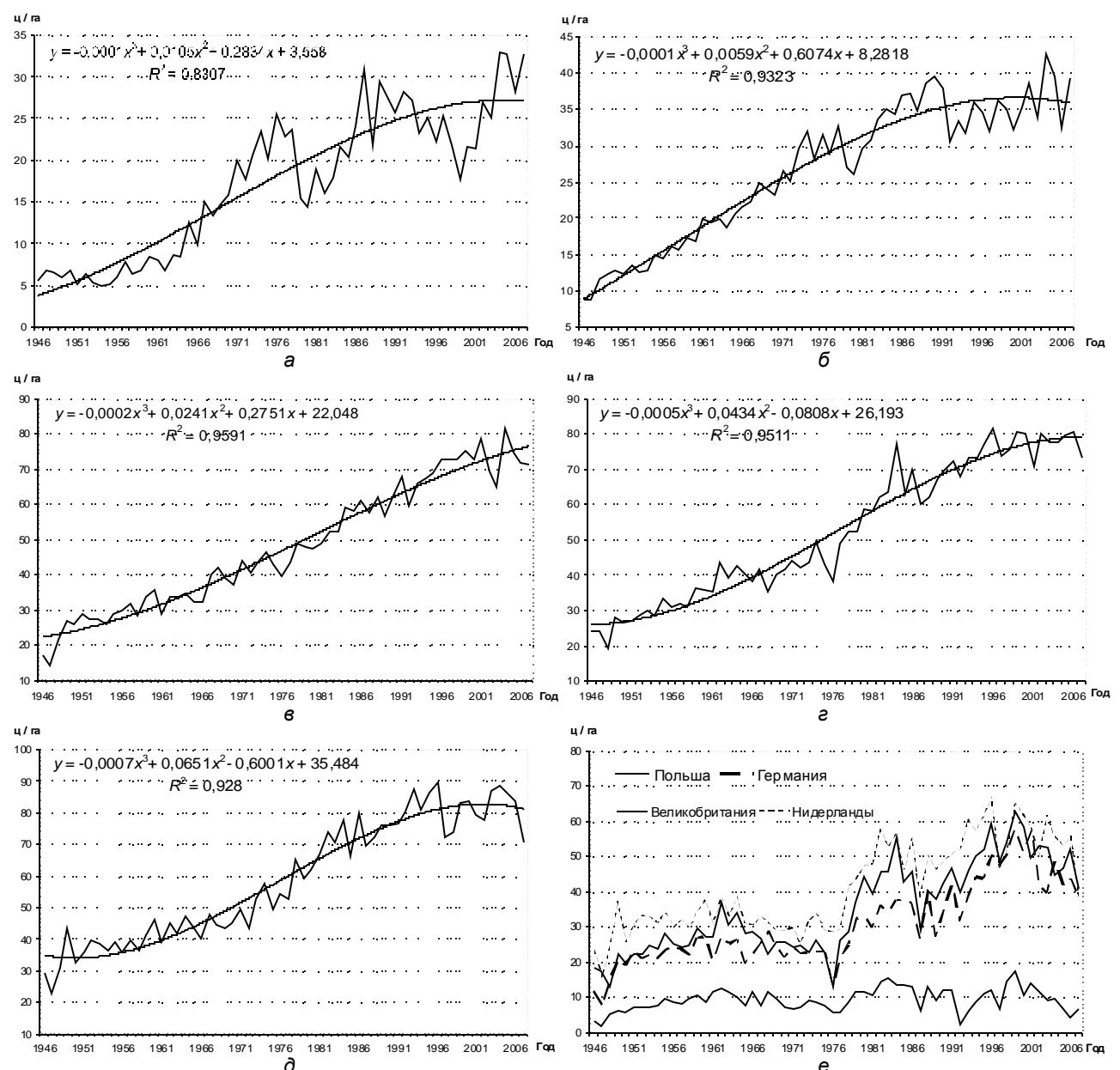


Рис. 4. Фактические и сглаженные полиномиальной функцией значения урожайности пшеницы в Беларуси (а), Польше (б), Германии (в), Великобритании (г) и Нидерландах (д) и разности урожайности в европейских странах и Беларуси (е) за 1946–2007 гг.

Из рис. 4 следует, что если скорость роста урожайности в Беларуси и Польше не имеет существенных различий, о чем свидетельствуют и незначительные отличия разности фактической урожайности пшеницы в Беларуси и Польше (около 10 ц/га), то сравнение урожайности пшеницы в Беларуси и в Германии, Великобритании и Нидерландах показывает системное отстава-

ние сельскохозяйственного производства в Беларуси. Исключение составляют последние несколько лет, когда разности урожайности пшеницы в нашей стране и указанных странах оставались практически на одном уровне. Следует отметить, что последние несколько лет были благоприятными для сельскохозяйственного производства на территории республики.

Литература

1. Кукреш Л. В. Зарубежная практика сельскохозяйственного производства // Весці НАН Беларусі. Сер. аграрных науок. 2010. № 6. С. 10–15.
2. Шапиро С. Б. Актуальные проблемы агропромышленного комплекса Республики // Весці НАН Беларусі. Сер. аграрных науок. 2008. № 4. С. 20–26.
3. Якушев В. П., Жуковский Е. С. Анализ рисков – как основа оценки последствий изменений климата в земледелии: Докл. Российской академии сельскохозяйственных наук. 2009. № 5. С. 54–57.

Институт природопользования НАН Беларуси

В. Ф. Логинов, В. В. Коляды, О. Г. Савич-Шемет

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНЕЙ УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМОЙ И ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В БЕЛАРУСИ, ПОЛЬШЕ, ГЕРМАНИИ, ВЕЛИКОБРИТАНИИ И НИДЕРЛАНДАХ

Анализ распределения величины нормированной урожайности для стран Европы и Беларуси показал сравнительно большую климатическую устойчивость земледелия в Германии, Великобритании и Нидерландах по сравнению с Беларусью и Польшей. Сравнительный анализ климатического потенциала стран Европы и Беларуси показал, что климатический потенциал Беларуси находится в пределах 56–77 % от потенциала стран Европы. Выявлено системное отставание сельскохозяйственного производства в Беларуси по сравнению со странами Европы за исключением Польши. Островершинность статистических распределений урожайности пшеницы в ряде европейских стран (Германия, Великобритания, Нидерланды) свидетельствует о большей климатической и технологической устойчивости земледелия в этих странах. В перспективе статистическое распределение урожайности пшеницы в Беларуси может приблизиться к аналогичному распределению урожайности в Польше.

V. F. Loginov, V. V. Kolyada, O. G. Savich-Shemet

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF LONG-TERM PRODUCTIVITY OF WINTER AND SPRING WHEAT IN BELARUS, POLAND, GERMANY, GREAT BRITAIN AND NETHERLAND

The analysis of distribution of normalized value of productivity for the countries of Europe and Belarus has shown rather big climatic stability of agriculture in Germany, Great Britain and Netherland in comparison with Belarus and Poland. A comparative analysis of climatic potential of the countries of Europe and Belarus has shown that the climatic potential of Belarus is in limits of 56–77 % from that of the countries of Europe. System backlog of agricultural production in Belarus in comparison with the countries of Europe except for Poland has been revealed. The peakedness of statistical distributions of productivity of wheat in a number of European countries (Germany, Great Britain, Netherland) testifies about greater climatic and technological stability of agriculture in these countries. In the long term a statistical distribution of productivity of wheat in Belarus may be nearer to similar one in Poland.

УДК 551.4(476.6)

А. В. Матвеев, Л. А. Нечипоренко

СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ р. ВИЛИИ (БЕЛАРУСЬ)

Исследованы особенности современных экзогенных, эндогенных и техногенных геологических процессов. Установлено, что скорость (интенсивность) проявления отдельных видов современной геодинамики заметно варьирует по площади и на некоторых участках достигает величин, при которых преобразование земной поверхности и покровных отложений может наносить экономический ущерб. Однако в целом современные геологические процессы на изученной территории не являются запрещающим фактором для сооружения крупных промышленных объектов.

В связи с возможным размещением атомной электростанции в Островецком районе Беларусь (в бассейне р. Вилии) значительный интерес представляет анализ особенностей проявления на этой территории современных геологических процессов. Необходимость подобных исследований обусловлена тем, что повышенная интенсивность отдельных видов современной геодинамики может осложнить проведение строительных работ, вызвать их удорожание, повлиять впоследствии на характер распределения и перераспределения выбросов, которые всегда сопровождают деятельность любого крупного промышленного объекта. Именно поэтому на этапе обоснования места расположения сооружений будущей АЭС проведено изучение процессов преобразования земной поверхности, накопления и переноса отложений.

Выполненные работы показали, что, несмотря на приуроченность района исследований к древней платформе и относительную выровненность рельефа земной поверхности, на данной территории достаточно активно и разнообразно проявляются современные геологические процессы (рисунок). Скорость (интенсивность) этих процессов заметно варьирует по площади и на некоторых участках может достигать таких величин, когда начинается существенное преобразование земной поверхности и природных комплексов в целом. Геологические процессы по основному источнику энергии подразделяются на три класса: экзогенный, эндогенный и техногенный.

Экзогенные процессы. К этому классу на рассматриваемой территории относятся плоскостной смыт, эрозия и аккумуляция линейных водотоков, гравитационные, эоловые, биогенные процессы. Наиболее широко распространен плоскостной смыт. Проявление такого типа процессов может наносить экономический ущерб (снижение плодородия почв) и преобразовывать земную поверхность только в тех случаях, когда интенсивность сноса превышает 2 мм/г, так как, судя по [13], при меньших значениях вынос материала может компенсироваться в результате процессов естественного почвообразования. На рисунке показаны только площади, где делювиальный снос превышает приведенную выше величину.

Данный вид процессов обусловлен пластовыми потоками, формирующими в результате выпадения дождей и таяния снега при условии, что объемы текущих вод превышают величину, необходимую для смачивания отложений и растительности. Глубина потоков в зависимости от шероховатости, микрорельефа и других особенностей земной поверхности изменяется от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. При определенном сочетании климатических, морфометрических, геологических, почвенно-растительных и техногенных (распашка, сведение растительности) условий плоскостные потоки приобретают способность к размыву и транспорту материала.

Площади, подверженные плоскостному смыту, на исследованной территории встречаются достаточно широко. Исключение составляют территории в бассейнах рек Гозовка, Гайголка, ручья Полле, площадь между деревнями Катеновичи, Леговцы, Скердимы, Валейкуны, Поболи, Кудра, в центральной части Островецкого пункта и небольшие участки в правобережье рек Ошмянка, Вилия. Максимальные значения плоскостного стока, рассчитанные по методике, разработанной в Государственном гидрологическом институте [2], достигают 4–5 мм/г. Эти значения характерны для краевых ледниковых образований, склонов долин Ошмянки, Вилии, Сорочанки. Правда, оценивая интенсивность проявления делювиальных процессов, следует отметить, что приведенные величины реальны только для распахиваемых территорий. На тех участках, где развита лесная растительность, рассчитанные значения сноса являются потенциально возможными.

На склонах со значительными показателями переноса материала плоскостными потоками у подножий сформировались шлейфы делювиальных отложений. Их мощность, по данным полевых работ, в основном составляет 80–100 см и только по наиболее крутым и протяженным склонам увеличивается до 125–150 см. Площади с повышенными значениями мощностей склоновых шлейфов тяготеют к участкам максимальных значений плоскостного смыта, хотя и не полностью совпадают с ними.

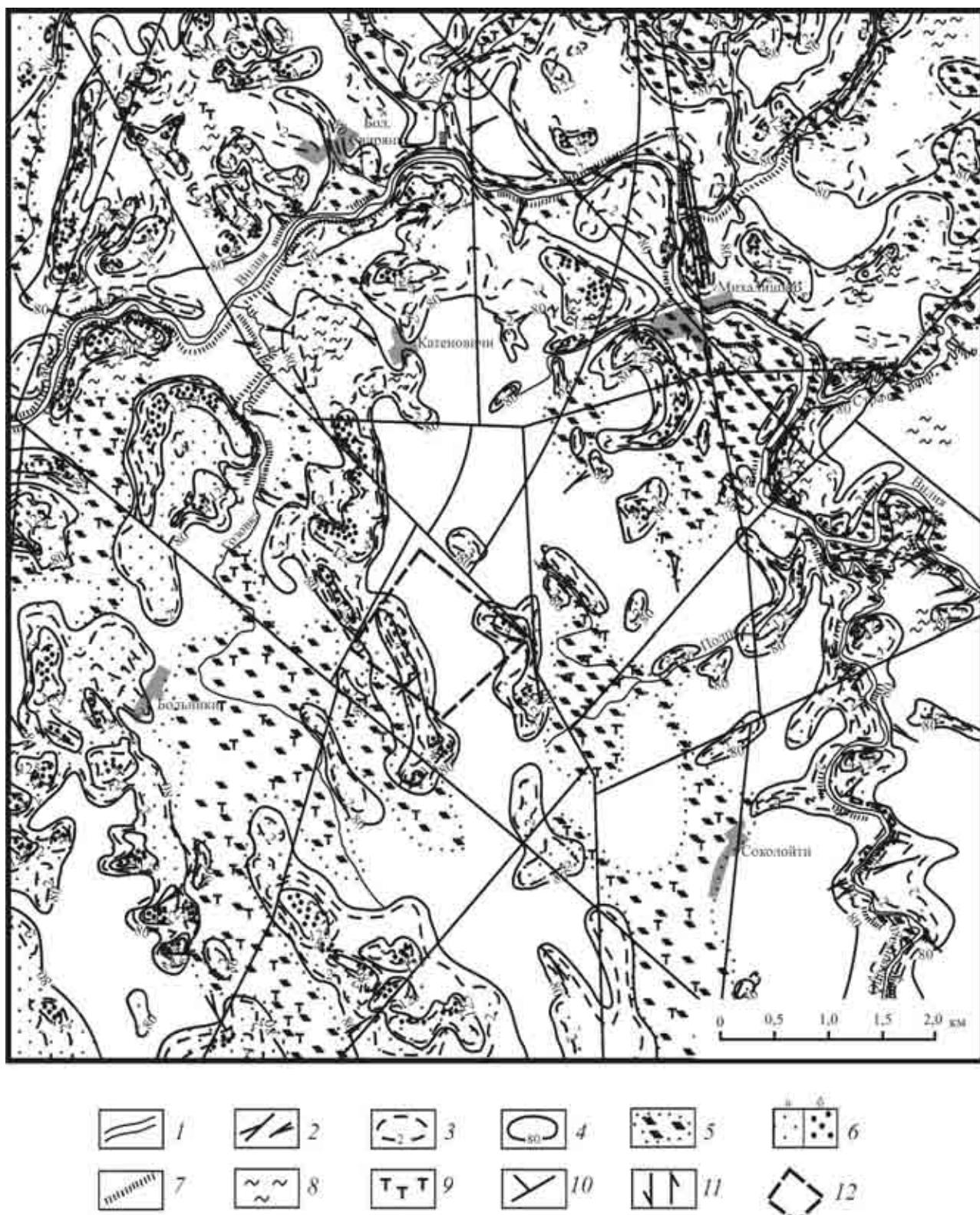


Схема проявления современных геологических процессов: 1 – эрозионно-аккумулятивные процессы в речных долинах; 2 – овражная эрозия; 3 – плоскостной смыв (мм/г.); 4 – накопление склоновых шлейфов (см); 5 – заболоченные территории; 6 – крип (а – до 4 мм/г., б – более 4 мм/г.); 7 – обвально-осыпные процессы; 8 – дефляция; 9 – накопление торфа; 10 – зоны наиболее высоких градиентов вертикальных движений земной коры (зоны разломов); 11 – участки предполагаемых горизонтальных смещений земной коры; 12 – площадка возможного размещения АЭС

Довольно разнообразно на изученной территории проявляется эрозионно-аккумулятивная деятельность линейных водотоков. Наиболее крупной рекой является Вилия. Врез долины до 20–30 м, почти на всем протяжении развиты обрывистые берега. Ширина долины варьирует в основном от 300–400 м до 3–4 км. Пойма чаще 250–300 м, иногда расширяется до 700 м и более. В долине выделяется до 3–4 надпойменных террас, их площадки обычно не превышают 300–400 м. Долины других рек в основном являются пойменными, шириной до 200–300 м, реже более, врез составляет до 15–20 м. Берега нередко обрывистые. В пределах пойменных террас в голоцене накопились аллювиальные отложения мощностью до 10–12 м. Надпойменные террасы эрозионные и цокольные с мощностью аллювия до 2–3 м. В верховьях ручья Полле, рек Гайголка, Гозовка, очевидно, существовали озерные водоемы, спущенные этими водотоками. Образовавшиеся понижения в настоящее время заболочены и мелиорированы.

В преобразовании земной поверхности активную роль играют также временные линейные водотоки, формирующиеся в результате концентрации стока на склонах. Результатом геологической деятельности таких потоков являются овраги и балки, маломощные отложения по их тальям, конусы выноса, которые размываются реками, особенно в период половодий и паводков. В связи с тем, что реки на характеризуемой территории имеют в основном хорошо выраженные долины с достаточно крутыми склонами, здесь сформировалась достаточно густая овражно-балочная сеть, особенно вдоль Вилии, Гозовки (на участке от д. Плентовка до д. Мельники), Ошмянки, в низовьях ручья Полле. Длина овражных форм варьирует от 50 м до 1–2 км. Глубина вреза от 1–2 м до 7–10 м. На отдельных участках плотность овражно-балочной сети достигает 5–7 шт./км береговой линии (у д. Мужилы, Ради, Плентовка, севернее д. Пуговичи и др.).

Реже овражно-балочные формы возникают на некотором удалении от речных долин, на участках наибольших отметок земной поверхности (у д. Дирмуны, северо-западнее д. Березовка, юго-западнее д. Савишки, южнее д. Мисляны, западнее д. Катеновичи и др.). В таких случаях эти формы рельефа опираются на заболоченные понижения и их врез не превышает 5–7 м.

Рассматривая деятельность аквальных процессов, необходимо отметить еще одно последствие их проявления – затопление и подтопление территорий, которое необходимо учитывать при инженерно-геологических оценках. С учетом того, что паводковые подъемы уровней воды в реках могут достигать 2–5 м и делятся в бассейне Вилии около 1 месяца [7], можно предположить временное повышение уровня грунтовых вод на наиболее пониженных территориях в

районе д. Гервяты, Соколйти, Гроди, Валейкуны, Михалишки, Гоза, Загозь, Больники, Бобровники, Ворняны, Чижовщина и др. На отдельных участках этих территорий возможно даже кратковременное их затопление.

Широко в районе Островецкой площадки представлены гравитационные процессы. На склонах, крутизна которых превышает 2–4°, повсеместно проявляется крип – массовое смещение материала к подножью склона в результате изменения режима увлажнения и температур. Смещения протекают со скоростью до 2–4 мм/г. без разрыва сплошности пород. При этом необходимо подчеркнуть, что в зависимости от локальных особенностей состава отложений смещение материала происходит не строго по направлению наибольших уклонов поверхности. Основные участки с максимальной для территории интенсивностью крипа тяготеют к описанным выше площадям повышенных значений плоскостного смыва, однако полного соответствия контуров не отмечается. Как правило, участки со скоростью крипа от 4 мм и более составляют только часть контура максимального проявления делювиальных процессов, а именно – приурочены к верхним, наиболее крутым частям склона. При проявлениях крипа в движение вовлекается слой отложений мощностью до 0,5–0,7 м.

Более заметными формами гравитационных процессов являются обвалы и осыпи, которые происходят вдоль обрывистых берегов речных долин. Высота этих обрывов вдоль р. Вилии чаще всего составляет 8–10 м, у ее притоков – до 5–8 м, врез русел в пойму – до 2–3 м. В единичных случаях обрывы по р. Вилии достигают 13–14 м (выше устья Ошмянки, ниже устья Гозовки), по р. Ошмянка – 12 м (у д. Керели), по р. Гозовка – 14 м (выше деревень Гоза и Мельники). Объем гравитационного перемещения материала по обрывистым берегам относительно невелик, единовременное смещение обычно не превышает нескольких кубических метров (до первых десятков). В результате проявления таких процессов формируются шлейфы подножий, которые размываются во время паводков.

Относительно слабо в районе Островецкой площадки проявляются современные эоловые процессы, которые объединяют эрозионную деятельность ветра (дефляцию), перенос и аккумуляцию материала. В настоящее время эти процессы протекают только на распахиваемых территориях и преимущественно в апреле – июне, когда наиболее слаба защита почвы растительным покровом. Обычно геологическая деятельность ветра на изученной территории приводит к перемещению незначительных объемов грунта, чаще всего измеряемому десятками (до 100–150) кг/1 га пашни в год [10]. И только иногда эти объемы могут возрастать при экстремальном повышении скорости ветра. В таких случаях изред-

ка возникают пыльные бури. По схеме районирования территории Беларуси по интенсивности и вероятности распространения такого природного феномена Островецкая площадка относится к районам в основном со слабой интенсивностью проявления пыльных бурь [11, 12]. За весь период метеорологических наблюдений на близлежащих метеостанциях (в Вилейке и Ошмянах) зарегистрировано всего 2 пыльных бури слабой интенсивности и 2 средней. Их продолжительность составляла до 1 ч. Приблизительно за этот период могло быть перемещено около 3–5 т/га грунтов.

В позднеледниковые и начале голоцена интенсивность проявления эоловых процессов была значительно выше. Об этом свидетельствуют сформировавшиеся формы эолового рельефа в виде невысоких (до 2–5 м) гряд и холмов длиной (диаметром) от 50–100 м до 250–300 м, распространенных севернее д. Третяки, в левобережье р. Сорочанки (крайняя северо-восточная часть Островецкого пункта), северо-северо-восточнее д. Мельники, в левобережье Вилии (между устьями рек Гозовка и Сенканка), западнее д. Михалишки, севернее д. Чижовщина, на отдельных участках долины Вилии. В настоящее время эоловые формы в основном закреплены растительностью, но при росте техногенных нагрузок на ландшафты эоловые процессы могут возобновиться.

Из биогенных процессов на исследуемой территории заметно проявилось только накопление торфа. По сути дела долины всех притоков Вилии заболочены и заторфованы. Наибольшие же торфяные массивы сосредоточены в верховьях р. Гозовки, ручья Полпе и р. Гайголки. Максимальная мощность торфа в основном не превышает 4 м. Учитывая, что в настоящее время значительная часть торфяников мелиорирована, накопление органогенных отложений на таких площадях прекратилось.

Эндогенные процессы. Из эндогенных процессов на изученной территории повсеместно распространены современные вертикальные движения земной коры. Судя по карте [6], где преобладают нисходящие движения со средней многолетней скоростью около 1 мм/г. В то же время необходимо подчеркнуть, что в районе площадки, по данным геофизических исследований, выделена достаточно густая сеть разломов и, учитывая материалы [4, 5], можно предположить, что в зонах этих разломов скорости движений возрастают до 30–40 мм/г., причем знак движений может меняться как от года к году, так и в течение одного года.

Предположительно в районе д. Михалишки по методике, описанной в [7], выделяется зона горизонтальных смещений земной коры вдоль субмеридионального разлома. Эти движения, очевидно, обусловили резкое изменение направ-

ления течения р. Вилии. Подобные горизонтальные смещения земной коры инструментально зарегистрированы на расположенной южнее территории Воложинского грабена вдоль субмеридионального Кореличского суперрегионального разлома. Измеренная среднегодовая скорость движений составила 0,042 м/г. [4].

Еще одна форма современных эндогенных движений связана с проявлением в строении земной поверхности Островецкой кольцевой структуры II порядка [3]. В кристаллическом фундаменте этой структуре соответствует массив гранитоидов голеновского комплекса нижнего архея, в земной поверхности – повышенные абсолютные отметки и распространение дислоцированных краевых ледниковых комплексов. Кольцевая структура представляет собой незамкнутый в сторону Литвы полуoval диаметром 60 км. Его границы подчеркиваются системой озер Кайминское – Тумское – Голубина – Еди – Губеза, верховьями р. Страча, фрагментом долины р. Вилии (севернее Сморгони), системой мелких водотоков юго-западнее Сморгони. Влияние кольцевой структуры на какую-либо существенную дифференциацию земной поверхности в пределах площадки возможного размещения АЭС не выявлено.

Характеризуя особенности проявления эндогенных процессов, необходимо также отметить, что Островецкий пункт расположен севернее Ошмянской сейсмогенной зоны [1], в пределах которой в 1908 г. произошло землетрясение силой до 7 баллов. Учитывая расстояние пункта от этой зоны, можно предположить, что и на исследуемой территории возможно, в зависимости от характера грунтов, проявление сейсмических толчков преимущественно силой до 5–6 баллов.

Техногенные процессы. В настоящее время техногенные процессы являются одними из наиболее интенсивных факторов трансформации земной поверхности и перемещения материала. Они активно протекают и в районе Островецкой площадки. Их проявление связано с различными видами хозяйственной деятельности. Наибольшие объемы отложений перемещаются в процессе вспашки (до 50 % отложений, вовлеченных во все техногенные потоки вещества), хотя при этом и не возникают резко выделяющиеся новые формы рельефа. На изученной территории из других видов хозяйственной деятельности, наиболее активно воздействующих на земную поверхность, следует отметить строительство транспортных коммуникаций, гидротехнических систем, добычу минеральных строительных материалов и торфа.

Здесь создана относительно густая сеть дорог различного класса. При их строительстве происходит определенная нивелировка поверхности за счет срезания наиболее крутых участков или сооружения насыпей в пониженных местах.

Дорожные выемки на асфальтированных дорогах между деревнями Лоси – Березовка, Гоза – Дирмуны, Михалишки – Гервяты, Ворняны – Гервяты достигают 2–3 м и примерно такой высоты встречаются насыпи. На других участках дорожной сети выемки и насыпи обычно не превышают 1–1,5 м.

Значительные объемы перемещения материала происходят при мелиоративном и гидротехническом строительстве. В районе Островецкой площадки создана густая сеть магистральных (глубиной до 2–3 м) и более мелких (до 1–1,5 м) каналов, канализированы русла почти всех мелких притоков Вилии. Сооружено довольно много прудов. Наиболее крупные из них – в районе д. Ворняны – имеют суммарную площадь около 0,3 км². Относительно крупное гидротехническое сооружение (длиной более 1 км и шириной 100–200 м) построено в районе д. Ольховка в результате подпруживания р. Страча. Остальные пруды на исследованной территории (у деревень Березина, Шульники, Попишки, Корейвишки, Катеновичи, Подворанцы и др.) имеют размеры в поперечнике 100–150 м (до 200 м).

Из других техногенных образований на изученной территории встречаются карьеры по добыче песка, песчано-гравийной смеси и поля разработки торфа. Карьеры по добыче строительных материалов имеют глубины до 5–8 м (к востоку – юго-востоку от д. Фольварки, юго-западнее д. Больники, у д. Березовка, северо-северо-восточнее д. Курницки и др.). Добыча торфа производилась к юго-юго-востоку от д. Больники.

Учитывая все особенности проявления техногенных процессов, можно рассчитать, что в среднем техногенная преобразованность земной поверхности на изученной территории составляет 44–60 тыс. м³/км². Эта величина представляет собой усредненный объем перемещенных человеком грунтов в процессе всех видов хозяйственной деятельности [9]. Показатель техногенного преобразования земной поверхности можно использовать для расчета ее устойчивости к тех-

ногенным нагрузкам. Для большей части территории пункта данный показатель составляет 90–95 %, что свидетельствует о высокой степени устойчивости. И только на участках распространения мелиоративных систем устойчивость снижается до 50 %, что является рубежом, при переходе через который (после дальнейшего наращивания техногенных нагрузок) может начаться необратимая трансформация природных комплексов.

Выводы

Подведя итог проделанному в районе строительства АЭС изучению особенностей современных геологических процессов, можно сделать заключение, что наиболее активное проявление современной геодинамики (плоскостной смыв более 2 мм/г., овражная эрозия, зоны возможного подтопления, обвалы и осьпи, высокие градиенты вертикальных скоростей движений земной коры, пыльные бури, техногенные и сейсмические процессы) приурочено к локальным площадям, интенсивность процессов далеко не достигает максимальных для Беларуси величин, что позволяет отнести район Островецкой площадки к территориям со слабой (локально средней) вероятностью проявления современной экстремальной геодинамики. В связи с этим можно утверждать, что современных геодинамических факторов, запрещающих строительство АЭС, на изученной территории не установлено. Ограничения, которые необходимо учитывать при выборе мест размещения производственных комплексов, создают только зоны разломов, проявления линейной эрозии временных водотоков, обвально-осыпные процессы, возможный подмыв речных берегов, участки подтопления территории, проявление сейсмических событий силой до 5–6 баллов.

Для мониторинга возможных изменений природной среды наибольший интерес представляют зоны разрывных нарушений, нижние части наиболее крутых склонов и площади возможного подтопления и затопления.

Л и т е р а т у р а

1. Айзберг Р. Е., Аронов А. Г., Гарецкий Р. Г., Карабанов А. К. Сейсмотектоника Беларуси и Прибалтики // Літасфера. 1997. № 7. С. 5–18.
2. Инструкция по определению расчетных гидрологических характеристик при проектировании противоэрозионных мероприятий на территории СССР. Л., 1979.
3. Матвеев А. В., Ажгиревич Л. Ф., Вольская Л. С. и др. Кольцевые структуры территории Беларуси. Минск, 1993.
4. Матвеев А. В., Ковалев А. А., Нечипоренко Л. А. и др. Современные горизонтальные движения земной коры на территории Воложинского и Солигорского геодинамических полигонов (Беларусь) // Літасфера. 2002. № 1 (16). С. 113–117.
5. Матвеев А. В., Нечипоренко Л. А. Особенности современных вертикальных движений земной поверхности на территории Воложинского грабена // Літасфера. 1997. № 6. С. 76–79.
6. Мацвеев А. В., Нечипарэнка Л. А. Сучасныя вертыкальныя рухі зямной кары. М 1:4 000 000 / Нацыянальны атлас Беларусі. Мінск, 2002. С. 49.

7. Матвеев А. В., Нечипоренко Л. А. Геоморфологические индикаторы горизонтальных движений земной коры // Докл. НАН Беларуси. 2003. Т. 47, № 6. С. 99–101.
8. Основные гидрографические характеристики малых водотоков и их водосборов. Белоруссия и Верхнее Поднепровье. Минск, 1975.
9. Савчик С. Ф. Антропогенный морфогенез на территории Беларуси. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. Минск, 2002.
10. Современная динамика рельефа / Под ред. Б. Н. Гурского, А. В. Матвеева. Минск, 1991.
11. Чижиков Ю. А. Районирование территории Беларуси по степени вероятности экстремального проявления ветровой эрозии // Докл. НАН Беларуси. 1999. Т. 43, № 1. С. 99–101.
12. Чижиков Ю. А., Камлюк Г. Г. Особенности проявления пыльных бурь на территории Беларуси // Літасфера. 1997. № 6. С. 92–99.
13. Эрозионные процессы / Под ред. Н. И. Маккавеева, Р. С. Чалова. М., 1976.

Институт природопользования НАН Беларуси

A. V. Matveev, L. A. Nechiporenko

**СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ
р. ВИЛИИ (БЕЛАРУСЬ)**

Рассмотрены в районе строительства АЭС особенности проявления современных экзогенных (плоскостной смыв, эрозия линейных водотоков, крип, обвалы и осыпи, дефляция и эоловая аккумуляция, накопление торфа), эндогенных (вертикальные и горизонтальные движения земной коры, сейсмичность) и техногенных (перемещение грунтов при вспашке, добыча полезных ископаемых, строительстве дорог, гидротехнических сооружений) процессов. Показано, что Островецкая площадка относится к территориям со слабой (локально средней) вероятностью развития экстремальных форм геодинамики. В связи с этим сделан вывод, что геодинамических факторов, запрещающих строительство АЭС, не установлено. Ограничения, которые необходимо учитывать при выборе места размещения АЭС, создают только зоны разломов, сейсмичность (в основном до 5–6 баллов), проявления эрозионных и обвально-осыпных процессов, а также участки возможного подтопления территории.

A. V. Matveyev, L. A. Nechiporenko

**MODERN GEOLOGICAL PROCESSES IN THE MIDDLE CURRENT OF
RIVER VILIYA (BELARUS)**

Features of displays of exogenic (plane washout, erosion of linear water currents, creep, collapses and taluses, deflation and eolic accumulation, peat accumulation), endogenic (vertical and horizontal movements of earth crust, seismicity) and technogenic (grounds displacement at ploughing, mining operations, building of roads, hydraulic engineering constructions) processes have been viewed. It has been shown, that the Ostrovets platform refers to territories with weak (locally average) probability of development of extreme forms of geodynamics. In this aspect the conclusion has been drawn, that the geodynamic factors forbidding nuclear power station construction has not established. Restrictions which are necessary for considering when choosing the place of dislocation of the NPS, create only zones of fractures, seismicity (basically to 5–6 points), display of erosive and landslide-talus processes, and also sites of possible flooding of the territory.

А. В. Матвеев

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕНИЯ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЕСКОВ НА ТЕРРИТОРИИ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

Изучение планов развития предприятий, использующих для производственной деятельности залежи строительных песков, показало, что в целом строительная отрасль обеспечена разведанными по промышленным категориям ($A+B+C_1$) запасами. Однако месторождения, включенные в Государственный баланс, распространены достаточно неравномерно, а в ряде административных районов они отсутствуют. Кроме того, установлены предприятия, расположенные в относительно обеспеченных сырьевой базой районах, которые испытывают дефицит запасов разрабатываемых ими месторождений, особенно вблизи производственных комплексов. Для более равномерного обеспечения потребностей разведенными запасами песков построены прогнозные схемы для всех административных районов и выделено 225 площадей, геологоразведочные работы на которых позволят значительно укрепить соответствующую минерально-сырьевую базу.

Одним из наиболее распространенных видов минеральных строительных материалов является песок, который широко используется при изготовлении растворов и бетонов, при строительстве автомобильных дорог, в качестве железнодорожного путевого балласта. Основные требования к такому виду сырья определяются ГОСТ 8736-67 «Песок для строительных работ», в соответствии с которым модуль крупности отложений должен быть больше 1,0 мм, а содержание собственно песчаных фракций превышать 90 % [5]. Границы песчаных фракций оцениваются по-разному, но чаще варьируют в интервале от 0,05 мм до 2,0 мм. При выполнении настоящей работы мы относили к пескам зерна размером 0,1–1,0 мм [2], а к их строительным разностям – отложения со значительным преобладанием средне- и крупнозернистых фракций (0,25–1,0 мм), что примерно соответствует требованиям ГОСТа.

Состояние сырьевой базы строительных песков. На Государственном балансе на территории Могилевской области находится 21 месторождение строительных песков с суммарными запасами по промышленным категориям ($A+B+C_1$) около 110 млн м³ [4]. Наиболее крупными месторождениями являются «Березина» (запасы 13 693 тыс. м³, Бобруйский район), «Нижний Половинно-Лог» (13 506 тыс. м³, Могилевский район), «Песчаная Гора» (11 035 тыс. м³, Климовичский район), «Гришановское» (8454 тыс. м³, Могилевский район). Разведанные месторождения в генетическом отношении относятся к флювиогляциальным (47 %), аллювиальным (32 %) и краевым ледниковым (21 %) отложениям.

Для того чтобы оценить насколько разведенная сырьевая база песков отвечает потребностям строительной отрасли Могилевской области, автором уточнялся перечень предприятий, использующих строительные пески, и их потреб-

ности в сырье на период до 2020 г. Проведено анкетирование крупных потребителей песка, в число которых вошло 31 предприятие. Наибольшее их количество сосредоточено в Могилеве (7) и Бобруйске (5). Потребности в песке оцениваются следующими цифрами: 2010 г. – около 2,0 млн м³, 2011–2015 гг. – 16,4 млн м³, 2016–2020 гг. – 18,9 млн м³. Сопоставление этих данных с приведенными выше запасами, учтенными Государственным балансом, свидетельствует о том, что Могилевская область на ближайшую перспективу в основном обеспечена строительным песком. Однако известные месторождения по территории области распределены достаточно неравномерно. Наибольшие промышленные запасы рассматриваемого вида сырья сосредоточены в Могилевском (26,5 млн м³), Бобруйском (19,5 млн м³), Климовичском (18,4 млн м³), Быховском (14,5 млн м³) и Дрибинском (14,5 млн м³) районах. Относительно невелика сырьевая база (чаще всего не более 1–2 млн м³) на территории Кировского, Кричевского, Круглянского, Осиповичского, Хотимского и Чаусского районов. Не выявлены более или менее крупные промышленные залежи в Белыничском, Глусском, Горецком, Кличевском, Краснопольском, Мстиславском, Славгородском и Чериковском районах. При этом необходимо подчеркнуть, что иногда даже значительная сырьевая база песков не обеспечивает нормальное функционирование предприятий на относительно длительную перспективу. Например, в Могилевском районе разведанные запасы будут исчерпаны к 2020 г., так как потребности предприятий (по перспективным планам их развития) оцениваются в 26,7 млн м³.

Кроме того, выполненные исследования показали, что ряд потребителей, расположенных в районах относительно обеспеченных сырьем, испытывает дефицит запасов вблизи производ-

ственных комплексов. К таким предприятиям относятся следующие.

1. ЗАО «Могилевский комбинат силикатных изделий» использует для производственной деятельности пески месторождения «Нижний ПолоцкоЛог». Оставшиеся запасы на 01.01.2006 г. оценивались 14 114,5 тыс. м³. Потребности до 2020 г. составляют примерно 18760 тыс. м³. Учитывая планы развития предприятия, запасы на месторождении будут исчерпаны к 2017 г. Это же месторождение эксплуатирует и Управление «Дорсервис» ОАО «Дорожно-строительный трест № 13».

2. ДСУ № 37 (г. Костюковичи) ОАО «Дорожно-строительный трест № 3» разрабатывает месторождение песка «Мурин Бор» с оставшимися запасами 312 тыс. м³. Эти запасы будут использованы к 2014 г.

3. ДСУ № 14 (г. Могилев) ОАО «Дорожно-строительный трест № 3» разрабатывало месторождение песков «Копейно», «Гуслище», но запасы их уже исчерпаны.

4. ДРСУ № 216 КУП «Могилевоблдорстрой» использует пески карьера «Боханы». Запасы практически исчерпаны.

Следует также отметить, что ряд предприятий Могилевской области для производства минеральных строительных материалов закупает сырье в ОАО «Нерудпром», РТУП «Белорусское речное пароходство» и других, что предполагает дополнительные расходы на оплату перевозки материалов и делает вполне актуальной расширение местной сырьевой базы.

Перспективы расширения сырьевой базы строительных песков. На территории Могилевской области распространены восточная ветвь Центрально-Белорусских возвышенностей и гряд и часть равнин Предполесья, что определило особенности строения четвертичной толщи, с которой связаны основные залежи строительных материалов, и рельефа земной поверхности. Мощность четвертичных отложений варьирует преимущественно от 20 до 100 м [1–3]. Максимальные значения тяготеют к северо-западной части, где они обычно достигают 100–150 м (склон Оршанской возвышенности и прилегающие территории). На остальной части Могилевской области четвертичная толща обычно изменяется в интервале 20–60 м, по ледниковым ложбинам – до 100–120 м. Нередко в восточной части области мощность четвертичных отложений сокращается до 5–10 м и меньше. Подстилаются эти отложения главным образом меловыми мелами и мергелями. В крайней юго-западной части на небольших глубинах (менее 30 м) под четвертичными образованиями могут вскрываться неогеновые глины.

С целью оценки перспектив территории на прирост запасов сырья для производства минеральных строительных материалов изучены осо-

бенности строения верхней части четвертичного разреза мощностью до 30 м. В этой части разреза преобладают ледниковые комплексы припятского возраста, поозерские аллювиальные и эоловые отложения, голоценовые аллювиальные и болотные аккумуляции.

Припятский горизонт представлен днепровской и сожской моренами, флювиогляциальными, реже озерно-ледниковыми и краевыми ледниковыми образованиями. Днепровский ледниковый подгоризонт развит в районе практически повсеместно. Он сложен собственно ледниковыми (моренными супесями и суглинками с гравием, галькой и валунами), водно-ледниковыми песками и песчано-гравийным материалом, реже глинистыми отложениями. На значительных территориях в южной части области днепровская толща выходит на земную поверхность. Мощность морены в преобладающем большинстве случаев изменяется от 5 до 20 м. В пределах южных склонов Оршанской возвышенности эта толща иногда превышает 30 м. В морене части отторженцы подстилающих пород (девонских известняков и доломитов, мела). Мощность выступающих в комплексе с мореной водно-ледниковых аккумуляций достигает нескольких десятков метров. Выше залегает сожский ледниковый подгоризонт, который на большей части территории области образует основные черты рельефа земной поверхности. Собственно ледниковые (моренные) образования особенно широко развиты в пределах северной и восточной районов области. Мощность морены, сложенной красно-бурыми, бурыми грубыми супесями и суглинками, большей частью составляет 10–15 м, в понижениях – не превышает 10 м и нередко измеряется всего 1–3 м. В целом морена более песчанистая, чем залегающая ниже днепровская. Сожская морена содержит большое количество отторженцев – меловых и девонских пород. Сожские водно-ледниковые пески, песчано-гравийные отложения и глины во многих местах подстилают и перекрывают морену, имеют мощность от нескольких до 20–30 м.

Важным источником прироста запасов минерального сырья могут служить краевые ледниковые образования сожского возраста. На территории Могилевской области выделяются фрагменты 4 цепей этих образований – Оршанской (в районе г.п. Круглое), Ошмянской (между г. Шклов и Горки), Могилевской (гряды и холмы у г. п. Белыничи, д. Варварино, Рясно, Косминичи, Поцлатово и др.), Славгородской (у г. Бобруйск и Славгород). Краевые ледниковые формы построены преимущественно песчано-гравийными образованиями, разнозернистыми песками, валунными супесями, содержат отторженцы коренных пород. С поверхности нередко встречаются валуны разного размера и формы. Наибольшее их количество установлено на территории Белы-

нического района, где валуны имеют размеры от 0,1 до 0,5–0,8 м, реже 1–1,5 м и более.

Поозерский горизонт представлен разнозернистыми песками надпойменных террас (мощностью от 1–5 до 15–18 м), озерно-аллювиальными песками, алевритами, тонкими супесями, лессовидными супесями и суглинками. Лессовидные отложения широко распространены севернее линии Климовичи – Чаусы – Могилев – Бельниччи. Мощность их обычно 5 м, но иногда – 10 м и более.

Голоценовый горизонт завершает четвертичный разрез. На территории области выделяются аллювиальные, озерные, болотные, склоновые, эоловые и другие образования, накопившиеся за последние 10 тыс. лет. Наиболее значительными по мощности и площади распространения являются аллювиальные образования, которые слагают пойменные террасы Днепра, Березины и других рек и представлены русловыми, пойменными и старичными фациями. Мощность аллювиальных накоплений (разнозернистых песков, суглинков и супесей) у крупных рек достигает 15–18 м, у мелких – 5–10 м. Из других генетических типов голоценовых отложений в пределах области широко распространены болотные, представленные торфами мощностью в основном 1–5 м.

Из приведенной краткой характеристики строения верхней части четвертичной толщи следует, что на территории описываемого региона в перспективе расширение сырьевой базы для производства различных минеральных строительных материалов. Основу данной сырьевой базы составляют разнозернистые (средне- и крупнозернистые) пески, песчано-гравийные смеси, тонкие глины и суглинки, мела и мергели.

Для уточнения возможностей прироста запасов строительного песка использованы разрезы около 300 скважин, пробуренных в разные годы организациями РУП «Белгеология». Для детализации контуров прогнозных площадей также учитывались разрезы обнажений и шурпов, описанные автором в предыдущие годы. По этим данным построены прогнозные схемы для всех административных районов Могилевской области. Всего выделено 225 новых прогнозных площадей. В генетическом отношении примерно 73 % от них занимают флювиогляциальные, 19 – краевые ледниковые, 4 – камовые, 1 – озовые и 3 % – аллювиальные отложения. Положение прогнозных площадей и глубины залегания строительных песков на территории районов с наименьшими выявленными к настоящему времени промышленными запасами рассматриваемого вида сырья показаны на рис 1, 2.

С учетом выполненных исследований можно сформулировать следующие предложения по направлению геологоразведочных работ для расширения сырьевой базы строительных песков

на территории тех административных районов, где в настоящее время промышленные запасы невелики либо могут быть исчерпаны к 2020 г.

1. В Белыничском районе существуют предпосылки для расширения сырьевой базы строительных песков при постановке геологоразведочных работ в районе г. п. Белыниччи, юго-восточнее д. Староселье, восточнее д. Корытница и Заболотье, западнее и восточнее д. Заполье, южнее д. Вишов, западнее д. Осовец и др.

2. В Глусском районе интерес для геологоразведочных работ представляют следующие площади: южнее д. Симоновичи, южнее Глуска, западнее д. Калатичи, западнее д. Турин и восточнее д. Катка.

3. В Горецком районе есть небольшие перспективы для выявления залежей строительных песков северо-западнее и восточнее д. Слободка, юго-западнее д. Хаминичи, восточнее д. Шелохановка, западнее д. Анисковичи, северо-западнее д. Каменка.

4. На территории Кировского района целесообразно проведение геологоразведочных работ на строительные пески в районе д. Чигиринка, между д. Боровица – Скриплица – Барчицы, севернее г.п. Кировск и в районе д. Сергеевичи.

5. В Кличевском районе существующий дефицит сырьевой базы может быть ликвидирован при постановке работ на пески западнее и севернее д. Усакино, юго-западнее д. Загатье, северо-западнее д. Новый Остров, юго-западнее д. Черевач, южнее Кличева, между дд. Бацевичи и Воевичи, юго-западнее д. Заполье и др.

6. В Краснопольском районе возможно прирастить запасы строительных песков на участках северо-восточнее д. Медведевка, южнее д. Грибы, восточнее д. Холмы, южнее д. Устиновичи, севернее д. Драготынь, западнее д. Мхиничи и др.

7. В Кричевском районе относительно небольшие разведанные запасы строительного песка могут быть приращены в районе д. Луты, Белья, Дяговичи, Калинино.

8. В Круглянском районе есть перспективы расширения сырьевой базы строительных песков севернее г. п. Круглое, северо-восточнее д. Дударовичи, юго-восточнее д. Загорянки, восточнее д. Тетерино, юго-восточнее д. Комсевичи и др.

9. В Могилевском районе пополнить разведанные запасы строительных песков можно при постановке геологоразведочных работ в районе д. Браково–Речки, севернее д. Севостьяновичи, южнее д. Куты, севернее д. Олень, юго-восточнее д. Малый Осовец, юго-восточнее д. Новоселки, западнее д. Селец и др.

10. В Мстиславском районе возможно прирастить запасы песков между д. Подсолово – Космыничи, юго-западнее д. Долговичи, восточнее д. Копачи, юго-западнее и восточнее д. Ков-

шово, южнее д. Ходосы, юго-восточнее д. Малейково и др.

11. В Осиповичском районе есть перспективы прироста запасов строительного песка западнее д. Погорелое, западнее и восточнее д. Каменичи, северо-западнее д. Новоселки, севернее и западнее д. Свисльочь, северо-западнее д. Вязье, севернее, южнее и восточнее д. Мезовичи и др.

12. В Славгородском районе промышленные запасы строительных песков могут быть разведаны на площадях запад-северо-западнее д. Ржавка 1-я, западнее и восточнее д. Славня, севернее д. Телеши, севернее и северо-восточнее д. Новая Слобода, юго-восточнее Славгорода, восточнее д. Ректа и др.

13. В Хотимском районе перспективы на расширение запасов строительных песков связаны с площадями юго-западнее и юго-восточнее

д. Березки, западнее и восточнее д. Дубровка, юго-западнее д. Ветка.

14. В Чаусском районе существуют благоприятные перспективы по расширению запасов песков восточнее д. Дедня, восточнее д. Путьки, юго-западнее д. Прилесье, восточнее д. Усушек, южнее д. Смолка, юго-восточнее д. Антоновка, северо-восточнее д. Благовичи и др.

15. В Чериковском районе при проведении геологоразведочных работ возможно прирастить запасы песков на площадях южнее, севернее и северо-восточнее д. Ушаки, западнее д. Гижня, западнее д. Соколовка, северо-восточнее д. Времейки, западнее и юго-восточнее д. Холменка.

На территории Бобруйского, Быховского, Дрибинского, Климовичского, Костюковичского и Шкловского районов разведанных запасов сырья достаточно для работы предприятий до 2020 г. и на более ожидаемую перспективу.

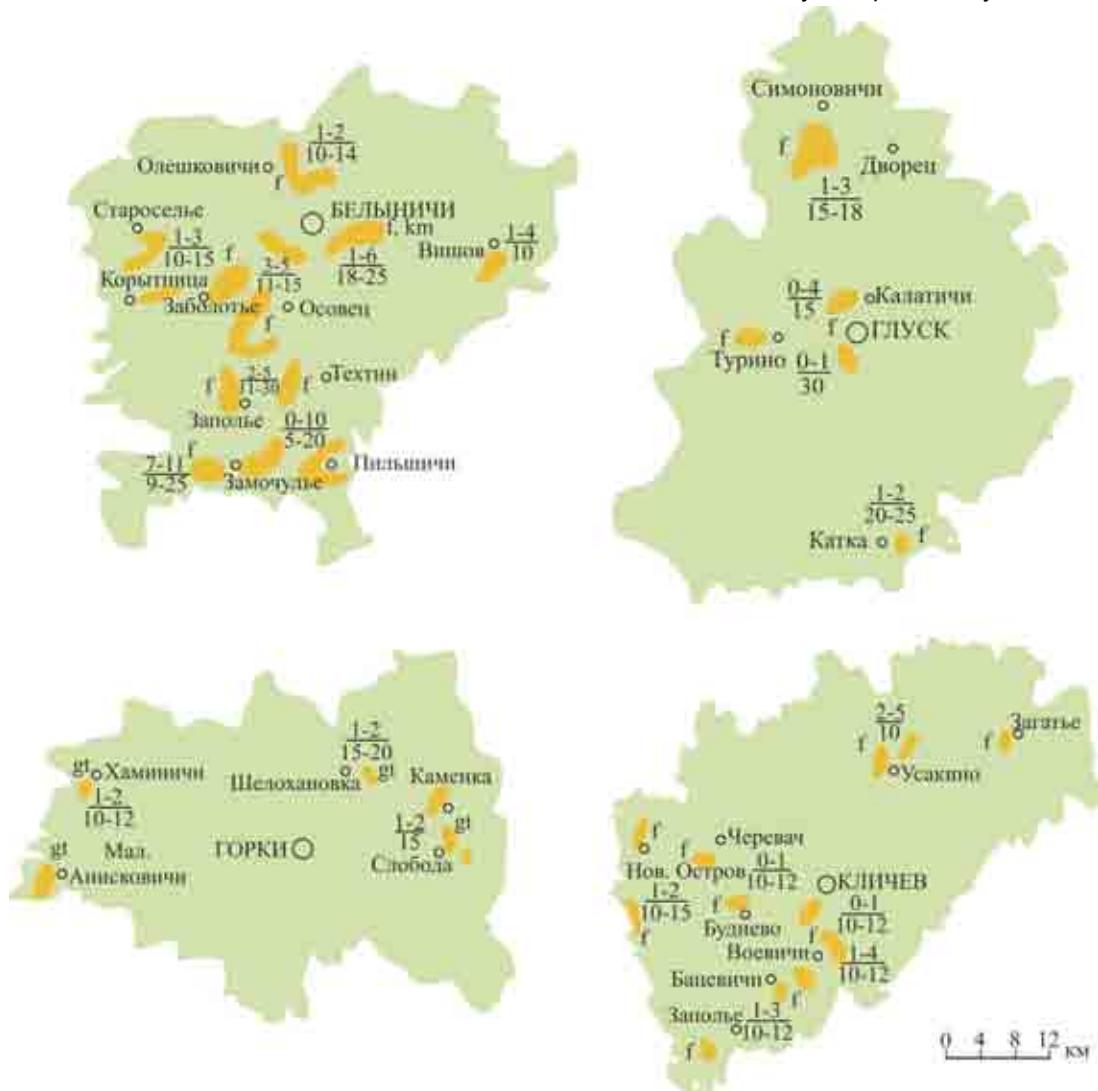


Рис. 1. Прогнозные площади на строительные пески на территории Белыничского, Глусского, Горецкого и Кличевского районов. Цифры и индексы у контуров прогнозных площадей: глубины залегания залежи – числитель (кровля), знаменатель (подошва); индексы – флювиогляциальные (f), краевые ледниковые (gt), камовые (km) и озовые (os) отложения

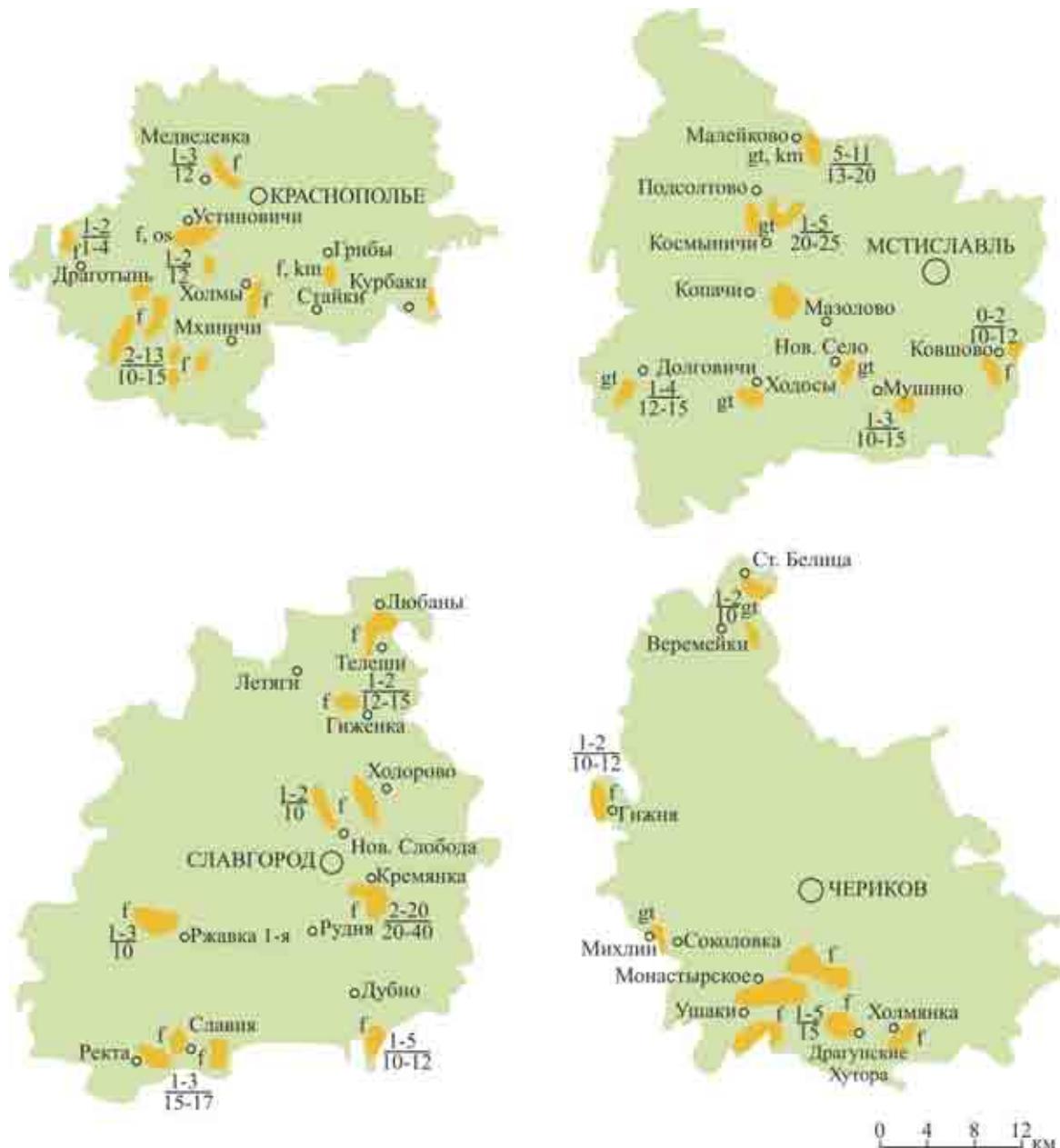


Рис. 2. Прогнозные площади на строительные пески на территории Краснопольского, Мстиславского, Славгородского и Чериковского районов. Условные обозначения см. рис. 1

Выводы

Проведенные исследования показали, что потребности предприятий Могилевской области в строительном песке на перспективу до 2020 г. (около 37 млн м³) в целом обеспечены разведанными по промышленным категориям запасами (около 110 млн м³). Однако известные месторождения распространены достаточно неравномерно, к тому же ряд предприятий, которые располагаются даже в районах с относительно богатой

сырьевой базой, нуждаются в дополнительной разведке залежей вблизи производственных комплексов. Для более равномерного обеспечения административных районов и предприятий разведенными запасами строительных песков и снижения затрат на их перевозку выделено 225 прогнозных площадей, в пределах которых геологоразведочные работы позволят значительно укрепить соответствующую минерально-сырьевую базу.

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. Минск, 2001. С. 325–386.
2. Матвеев А. В. Ледниковая формация Беларуси. Минск, 1976.
3. Нечипоренко Л. А. Условия залегания и тектоническая предопределенность антропогенового покрова Белоруссии. Минск, 1989.
4. Полезные ископаемые Беларуси / Редкол.: П. З. Хомич и др. Минск, 2002.
5. Ярцев В. И., Высоцкий Э. А., Губин В. Н. Поиски и разведка минерального строительного сырья на примере четвертичных отложений. Минск, 2002.

Институт природопользования НАН Беларуси

A. V. Matveev

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕНИЯ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЕСКОВ НА ТЕРРИТОРИИ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

Анализ сырьевой базы строительных песков показал, что на территории области разведанные по промышленным категориям запасы в основном сосредоточены (93,4 млн м³ – 85 % общих запасов) в 5 (из 21) административных районах. Потребности в этом виде полезных ископаемых до 2020 г. оцениваются примерно в 37 млн м³, т. е. строительная отрасль обеспечена песком на ближайшую и более отдаленную перспективы. Однако неравномерность размещения месторождений удорожает перевозку сырья. К тому же ряд предприятий, которые располагаются даже в районах относительно богатых выявленными запасами песка, нуждаются в дополнительной разведке залежей вблизи производственных комплексов.

С целью более равномерного обеспечения районов сырьем и снижения затрат на его перевозку на основании геологических и геоморфологических данных построены прогнозные схемы и выделено 225 новых перспективных площадей. В генетическом отношении на 73 % площадей распространены флювиогляциальные, 19 – краевые ледниковые, 4 – камовые, 1 – озовые и 3 % – аллювиальные отложения.

A. V. Matveyev

CONDITION AND PROSPECTS OF EXPANSION OF THE RAW-MATERIAL BASE OF BUILDING SAND IN TERRITORY OF THE MOGILYOV AREA

The analysis of a raw-material base of building sand has shown, that the stocks on industrial categories basically are concentrated to area territory (93,4 million m³ – 85 % of the general stocks) in 5 (of 21) administrative areas. Requirements for this kind of minerals till 2020 are estimated approximately as 37 million m³, the building branch is provided by sand on the nearest and more remote prospects. However non-uniformity of placing of deposits makes more expensive raw materials transportation. Besides a number of the enterprises which are located even in areas relatively rich with the revealed stocks of sand, additional investigation of deposits close to industrial complexes is required.

For the purpose of more uniform supply of areas with raw materials and decrease in expenses for its transportation on the basis of geological and geomorphological data forecast schemes have been built and 225 new perspective areas have been provided. As for genetic relation on 73 % of the areas fluvio-glacial, 19 – edge glacial, 4 – kame, 1 – esker and 3 % – alluvial ones are spread.

В. П. Рогунович, Ф. Д. Шнипов, В. А. Евдокимов

НЕОБХОДИМОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ

Повышение эффективности водопользования в Республике Беларусь возможно лишь при условии создания системы оперативного контроля за количественными и качественными характеристиками воды речных бассейнов. В соответствии с принятыми международными обязательствами республика будет переходить к бассейновому принципу управления водными ресурсами.

Автоматические измерительные информационные системы (ИИС) гидросфера речных бассейнов давно используются многими странами Американского континента. Аналогичные системы имеются и в большинстве стран Европы.

В [11] представлены средства обустройства бассейнов рек для оперативного контроля количественных характеристик воды.

В данной статье систематизированы средства моделирования и контроля качественных характеристик воды, и переноса влаги в атмосфере.

В Республике Беларусь накоплен значительный, во многом уникальный, опыт математического моделирования и измерений качественных характеристик воды, что целесообразно обобщить и эффективно использовать при переходе к бассейновому управлению водными ресурсами.

Из всех компонентов окружающей среды вода – незаменимый продукт природы. Без нее жизнь невозможна. По данным Всемирной организации здравоохранения более 80 % заболеваний населения Земли вызвано неудовлетворительным качеством воды, существенно влияющим и на продолжительность жизни. Поэтому во многих государствах контролю за состоянием водных ресурсов и управлению ими уделяется особое внимание.

На Всемирной встрече по устойчивому развитию в Йоханнесбурге (2002 г.), было предложено всем странам «разработать планы по интегрированному управлению водными ресурсами» речных бассейнов, точнее, гидродинамически взаимосвязанными водами речных, озерных и подземных водоносных горизонтов. Водная директива ЕС оформила этот процесс на законодательном уровне.

Практически в большинстве развитых стран мира созданы ИИС контроля состояния водных ресурсов бассейнов рек. С 1975 г. в США действует ИИС получения и передачи информации в Центр приема и обработки данных (Вашингтон). В 1978 г. к системе подключились Канада, затем Мексика, Чили и другие страны. К настоящему времени в ИИС установлено более 50 тыс. автоматических станций, которые передают информацию об уровнях, расходах и характеристиках качества воды в реальном времени через геостационарные спутники Земли. Информация о состоянии водных объектов всего Американского континента оперативно анализируется и используется для принятия эффективного

управления водными ресурсами. Аналогичные системы существуют в Англии, Германии, Франции. В Японии в бассейне реки Кокагава создана даже автоматическая измерительная управляющая система (ИУС) [3].

Республика Беларусь в соответствии с принятыми международными обязательствами и экономическими предпосылками будет переходить к бассейновому принципу управления водными ресурсами. Разработки в данной области требуют времени, а их реализация программных и технических средств.

Цель данной статьи – представление имеющегося в республике во многом уникального потенциала, позволяющего создавать современные ИИС качественных характеристик воды речных бассейнов.

Представляемая ИИС позволить на основе оперативной информации принимать эффективные управленческие решения при использовании и охране вод. В будущем ИИС должна перерастти в информационно-управляющую систему (ИУС), вырабатывающую варианты эффективных управленческих решений в области управления водными ресурсами речных бассейнов.

Необходимость создания интегрированной ИИС речных бассейнов

Для принятия эффективных решений по управлению водными ресурсами речных бассейнов с одной стороны, необходимо попытаться понять причины современного обострения ситуации в гидросфере речных бассейнов, а с другой, на основе этой информации разрабатывать технологии, которые могут уменьшить ущербы от

водного фактора и повысить экологическую безопасность.

На экстремальные природные явления в гидросфере, в принципе, не может не влиять потепление. Поэтому возникает необходимость оценить его вклад. В сложившейся ситуации было естественно рассмотреть возможные перво-причины современного потепления. Некоторые из них общепризнаны: циклы солнечной активности, парниковый эффект. Однако авторам была неизвестна их количественная оценка.

В статье [8] оценен вклад (примерно 92 %) повышения солнечной активности в современное потепление, следовательно, увеличение солнечной активности – первопричина всех причин. Приведены оценки влияния потепления на частоту возникновения больших (коэффициент корреляции $R = +0,6$), выдающихся (коэффициент корреляции $R = -0,6$) наводнений и шквалов (коэффициент корреляции $R = +0,6$). Следовательно, примерно 40 % вклада в перечисленные экстремальные явления вносит потепление.

В последние десятилетия во всем мире участились экстремальные природные явления в гидросфере, приносящие огромные материальные ущербы и гибель людей. К сожалению, Республики Беларусь не исключение. Ежегодно на нашей территории отмечается 25–30 опасных гидрометеорологических явлений, влекущих серьезные экологические и экономические последствия [1].

В работе [11] представлено описание имеющегося в республике потенциала, необходимого для создания ИИС по математическому моделированию и измерению количественных характеристик водных ресурсов речных бассейнов.

Измерение и моделирование качественных характеристик водных ресурсов как составной части ИИС является не менее, а, может быть, более сложной и важной (с учетом их влияния на население и окружающую среду) задачей.

На качество воды в бассейнах рек влияют многие факторы. К основным факторам в нашей стране необходимо отнести воздействие предприятий химического и нефтехимического комплексов, проводящих сетей транспорта нефти и нефтепродуктов, в том числе транзитных.

На химических предприятиях, которые, как правило, располагаются в бассейнах крупных, трансграничных, рек (Днепр, Западная Двина, Неман), также возникают аварии. К примеру, при аварии на ПО «Полимир» в 1991 г. в Западную Двину попали цианиды. В реке на протяжении сотен километров в Беларусь и Латвии погибло все живое. На поверхности воды плыла отравленная рыба, ее клевали птицы и погибали. Лишь по этим признакам местным населением было обнаружено отравление воды. Отметим, что за этим участком реки ведут наблюдения

службы различных рангов, но из-за отсутствия оперативных средств мониторинга ими не было вовремя обнаружено отравление воды, и, как следствие, не был осуществлен прогноз распространения цианидов в реке, оповещение населения и правительства Беларуси и Латвии. Поэтому для минимизации последствий необходимо создание подсистемы ИИС оперативного мониторинга характеристик качества и моделирования переноса загрязнений в водных объектах, включающей математические модели переноса и автоматические гидрохимические станции.

На нефтепротопроводах практически регулярно происходят утечки, ущербы от которых оцениваются в сотни миллионов рублей. К примеру, при аварии 2007 г. на транзитном российском нефтепроводе Унеча – Вентспилс вытекло около 5 т нефтепродуктов. Часть из них оказалась в Западной Двине и мигрировало в Латвию. При аварии 2008 г. на нефтепроводе Унеча – Ровно утечка составила 20 т. Нефтепродукты частично попали в водоемы. В 2009 г. произошла авария на участке Мозырь – Брест магистрального нефтепровода «Дружба». Нефть проникла в магистральный канал мелиоративной системы.

Гидрологические оценки характеристик водного режима рек изменились в связи с современным интенсивным, но слабоорганизованным использованием пойм, которые застраиваются без надлежащего инженерного обоснования. В настоящее время находятся в эксплуатации более 30-ти малых ГЭС. По перспективной программе развития ГЭС планируется построить на крупных реках (Западная Двина, Днепр, Неман) 9–10 водохранилищ [5]. Все это существенно меняет в течение непродолжительного времени гидрологическую ситуацию в бассейнах рек и поэтому не позволит на основе имеющихся длительных наблюдений в предыдущие десятилетия прогнозировать водный режим и характеристики качества воды статистическими методами, надежно устанавливать для вновь строящихся объектов экстремальные режимы. Такие изменения не могли учитываться и при проектировании построенных ранее гидротехнических объектов. В нижних бьефах водохранилищ построены неорганизованно многочисленные жилые, культурные и хозяйственные сооружения, без достаточных гидрологических и гидравлических обоснований.

Потепление, интенсивное обустройство пойм, строительство гидрооружий существенно изменяет водный режим бассейнов рек и потому становится невозможным надежно прогнозировать сложившиеся статистическими методами последствия природного и антропогенного воздействия на водные объекты. В возникшей ситуации оперативная оценка экстремальных количественных и качественных характеристик вод возможна лишь с использованием ИИС.

Создание интегрированной ИИС, включающей средства моделирования, оперативных измерений, передачи в центр приема и обработки данных о количественных и качественных характеристиках воды речных бассейнов могло бы быть началом перехода к эффективному бассейновому принципу управления водными ресурсами [2], [4].

Представляется очевидным, что без количественной оценки влияния на качество вод самой активной части гидросферы – атмосферной влаги – обойтись невозможно.

Таким образом, глобальное потепление, интенсивно изменяющиеся гидрологические и гидравлические условия в бассейнах рек, экстремальные ситуации, влекущие серьезные экологические и экономические последствия [1] приводят к необходимости создания интегрированной автоматической измерительной информационной системы (ИИС) речных бассейнов. ИИС должна оперативно отслеживать выпадение интенсивных локальных осадков, изменения водного режима, состояние качества вод в бассейнах рек. В связи с многоотраслевым использованием информации такая ИИС может быть только интегрированной.

Необходимо не только минимизировать ущербы, но и одновременно создавать средства повышения безопасности при возникновении экстремальных явлений в бассейне реки.

О возможности создания интегрированной ИИС.

Математические модели переноса примесей в системах водотоков

Исследования и результаты математического моделирования движения воды и переноса примесей в системах водотоков детально представлены в работе [7]. Ниже будут кратко представлены уникальные опыт и полученные позднее результаты математического моделирования переноса примесей в системах водотоков.

Математическое моделирование движения примесей в системах водотоков приводит к необходимости решения на граfe краевых задач для уравнения параболического типа:

$$\frac{\partial(AP)}{\partial t} + \frac{\partial(QP)}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial s}(AD\frac{\partial P}{\partial s}) + Af,$$

где P – концентрация примеси; D – коэффициент дисперсии; f – функция, характеризующая самоочищающую способность водного объекта.

Отметим, что одним из основных и трудно определяемых параметров уравнения переноса является коэффициент дисперсии. Поэтому он часто вычисляется по упрощенным зависимостям, позволяющим в лучшем случае получать лишь порядок оценок [6]. Уточненная методика его определения с оценкой погрешностей расче-

тов представлена в работе [7]. Оценка относительной погрешности расчета коэффициента продольной дисперсии в потоках прямоугольного и трапецидальных сечений, для которых имелись экспериментальные данные, привела к следующему результату: $(7,7 \pm 9,3)\%$, при доверительной вероятности 0,95. Можно отметить хорошее согласование расчета коэффициента продольной дисперсии по уточненной методике с экспериментальными данными.

На рис. 1 представлены результаты математического моделирования движения цианидов в Западной Двине при аварии на ПО «ПОЛИМИР». По наблюдениям Латвийской АН в створе Даугавпилса восстановлен режим аварийного сброса цианидов в Западную Двину в устье р. Ушачи. Моделирование выполнялось представляющими средствами для определения количества цианидов, поступившим с Беларуси на территорию Латвии.

Из представленных материалов следует, что в Республике Беларусь имеется уникальный опыт математического моделирования переноса примесей в реальных водотоках.

Средства измерений качественных характеристик воды

Для создания ИИС необходимы автоматические средства измерений концентрации примесей в воде. Для этих целей разработана автоматическая гидрохимическая станция [10], опытной образец которой демонстрировался в павильоне Республики Беларусь на Международной Выставке ЭКСПО–98 в Лиссабоне (рис. 2). Ее особенность состоит в автоматической подкалибровке измерительных датчиков при существенном изменении их характеристик. Возможность работы станции в автоматическом режиме, в том числе и с передачей информации через геостационарный спутник Земли была испытана совместно с Московским НИИ радиосвязи.

Средства контроля миграции влаги в атмосфере

Для уменьшения ущербов от шквальных ливней, необходимо в ИИС создавать подсистему слежения за концентрацией и миграцией влаги в атмосфере, выпадением интенсивных локальных осадков, поскольку атмосфера – основной источник вод речных бассейнов, особенно в экстремальных ситуациях. В настоящее время в Департаменте гидрометеорологии Минприроды Республики Беларусь и в аэропортах имеются стандартные серийные радарные системы обнаружения облаков. С их помощью возможна оценка количества влаги в облаках, скорости и траектории их движения. По имеющейся информации, Институтом физики НАН Беларусь могут быть созданы аналогичные лидарные системы.

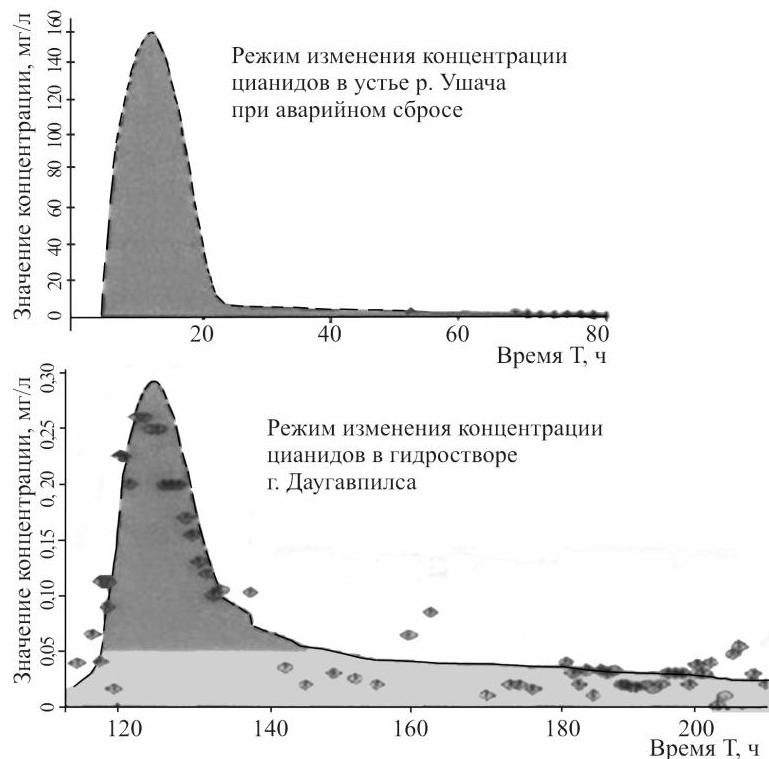


Рис. 1. Результаты математического моделирования движения цианидов в Западной Двине при аварии на ПО «ПОЛИМИР» в 1991 г. Светлая часть графика – уровень ПДК



Рис. 2. Автоматическая гидрохимическая станция

Средства сбора, приема и обработки данных

Существуют стандартные системы передачи алфавитно-цифровой информации по радиоканалам, в том числе и через геостационарный спутник Земли.

Сотрудниками кафедры гидротехнического и энергетического строительства БНТУ совместно с кафедрой радиофизики БГУ при поддержке Министерства образования Республики Беларусь создана [9] лабораторная многоканальная автоматическая ИИС для измерения течений жидкостей. Она управляет из единого центра, рабо-

тает в автоматическом режиме и способна выполнять сбор, прием и обработку данных с оценкой погрешности измерений от сотен разнородных датчиков. Если заменить в созданной лабораторной системе передачу информации по проводам на передачу по радиоканалу, то созданная

ИИС может стать основой Центра приема и обработки данных ИИС бассейнов рек.

На рис. 3 для демонстрации возможностей многоканальной автоматической ИИС представлены графики режимов изменения уровняй и давлений при обтекании объектов.

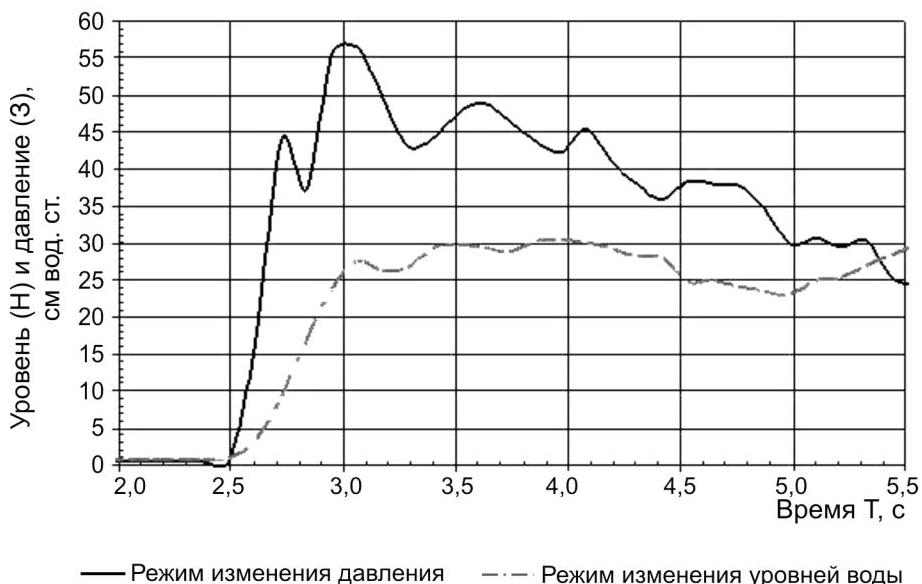


Рис. 3. Режим изменения давления и уровней в лабораторной установке при прерывной волне

При всех возможностях методов и средств математического моделирования они не позволяют с высокой точностью определять характеристики водного режима и качества воды. Надежность данной оценки не может быть высокой, так как изменяются климатические условия, а территории, примыкающие к водотокам, подвергаются постоянному антропогенному воздействию. Это приводит к невозможности в принципе задавать с высокой точностью параметры математических моделей (граничные условия и боковую приточность, шероховатость границ). Для надежного и высокоточного прогноза характеристик водного режима и качества воды в таких условиях необходимо создавать автоматические ИИС. Средства измерений ИИС позволяют осуществить оперативную идентификацию параметров математических моделей и затем высокоточно моделировать процессы движения и переноса примесей в системах водотоков.

На первом этапе необходимо создавать ИИС на плотно заселенных паводкоопасных территориях, в нижних бьефах водохранилищ, в зонах размещения опасных химических и нефтехимических производств. ИИС должна автоматически отслеживать текущее состояние гидросфера в реальном времени: абсолютную влажность почты, прогноз их траектории, места выпадения

осадков, моделировать движение воды в водотоках, включая защищаемые территории и системы водоснабжения населенных пунктов, а также концентрации загрязнений в водных объектах.

Таким образом, в Республике Беларусь в настоящее время существуют необходимые и достаточные предпосылки создания интегрированной автоматической измерительной информационной системы (ИИС) речных бассейнов, поскольку имеются:

- комплекс программ для создания сложных математических моделей водных объектов;
- программное обеспечение для моделирования водного режима и переноса загрязнений в системах водотоков;
- опытные образцы автоматических средств ультразвуковых измерений расходов, уровней [11] и концентрации примесей [10];
- стандартные серийные радарные системы и могут быть созданы лидарные системы обнаружения облаков, определения количества влаги в них, скорости и траектории их движения;
- многоканальная лабораторная автоматическая ИИС может стать системной основой Центра сбора, приема и обработки данных интегрированной автоматической измерительной информационной системы (ИИС) речных бассейнов [9].

Таким образом, в настоящее время по многим объективным основаниям существует необходимость и реальная возможность создания ИИС, которые должны автоматически отслеживать ситуации и моделировать процессы в гидросфере, обеспечивать информацией для принятия управленческих решений.

Создание ИИС в бассейнах рек требует установки автоматических средств измерения уровней, расходов воды и концентраций примесей. Имеется методика определения мест эффективного расположения средств измерений.

Необходимо приступить к созданию создания интегрированной автоматической ИИС речных бассейнов. На начальном этапе ИИС будут отслеживать ситуации на плотно заселенных частях территории бассейнов рек. Затем целесообразно расширять их до всего бассейна реки.

На втором этапе развития ИИС РО должна обосновывать варианты эффективных управлений

ческих решений, т. е. превращаться в локальные измерительные управляющие системы (ИУС).

Заключение

На наш взгляд, имеющийся в Беларуси уникальный опыт математического моделирования водного режима и переноса примесей в системах водотоков бассейнов рек, создания автоматических средств измерений уровней, расходов воды и концентрации примесей может быть использован при создании интегрированной автоматической измерительной информационной системы (ИИС) речных бассейнов. Система создаёт информационную основу принятия эффективных решений при использовании и охране вод. Такие ИИС позволят уменьшать ущербы от затоплений, обосновывать конструкцию сооружений, построенных и проектируемые на поймах. Они могут быть использованы в настоящее время при проектировании ГЭС, эксплуатации водохозяйственных систем и повышении экологической безопасности в бассейнах рек.

Литература

1. Герменчук М. Г., Мельник В. И. Оценки экономической эффективности обслуживания гидрометеорологической информацией отраслей экономики в Республике Беларусь // Природные ресурсы. 2007. № 3. С. 95–97.
2. Гуринович А. Д. Варианты реформирования системы управления водопользованием и водоотведением в Республике Беларусь // Бел. эконом. журн.. 2008. № 3. С. 116–133.
3. Духовный В. А. Орошение земель Японии // Мелиорация и водное хозяйство. 1990. № 7. С. 31–35.
4. Иванович М. М. Бассейновый принцип водопользования // Юридич. журн. 2008. № 1. С. 101–104.
5. Круглов Г. Г., Линкевич Н. Н. Опыт натурных исследований гидроузлов неэнергетического назначения и малых ГЭС с целью их восстановления // Строительная наука и техника. 2008. № 6. С. 92–94.
6. Мак-Доузл Д. М., Коннор Б. А. Гидравлика приливных устьевых рек / Пер. с англ. М., 1983.
7. Рогунович, В. П. Автоматизация математического моделирования движения воды и примесей в системах водотоков. Л., 1989.
8. Рогунович В. П. Потепление и экстремальные природные явления в гидросфере Беларуси // Природные ресурсы. 2009. № 1. С. 89–94.
9. Рогунович В. П., Евдокимов В. А., Лютко Г. И. и др. Автоматическая измерительная информационная система (ИИС) для исследования разрывных и плавноизменяющихся течений // Вестн. БНТУ. 2009. № 4. С. 8–12.
10. Рогунович В. П., Рачевский А. Н. и др. Результаты испытаний автоматической гидрологической станции // Водные ресурсы. 1999. № 6. С. 91–100.
11. Рогунович В. П. Средства для эффективного обустройства бассейнов рек // Природопользование. Минск, 2009. Вып. 15. С. 88–94.

В. П. Рогунович, Ф. Д. Шнипов, В. А. Евдокимов

**НЕОБХОДИМОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ
ИНТЕГРИРОВАННОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ
ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ**

В последние десятилетия во всем мире обострилась гидроэкологическая обстановка, водные катаклизмы наносят большие ущербы. Ежегодно на территории Беларуси отмечается 25–30 опасных гидрометеорологических явлений, влекущих серьезные экологические и экономические последствия.

Цель данной статьи представить имеющийся в Беларуси уникальный опыт математического моделирования переноса примесей в сложных бассейнов рек и создания автоматических средств измерений концентраций примесей, что может использоваться в современных быстроизменяющихся гидрологических условиях для создания ИИС. Имеются серийные радарные обнаружения облаков, определения количества влаги в них, скорости и траектории их движения, стандартные системы передачи информации. Все это целесообразно и возможно использовать для создания интегрированной автоматической измерительной информационной системы (ИИС) речных бассейнов.

V. P. Rogunovich, F. D. Shnipov, V. A. Evdokimov

**THE URGENCY AND POSSIBILITY TO CREATE AN INTEGRATED
AUTOMATIC MEASURING INFORMATION SYSTEM OF RIVER BASINS**

Last decades hydroecological conditions all over the world have become aggravated, water cataclysms put great damages. Annually in the territory of Belarus 25–30 dangerous hydrometeorological phenomena attracting serious ecological and economic consequences are registered.

The purpose of the given article is to present unique experience of mathematical modeling of impurity transfer available in Belarus in complex rivers basins and creation of automatic measuring devices of concentration of impurity that can be used in modern rapidly changing hydrological conditions to creation MIS. There are serial radar detection of clouds, definitions of quantity of a moisture in them, speeds and trajectories of their movement, standard information transmission systems. All these is expedient and may be used to create an integrated automatic measuring information system (MIS) of the basins.

О. В. Лукашёв, В. М. Натаров, Н. Г. Лукашёва, С. В. Савченко

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СНЕГОВЫХ ВОД БЕРЕЗИНСКОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Приведены результаты изучения химического состава снегового покрова, опробованного на территории Березинского биосферного заповедника в 2009 г. Средняя минерализация снеговой воды равна 17,3 мг/дм³, что в 2,4 раза выше среднегодового показателя для осадков в целом. Снеговые воды в слабой степени обогащены Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻ и в сильной – NH₄⁺. Среднее содержание растворенного Ni равно 1,1 мкг/дм³, Cu и Cd – меньше 1, Zn – 18,4, Pb – 7,5 мкг/дм³. Сопоставление средних показателей содержания макро- и микроэлементов в снеговых водах Березинского биосферного заповедника и других территорий позволяет говорить о фоновом уровне концентрации изученных элементов в снеге на заповедной территории.

Эколого-геохимическое изучение снегового покрова проводится на территории Беларусь с середины 1970-х гг. Среди работ данного направления следует выделить публикации В. К. Лукашёва, В. С. Хомича, И. Л. Евтухович и ряда других исследователей [1, 3, 6, 7, 13, 14]. Результаты современных исследований урбанизированных территорий представлены в работах [4, 5, 11]. Заповедные территории в данных публикациях не рассматривались.

Комплексные геохимические исследования территории Березинского биосферного заповедника проводились в 1980–1990-х гг. [1, 9]. В настоящее время аналогичные работы выполняются в рамках задания 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.) ГНТП «Экологическая безопасность». В 2008–2009 гг. проведено детальное геохимическое опробование поверхностных и метеорных вод, донных отложений ряда рек и озер, а также почв и растительности по сети 2×2 км. Результаты изучения поверхностных вод и донных отложений представлены в [8]. В настоящей статье изложены основные результаты исследований снеговых вод на территории заповедника на основе опробования, выполненного в марте 2009 г.

Анализ снеговых вод на содержание макро- и микроэлементов проводился в Центральной лаборатории РУП «Белгеология» по стандартным методикам [10], анализ взвесей – в Лаборатории физико-химических методов БелНИГРИ эмиссионным спектральным методом.

Метеорные воды (общий обзор). Оценка эколого-геохимического состояния атмосферных осадков заповедника в 2001–2008 гг. прово-

дилась по данным [12]. В 2008 г. наблюдения за составом атмосферных осадков на территории Беларусь производились на 19 станциях мониторинга, одной из которых является станция мониторинга фонового ранга (СМФР), расположенная в Березинском биосферном заповеднике. Как показали наблюдения, в 2008 г. величина pH осадков составила 5,56, концентрация SO₄²⁻ – 1,39 мг/дм³, Cl⁻ – 0,72, NO₃⁻ – 1,85, HCO₃⁻ – 1,49, NH₄⁺ – 0,53, Na⁺ – 0,34, K⁺ – 0,36, Ca²⁺ – 0,45, Mg²⁺ – 0,10, общая минерализация – 7,23 мг/дм³, что приблизительно соответствует средним значениям за многолетний период (табл. 1).

Анализ данных [12] свидетельствует о том, что состав осадков заповедника, с одной стороны, формируется под влиянием как регионального, так и трансграничного переносов. С другой стороны, общая минерализация осадков на СМФР соответствует региональному фону Беларусь и является в ряду наблюдений на указанных 19 станциях минимальной, составляя в период 2001–2008 гг. 5,02–9,91 мг/дм³ (табл. 1). При этом соотношение концентраций отдельных ионов идентично данным, полученным для регионов с фоновым состоянием атмосферы. Содержание SO₄²⁻ изменялось за рассматриваемый период в 2,5 раза и варьировало от 1,24 (в 2007 г.) до 3,11 мг/дм³ (в 2002 г.). Различия в концентрациях Cl⁻ и NO₃⁻ составили 1,4 и 2,3 раза соответственно, достигнув максимальных величин в 2006 г. Разброс значений содержания HCO₃⁻ более значительный – 5,4 раза, с минимумом в 2001 г. и максимумом – в 2007 г.

Среди катионов разброс значений составил для Na⁺ – 2,9 раза, Ca²⁺ – 2,8, Mg²⁺ – 2,7, NH₄⁺ – 2,2, K⁺ – 1,9 раза. Минимальные значения концентрации ионов Na⁺, Ca²⁺ и Mg²⁺ наблюдались в 2001 г.

Таблица 1. Состав атмосферных осадков в Березинском биосферном заповеднике в период 2001–2008 гг. [12]

Показатель содержания	рН	Макрокомпоненты, мг/дм ³									
		SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Σ _М
Среднее	5,47	1,81	0,83	1,57	1,24	0,69	0,30	0,25	0,57	0,12	7,19
Минимальное	5,13	1,24	0,72	0,84	0,44	0,49	0,20	0,19	0,34	0,07	5,02
Максимальное	5,59	3,11	1,00	1,96	2,37	1,07	0,58	0,36	0,96	0,19	9,91

Естественно, что на отдельных участках территории Березинского биосферного заповедника величина регистрируемых показателей может существенно отличаться от приведенных в табл. 1 средних показателей. В частности, кислотность атмосферных вод (рН = $-\lg[H^+]$) определяется наличием в них свободных ионов H⁺ ($H_2O \leftrightarrow H^+ + OH^-$), концентрация которых, в свою очередь, в каждом конкретном случае зависит от присутствия в водах SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻ (анионы сильных кислот – повышают кислотность, т. е. снижают рН) и Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, NH₄⁺ (катионы сильных щелочей – снижают кислотность, т. е. повышают рН). Определенную роль в увеличении кислотности (снижении рН) играет также слабая кислота H₂CO₃ ($H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-$), образующаяся за счет находящегося в атмосфере CO₂. Данная кислота при отсутствии техногенного загрязнения обеспечивает величину рН атмосферных осадков, приблизительно равную 5,6. К этому значению и близки величины рН, установленные в 2001–2008 гг. для атмосферных выпадений Березинского биосферного заповедника (5,13–5,59). Следует отметить, что кроме CO₂, в незагрязненном атмосферном воздухе могут присутствовать в незначительных количествах также другие кислотообразующие вещества естественного происхождения: органические кислоты, SO₂, H₂S, HCl, NO_x, HNO₃ и т. д. Существенное влияние на величину рН оказывает, например, прохождение воды через коры деревьев. Таким образом, кислотность атмосферных вод – результат того или иного соотношения анионов и катионов каждого конкретного раствора. Аналогичные примеры можно привести и для других основных катионов и анионов химического состава атмосферных вод Березинского биосферного заповедника.

На территориях, характеризующихся незначительными выбросами промышленных предприятий, изменение состава атмосферных осадков и снегового покрова может происходить за счет трансграничного переноса соединений S и N. В частности, согласно данным [12], отражающим суммарное действие локальных и удаленных источников загрязнения атмосферы, влажное выпадение S на территории Березинского биосферного заповедника в 2005–2007 гг.

соответственно составляло 270,5 кг/(км² в год), 289,0 кг/(км² в год) и 258,6 кг/(км² в год). Приведенные данные свидетельствуют о том, что осадки заповедника в относительно невысокой степени загрязняются S в процессе трансграничного переноса.

Существенное снижение потенциала закисления (S, N, Ca, Mg, K), обусловленного атмосферными осадками, в зоне расположения СМФР произошло в период 1989–1995 гг. (с более чем 1400 до менее 600 г-экв/(га в год)), в последующие годы вплоть до настоящего времени потенциал закисления варьирует незначительно.

Снеговые воды. В зимний период 2008/2009 гг. снежный покров был устойчив, его опробование осуществлялось в марте 2009 г. в 12 точках, распределенных по территории заповедника в виде субмеридионального профиля. В каждой точке отбиралась смешанная снеговая проба, давшая после таяния от 23,0 до 27,5 л талой воды. Содержание золы взвешенного вещества колебалось в пределах 1,87–5,82 мг/дм³ при среднем 3,11 мг/дм³.

Содержание ионов в исследованных снеговых водах Березинского биосферного заповедника приведено в табл. 2.

Согласно данным мониторинга [12], в течение года (данные 2005–2006, 2008 гг.) установлено увеличение среднемесячной минерализации осадков в зимнее время (до 12–16 мг/дм³) и снижение (до 1,4–3,1 мг/дм³) в летнее. Аналогичная закономерность отмечена и настоящими исследованиями – средняя минерализация снеговой воды (17,28 мг/дм³) примерно в 2,4 раза выше среднегодового показателя для осадков за 2008 г. в целом (7,23 мг/дм³). Концентрация ионов в снеговой воде варьирует по территории заповедника незначительно, в максимальной степени это отмечено для Na⁺ (в 3,0 раза) и K⁺ (в 3,5 раза). Сопоставление данных табл. 2 и результатов исследований [6, 13], проведенных в 1987–1989 гг., позволяет сделать вывод, что снеговые воды Березинского биосферного заповедника в слабой степени обогащены Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻ и в сильной — NH₄⁺.

Таблица 2. Содержание ионов в снеговых водах Березинского биосферного заповедника (март 2009 г., $n = 12$), мг/дм³

Показатель содержания	рН	Ионы, мг/дм ³										
		Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Σ _М
Среднее	5,69	0,81	0,30	0,66	2,45	<1,0	1,37	<2,0	2,29	9,40	0,013	17,28
Минимальное	5,10	0,50	0,20	0,20	2,10	<1,0	1,20	<2,0	1,40	6,10	<0,01	12,30
Максимальное	6,80	1,80	0,70	1,00	4,20	<1,0	2,20	<2,0	2,90	18,30	0,05	28,80
XCMФР	5,56	0,34	0,36	0,53	0,45	0,10	0,72	1,39	1,85	1,49	—	7,23

Примечание: XCMФР – средняя величина для атмосферных осадков за 2008 г. по данным СМРФ [12].

Относительно накопления в снеге NH₄⁺ следует отметить, что практически на всех 19 станциях мониторинга в 2008 г. отмечены средние концентрации данного иона, которые можно классифицировать как сильную степень накопления. Таким образом, за прошедшие два десятилетия, по-видимому, произошло существенное повышение регионального фона аммонийного азота. С другой стороны, территория Березинского биосферного заповедника, наряду с г. Браславом, Березино, пос. Нарочь, может быть отнесена к наименее загрязненным NH₄⁺ территориям [12].

Содержание растворенных микроэлементов в снеговых водах Березинского биосферного заповедника ранее (1996–1997 гг.) было охарактеризовано на основе изучения 5 пробных пло-

щадок. Среднее содержание Cr составляло 0,3 мкг/дм³, Mn – 17,0, Fe – 14,6, Ni – 0,8, Cu – 3,9, Zn – 31,4, Cd – 0,2 мкг/дм³, Pb обнаружен не был. За прошедшее с 1997 г. время среднее содержание в снеговых водах Ni практически не изменилось (0,8 мкг/дм³ и 1,1 мкг/дм³ соответственно). Содержание Cu и Zn снизилось (3,9 мкг/дм³ и менее 1 мкг/дм³; 31,4 мкг/дм³ и 18,4 мкг/дм³ соответственно), Cd продолжает оставаться низким (табл. 3). Однако, если в 1997 г. растворенный Pb в снеговых водах не отмечался, то в 2009 г. данный элемент обнаружен во всех пробах (1,0–11,2 мкг/дм³). Аналогичное повышение встречаемости Pb (с 50 до 100 % случаев) установлено и для донных отложений речной сети заповедника [8].

Таблица 3. Содержание растворенных микроэлементов в снеговых водах Березинского биосферного заповедника (март 2009 г., $n = 12$), мкг/дм³

Показатель содержания	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
Среднее	<20	0,89	1,1	<1	18,4	<5	<1,0	<0,5	7,5
Минимальное	<20	<0,5	<1,0	<1	11,7	<5	<1,0	<0,5	1,0
Максимальное	<20	1,6	2,5	2,5	28,3	<5	<1,0	<0,5	11,2

Содержание микроэлементов во взвешенном состоянии по результатам проведенного опробования представлено в табл. 4. Сопоставление средних показателей для территории Березинского биосферного заповедника и г. Полоцка (зима 2005/2006 гг.) позволяет говорить о фоновом уровне концентрации изученных микроэлементов на заповедной территории. Так, на территории г. Полоцка, даже при исключении из выборки ряда аномальных проб, приуроченных к участкам размещения промышленных предприятий, в 2,4 раза больше Sn, в 4,9–6,3 раза – Be, Ti, Co, Y, Zr, Nb, Yb, в 7,1–11,9 раз – V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba, Pb. Максимальный контраст содержания (более 8,5 раза) установлен для Cr, Fe, Ni, Cu, Sr, Ba, Pb.

Статистическая обработка выборки данных распределения микроэлементов в снеговых во-

дах заповедника во взвешенном состоянии показывает, что с содержанием взвешенного вещества (зола взвеси) в высокой степени ($r > +0,700$) достоверно коррелируют концентрации Be, Ti, Mn, Fe, Sr, Zr, Nb, Y, Ba, Yb. Наиболее высокая корреляция ($r > +0,900$, $p < 0,0001$) установлена для Be, Ti, Ba, Y, Yb. Таким образом, данная группа элементов в целом может быть отнесена к условно-аномальному типу нагрузки (большая концентрация в связи с большим выпадением из атмосферы вещества с близким к кларковому содержанием элемента) [2]. Отчасти к данному типу нагрузки относятся и Cr, Ni ($r = +0,500$ – $0,700$). В слабой степени ($r < +0,500$) с содержанием взвешенного вещества коррелируют V, Co, Cu, Zn, Sn, Pb – элементы, как правило, принимающие активное участие в процессах техногенеза и относящиеся в нашем случае, скорее все-

го, ко второму типу нагрузки – собственно аномальному (выпадение веществ с надкларковыми концентрациями). В рамках данной техногенной ассоциации отмечены тесные корреляционные связи Pb–Co ($r = +0,808$, $p < 0,002$), Pb–V ($r = +0,925$, $p < 0,0001$), Co–V ($r = +0,915$, $p < 0,0001$), Cu–Zn ($r = +0,771$, $p < 0,005$).

Сходные закономерности были установлены ранее при изучении суглинового покрова территории г. Полоцка. Так, количество выпадающей пыли (условно-аномальный тип нагрузки) в 2006 г. определяло распределение Be, Ti, Co, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, Yb ($r > +0,700$) и, отчасти, Cr, Mn, Fe, Cu, Mo, Ag, Sn и Pb во взвешенном состоянии. В рамках второй ассоциации отмечались сильные корреляционные связи ($r > +0,700$)

между рядом входящих в нее химических элементов. В значительно меньшей степени от фактора «общая масса пыли» зависело содержание в суглиновых водах города V и Ni ($r \leq +0,500$) – техногенной ассоциации химических элементов (V–Ni, $r = +0,967$), распределение которых скорее было связано с наложением на условно-аномальный тип собственно-аномального типа нагрузки.

В табл. 5 приведена оценка доли отдельных микроэлементов во взвешенном состоянии в их содержании (взвесь + раствор) в суглиновых водах Березинского биосферного заповедника. Роль взвешенной составляющей заметно варьирует – от 7–13 % для Co, Zn, Pb до 24 % для Ni и 53 % для Cu.

Таблица 4. Содержание микроэлементов в суглиновых водах Березинского биосферного заповедника во взвешенном состоянии (март 2009 г., $n = 12$)

Показатель содержания	Микроэлементы, мкг/дм ³								
	Be	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
Среднее	0,0057 _Г	11,3 _Г	0,420 _Г	0,313 _Г	2,26 _А	101 _Г	0,097 _А	0,275 _А	0,647 _А
Минимальное	0,0038	6,02	0,254	0,199	0,751	44,2	0,038	0,168	0,314
Максимальное	0,0116	26,8	0,961	0,561	6,11	220	0,200	0,419	0,958
фон _{Полоцк}	0,032	55,1	3,93	3,70	16,2	934	0,499	2,42	6,26
Показатель содержания	Микроэлементы, мкг/дм ³								
	Zn	Sr	Y	Zr	Nb	Sn	Ba	Yb	Pb
Среднее	1,88 _Г	0,63 _{Ме}	0,077 _Г	0,757 _Г	0,0297 _А	0,123 _А	1,55 _Г	0,008 _Г	0,408 _Г
Минимальное	0,937	0,547	0,049	0,353	0,0187	0,060	0,883	0,0055	0,262
Максимальное	5,47	1,31	0,163	2,62	0,0523	0,221	3,20	0,0174	1,00
фон _{Полоцк}	13,3	6,03	0,451	4,44	0,187	0,299	17,8	0,046	3,58

Примечание: А – среднее арифметическое; Г – среднее геометрическое; Ме – медиана; фон_{Полоцк} – фон для г. Полоцка по данным опробования 2006 г. ($n = 17$).

Таблица 5. Доля микроэлементов, содержащихся в суглиновых водах во взвешенном состоянии, от их общего содержания в суглиновых водах Березинского биосферного заповедника (март 2009 г., $n = 12$)

Параметр	Микроэлементы, %				
	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
Средняя доля	12,5	24,2	52,6	10,5	6,55
Минимальная доля	2,29	10,0	13,0	3,24	2,31
Максимальная доля	28,6	44,4	65,7	22,6	21,6

Заключение. Исследования суглиновых вод, проведенные в марте 2009 г. на территории Березинского биосферного заповедника, показали, что средняя минерализация суглиновой воды равна 17,3 мг/дм³ (в 2,4 раза выше среднегодового показателя для осадков в целом). Суглиновые воды в слабой степени обогащены Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} и в сильной – NH_4^+ . По сравнению с предыдущим опробованием (1996–1997 гг.), среднее содержание в них растворенного Ni практически не изменилось (0,8 мкг/дм³ и 1,1 мкг/дм³ соответственно), концентрации Cu и Zn снизились (3,9 мкг/дм³ и

менее 1 мкг/дм³; 31,4 мкг/дм³ и 18,4 мкг/дм³ соответственно), Cd продолжает оставаться низкой (менее 1 мкг/дм³). Во всех пробах был отмечен Pb в количествах 1,0–11,2 мкг/дм³, что при предыдущих исследованиях не наблюдалось.

Сопоставление средних показателей содержания взвешенных микроэлементов в суглиновом покрове Березинского биосферного заповедника и г. Полоцка свидетельствует об их фоновом уровне на заповедной территории. Так, в г. Полоцке в 2,4 раза больше Sn, в 4,9–6,3 раза –

Be, Ti, Co, Y, Zr, Nb, Yb, в 7,1–11,9 раз – V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba, Pb.

Установлено, что с содержанием взвешенного вещества в высокой степени достоверно коррелируют концентрации Be, Ti, Mn, Fe, Sr, Zr, Nb, Y, Ba, Yb во взвешенном состоянии. Наиболее высокая корреляция ($r > +0,900$, $p < 0,0001$)

отмечена для ассоциации Be, Ti, Ba, Y, Yb. Ее можно отнести к условно-аномальному типу нагрузки. В слабой степени с содержанием взвешенного вещества коррелируют V, Co, Cu, Zn, Sn, Pb, ассоциацию которых в рассматриваемом случае можно отнести к собственно-аномальному типу нагрузки.

Л и т е р а т у р а

1. Геохимическое изучение ландшафтов Березинского биосферного заповедника / Под. ред. К.И. Лукашева. Минск, 1985.
2. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саэт, Б. А. Ревич, Е. П. Янин и др. М., 1990.
3. Евтухович, И. Л., Лукашев А. В. Геохимия фтора в зоне гипергенеза Беларуси / Под ред. О.В. Лукашёва. Минск, 2001.
4. Какарека С. В., Чудук В. Н. и др. Внутригодовая динамика химического состава атмосферных осадков на территории г. Минска // Природопользование. Минск, 2009. Вып. 15. С. 60–68.
5. Какарека С. В., Белькович О. Е., Хамицевич А. В. Многолетняя динамика и тренды выпадений серы и азота на урбанизированных территориях Беларуси // Природопользование. Минск, 2009. Вып. 16. С. 30–38.
6. Лесные ландшафты Беларуси: структурно-функциональная организация и устойчивость к техногенным нагрузкам / Под ред. Е. А. Сидоровича. Минск, 1992.
7. Лукашёв В. К., Лесковец Г. В., Самойлюкович К. М. Применение химико-спектрального метода анализа для контроля состава снеговой воды. Материалы техногенно-геохимического изучения ландшафтов Белоруссии. Минск, 1981. С. 109–112.
8. Лукашёв О. В., Натаров В. М., Савченко В. В. и др. Экологово-геохимическое состояние поверхностных вод и речных отложений на территории Березинского биосферного заповедника // Природопользование. Минск, 2009. Вып. 15. С. 79–87.
9. Натаров, В. М. Итоги комплексного геохимического мониторинга в Березинском биосферном заповеднике // Особо охраняемые природные территории Беларуси. Исследования. Минск, 2006. Вып. 1. С. 111–132.
10. Реестр методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении измерений в области охраны окружающей среды в 3-х частях. Минск, 2009.
11. Санец Е.В., Овчарова Е. П., Белькович О. Е. Химический состав атмосферных осадков и поверхностного стока в Минске // Природопользование. Минск, 2009. Вып. 16. С. 39–48
12. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень. 2001–2008 гг. / Под ред. В. Ф. Логинова. Минск, 2002–2009.
13. Техногенное загрязнение лесных экосистем Беларуси / Под ред. Е. А. Сидоровича. Минск, 1995.
14. Хомич В. С., Оношко М. П. Химический состав снеговых вод некоторых локальных природно-техногенных комплексов Белоруссии // Геохимические методы мониторинга. Минск, 1980. С. 71–77.

**Белорусский государственный университет,
Березинский биосферный заповедник,
Институт природопользования НАН Беларуси**

O. В. Лукашёв, В. М. Натаров, Н. Г. Лукашёва, С. В. Савченко

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СНЕГОВЫХ ВОД БЕРЕЗИНСКОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Дана оценка химического состава снеговых вод на территории Березинского биосферного заповедника по данным опробования 2009 г.

Анализ данных по составу атмосферных осадков показал, что общая минерализация осадков заповедника соответствует региональному фону Беларуси и является в ряду наблюдений на республиканских станциях мониторинга минимальной, составляя в период 2001–2008 гг. 5,02–9,91 мг/дм³. Содержание SO₄²⁻ изменялось за исследованный период в 2,5 раза, Cl⁻ и NO₃⁻ – в 1,4 и 2,3 раза соответственно.

Для катионов разброс значений составил для Na⁺ – 2,9 раза, Ca²⁺ – 2,8, Mg²⁺ – 2,7, NH₄⁺ – 2,2, K⁺ – 1,9 раза. Минимальные значения концентрации ионов Na⁺, Ca²⁺ и Mg²⁺ наблюдались в 2001 г.

Как показали исследования снеговых вод и взвесей, средняя минерализация исследованной снеговой воды равна 17,3 мг/дм³, что в 2,4 раза выше среднегодового показателя для осадков в целом. Снеговые воды в слабой степени обогащены Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻ и в сильной – NH₄⁺.

По сравнению с предыдущим опробованием (1996–1997 гг.), среднее содержание в снеговых водах растворенного Ni и Cd практически не изменилось, концентрации Cu и Zn снизились до менее 1 мкг/дм³ и 18,4 мкг/дм³ соответственно. Во всех пробах был отмечен Pb в количествах 1,0–11,2 мкг/дм³, что при предыдущих исследованиях не наблюдалось.

Сопоставление средних показателей загрязнения снегового покрова на территории Березинского биосферного заповедника и г. Полоцка свидетельствует о фоновом уровне концентрации изученных взвешенных микроэлементов на заповедной территории.

Установлено, что с содержанием взвешенного вещества в высокой степени достоверно коррелируют концентрации Be, Ti, Mn, Fe, Sr, Zr, Nb, Y, Ba, Yb во взвешенном состоянии. Наиболее высокая корреляция отмечена для ассоциации Be, Ti, Ba, Y, Yb, которую можно отнести к условно-аномальному типу нагрузки. В слабой степени с содержанием взвешенного вещества коррелируют V, Co, Cu, Zn, Sn, Pb, ассоциацию которых можно отнести к собственно-аномальному типу нагрузки.

O. Lykashev, V. Natarov, N. Lykasheva , S. Savchenko

CHEMICAL COMPOSITION OF SNOW WATERS OF BEREZINSKI OF BIOSPHERIC RESERVE

In article the estimation of a chemical composition of snow waters in territory of Berezinski of biospheric reserve according to approbation 2009 y. is given.

The analysis of data on structure of atmospheric precipitation has shown, that the general mineralization of deposits of reserve corresponds to a regional background of Belarus and was in a line of supervision at the monitoring stations of republic minimal, making during 2001–2008 y. 5,02–9,91 mg/L. Contents SO₄²⁻ changed for the investigated period in 2,5 times, Cl⁻ and NO₃⁻ – in 1,4 and 2,3 times accordingly.

For cations the disorder of values has made for Na⁺ – 2,9 times, Ca²⁺ – 2,8, Mg²⁺ – 2,7, NH₄⁺ – 2,2, K⁺ – 1,9 times. Thus the minimal values of ions Na⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ were observed in 2001 y.

As have shown researches of snow waters and suspensions, the average mineralization of the investigated snow water is equal 17,3 mg/l, that in 2,4 times above a mid-annual parameter for deposits as a whole. Snow waters in a weak degree are enriched Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻ and in strong –NH₄⁺.

In comparison with the previous approbation (1996–1997 y.), the average contents in snow waters dissolved Ni and Cd practically has not changed, concentration Cu and Zn have decreased up to <1 мкг/л and 18,4 мкг/л accordingly, In all tests of 1,0–11,2 мкг/л have noted been Pb in quantities, that at the previous researches was not observed.

Comparison of average indices of pollution of a snow cover on territories Berezinski of biospheric reserve and of Polotsk testifies to a background level of concentration of the investigated weighed microelements on reservation territories.

It is established, that with the contents of the weighed substance in a high degree authentically correlate concentration of the weighed Be, Ti, Mn, Fe, Sr, Zr, Nb, Y, Ba, Yb. The highest correlation is noted for association Be, Ti, Ba, Y, Yb which can be carried to is conditional-abnormal type of loading. In a weak degree with the contents of the weighed substance correlate V, Co, Cu, Zn, Sn, Pb which association can be carried to actually-abnormal type of loading.

О. В. Васнёва

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ НА ТЕРРИТОРИИ ПОСТАВСКОГО ЗАХОРОНЕНИЯ

В статье на основе данных локального мониторинга с использованием математического моделирования выполнена оценка и дан прогноз качества подземных вод в районе расположения Поставского захоронения непригодных к использованию пестицидов. Установлено, что загрязнение подземных вод происходит за счет поступления загрязняющих веществ путем инфильтрации с поверхности земли через зону аэрации. Основным загрязняющим мигрантом является гексахлорциклогексан (ГХЦГ) и его производные. В результате проведения математического моделирования решены на ПК обратные и прогнозные задачи на 10 и 30 лет. Даны рекомендации по охране подземных вод от загрязнения.

В последнее десятилетие на качество подземных вод Беларусь все большее влияние оказывают источники загрязнения антропогенного происхождения – сельское, коммунально-бытовое хозяйство, а также промышленность. Высокая проницаемость покровных отложений на территории Беларусь, с одной стороны, создает благоприятные условия для формирования значительных ресурсов подземных вод, с другой – обуславливает их очень слабую естественную защищенность от загрязнения.

Сельскохозяйственное загрязнение подземных, главным образом, грунтовых вод проявляется в наибольших масштабах [8]. К сельскохозяйственным источникам загрязнения относятся: органические и минеральные удобрения, территории животноводческих ферм и комплексов, поля орошения, места захоронений непригодных к использованию пестицидов. На таких участках в подземных водах наблюдается рост содержания ионов NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , органических веществ [5].

Для защиты подземных вод необходимо проводить работы, направленные на уменьшение воздействия источников загрязнения, используя существующие и разрабатывая новые методы.

На примере Поставского захоронения непригодных к использованию пестицидов при помощи метода численного математического моделирования с использованием программной системы «TOPAZ НС» разработана математическая модель распространения пестицидов в подземных водах.

Целью исследований являлось определение с помощью созданной математической модели, площади распространения загрязняющего мигранта в подземных водах, как в настоящее время, так и на перспективу.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- изучены и обобщены физико-географические, геолого-гидрогеологические условия участка расположения источника загрязнения;
- выполнена схематизация природных условий и разработана гидрогеологическая модель (выделены основные водоносные горизонты и разделяющие слои, определены их параметры);
- набраны массивы, характеризующие параметры водоносных горизонтов и разделяющих пластов, и решена серия обратных задач;
- решены прогнозные задачи на 10 и 30 лет;
- даны рекомендации по совершенствованию системы мониторинга подземных вод.

Поставское захоронение находится в южной части Витебской области, в 7 км к северу от районного центра г. Поставы. Расстояние до ближайших сельских населенных пунктов от 1 до 5,5 км. Для водоснабжения г. Поставы в 1977 г. разведен с подсчетом эксплуатационных запасов подземных вод групповой водозабор «Спорница», который состоит из 6 эксплуатационных скважин и находится в 7,5 км к северу, вниз по потоку подземных вод от захоронения (рис. 1).

В результате изучения физико-географических условий района и в процессе проведения рекогносировочных работ определено, что в геоморфологическом отношении участок расположен в пределах полого–волнистой моренной равнины, осложненной конечно–моренными холмами. В северном направлении она переходит в озерно–ледниковую Полоцкую низину. Абсолютные отметки поверхности земли в районе изменяются от 160 до 200 м и более. Непосредственно на участке они составляют 162–164 м.

В гидрографическом отношении район относится к бассейну р. Западная Двина. При этом захоронение приурочено к водораздельной части между речными бассейнами Западной Двины и Вилии. Линия водораздела проходит между озёрами Нарочь и Мядель в 14 км к югу от захоронения. Абсолютные отметки водораздельного пространства достигают 209–233 м.

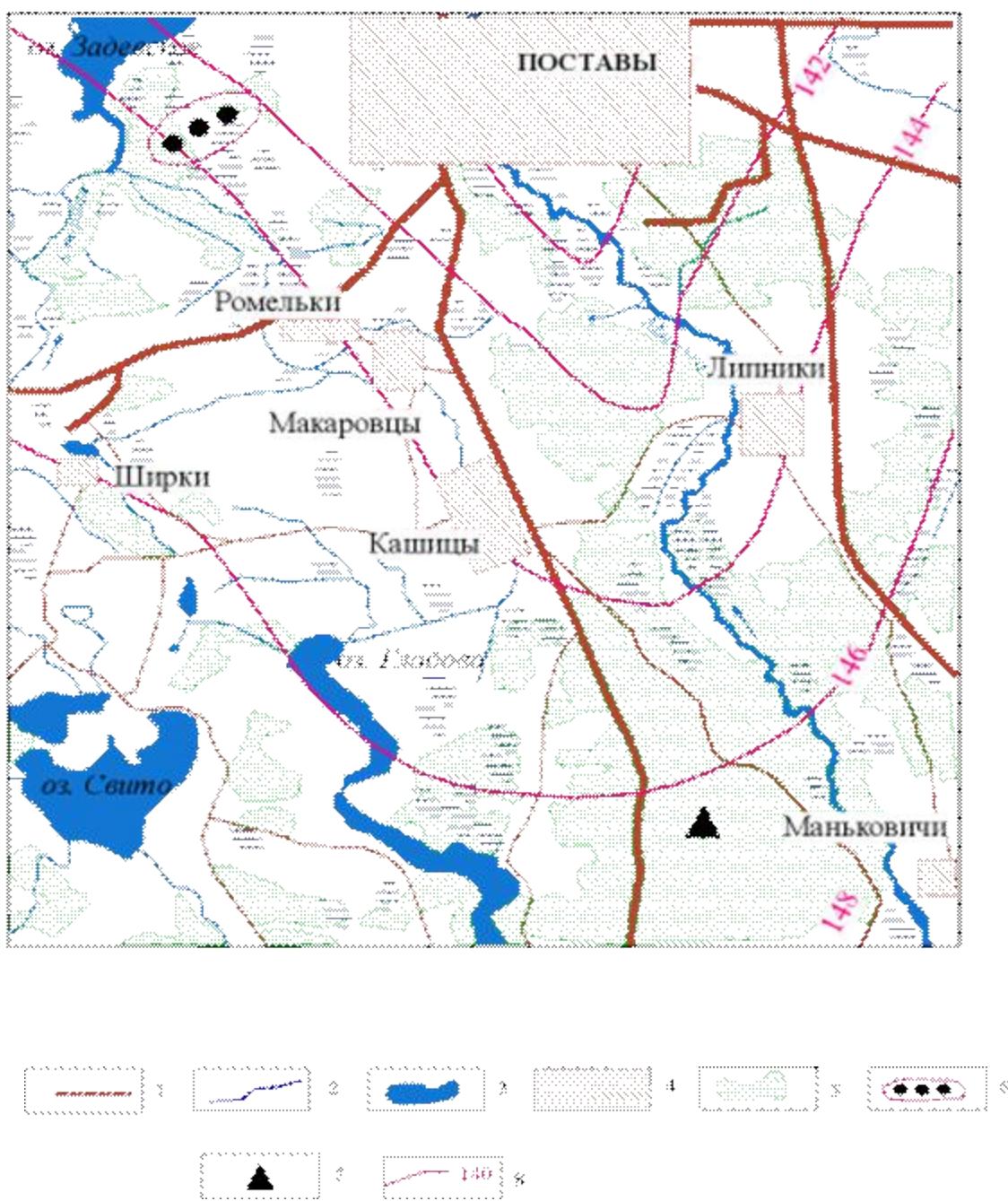


Рис. 1. Карта-схема расположения Поставского захоронения пестицидов:
 1 – дороги; 2 – реки; 3 – водохранилища; 4 – населенные пункты; 5 – лес, луг;
 6 – второй пояс зоны санитарной охраны водозабора Спорица; 7 – захоронение пестицидов;
 8 – гидроизопьезы водоносного днепровско-сожского водноледникового комплекса и их отметки, м

В геоструктурном отношении район исследований расположен в пределах северного склона Белорусской антеклизы, в районе Вилейского погребенного выступа.

Поставское захоронение построено в 1971 г. и является первым подземным хранилищем ядохимикатов из 7 существующих в Беларуси. Оно отличается от других расположенных на территории страны меньшей массой захороненных пестицидов. Масса отходов составляет 99 т, из которых 16,3 т относятся ко II классу опасности; 33,0 – к III классу и 49,7 т – к IV классу опасности. Ядохимикаты уложены в траншею, стены и днище которой укреплены железобетонными плитами с гидроизоляцией. Хранилище имеет близкую к трапеции форму с размерами сторон 37 (31) × 24 (21) м. Сверху пестициды засыпаны грунтом толщиной 1 м. Близ захоронения расположена одна наблюдательная скважина – на расстоянии 8–10 м по потоку подземных вод, глубина скважины – 20,0 м, уровень грунтовых вод находится на глубине 10,5 м [6].

Детальные наблюдения за экологическим состоянием захоронения проводятся с 2006 г. РУП «БелНИЦ «Экология». По данным локального мониторинга, в 2006–2008 гг. в пробах подземных вод из скважины № 1 максимально разовые содержания сухого остатка превышали ПДК в 1,6 раз; сульфатов в 1,36; азота аммонийного в 4–8 раз. Наряду с неорганическими соединениями, установлено присутствие и органических соединений: $\alpha, \beta, \delta, \gamma$ -ГХЦГ – от $6,9 \cdot 10^{-6}$ до $1,1 \cdot 10^{-4}$ мг/дм³ (ГН 2.1.5.10-21-2003 – 0,02 мг/дм³), гептахлора – $1,4 \cdot 10^{-5}$ мг/дм³ (ГН 2.1.5.10-21-2003 – 0,1 мг/дм³), что свидетельствует о происходящих процессах разложения захороненных пестицидов и их миграции в нижележащие горизонты [2, 4].

Согласно схеме гидрогеологического районирования, описываемая территория находится на стыке Белорусского гидрогеологического массива и Балтийского гидрогеологического бассейна, в пределах Латвийского гидрогеологического района. В разрезе выделяются две зоны: активного и замедленного водообменов. Верхняя зона (зона активного водообмена) включает пресные воды с минерализацией от 0,3 до 0,8 г/дм³. Нижняя зона (зона замедленного водообмена) содержит солоноватые, соленые и рассольные воды хлоридно-натриевого и сульфатно-хлоридно-натриевого типов [8]. Питание водоносных горизонтов и комплексов верхней зоны осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и разгрузки напорных вод из нижележащих горизонтов. Водоносные горизонты нижней зоны питаются за пределами рассматриваемой территории.

На основании имеющейся геологогидрогеологической информации построены карты и разрезы водоносных горизонтов и разде-

ляющих слоев для проведения схематизации природных условий (рис. 2).

Для разработки и создания моделей фильтрации подземных вод и массопереноса проведена схематизация гидрогеологических условий, т. е. исходные данные приведены к схеме, которая отражает особенности залегания, питания, движения и разгрузки подземных вод на исследуемой территории [1].

Схематизация гидрогеологических условий объекта исследований сводилась к расчленению разреза на водоносные горизонты и слабопроницаемые слои, на основе которых в дальнейшем строились карты вертикальных проводимостей (рис. 3).

По данным картам создавались картографическая геофiltрационная, затем математическая модели района. Особое внимание в процессе геофiltрационной схематизации уделялось обоснованию граничных условий исследуемого района в плане и разрезе.

На внешних границах модели исследуемой территории задавались значения напоров. Для обоснования их величин использовались фактические напоры, полученные по данным режимных наблюдений.

В результате геофiltрационной схематизации исходная гидрогеологическая схема заменилась фильтрационной схемой, включающей три водоносных горизонта, разделенных слабопроницаемыми слоями с различной проводимостью, емкостными свойствами и вертикальной проводимостью.

Первый водоносный горизонт (1ВГ) представлен водоносным верхнепоозерским надморенным флювиогляциальным горизонтом. Литологически он характеризуется в основном тонко-зернистыми песками. Водопроводимость горизонта принята $10 \text{ м}^2/\text{сут}$ (мощность – 20 м, коэффициент фильтрации – 0,5 м/сут, при водоотдаче 0,01).

Второй водоносный горизонт (2ВГ) – это водоносный флювиогляциальный сожский-поозерский горизонт. Литологически характеризуется разнозернистыми, средне- и мелкозернистыми песками. Водопроводимость принята, по данным предшествующих гидрогеологических работ, $100 \text{ м}^2/\text{сут}$ (мощность – 10 м, коэффициент фильтрации – 10 м/сут, при водоотдаче 0,0001).

Третий водоносный горизонт (3ВГ) характеризуется водоносным флювиогляциальным днепровским-сожским горизонтом. Литологически сложен разнозернистыми, в основном, средне- и мелкозернистыми песками. Водопроводимость этого горизонта принята $100 \text{ м}^2/\text{сут}$ (мощность – 10 м, коэффициент фильтрации – 10 м/сут, при водоотдаче – 0,0001).

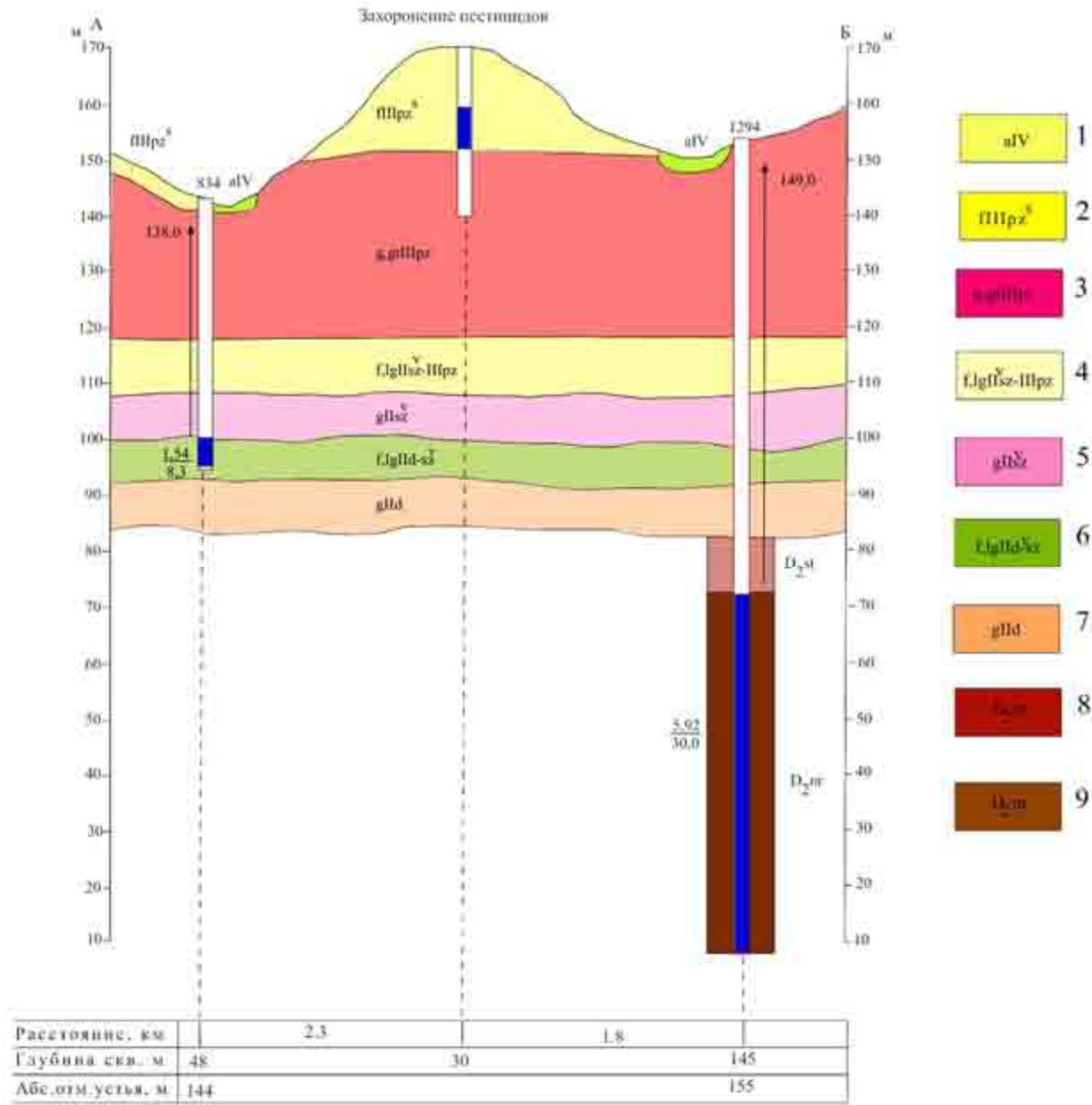


Рис. 2. Схема геолого-гидрогеологического разреза по линии А – Б:

1 – современное звено. Аллювиальные отложения пойм. Пески мелкозернистые с линзами супесей с гравием и галькой; 2 – верхнее звено. Флювиогляциальные отложения надморенные. Пески разнозернистые с гравием и галькой; 3 – моренные и конечноморенные отложения. Супеси, суглинки с линзами песков, гравий и галька; 4 – средние верхние звенья. Сожский – поозерский горизонт. Водноледниковые отложения межморенные. Пески, песчано-гравийные породы, супеси, суглинки, глины; 5 – среднее звено. Сожский горизонт. Моренные отложения. Супеси и суглинки валунные, пески, песчано-гравийные и гравийно-галечные породы, супеси, суглинки, глины; 6 – Днепровский – сожский горизонт. Водно-ледниковые отложения межморенные. Пески, песчано-гравийные породы, супеси, суглинки, глины; 7 – Днепровский горизонт. Моренные отложения. Супеси и суглинки валунные, пески, песчано-гравийные и гравийно-галечные породы; 8 – средний отдел. Живетский ярус. Старооскольский горизонт. Пески и песчаники с прослоями алевролитов и глин; 9 – Эйфельский ярус. Наровский горизонт. Доломиты, глины, алевролиты, песчаники, пески

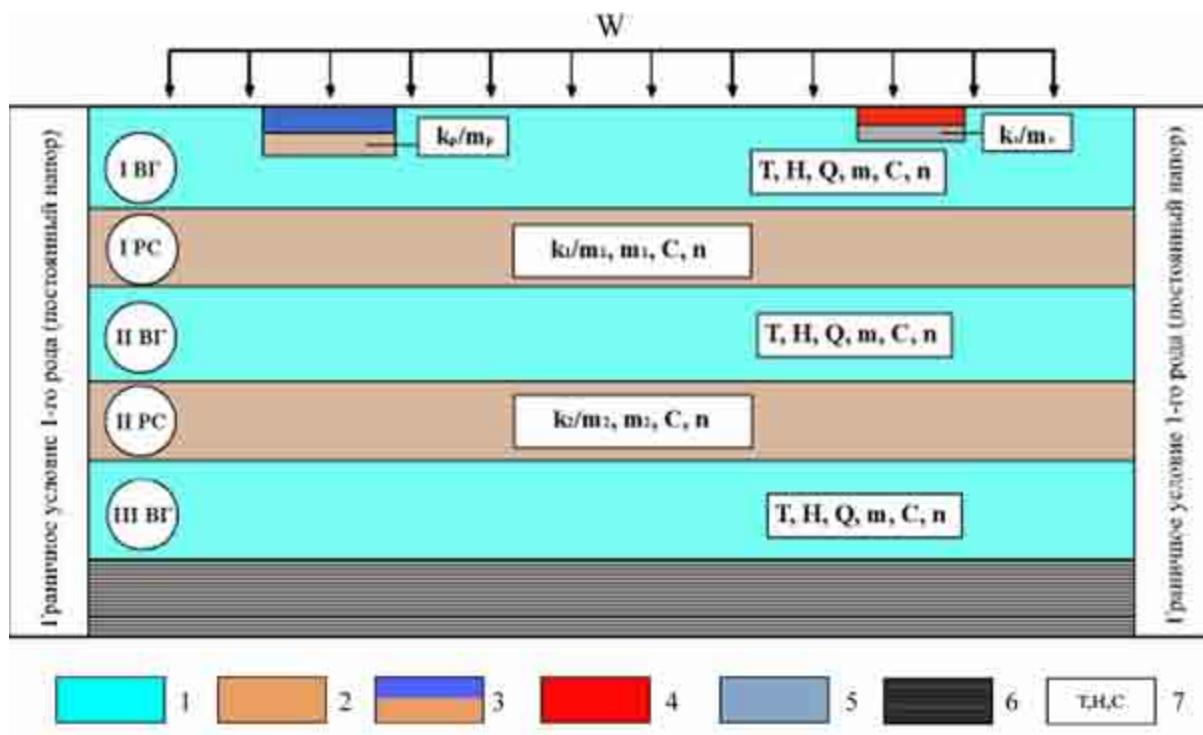


Рис. 3. Геофильтрационная схема модели геофильтрации и геомиграции подземных вод в районе Поставского захоронения непригодных к использованию пестицидов: 1 – водоносный горизонт; 2 – разделяющий слой; 3 – поверхностный водоток; 4 – участок захоронения пестицидов; 5 – экран; 6 – водоупор (непроницаемая граница); 7 – входные параметры модели

Первый разделяющий слабопроницаемый слой (1РС) – моренные образования поозерского ледника. Его мощность – 40 м, а вертикальная водопроводимость – 0,000005 1/сут.

Второй разделяющий слабопроницаемый слой (2РС) представлен моренными образованиями сожского ледника, мощностью 10 м, с вертикальной проводимостью 0,000001 1/сут [10].

Нижняя граница модели принимается водонепроницаемой и проходит по водоупорным породам днепровского ледника.

Далее картографическая модель территории условно заключалась в параллелепипед с системой расположенных по вертикали шаблонов, соответствующих каждому водоносному горизонту и разделяющему их слою. Шаблоны разбивались на блоки, в которых информация о параметрах и границах была привязана к центрам блоков модели.

Внешними границами области моделирования являются значения абсолютных отметок уровня подземных вод в водоносных горизонтах, полученные по данным геологоразведочных и съемочных работ РУП «Белгеология».

Внутренними границами модели являются водоемы и водотоки, а также условный водоем (непосредственный участок захоронения) и инфильтрационное питание.

Размеры блоков по вертикали задавались согласно мощности горизонтов. Всего по оси X (север–юг) выделено 28 блоков, а по оси Y (запад–восток) – 38 блоков. Внешние границы модели заданы как условия I рода ($H = \text{const}$), а внутренние – как условия III рода.

В соответствии с приведенной фильтрационной схемой и разбивкой модели на ПК были набраны следующие массивы: водопроводимости, мощностей, водоотдачи, пористости, абсолютных отметок уровня в водоемах и водотоках и напоров водоносных горизонтов, вертикальной проводимости, мощности и пористости слабопроницаемых слоев, а также массивы внутренних и внешних граничных условий.

На первой стадии моделирования производилась отладка математической модели и решение обратных геофильтрационных задач с целью воспроизведения пьезометрической поверхности водоносных горизонтов в существующих условиях. В результате решения серии обратных задач по всем водоносным горизонтам воспроизведены и построены карты гидроизогипс и гидроизопьез.

В результате получена уровенная поверхность первого от поверхности земли водоносного горизонта подземных вод и определено, что движение грунтового потока происходит от участка захоронения пестицидов в се-

веро-западном, северном и северо-восточном направлениях и дренируется на востоке речкой Мяделка.

Карты гидроизопльез 2ВГ и 3ВГ свидетельствуют о том, что движение потока второго от поверхности земли водоносного горизонта подземных вод происходит от участка захоронения пестицидов в северо-восточном и северо-западном направлениях, а третьего от поверхности водоносного горизонта – в северо-восточном направлении.

Воссоздание естественных гидрогеологических условий на модели позволило перейти ко второй стадии моделирования распространения возможного загрязнения на прогнозный период. На данной ступени моделирования в напорах решались геомиграционные задачи. При этом из-за отсутствия необходимых сведений для учета сорбционных процессов рассматривался конвективный перенос загрязняющего мигранта, т. е. процесс поршневого вытеснения, что дает некоторый инженерный запас в прогнозных расчетах.

В качестве загрязняющего мигранта обычно выбирают химическое соединение, хорошо растворимое в воде, в нашем случае таким мигрантом был ГХЦГ, относящийся к хлорорганическим пестицидам. Это соединение имеет малую растворимость в воде, однако благодаря тому, что хлорорганические пестициды подвергаются сильной адсорбции на макромолекулах воды, их миграция протекает так же, как и у хорошо растворимых веществ. В связи с этим, распространение ГХЦГ может происходить достаточно быстро и на большие расстояния [7].

При решении прогнозной задачи принята концентрация ГХЦГ, условно равная 100 мг/дм^3 , что обусловлено фактическими концентрациями загрязнителя, которые намного меньше ПДК и, подставляя их значения в математическую модель, можно просто не определить области распространения загрязнителя.

Пропускная способность подрусловых и озерных отложений из-за отсутствия определений принята по аналогии с использованием данных геологоразведочных работ для оценки запасов подземных вод – 0,001 1/сут и 0,0001 1/сут соответственно. Величина инфильтрационного питания принята 30 мм/ г. [3].

Результаты решения прогнозной задачи методом моделирования показали, что в первом водоносном горизонте через 10 лет область его загрязнения пестицидами, распространится от захоронения к северо-западу на расстояние 220 м; к северо-востоку – на расстояние 450 м и к востоку – на расстояние

380 м. Через 30 лет, в том же горизонте загрязнение распространится к северо-западу на расстояние 420 м, к северо-востоку – 700 м и к востоку – на 800 м (рис. 4).

По результатам моделирования загрязнения подземных вод на период 10 и 30 лет во втором и третьем водоносных горизонтах не произойдет.

Таким образом, данные моделирования показали, что даже через 30 лет при самых благоприятных условиях утечки пестицидов из захоронения, зона влияния захоронения не превысит 800 м.

Загрязнение грунтовых вод обычно происходит за счет поступления загрязняющих веществ путем инфильтрации с поверхности земли через зону аэрации.

Зона аэрации в пределах моделируемой области имеет сложное строение и представлена песками с прослойками супеси. Средние значения коэффициентов фильтрации и пористости песков равны 0,6 и 0,1 м/сут соответственно, супесей – 0,01 и 0,15 м/сут. На пониженных участках рельефа часто встречаются болотные образования, представленные торфом. Мощность зоны аэрации на участке захоронения составляет 15 м.

Оценивая время переноса в зоне потока, предположим, что в основном перенос осуществляется конвективным путем без учета физико-химических (сорбционных) процессов [11].

Время t_a конвективного переноса загрязняющего мигранта через зону аэрации мощностью m_a определяется выражением [12]:

$$t_a = \frac{m_a n_a}{\sqrt[3]{W^2 k_a}}, \quad (1)$$

где k_a и n_a – коэффициент фильтрации и активная пористость отложений в зоне аэрации; W – интенсивность инфильтрации. По результатам предшествующих гидрогеологических работ $W = 2,2 \cdot 10^{-4}$ м/сут.

Подставляя в формулу (1) соответствующие параметры произведем расчет времени конвективного переноса условного мигранта для участка загрязнения:

$$t_a = \frac{15 \cdot 0,15}{\sqrt[3]{(2,2 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 0,05 \cdot 10^{-2}}} = 1876 \text{ сут.}$$

Время миграции загрязняющих веществ через зону аэрации составит 1876 сут. или 5 лет.

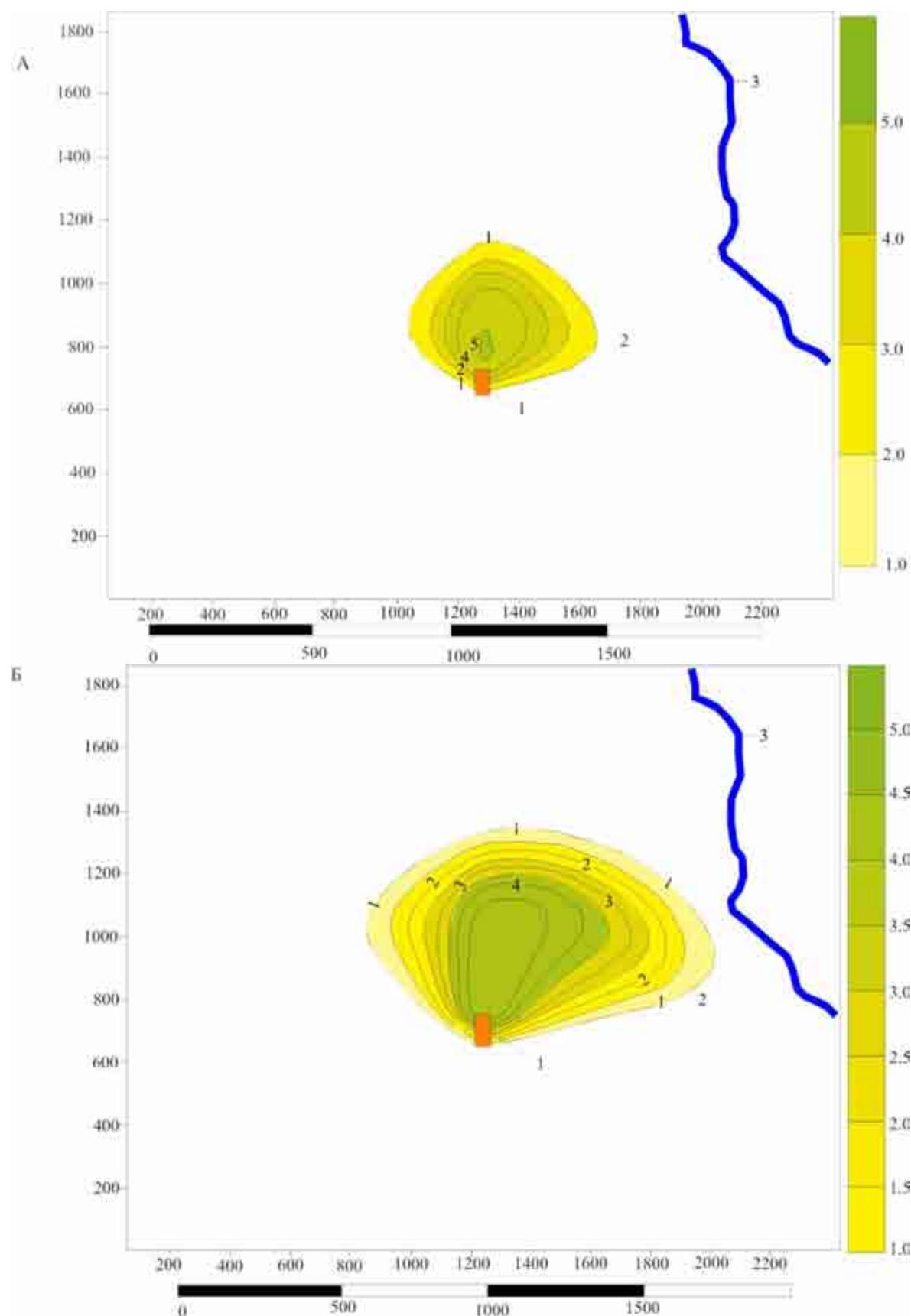


Рис. 4. Прогноз изменения концентраций пестицидов в первом (А) и втором (Б) от поверхности земли (грунтовом) водоносном горизонте через 10 и 30 лет: 1 – захоронение пестицидов; 2 – изолинии загрязняющего мигранта (ГХЦГ) в подземных водах; 3 – поверхностный водоток; справа – шкала прогнозной концентрации ГХЦГ в подземных водах ($\text{мг}/\text{дм}^3$); снизу – масштаб модели (м)

На основе проведенных исследований и результатов моделирования на Поставском захоронении пестицидов предлагается выполнить ряд профилактических и специальных мероприятий по охране подземных вод:

- провести локальный мониторинг подземных вод на участке захоронения;
- дополнительно пробурить наблюдательные скважины, как по потоку подземных вод, так и выше источника загрязнения;
- пробуренные наблюдательные скважины включить в сеть пунктов наблюдений локального мониторинга;

- исключить поступление атмосферных осадков;
- соорудить отвод дождевых и талых вод, стекающих со склона к хранилищу захоронения пестицидов.

Рекомендуемые профилактические мероприятия уменьшат, но не исключат вероятность проникновения загрязняющих веществ в подземные воды. Более эффективными являются специальные мероприятия по охране подземных вод, к которым следует отнести ликвидацию Поставского захоронения непригодных к использованию пестицидов.

Литература

1. Боревский Б. В. Оценка запасов подземных вод. Киев, 1989.
2. Васнёва О. В., Берёзко О. А. Состояние подземных вод в районах захоронений непригодных к использованию пестицидов на территории Республики Беларусь // Вода, изменение климата и здоровье человека: Тез. докл. Минск, 2009. С. 110–111.
3. Губин В. Н., Ковалев А. А., Коркин В. Д., Комаровский М. Е. Геоэкология Минского региона. Минск, 2005. С. 86–87.
4. Калинович А. С. Экологическое состояние существующих захоронений пестицидов // Природопользование и охрана окружающей среды. Минск, 2000. С. 25.
5. Курило К. А., Берёзко О. А., Васнёва О. В. Подземные воды // Государственный водный кадастров. Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 2008 г.). Минск, 2009. С. 56–63.
6. Национальный план выполнение обязательств, принятых Республикой Беларусь по Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях, на 2007–2010 гг. и на период до 2028 года / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Глобальный экологический фонд, Всемирный банк. Минск, 2006.
7. Нейтрализация загрязненных почв / Под ред. Ю. А. Мажайского. Рязань, 2008.
8. Пашкевич В. И. Качество пресных подземных вод Беларуси // Минерально-сырьевые ресурсы Беларуси – 2002: состояние и перспективы освоения. Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Минск, 2002. С. 170–173.
9. Полезные ископаемые Беларуси / Под ред. П. З. Хомича, С. П. Гудака, А. М. Синички. Минск, 2002.
10. Справочное руководство гидрогеолога / Под ред. М. Е. Альтовского. М., 1962.
11. Фоменко В. И. Методика создания многопластовых геофильтрационных моделей для обоснования рационального использования месторождений подземных вод // Рациональное природопользование в районах избыточного увлажнения: Тез. докл. Минск, 1989. С. 152–153.
12. Щестаков В. М. Динамика подземных вод. М., 1979.

Республиканское унитарное предприятие «Белорусский научно-исследовательский геологоразведочный институт»

O. V. Васнёва

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ НА ТЕРРИТОРИИ ПОСТАВСКОГО ЗАХОРОНЕНИЯ

В статье на основе данных локального мониторинга с использованием математического моделирования выполнена оценка и дан прогноз качества подземных вод в районе расположения Поставского захоронения непригодных к использованию пестицидов.

Результаты анализов проб подземных вод свидетельствуют о том, что по сухому остатку, азоту аммонийному, сульфатам превышали предельно допустимые концентрации. Вместе с этим, наряду с неорганическими установлено присутствие и органических соединений (ГХЦГ, гептакахлора), что свидетельствует о происходящих процессах разложения захороненных пестицидов и их миграции в нижележащие горизонты.

В ходе создания математической модели принято, что основным загрязняющим мигрантом является гексахлорциклогексан (ГХЦГ) и его производные.

Результаты решения прогнозной задачи методом моделирования показали, что в первом водоносном горизонте через 10 лет область загрязнения водоносного горизонта пестицидами распространится от захоронения к северо-западу на расстояние 220 м; к северо-востоку – на 450 м и к востоку на 380 м. Через 30 лет, в том же горизонте, область загрязнения распространится к северо-западу на расстояние 420 м, к северо-востоку – на 700 м и востоку – на 800 м. Во втором и третьем водоносных горизонтах, на период 10 и 30 лет, загрязнения подземных вод не произойдет.

На основе проведенных исследований и результатов математического моделирования на Поставском захоронении пестицидов предлагается выполнить ряд профилактических и специальных мероприятий по охране подземных вод:

- провести локальный мониторинг подземных вод на участке захоронения;
- дополнительно пробурить наблюдательные скважины, как по потоку подземных вод, так и выше источника загрязнения;
- пробуренные наблюдательные скважины включить в сеть пунктов наблюдений локального мониторинга;
- исключить поступление атмосферных осадков;
- соорудить отвод дождевых и малых вод, стекающих со склона к хранилищу захоронения пестицидов.

Рекомендуемые профилактические мероприятия уменьшат, но не исключат вероятность проникновения загрязняющих веществ в подземные воды. Более эффективными являются специальные мероприятия по охране подземных вод, к которым следует отнести ликвидацию Поставского захоронения непригодных к использованию пестицидов.

O. V. Vasnyova

MODELLING OF PROCESSES OF DISTRIBUTION OF PESTICIDES IN UNDERGROUND WATERS IN TERRITORY OF THE POSTAVSKY BURIAL PLACE

In the article on the basis of data of local monitoring with use of mathematical modeling the estimation is done and the forecast of underground waters quality around the Postavsky burial place of pesticides location unsuitable for use is given.

Results of tests analyses of underground waters testify that on the dry rest, ammonia nitrogen, sulfates exceeded a maximum permissible concentration. Therefore, along with inorganic ones the presence of organic compounds (HCCH, heptachlor) has been revealed, that testifies to running processes of decomposition of the buried pesticides and their migration into under laying horizons.

During creation of mathematical model it is accepted, that the basic polluting migrant is hexo-chlor cyclohexan (HCCH) and its derivatives.

Results of the decision of forecast task by modeling method have shown, that in the first water carrying horizon in 10 years the pollution area of water carrying horizon by pesticides will extend from a burial place to the northwest on the distance of 220 m; to the northeast – on 450 m and to the east on 380 m. In 30 years, in the same horizon, the pollution area will extend to the northwest on the distance of 420 m, to the northeast – on 700 m and to the east – on 800 m. In the second and the third water carrying horizons, for 10 and 30 years, pollution of underground waters will not occur.

On the basis of the carried out researches and results of mathematical modeling of the Postavsky burial place of pesticides it is offered to arrange a number of preventive and special events to protect underground waters:

- to carry out local monitoring of underground waters on a burial place site;*
- to bore extra observation holes, both on the stream of underground waters and above the pollution source;*
- the bored observation wells should be included into a network of local monitoring observation points;*
- to exclude atmospheric precipitation income;*
- to build a rain and a thawed snow waters tap which are flowing down from a slope to a storehouse of pesticides burial place.*

Recommended preventive actions will reduce, but will not exclude a risk of penetration of polluting substances into underground waters. More effective are special events for underground waters protection to which the liquidation of the Postavsky burial place of pesticides unsuitable to use should be referred.

В. А. Ракович

АККУМУЛЯЦИЯ УГЛЕРОДА ЕСТЕСТВЕННЫМИ БОЛОТАМИ БЕЛАРУСИ ПО ПЕРИОДАМ ГОЛОЦЕНА

Выполнена количественная оценка среднегодовой аккумуляции углерода верховыми и низинными естественными болотами Беларуси по периодам голоцен, рассчитанная по ^{14}C и спорово-пыльцевым анализом. Получены данные средней скорости вертикального прироста торфа, среднегодового накопления углерода и сток диоксида углерода из атмосферы в болотные экосистемы для Атлантического, Суб boreального и Субатлантического периодов голоцен.

В процессе фотосинтеза болотные растения выводят углекислый газ из атмосферы и превращают его в органическое вещество. Одновременно углекислый газ, образующийся в процессе дыхания растений, поступает в атмосферу. Разница между поглощением и выделением углерода в двух противоположных процессах идет на прирост органического вещества. При этом его количество зависит от биоклиматических условий и водно-минерального питания растений.

После отмирания растений их биомасса подвергается в поверхностном слое торфяных почв минерализации и гумификации с выделением в атмосферу углекислого газа. Данные процессы осуществляются, главным образом, аэробными микроорганизмами и в меньшей степени абиотическими факторами [1]. Для жизнедеятельности аэробных микроорганизмов помимо питательного субстрата необходим свободный кислород и благоприятное сочетание гидротермических факторов (тепла и влаги).

В условиях болотной среды процесс минерализации органического вещества отмерших растений сдерживается недостатком кислорода для жизнедеятельности аэробных микроорганизмов, поэтому аккумулированное в зеленых растениях органическое вещество не разлагается полностью в течение одного годового биоцикла. По мере нарастания торфяных залежей в них происходит аккумуляция биогенных химических элементов – углерода, кислорода, водорода, азота серы, фосфора, кальция, магния, железа и многих других микроэлементов, входящих в состав растений-торфообразователей и питающих болота вод, а также вод, поступающих с атмосферными осадками. Новые слои торфа переходят из торфогенного слоя в нижележащие, а вместе с ними осуществляется переход химических элементов из биогенного круговорота в геологический. Выполнение болотами межкруговоротной функции обусловлено незамкнутостью годичных биоциклов углерода в болотной среде, благодаря чему ежегодно продуцируемое органическое вещество полностью не разлагается и

постепенно погребается последующими отложениями.

По данным [8, 18, 19, 21, 22], полученным путем постановки балансовых опытов, в болотах ежегодно превращается в торф от 5 до 15 % биомассы, произведенной болотными растениями. По другим данным [20], в разных регионах Европы данная величина варьирует от 6 до 52 %. Это означает, что не весь углерод, выведенный болотными растениями из атмосферы в процессе фотосинтеза, возвращается обратно в атмосферу. Оставшийся углерод в результате неполной минерализации аккумулируется в виде торфа.

Цель исследования – получить количественную оценку аккумуляции углерода на естественных верховых и низинных болотах по периодам голоцен. Эти данные необходимы для ведения отчетности о поглощении диоксида углерода из атмосферы болотными экосистемами, государственного кадастра парниковых газов, подготовки бизнес-планов, инвестиционных проектов, предложений о реализации проектов совместного осуществления.

Объект исследования – верховые и низинные естественные болота, расположенные в различных частях Беларуси.

Расчет удельного показателя ежегодной аккумуляции углерода из атмосферы естественной болотной экосистемой MCO_2 , т/га, вычислялся по формуле

$$\text{MCO}_2 = 10000 \cdot h \cdot \gamma \cdot K_W \cdot K_A \cdot K_C, \quad (1)$$

где 10 000 – переводной коэффициент с m^2 в га; h – ежегодный вертикальный прирост торфяного слоя в субатлантический период, м; γ – плотность торфа в залежи, t/m^3 , рассчитанная согласно (5), (6); K_W – коэффициент влаги, рассчитанный согласно (2); K_A – коэффициент зольности, рассчитанный согласно (3); K_C – коэффициент содержания углерода в органическом веществе, рассчитанный согласно (4).

Коэффициент влаги K_W вычислялся по формуле

$$K_W = \frac{100 - W}{100}, \quad (2)$$

где W – влага торфа, %, определяемая по ГОСТ 11305.

Коэффициент зольности K_A рассчитывался следующим образом:

$$K_A = \frac{100 - A}{100}, \quad (3)$$

где A – зольность торфа, %, определяемая по ГОСТ 11306.

Коэффициент содержания углерода в органическом веществе K_C определялся по формуле

$$K_C = \frac{C}{100}, \quad (4)$$

где С – содержание углерода в органическом веществе, %, определяемое по ГОСТ 2408.1.

При отсутствии данных по плотности торфа γ , т/м³, можно пользоваться зависимостью между плотностью торфа, его влагой и степенью разложения [7].

Для низинного торфа:

$$\gamma = 0,001 \cdot \left(\frac{1400 \cdot R}{100 - W + R} - 4 \cdot R + 60 \right). \quad (5)$$

Для верхового торфа:

$$\gamma = 0,001 \cdot \left(\frac{1700 \cdot R}{100 - W + R} - 5 \cdot R - 90 \right), \quad (6)$$

где 0,001 – перевод с кг/м³ в т/м³; W – влага торфа, %, определяемая по ГОСТ 11305; R – степень разложения торфа, %, определяемая по ГОСТ 28245.

Ежегодный прирост торфяного слоя на болотах различного генезиса устанавливался по абсолютному и относительному возрасту.

Абсолютный возраст образцов определен радиоуглеродным методом путем счета β -активности ^{14}C в бензоле, синтезируемом из углеродсодержащих образцов торфа. Счет β -активности произведен на β -счетчике в течение 10 ч. для каждого образца.

Относительный возраст устанавливался спорово-пыльцевым анализом по сепарационному методу В. П. Гричука [4], при котором использовался статистический учет ископаемых пыльцы и спор в последовательных слоях разных геологических отложений, с дальнейшей обработкой ацетализной смесью. Подсчет пыльцы и спор велся до 500 зерен, а в пробах с их низкой концентрацией – до 300. При этом насчитывалось не менее 150 пыльцевых зерен древесных пород.

Процентные соотношения отдельных групп растений (древесные, кустарничковые породы, травянистые растения, споровые) вычислялись общепринятым способом [4, 11, 14]. При невысоком содержании пыльцы недревесных растений в спектрах для определения процентного соотношения ее отдельных компонентов производился дополнительный подсчет до 75–100 зерен трав и кустарников. Пробы торфа ненарушенной структуры для спорово-пыльцевого анализа отбирались послойно через 5–10 см торфяным буром ТБГ-66.

Расчет балансового стока диоксида углерода из атмосферы в торфяную залежь P_{CO_2} , (т/га) вычислялся по формуле

$$P_{\text{CO}_2} = P_C \cdot K_{\text{C-CO}_2}, \quad (7)$$

где $K_{\text{C-CO}_2}$ – коэффициент перевода углерода в углекислый газ ≈ 3,67.

Для разбиения разрезов залежей торфа по периодам голоцен и определения ежегодного прироста торфяного слоя в субатлантический период, наиболее близкий к современному по климатическим условиям, нами были отобраны образцы с 10 профилей, выполнен спорово-пыльцевой анализ и определен абсолютный возраст образцов в Институте геохимии и геофизики НАН Беларуси, 2 датировки по ^{14}C определены в Институте торфа и болот при университете г. Чаньчунь провинции Цзилинь Китайской Народной Республики (NU 9508, NU 9509). Еще один профиль был заложен и выполнен Г. И. Симаковой. (Мох в пойме р. Нижняя Кривина, Институт геохимии и геофизики НАН Беларуси) [13, 23].

Исследования возраста торфяных залежей [2, 3, 5] показали: наиболее старые из современных торфяных болот Беларуси начали формироваться около 11 000–10 200 лет назад, что, по хронологической периодизации голоцен Н. А. Хотинского [17], соответствует позднему дриасу и предбюреалу. Болота в данный период были малочисленны, небольшие по площади, занимали наиболее углубленные депрессии или начали образовываться путем зарастания небольших мелководных озер. Вследствие сухого и холодного климата болота древнего голоцена представляли собой бессточные и безлесные гипновые топи.

В бореальном периоде (9200–8000 лет назад) произошло заметное потепление климата и увеличилось количество осадков. В связи с этим проточность болот возросла и произошла смена их растительного покрова, что отражено в смене гипнового торфа осоково-гипновым и осоковым. В северной и центральной частях Беларуси на водоразделах часть болот начала переходить в олиготрофную стадию, в то время как в позднем дриасе и предбюреале верховые болота на территории республики не развивались. Это вполне

естественно, так как для формирования верховых болот атмосферный тип водно-минерального питания является определяющим, а климат в древнем голоцене был резко континентальный и сухой.

В результате увеличения количества осадков в бореале на территории Белорусского Полесья в условиях плоского рельефа и водопроницаемых песчаных грунтов произошло поднятие уровня грунтовых вод и началось массовое появление низинных болот. Однако в данный период они были еще небольшими по площади и занимали лишь самые углубленные депрессии.

Наиболее же широкое распространение болотообразовательных процессов на территории республики имело место в атлантический период с нижней границей 8000 лет и верхней границей 4400 лет. В этот промежуток времени, соответствующий климатическому оптимуму голоцена, началось массовое образование верховых болот в северной части Беларуси и в Предполесье, а также низинных болот в центральном Полесье. Верховые болота в Полесье не получили широкого распространения, так как геоморфологические и гидрологические условия здесь обеспечили обильное водно-минеральное питание болотной растительности. Лишь единичные болота Полесья к концу атлантического периода перешли в олиготрофную стадию.

В суб boreale (4400–2500 лет назад) и субатлантике (менее 2500 лет назад) происходило дальнейшее усиление океаничности климата, на что указывает увеличение в торфе пыльцы вла-

голюбивых пород при снижении количества пыльцы пород смешанно-дубового леса. В этот период коэффициент увлажнения в северной части Беларуси существенно превысил 1, в центральной части он был близок к 1, а в южной – продолжал оставаться меньше 1. Это обусловило интенсивное развитие болот олиготрофного типа в северной и центральной частях республики, в то время как в Полесье происходило образование новых низинных болот и интенсивное разрастание вширь ранее возникших здесь очагов заболачивания [2, 3].

Таким образом, болотообразовательные процессы на территории Беларуси были тесно связаны с климатом, его особенностями и изменениями в голоцене. В целом эти процессы развивались с нарастающей интенсивностью, что обусловлено более влажным климатом в голоцене.

По литературным источникам [5, 6, 10, 17] составлена табл. 1, где представлены климатические изменения средней температуры и влажности по периодам голоцена.

Из таблицы видно, что наиболее близкий к современному климату по влажности и средней температуре – субатлантический период голоцена и особенно его последние 600 лет, поэтому по нему мы вычисляли среднюю скорость вертикального торфонакопления и ежегодное накопление отложений $C_{\text{орг}}$.

Данные палинологических исследований и абсолютные датировки (^{14}C) по субатлантическому периоду представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 1. Отклонения средних значений температуры и влажности воздуха по периодам голоцена от современных

Подгоризонт, горизонт	Период	Возраст (лет тому назад)	Средняя температура, °C			Количество осадков, мм
			июль	январь	годовая	
Поздний, голоценовый	SA-3	0–600	–	–	–	–
	SA-2	600–1600	<0,5–1	<0,5–1	<0,5–1	<25–50
	SA-1	1600–2500	>0,5–1	>1–2	>0,5–1,5	>25–50
Средний, голоценовый	SB-2	2500–4000	>0,5–1	>0,5–1	>0,5–1	>50–75
	SB-1	4000–5000	>1	>1–2	>0,5–1,5	>25–50
	AT-3	5000–6000	<1–2	<1–2	<12	<25–50
	AT-2	6000–6600	<1–1,5	<0,5	<0,5–1	<50
	AT-1	6600–8000	<1,5–2	<1,5–2	<1,5–2	<50
Ранний, голоценовый	BO-2	8000–8800	<1	<1	<1	>25
	BO-1	8800–9200	>0,5–1	>1–2	>1,5–2	>50
	PB-2	9200–10000	>1–2	>2–3	>1,5–2	>50
	PB-1	10000–10300	>0,5–1	>1–2	>1–1,5	>25–50
Позднеледниковый, Поозерский	DR-3	10300–10800	>1–2	>5–7	>3–5	>100
	AL	10800–11800	>0,5	>1–3	>1–2	>25–50
	DR-2	11800–12300	>1,5–2	>4–6	>3–4	>75–150
	BL	12300–12700	>0,5–1	>1,5	>1	>75–100

Примечание: «–» значения показателей, близкие к современным.

Таблица 2. Динамика скорости линейного прироста торфа и среднегодовое накопление углерода в биогеоценозах верховых торфяных болот по периодам голоцена

Период голоцена, номер образца по ^{14}C	Среднегодовой прирост торфяного слоя, мм/г.	Среднегодовое накопление отложений C_{opr} , г/м ²	Балансовый сток CO ₂ в болотные экосистемы в пересчете с углерода г/м ² в год
Церковное, Верхнедвинский район Витебская область			
Атлантический	0,37	18,8	69,0
Суб boreальный	0,40	20,3	74,6
Субатлантический	0,50	25,4	93,2
Освейское, Верхнедвинский район Витебская область			
Бореальный	0,46	23,4	85,8
Атлантический	0,43	21,8	80,2
Суб boreальный	0,48	24,4	89,5
Субатлантический	0,50	25,4	93,2
Домжерицкое, Лепельский район Витебская область			
Суб boreальный	0,74	37,6	138,0
Субатлантический	1,07	54,4	199,5
Казине, Крупский район Минская область			
^{14}C (IGSN 1330), Субатлантический	0,94	47,8	175,2
Щенец, Щучинский район Гродненская область			
^{14}C (IGSN 1329), Субатлантический	0,74	37,6	138,0
Докудовское, Лидский район Гродненская область			
^{14}C (IGSN 1193), Субатлантический	0,60	30,5	111,9
Домжерицкое, Лепельский район Витебская область			
^{14}C (NU 9508), Субатлантический	1,07	54,4	199,5
Домжерицкое, Лепельский район Витебская область			
^{14}C (NU 9509), Субатлантический	0,89	45,2	165,9
^{14}C (IGSB 405), Субатлантический	0,57	29,0	106,3

В табл. 4 представлена динамика скорости линейного прироста торфа и ежегодное балансовое накопление углерода в верховых и низинных болотах по периодам голоцена, полученная спрово-пыльцевым методом.

Как видно из табл. 4, самая высокая скорость накопления углерода происходила в Субатлантический период голоцена SA-3 (от настоящего времени до 600 лет тому назад). Для верховых болот эта величина составляет 29,6–61,7 г/м² в год (среднее 43,7 г/м² в год), для низинных болот – 18,6–29,9 г/м² в год (среднее 21,7 г/м² в год). Этот период для нас наиболее важен и для определения ежегодного накопления углерода, а также для прогнозной оценки, так

как климатические условия его наиболее близки к современным (табл. 1).

Не всегда существует зависимость между аккумуляцией органического углерода в торфе и продукцией болотной растительности. Наибольшая скорость аккумуляции углерода в субатлантический период отмечена для моховой группы, наименьшая – для древесной.

Скорость накопления углерода для верховых болот в Суб boreальный период голоцена достигала 20,3–37,6 г/м² в год, для низинных – 11,2–28,9 г/м² в год.

Скорость накопления углерода для верховых болот в Атлантический период голоцена составила 18,8–27,8 г/м² в год, для низинных – 14,5–23,9 г/м² в год.

Таблица 3. Динамика скорости линейного прироста торфа и среднегодовое накопление углерода в биогеоценозах низинных торфяных болот по периодам голоцена

Период голоцена, номер образца по ^{14}C	Среднегодовой прирост торфяного слоя, мм/г.	Среднегодовое накопление отложений $\text{C}_{\text{орг.}}$, г/м ²	Балансовый сток CO_2 в болотную экосистему в пересчете с углерода г/м ² в год
Песчанка, Березовский и Дрогичинский районы Брестская область			
Атлантический	0,26	14,5	53,1
Суб boreальный	0,22	12,2	44,9
Субатлантический	0,48	26,7	97,9
Дикое, Пружанский и Свислочский районы Брестская и Гродненская области			
Скважина 2			
Суб boreальный	0,26	14,5	53,1
Субатлантический	0,28	15,6	57,1
Скважина 5			
Атлантический	0,43	23,9	87,7
Суб boreальный	0,26	14,5	53,1
Субатлантический	0,26	14,5	53,1
Великий Лес, Кобринский и Дрогичинский районы Брестская область			
Скважина 1			
Суб boreальный	0,27	15,0	55,1
Субатлантический	0,29	16,1	59,2
Скважина 2			
Субатлантический	0,30	16,7	61,2
Мох в пойме р. Нижняя Кривина, Бешенковичский и Сенненский районы Витебская область *			
Атлантический	0,29	16,1	59,2
Суб boreальный	0,52	28,9	106,1
Субатлантический	0,37	20,6	75,5
Дикое (скважина 2), Пружанский и Свислочский районы Брестская и Гродненская области			
^{14}C (IGSN 712), Субатлантический	0,33	18,3	67,3
Дикое (скважина 5), Пружанский и Свислочский районы Брестская и Гродненская области			
^{14}C (IGSN 713), Субатлантический	0,36	20,0	73,5
Корытино, Барановичский район Брестская область			
^{14}C (IGSN 1331), Субатлантический	0,48	26,7	97,9
Мох в пойме р. Нижняя Кривина, Бешенковичский и Сенненский районы Витебская область			
^{14}C (IGSB 251), Субатлантический	0,31	17,2	63,2

* Динамика скорости линейного прироста торфа и среднегодовое накопление углерода в низинном болоте Мох в пойме р. Нижняя Кривина получены путем пересчета с пыльцевой диаграммы и абсолютного возраста [13, 23].

Таблица 4. Динамика скорости линейного прироста торфа и среднегодовое накопление углерода в верховых и низинных болотах

Период голоцена	Среднегодовой прирост торфяного слоя, (неопределенность), мм	Среднегодовое накопление отложений $\text{C}_{\text{орг.}}$, (неопределенность по C), г/м ²	Сток CO_2 в болотную экосистему в пересчете с углерода, (неопределенность C– CO_2), г /м ² в год
Верховые болота			
Бореальный	0,49 (0,46–0,53)	24,9 (23,4–27,1)	91,4 (85,9–99,5)
Атлантический	0,47 (0,37–0,54)	24,1 (18,8–27,8)	88,4 (69–102)
Суб boreальный	0,54 (0,4–0,74)	27,4 (20,3–37,6)	100,6 (74,5–138)
Субатлантический	0,76 (0,5–1,24)	38,8 (25,4–54,4)	142,4 (93,2–199,6)
Субатлантический SA-3 (от 0 до 600 лет тому назад)	0,87 (0,52–1,38)	43,7 (29,6–61,7)	160,4 (108,6–226,4)
Низинные болота			
Атлантический	0,32(0,26–0,43)	18,1 (14,5–23,9)	66,4 (53,2–87,7)
Суб boreальный	0,36(0,24–0,52)	18,2(11,2–28,9)	66,8 (41,1–106)
Субатлантический	0,38(0,28–0,48)	19,2 (16,1–26,7)	70,5 (53,1–97,9)
Субатлантический SA-3 (от 0 до 600 лет тому назад)	0,39 (0,31–0,54)	21,7 (18,6–29,9)	79,6 (68,3–109,7)

Как показано в последней таблице, наибольший прирост торфяного слоя и самая высокая скорость накопления углерода были в Субатлантический период голоцен SA-3 в течение последних 600 лет. Это происходит потому, что в верхнем торфогенном слое залежи отмирающая растительность разлагается и гумифицируется в торф постепенно в течение продолжительного временного периода, зависящего от уровня стояния болотных вод. При глубине торфогенного слоя от 20 до 50 см продолжительность пребывания отмерших торфообразователей в нем может составлять от 400 до 1000 лет [3].

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Наиболее близкий к современному климату по влажности и средней температуре – Субатлантический период голоцен и особенно его последние 600 лет, поэтому полученные для него данные значений средней скорости вертикального торфонакопления и ежегодное накопление отложений углерода и балансовый сток

CO_2 из атмосферы в болотные экосистемы наиболее корректны для настоящего времени.

2. На протяжении голоцена от Атлантического периода к современности наблюдается увеличение аккумуляции углерода.

3. Величина скорости аккумуляции углерода для верховых болот в Атлантический период голоцена составила 18,8–27,8 $\text{г}/\text{м}^2$ в год, для низинных – 14,5–23,9 $\text{г}/\text{м}^2$ в год.

4. Величина скорости аккумуляции углерода для верховых болот в Суббореальный период голоцена оценивается 20,3–37,6 $\text{г}/\text{м}^2$ в год, для низинных – 11,2–28,9 $\text{г}/\text{м}^2$ в год.

5. Величина скорости аккумуляции углерода для верховых болот в Субатлантический период голоцена достигала 25,4–54,4 $\text{г}/\text{м}^2$ в год, для низинных – 16,1–26,7 $\text{г}/\text{м}^2$ в год.

6. Для последних 600 лет Субатлантического периода балансовый сток CO_2 из атмосферы в болотные экосистемы верхового типа составил 108,6–226,4 $\text{г}/\text{м}^2$ в год (среднее 160,4 $\text{г}/\text{м}^2$ в год), низинного – 68,3–109,7 $\text{г}/\text{м}^2$ в год (среднее 79,6 $\text{кг}/\text{га}$ в год).

Л и т е р а т у р а

1. Бамбалов Н. Н. Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения. Минск, 1984.
2. Бамбалов Н. Н., Дубовец А. Г., Беленький С. Г. Болотообразовательные процессы на территории Белоруссии // Проблемы Полесья. Минск, 1990. Вып.13. С. 75–90.
3. Бамбалов Н. Н., Ракович В. А. Роль болот в биосфере. Минск., 2005.
4. Гричук В. П., Заклинская Е. Д. Анализ ископаемой пыльцы спор и его применение в палеогеографии. М., 1948.
5. Еловичева Я. К. Палинология позднеледниковых и голоценов Белоруссии. Минск, 1993.
6. Климанов В. А. Связь субфоссильных спорово-пыльцевых спектров с современными климатическими условиями // Изв. АН СССР. Сер геогр. 1981. № 5. С. 101–114.
7. Лиштван И. И., Терентьев А. А., Базин Е. Т., Головач А. А. Физико-химические основы технологии торфяного производства. Минск, 1983.
8. Лукошко Е. С., Бамбалов Н. Н., Хоружик А. В. и др. Ход торфообразовательного процесса в естественных условиях // Заповедники Белоруссии. 1986. № 10.
9. Меншиков Е. С. Некоторые данные о химическом составе и свойствах русских торфов // Торфяное дело. 1924. № 5–6.
10. Нейштадт М. И. История лесов и палеография СССР в голоцене. М., 1957.
11. Пыльцевой анализ / Под ред. И. М. Покровской. М., 1950.
12. Семенский Е. П. Технический анализ торфа. М., 1966.
13. Симакова Г. И., Павлова И. Д. Особенности палеогеографии территории Кривинского торфяного массива в позднеледниковые и голоцен // Докл. НАН Беларуси. 1999. Т. 43, № 5. С.98–101.
14. Сладков А. Н. Введение в спорово-пыльцевой анализ. М., 1967.
15. Тюремнов С. Н. Торфяные месторождения и их разведка. М. 1949.
16. Успенский Н. Н. О теплотворной способности и зольности русских торфов // Тр. Инсторфа, Минск.1928. Вып. 1.
17. Хотинский Н. А. Голоцен Северной Евразии. М. 1977.
18. Clymo, R. S. The limits to peat bog growth. Transactions of the Royal Society of London B, 303. 1984. Р.. 605–654.
19. Francez, A.- J. and Vasander, H. Peat accumulation and peat decomposition after human disturbance in French and Finnish mires. Acta oecologica 16. 1995. P. 599–608.
20. Franzen L.G. Can Earth afford to lose the wetlands in the battle against increasing greenhouse effect? // Proc. the 9-th International Peat Congress, volume 1. 1992.P. 1–18.
21. Gorham, E. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. Ecological Applications 1. 1991. P. 182–195.
22. Moore, P.D. Ecological and hydrological aspects of peat formation. In: Scott, A. C. (Eds.) Coal and Coal-Bearing Strata: Recent Advances. Blackwell Scientific, Oxford, 1987. P. 7–15.

23. Simakova G. Peculiarities of the palaeogeography in the vicinity of the Krivina peat-bog in the Late Glacial and Holocene. Acta Palaeobot. Suppl. 2. 1999. P. 609–614

Институт природопользования НАН Беларуси

B. A. Ракович

АККУМУЛЯЦИЯ УГЛЕРОДА ЕСТЕСТВЕННЫМИ БОЛОТАМИ БЕЛАРУСИ ПО ПЕРИОДАМ ГОЛОЦЕНА

Выполнена количественная оценка среднегодовой аккумуляции углерода верховыми и низинными естественными болотами Беларуси по периодам голоцена, рассчитанная по ^{14}C и спорово-пыльцевым анализом.

Установлено, что ежегодная аккумуляция углерода у различных типов торфа увеличивается от Атлантического периода голоцена к Суб boreальному и Субатлантическому.

Величина скорости накопления углерода для верховых болот в Атлантический период голоцена составила 18,8–27,8 г/м² в год, в Суб boreальный – 20,3–37,6 г/м² в год, в Субатлантический – 25,4–54,4 г/м² в год.

Величина скорости накопления углерода для низинных болот в Атлантический период голоцена достигала 14,5–23,9 г/м² в год, в Суб boreальный – 11,2–28,9 г/м² в год, в Субатлантический – 16,1–26,7 г/м² в год.

Полученные для Субатлантического периода голоцена и особенно его последних 600 лет данные средней скорости вертикального торфонакопления, ежегодного накопления отложений углерода и балансовый сток диоксида углерода из атмосферы в болотные экосистемы наиболее корректны, так как климат этого периода наиболее близок к современному. Ежегодный прирост торфяного слоя больше для болот верхового типа (0,52–1,38 мм), чем для низинного (0,31–0,54 мм). Соответственно и ежегодное накопление углерода больше для болот верхового типа (29,6–61,7 г/м²), чем для низинного (18,6–29,9 г/м²). Балансовый сток CO₂ из атмосферы в болотные экосистемы верхового типа составил 108,6–226,4 г/м² в год (среднее 160,4 г/м² в год), низинного – 68,3–109,7 г/м² в год (среднее 79,6 г/м² в год).

V. A. Rakovich

CARBON ACCUMULATION BY NATURAL BOGS OF BELARUS REGARDING THE HOLOCENE PERIODS

The quantitative estimation of annual accumulation of carbon raised bogs and natural fens of Belarus regarding the Holocene periods calculated for ^{14}C and spore-pollen analysis has been executed.

It has been found that annual accumulation of carbon at various types of peat increases from the Atlantic Holocene period to Sub-boreal and Sub-Atlantic.

The scope of carbon accumulation rate for raised bogs during the Atlantic Holocene period has made 18,8–27,8 g/m² in a year, in Sub-boreal – 20,3–37,6 g/m² in a year, in Sub-Atlantic – 25,4–54,4 g/m² in a year.

The scope of carbon accumulation rate for fens in the Atlantic Holocene period reached 14,5–23,9 g/m² in a year, in Sub-boreal – 11,2–28,9 g/m² in a year, in Sub-Atlantic – 16,1–26,7 g/m² in a year.

The obtained for Sub-Atlantic Holocene period and especially its last 600 years data of average speed of vertical peat accumulation, annual accumulation of adjournment of carbon and a balance deposits of carbon dioxide from the atmosphere in marsh ecosystems are most correct, as the climate of this period is closest to the modern one. The annual gain of a peat layer is higher for bogs of raised bog type (0,52–1,38 mm), than for fen (0,31–0,54 mm). Thus the annual carbon accumulation is higher for raised bogs type (29,6–61,7 g/m²), than for a fen one (18,6–29,9 g/m²). Balance drain of CO₂ from the atmosphere into marsh ecosystems of raised bog type has made 108,6–226,4 g/m² in a year (an average 160,4 g/m² in a year), a fen – 68,3–109,7 g/m² in a year (an average 79,6 g/m² in a year).

В. А. Ракович, Н. В. Молокова, Т. В. Селивончик**ОЦЕНКА ПОТЕРИ УГЛЕРОДА И ЭМИССИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Выполнена количественная оценка среднегодовой потери углерода и эмиссии диоксида углерода с нарушенных торфяных месторождений различных типов. Получены данные по потерю углерода и эмиссии диоксида углерода при различном зарастании выработанных торфяных месторождений.

В Беларуси существует три группы антропогенно нарушенных болот: первая – выработанные полностью или частично торфяные месторождения, вторая – осушенные для разработки, но не разрабатывавшиеся торфяные месторождения, и третья – мелиорированные торфяные почвы для сельского и лесного хозяйства.

Основным и обязательным признаком нарушенности болотных экосистем является изменение естественной структуры торфяных залежей в результате осушения, усадки, минерализации органического вещества, эрозии, добычи торфа и так далее как следствие изменения природной среды их существования.

Вывод диоксида углерода из атмосферы болотными экосистемами прекращается после осушения торфяных залежей.

После осушения в торфяных залежах увеличиваются зоны биогенного круговорота, и процессы минерализации органического вещества начинают преобладать над его поступлением. Вследствие этого организмы, разрушающие торф, потребляют кислород из атмосферы для окисления органического вещества торфа, а в атмосферу выделяют конечный продукт минерализации – диоксид углерода.

Чем ниже уровень грунтовых вод, тем в большей зоне идут процессы биохимической минерализации торфа с выделением в атмосферу углекислого газа. Образующиеся при этом водорастворимые соединения типа фульвокислот и другие выносятся водными потоками за пределы торфяной залежи.

Такие процессы имеют место, например, на выработанных торфяных месторождениях, когда после завершения добычи остаточный слой торфа сохраняется в осушенному состоянии, подвергаясь биологическому и химическому окислению вплоть до полного его разложения и выхода на дневную поверхность подстилающих минеральных пород.

Цель исследования – получить количественную оценку потерь углерода и эмиссии диоксида углерода с выработанных торфяных месторождений. Эти сведения необходимы для ведения отчетности об эмиссии диоксида углерода в

атмосферу с выработанных торфяных месторождений, государственного кадастра парниковых газов, подготовки бизнес-планов, инвестиционных проектов, предложений о реализации проектов совместного осуществления, иных мероприятий по смягчению воздействия на климат и охране атмосферного воздуха, предусмотренных законодательством Республики Беларусь.

Объект исследования – выработанные торфяные месторождения, расположенные в различных регионах Беларуси.

Ежегодная эмиссия углекислого газа в атмосферу с 1 га выработанных, но неиспользуемых в сельском и лесном хозяйствах торфяных месторождений, зависит от типологического состояния торфяного месторождения, уровня грунтовых вод, современной растительности. Минерализация торфяной залежи зависит от влажности, температуры и аэрации торфяного слоя.

Картина выбросов CO_2 с территории заброшенных торфяников варьирует в зависимости от методов восстановления, интенсивности дыхания почвы и возобновления растительности [11, 15, 17]. Таким образом, она весьма зависит от местных условий и специфична для каждого конкретного случая.

А. З. Барановский в своих исследованиях [1, 2] получил на маломощной осушеннной целинной низинной торфяно-болотной почве ежегодные потери торфа, достигавшие 15,2 т/га сухого вещества, что в пересчете составляет потерю $\text{C}_{\text{орг.}}$ до 5,3 т/г и эмиссию до 19,5 т/га диоксида углерода. Потери торфа уменьшались с увеличением насыщения торфяной залежи водой и уменьшением аэрации. Максимальные потери торфа были при влажности 70–80 % от полной влагоемкости, аэрации 20–30 % от объема, температуре 25–35 °C.

В работах [10, 12–14, 16] для умеренной климатической зоны приводятся коэффициенты эмиссии для слабоосушенных низинных (богатых питательными веществами) торфяников – 0,03–2,9 т $\text{C}/\text{га год}$ (0,11–10,6 т $\text{CO}_2/\text{га год}$), для верховых (бедных питательными веществами) – 0–0,63 т $\text{C}/\text{га}$ в год (0–2,3 т $\text{CO}_2/\text{га в год}$).

При расчете эмиссии диоксида углерода в атмосферу с выработанных торфяных месторождений можно использовать уравнение

$$\text{ЭCO}_2 = ((\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 - \Delta C_{\text{пр}}) K_{\text{CO}_2}) \cdot S,$$

где \mathcal{E}_1 – выбросы CO_2 -С из выработанного торфяного месторождения с 1 га; \mathcal{E}_2 – вынос $C_{\text{орг}}$ стоковыми болотными водами с 1 га; $\Delta C_{\text{пр}}$ – прирост углерода за счет прироста растительной биомассы; K_{CO_2} – коэффициент перевода углерода в углекислый газ $\approx 3,67$; S – площадь осущенных торфяных месторождений, га.

Замеры поглощения/эмиссии диоксида углерода с нарушенных болот для количественной оценки источников и стоков диоксида углерода проводились непосредственно на опытных площадках 1 раз в 3–4 недели в трехкратной последовательности камерно-статическим методом с помощью портативного газоанализатора IRGA EGM-4 (Великобритания) с оптическим датчиком ИК-излучения (рис. 1). Газоанализатор портативный, вес 1,5 кг, абсолютная погрешность менее

1 % от измеряемой величины. Имеет встроенную память 512 Кбт, что позволяет записать до 1000 измерений. Имеется также возможность подключения к компьютеру. Непрерывная работа от аккумулятора не менее 8 ч. С помощью прибора выполнялись измерения температуры почвы в 5–10-санитметровом слое, относительной влажности, температуры воздуха, атмосферного давления, активной фотосинтетической радиации, концентрации диоксида углерода, течения CO_2 в единицу времени с единицы площади.

Для получения балансовых оценок источников и стоков CO_2 измерения проводились на разрабатываемых и выработанных мониторинговых площадках как в разные периоды суток (ночь, утро, день, вечер), так и в разные периоды года (весна, лето, осень, зима).

В табл. 1 представлены коэффициенты потери углерода и выбросов диоксида углерода из выработанных и неиспользуемых в народном хозяйстве торфяных месторождений.



Рис. 1. Газоанализатор EGM-4

Таблица 1. Коэффициенты выбросов CO_2 -С из выработанных и неиспользуемых торфяных месторождений

Современное состояние торфяника	Тип торфяника	Потери углерода, т $C_{\text{орг}}$ /га в год	Эмиссия CO_2 в атмосферу, т CO_2 /га в год
Зарос травяно-моховой растительностью	Верховой	0,9–2,7 (1,6)	3,3–9,9 (5,8)
Зарос древесно-кустарниковой растительностью		-0,3–1,2 (0,8)	-1,2–4,4 (2,9)
Незараставший участок		0,8–3,6 (2,6)	2,9–13,2 (9,5)
Зарос травяной растительностью	Низинный	1,2–3,5 (2,7)	4,4–12,8 (9,9)
Зарос древесно-кустарниковой растительностью		-0,41–0,38 (-0,2)	-1,5–1,4 (-0,8)
Незараставший участок		1,4–5,6 (3,9)	5,1–20,6 (14,3)

Примечание: в скобках указано среднее значение.

Средние потери углерода для древесно-кустарниковых участков складывались из потерь от минерализации торфяной залежи и среднего прибавления углерода от прироста растительной биомассы.

Как видно из табл. 1, в зависимости от характера растительного покрова, уровней грунтовых вод и подстилающих пород потери углерода на выработанных торфяных месторождениях низинного типа колеблются в пределах (-0,41)–5,6 т С/га в год, верхового – (-0,3)–3,6 т С/га в год.

При осушении лесных торфяников надземная ежегодная продукция древостоя и напочвенного покрова ассоциаций сосновых олиготрофных (верховых) болот не превышает 4,1, мезотрофных – 6,7 и евтрофных (низинных) – 10,3 т/га в год. Березняки при осушении имеют продукцию до 11,5, ельники – 13,8 т/га в год [3].

Наибольшие ежегодные потери углерода для выработанных незараствающих участков верховых торфяных месторождений составили 0,8–3,6 (среднее – 2,6 т С_{орг.}/га в год), низинных – 1,4–5,6 (среднее – 3,9 т С_{орг.}/га в год).

Эмиссия диоксида углерода для выработанных незараствающих участков верховых болот достигала 2,9–13,2 (среднее – 9,5 т СО₂/га в год), низинных – 4,4–20,6 (среднее – 14,3 т СО₂/га в год).

Ежегодные потери углерода для выработанных заросших травяной растительностью участков верховых торфяных месторождений составили 0,9–2,7 (среднее – 1,6 т С_{орг.}/га в год), низинных – 1,2–3,5 (среднее – 2,7 т С_{орг.}/га в год).

Эмиссия диоксида углерода для выработанных заросших травяной растительностью

участков верховых торфяных месторождений достигала 3,3–9,9 (среднее – 5,8 т СО₂/га в год), низинных – 4,4–12,8 (среднее – 9,9 т СО₂/га в год).

Среднегодовые потери углерода для выработанных заросших древесно-кустарниковой растительностью участков верховых торфяных месторождений оценивались в 0,8 т С_{орг.}/га в год, низинных – (-0,2) т С_{орг.}/га в год, т.е. в низинных осушенных и заросших древесно-кустарниковой растительностью участках торфяных месторождений происходило увеличение органического углерода за счет прироста растительной биомассы.

Среднегодовая эмиссия диоксида углерода для выработанных заросших древесно-кустарниковой растительностью участков верховых торфяных месторождений составила 2,9 т СО₂/га в год, низинных болот – (-0,8) т СО₂/га в год, т.е. в низинные осушенные и заросшие древесно-кустарниковой растительностью участки торфяных месторождений совершился сток диоксида углерода.

На осушенных торфяниках, где остаточный слой торфа подстилается сапропелем или торфосапропелем, формируется контрастный амфибийный водно-воздушный режим с резкой сменой окислительных и восстановительных процессов в зависимости от погодных условий. Эти участки в течение десятилетий не зарастают, и в результате водной, воздушной эрозии и минерализации слой торфа уменьшается на 1 см и более в год, что эквивалентно ежегодным выбросам в атмосферу 20 т/га и более диоксида углерода (рис. 2, а, б).



Рис. 2. Незараставшие многие годы участки с остаточным слоем торфа, подстилаемым сапропелем или торфосапропелем:

а – торфяное месторождение Каролины Несвижского района Минской области;
б – торфяное месторождение Бельмонт Браславского района Витебской области

Количественная оценка выноса углерода и соответствующего ему диоксида углерода болотными водами осущеных торфяников. При осушении и освоении торфяных месторождений изменяется водно-воздушный режим, направление торфообразовательных процессов, усиливается кругооборот веществ и разложение ОВ, вымываются легкорастворимые соединения. Кроме того, со стоковыми болотными водами выносится большое количество органических и минеральных соединений; изменяются качественные характеристики как торфяно-болотных вод, так и водо-приемников; уменьшается количество ОВ гумусового происхождения, но растет содержание неспецифических ОВ, возрастает минерализация вод осущеных болотных массивов.

В процессе разложения растительных остатков и торфа происходит поступление органических веществ в водные растворы торфяных почв. Концентрация ОВ в растворе зависит как от интенсивности разложения материала, так и от соотношения процессов минерализации и гумификации [9]. При осушении торфяной залежи потери ОВ торфа пропорциональны количеству удаленной воды, содержанию в ней растворенных веществ и взвешенных частиц [5].

В природных торфяных водах низинного типа преобладающими являются ионы кальция и гидрокарбонатный, в водах осущеных и освоенных участков – кальций и сульфатный. Химический состав вод зависит от геоморфологии торфяника. Вынос минеральных и органических веществ с торфяного месторождения низинного типа составляет 1,0–1,5 т/га в год, из которых 550–825 кг/га в год – минеральные вещества, 450–675 кг/га в год – органические. [4, 7, 8].

Таблица 2. Количественная оценка выноса углерода и соответствующего ему диоксида углерода болотными водами осущеных торфяников

Тип торфяного месторождения	Вынос органических веществ с водой, т ОВ/га в год	Вынос С _{орг} , т С/ га год	Предполагаемое выделение CO ₂ в пересчете с C _{орг} , т CO ₂ / га в год
Верховой	0,24–0,46	0,133–0,26 (0,2)*	0,49–0,94 (0,72)*
Низинный	0,45–0,675	0,263–0,39 (0,33)*	0,966–1,45 (1,2)*

* В скобках указано среднее значение по типу.

Ежегодно с 1 га осущенного низинного торфяного месторождения водами выносится в 1,7 раз больше С_{орг} (0,33 т С_{орг} /га в год), чем поступает в 1 га естественного низинного торфяного болота (0,19 т С_{орг} /га в год) в процессе фотосинтеза.

Ежегодно с 1 га осущенного верхового торфяного месторождения водами выносится почти в 2 раза меньше С_{орг} (0,2 т С_{орг} /га год), чем поступает в 1 га естественного верхового торфяного болота (0,39 т/га в год).

Ежегодно с 1 га осущенного низинного торфяного месторождения водами выносится в 1,65 раз больше С_{орг} (0,33 т С_{орг} /га в год), чем с осущенного верхового торфяного месторождения (0,2 т С_{орг}/га в год).

На осущеной и разрабатываемой торфяной залежи верхового типа Оршинский Моз с увеличением сроков осушения от 2 до 19 лет в 1,5–2 раза возрастает минерализация вод (19,8–34,0 мг/л), цветность 398–787°, а бихроматная окисляемость достигает 193–327 мг/л [6, 7]. При осушении и промышленной разработке торфяных месторождений верхового типа по осушительным каналам ежегодно сбрасывается около 620 т органического углерода, в основном в виде растворенных гуминовых веществ [6]. По данным [7], в 1976 г. с осущенного участка площадью в 1350 га болотным стоком было вынесено 323 т органических и 43 т взвешенных веществ. По расчетам [7], в 1978 г. за период наблюдений (с 25 мая по 5 августа) болотным стоком было вынесено 105 т суммарного количества минеральных и органических веществ, 81 т растворенных и 4,5 т взвешенных органических веществ. При пересчете на сток за 1 год эти величины значительно увеличиваются.

В статье [7] отмечено влияние метеорологических факторов на интенсивность выноса, так как расход воды и химический сток по сезонам года не остаются постоянными. Также важную роль играет срок осушения. С полей добычи фрезерного торфа, осущенных 19 лет назад, выносится в 2,5 раза больше растворенных органических и почти в 5 раз взвешенных веществ, чем с осущенных 5 лет назад.

В табл. 2 обобщены литературные данные [4, 6, 7, 8] и выполнена количественная оценка выноса углерода и соответствующего ему диоксида углерода болотными водами осущеных торфяников различных типов.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Наименьшие ежегодные потери углерода и выбросы диоксида углерода с выработанных торфяных месторождений наблюдаются для участков заросших древесно-кустарниковой растительностью.

2. Средние ежегодные потери углерода и выбросы диоксида углерода с выработанных торфяных месторождений наблюдаются для участков заросших травяной и травяно-моховой растительностью.

3. Наибольшие ежегодные потери углерода и выбросы диоксида углерода с выработанных торфяных месторождений наблюдаются на незаразающих участках.

Л и т е р а т у р а

1. **Барановский А. З.** Влияние использования торфяно-болотных почв на сработку торфа и урожай сельскохозяйственных культур // Почвоведение. 1981. № 2. С. 105–115.
2. **Барановский А. З.** Роль сельскохозяйственных культур в продлении жизни мелиорированных торфяников // Проблемы Полесья. Минск, 1981. Вып. 7. С. 66–72.
3. **Валетов В. В.** Фитомасса и первичная продукция безлесных и лесных болот. Ч. 2. Мн., 1992.
4. **Крайко В. М.** Состав торфяно-болотных вод и методы их очистки при освоении торфяных месторождений: Дис. ... канд. техн. наук. Минск, 1985.
5. **Кудельский А. В., Фадеева М. В., Шиманович В. М.** О влиянии осушительных мелиораций на изменение химического состава грунтовых вод // Докл. АН БССР. 1973. Вып. 17. № 7. С. 68–651.
6. **Ларгин И. Ф., Пальмин И. А., Ненастьева Г. В., Зеленая О. А.** Исследование химического состава и свойств вод стока с разрабатываемого торфяного месторождения верхового типа // Торф. промстность. 1976. № 11. С. 8–10.
7. **Лиштван И. И., А. В. Быстрая, Гращенко В. М., Терентьев А. А.** и др. Результаты изучения изменений качественных характеристик воды в процессе проведения осушительных мелиораций торфяных месторождений // Проблемы Полесья. 1981 № 7. С. 134–159.
8. **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. Минск, 1998. С. 114.
9. **Скрынникова И. Н.** Почвенные процессы в окультуренных торфяных почвах. М., 1961.
10. **Alm J., Saario S., Nykanen H.** et al. Winter CO₂, CH₄, and N₂O Fluxes on Some Natural and Drained Boreal Peatlands. Biogeochemistry 44: (1999). P. 163–186.
11. **Komulainen V-M., Tuittila E-S., Vasander H., Laine J.** Restoration of Drained Peatlands in Southern Finland: Initial Effects on Vegetation Change and CO₂ Balance. J. Appl. Ecol. (1999). 36. P. 634–648.
12. **Laine J., Silvola, J., Tolonen K.** et al. Effect of Water-Level Drawdown on Global Climatic Warming--Northern Peatlands. Ambio. 25: (1996). P. 179–184.
13. **Lustra Land-use Strategies for Reducing Net Greenhouse Gas Emissions.** Annual Report 2002 Uppsala, Sweden. (2002).
14. **Minkkinen K., Korhonen R., Savolainen I., Laine J.** Carbon Balance and Radiative Forcing of Finnish Peatlands 1990–2100 the Impact Forestry Drainage. Global Change Biology 8: (2002). P. 785–799.
15. **Petrone R. M., Waddington J. M., Price J. S.** Ecosystem-Scale Flux of CO₂ From a Restored Vacuum Harvested Peatland. Wetlands Ecology and Management 11: (2003). P. 419–432.
16. **Sundh I., Nilsson M., Mikkala C.** et al. Fluxes of Methane and Carbon Dioxide on Peat-Mining Areas in Sweden. Ambio. 29: (2000). P. 499–503.
17. **Waddington J. M., McNeil P.** Peat Oxidation in an Abandoned Cutover Peatland. Can.J.Soil Sci. 82 (2002). P. 279–286.

Институт природопользования НАН Беларуси

В. А. Ракович, Н. В. Молокова, Т. В. Селивончик

ОЦЕНКА ПОТЕРИ УГЛЕРОДА И ЭМИССИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Выполнена количественная оценка среднегодовой потери углерода и эмиссии диоксида углерода с нарушенных торфяных месторождений различных типов.

Установлено, что наименьшие ежегодные потери углерода с выработанных торфяных месторождений отмечаются для участков заросших древесно-кустарничковой растительностью. Для низинных участков они составляют (-0,41)–0,38 т/га, для верховых – (-0,3)–1,2 т/га.

Средние ежегодные потери углерода наблюдаются для участков заросших травяной и травяно-моховой растительностью. Для низинных участков они составляют 1,2–3,5 т/га, для верховых – 0,9–2,7 т/га.

Наибольшие ежегодные потери углерода имеют место для незараставших участков. Для низинных участков они составляют 1,4–5,6 т/га, для верховых – 0,8–3,6 т/га.

Соответственно и среднегодовые выбросы диоксида углерода – наименьшие для участков, заросших древесно-кустарничковой растительностью. Для низинных участков они составляют (-1,5)–1,4 т/га, для верховых – (-1,2)–4,4 т/га.

Средние ежегодные выбросы диоксида углерода наблюдаются для участков заросших травяной и травяно-моховой растительностью. Для низинных участков они составляют 4,4–12,8 т/га, для верховых – 3,3–9,9 т/га.

Наибольшие ежегодные выбросы диоксида углерода отмечаются для участков заросших травяной и травяно-моховой растительностью. Для низинных участков они составляют 5,1–20,6 т/га, для верховых – 2,9–13,2 т/га.

Результаты работы могут быть использованы для ведения государственного кадастра парниковых газов.

V. A. Rakovich, N. V. Molokova, T. V. Selivonchik

ESTIMATION OF CARBON LOSSES AND CARBON DIOXIDE EMISSION FROM CUTOVER PEAT DEPOSITS

The quantitative estimation of annual loss of carbon and carbon dioxide emissions from the broken peat deposits of various types has been executed.

It has been revealed, that the least annual losses of carbon from the developed peat deposits are marked for sites overgrown with woody-bush vegetation. For low-land mires they make (-0,41)–0,38 т/hectares, for raised bogs – (-0,3)–1,2 т/hectares.

Average annual losses of carbon are observed for sites overgrown with grassy and grassy-moss vegetation. For low-land mires they make 1,2–3,5 т/hectares, for raised bogs – 0,9–2,7 т/hectares.

The greatest annual losses of carbon take place for non-overgrown sites. For low-mires sites they make 1,4–5,6 т/hectares, for raised bogs – 0,8–3,6 т/hectares.

Accordingly, annual carbon dioxide emissions is the least for the sites which have overgrown with woody-bush vegetation. For low-mire sites they make (-1,5)–1,4 т/hectares, for raised bogs – (-1,2)–4,4 т/hectares.

Average annual carbon dioxide emissions are observed for sites overgrown with grassy and grassy-moss vegetation. For low-mire sites they make 4,4–12,8 т/hectares, for raised bogs – 3,3–9,9 т/hectares.

The greatest annual carbon dioxide emissions are marked for sites with grassy and grassy-moss vegetation. For low-mire sites they make 5,1–20,6 т/hectares, for raised bogs – 2,9–13,2 т/hectares.

Results of the work can be used for the State GHG cadastre.

Н. И. Тановицкая, О. Н. Ратникова

ОСОБЕННОСТИ СТРАТИГРАФИИ ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ ВЕРХОВЫХ БОЛОТ ЗАПАДНО-ПООЗЕРСКОЙ ТОРФЯНО-БОЛОТНОЙ ОБЛАСТИ

Приведены результаты исследований генезиса и стратиграфии торфяных залежей верховых болот Западно-Поозерской торфяно-болотной области на примере торфяных месторождений Ельня, Стречно, Долбенишки, Моховое, Болото Мох, Домжерицкое и Дубатовка. Показана зависимость особенностей формирования торфяных залежей от геоморфологических и гидрологических условий развития торфяных месторождений в этой области.

В Западно-Поозерской области насчитываются 184 торфяных месторождения верхового типа площадью в нулевых границах 118 250 га, что составляет 12 % от общего количества месторождений верхового типа Республики Беларусь [1].

В рельефе Западно-Поозерской области преобладают обширные озерно-ледниковые низины в сочетании с холмисто-моренным и холмисто-моренно-озерным рельефом. Поверхностные отложения представлены ленточными глинами, валунными суглинками, песками и гравийно-галечными осадками валдайского ледника. Почвы области в основном дерново-подзолистые, супесчаные и суглинистые, развивающиеся на грунтах тяжелого гранулометрического состава. В речных долинах и других понижениях рельефа преобладают дерново-аллювиальные и торфяно-болотные почвы [1]. Наличие обширных низин, сложенных водоупорными грунтами, обусловило развитие большого количества крупных торфяных месторождений верхового типа.

Общие вопросы генезиса болот и стратиграфии торфяных залежей изучались учеными А. П. Пидопличко, В. С. Доктуровским, М. А. Конойко, С. Н. Тюремновым, М. Н. Никоновым, А. Г. Дубовцом, С. Г. Беленьким, однако зависимости особенностей развития торфяных залежей верховых болот Западно-Поозерской области от геоморфологических условий залегания и гидрологических характеристик изучены недостаточно. В связи с этим целью данной работы является выявление общих закономерностей формирования залежей торфяных месторождений верхового типа Западно-Поозерской торфяно-болотной области и зависимости особенностей их стратиграфии от геоморфологических, гидрологических условий развития болот, расположенных в различных геоморфологических районах.

При проведении исследований использовались материалы изысканий торфяных месторождений разных лет Государственного предприятия «Белгосгеоцентр». В процессе полевых работ первоначально проводилось рекогносцировочное обследование болота. При этом исследовался его водный режим, геологические и ге-

морфологические особенности места расположения болота. Дальнейшее изучение болота проводилось вдоль стратиграфических профилей, местоположение и ориентировка которых намечались еще на рекогносцировочном этапе. Вдоль линии профиля закладывались пункты отбора проб (Пб). При этом количество пунктов на каждом профиле определялось его протяженностью: в среднем от 2 до 4. Описание стратиграфического разреза производилось по общепринятым правилам с обязательной индексацией отметок поверхности и дна болота. Производился замер уровня грунтовых вод, мощности торфяной залежи; для последующих лабораторно-аналитических работ, пробоотборником отбирались послойные образцы торфяной залежи.

Торфяные месторождения Долбенишки 705 (кадастровый номер), Ельня 197, Стречно 204, Моховое 6, Болото Мох 190, Домжерицкое 993 и Дубатовка 36 относятся к Западно-Поозерской области Северного торфяно-болотного региона республики (рис. 1). Общая характеристика торфяных месторождений представлена в табл. 1 [2].

Согласно геоморфологическому районированию, территория расположения торфяных месторождений Ельня, Стречно, Долбенишки и Болото Мох приурочена к Полоцкой ледниково-озерной низине [3].

Самый большой по площади геоморфологический район Белорусского Поозерья со всех сторон окружен ледниковыми возвышенностями, что и определило особенности его формирования и строения. Ледниково-озерный рельеф данного района возник под воздействием Поозерского оледенения и процессов, связанных с его отступлением и таянием.

В период отступления поозерского ледника в связи с аккумуляцией ледниковых вод в данном геоморфологическом районе образовался обширный Дисненский приледниковый бассейн. На дне его откладывались ленточные глины и алевриты, в прибрежной зоне – тонко- и мелкозернистые пески и гравийно-галечный материал. Развитие речной сети привело к частичному спуску водоемов и образованию заболоченной низины.

Таблица 1. Общая характеристика торфяных залежей исследуемых болот Западно-Поозерской торфяно-болотной области [2]

Название торфяного месторождения, кадастровый номер	Средняя и максимальная глубина торфа, м	Тип залежи, %	Средняя степень разложения (R), %	Средняя зольность (A^c), %	Площадь торфяного месторождения в нулевых границах, га	Первоначальные запасы торфа, тыс. м ³	Водораздельный тип залегания, группа	
Полоцкая ледниково-озерная низина								
Ельня, 197	3,8 / 8,3	B* 96 C 1 H 3	22 22 22	2,4 9,7 5,8	19 984	636 297	Междуречных впадин ложбинного характера	
Стречно, 204	2,8 / 5,6	B 100	24	1,9	3 961	92 428		
Долбенишки, 705	3,6 / 8,0	B 100	25	2,1	4 763	161 507		
Болото Мох, 190	3,8 / 7,6	B 85 П 15	25 28	2,8 4,8	4 376	144 963	Бессточных котловин	
Вилейская моренно-водно-ледниковая низина								
Дубатовка, 36	3,4 / 6,3	B 95 H 5	28 28	3,2 9,0	644	17 800	Междуречных впадин ложбинного характера	
Нарочанская водно-ледниковая равнина								
Моховое, 6	3,8 / 7,4	B 80 C 10 П 5 H 5	24 33 35 44	3,1 7,7 5,3 7,9	1 319	37 262		
Верхнеберезинская водно-ледниковая равнина								
Домжерицкое, 993	2,4 / 6,9	B 37 C 9 П 26 H 28	23 26 25 28	5,0 10,0 6,4 9,9	10 906	225 377	Бессточных котловин	

*В – торфяная залежь верхового типа, С – торфяная залежь смешанного типа, П – торфяная залежь переходного типа, Н – торфяная залежь низинного типа.



О6 – торфяное месторождение и его кадастровый номер

Рис. 1. Схема расположения торфяных месторождений верхового типа Западно-Поозерской торфяно-болотной области

Торфяное месторождение Дубатовка расположено на территории Вилейской моренноводно-ледниковой низины. В центральной наиболее пониженной части района Вилейской ни-

зины развита плоская заболоченная озерно-аллювиальная равнина, образовавшаяся в результате затрудненного стока вод, подпруженных Ошмянской возвышенностью и Кривичской равниной.

Согласно геоморфологическому районированию, территория расположения торфяного месторождения Моховое приурочена к Нарочанской водно-ледниковой равнине с краевыми водно-ледниками грядами. Равнина расположена в южной части Белорусского Поозерья, между Свирской и Свенцянскими краевыми ледниками грядами и Кривичской равниной. Поверхность ложа антропогенового покрова в северной части построена глинами, мергелями и доломитами девона, а в южной – доломитами и доломитизированными известняками ордовика [3].

Торфяное месторождение Домжерицкое расположено в геоморфологическом районе Верхнеберезинской водно-ледниковой равнине в центральной части Беларуси, вдоль долины Березины. Поверхность долины плоская, часто заболоченная и заторфованная, с многочисленными остаточными понижениями, озерными котловинами [3]. Ложем антропогенных отложений служат пески, алевриты и мергели среднего де-

вона, под которыми залегают глины, мергели, доломиты и песчаники также девонского возраста.

По геоморфологическим условиям залегания торфяные месторождения Ельня, Стречно, Долбенишки и Дубатовка относятся к водораздельному типу месторождений группы междуречных ложбин, выстланных плотным глинистым материалом. Это типичные прибалтийские торфяные месторождения с выпуклой формой поверхности (до 5–7 м) в центральной части массива. Развиваться они начали в условиях слабо выраженного рельефа [4].

Существовавшие небольшие депрессии являлись местами скопления питающих вод, в основном атмосферных, и начальными центрами торфообразования. Многочисленные мелководные водоемы и сильно увлажненные ложбины были выстланы водонепроницаемыми озерными глинами. Эти переувлажненные депрессии, иногда с выходом на поверхность грунтовых вод, стали местами развития моховых фитоценозов. Бедное минеральное питание в основном атмосферных вод обусловило уже на ранней стадии развития преимущественно олиготрофный характер процессов болотообразования. Наряду с этим происходил процесс заболачивания прилегающих участков в результате постоянного накопления избыточной влаги в поверхностных слоях почвы и постепенного смыкания отдельных болот, которые с течением времени образовывали один обширный массив.

Торфяное месторождение Ельня площадью 19 984 га является самым крупным верховым болотом, расположенным в наиболее пониженной части Полоцкой низины. Его центральная часть сильновыпуклая и возвышается на 5–7 м над окружающими болото территориями. Выделяются два участка, имеющих свои вершины выпуклостей. Болото овальной формы. Максимальная высота поверхности болотного массива над уровнем моря – 145 м.

Рельеф минерального дна неровный, местами изрезанный многочисленными суходолами, вследствие чего начало формирования болота происходило в нескольких генетических центрах.

На территории болота Ельня расположено 36 озер площадью более 1 га и 82 озера площадью менее 0,5 га. По происхождению котловин часть озер, дно которых выстлано озерными отложениями, часто сапропелем, относятся к остаточному типу, возникновение остальных, имеющих торфяные дно и берега, связано с развитием болотного массива. Озера Ельня и Черное могут служить классическим примером реликтовых для Беларуси водоемов дистрофного типа на верховых болотах, распространение которых в настоящее время ограничено зонами тундры и лесотундры.

Многочисленные неглубокие озера неледникового происхождения образовались после начала процесса развития болота. Определяющими факторами их возникновения являются большая обводненность верхового торфяного месторождения, геоморфологические условия местности и бедность атмосферных вод минеральными составляющими [1]. Недостаток минерального питания и приток болотных вод определяют основные черты гидрохимического режима данных озер: низкую минерализацию, высокую цветность, кислую реакцию воды и недостаток соединений фосфора. В результате таких условий развития озера в районе своего расположения сдерживают вертикальный рост торфяного месторождения. Этим объясняется тот факт, что в центральной части месторождения, где расположена цепь озер, соединенных между собой водотоками, не наблюдается четко выраженной вершины болота, она носит сглаженный характер [6].

По распространению видов торфа в залежи преобладают верховые, составляющие 86 %, среди них наиболее часто встречаются магелланум- и фускум-торф. Среднее значение степени разложения торфа по всему месторождению (R) – 24 %, зольности (A^c) – 2,4 %.

Стратиграфический профиль торфяной залежи болота Ельня (рис. 2) длиной более 11 км заложен в северной части массива, пересекая болото с северо-запада на юго-восток. Здесь на ранней стадии развития в ложбинах отложился переходной осоково-сфагновый вид торфа мощностью до 1,5 м ($R = 30 \%$).

Олиготрофная стадия развития болота началась с отложения фускум-торфа в северной части, магелланум-торфа – в южной и шейхцериевого верхового – в центральной части месторождения. Небольшая по площади линза шейхцериевого торфа мощностью 0,5 м сверху перекрывается слоем пушицевого торфа ($R = 35 \%$) толщиной до 1 м. Далее верховая залежь представлена значительными отложениями мощностью до 4 м фускум-торфа в северной части профиля и магелланум-торфа – в южной. Степень разложения уменьшается от нижних слоев к поверхности залежи магелланум-торфа с 30 до 20 %, фускум-торфа – с 30 до 10 %. Наличие шейхцериев и сфагновых мхов в пункте отбора проб (Пб) № 9 характеризует собой постоянную избыточно увлажненную среду с ограниченными аэробными процессами. С ростом залежи шейхцериевые и сфагновые виды торфа сменяются сфагновыми малоразложившимися с примесью пушицы.

Второе из исследуемых месторождений водораздельного типа группы междуречного залегания, занимающих ложбины, выстланные плотным глинистым материалом, – Стречно – также является полигенетическим. Центрами

торфообразования здесь послужили небольшие депрессии, в которых скапливались атмосферные осадки и сточные воды. Впоследствии на дне этих мелководных водоемов откладывался сапропель и водоемы застали болотной растительностью, что обусловливало начало торфообразовательного процесса. Небольшие вначале болота росли вверх и вширь, захватывая прилегающие минеральные суходолы и постепенно сливаясь в один торфяной массив.

Согласно стратиграфическому разрезу залижи по профилю протяженностью 4,8 км (рис. 3), поверх сапропеля накапливался пушицевый верховой торф мощностью до 1,2 м, затем – пушицово-сфагновый – глубиной до 4 м, выше которого отложился фускум-торф мощностью 1,5 м. Местами присутствуют линзы шейхцериевого торфа толщиной до 0,6 м.

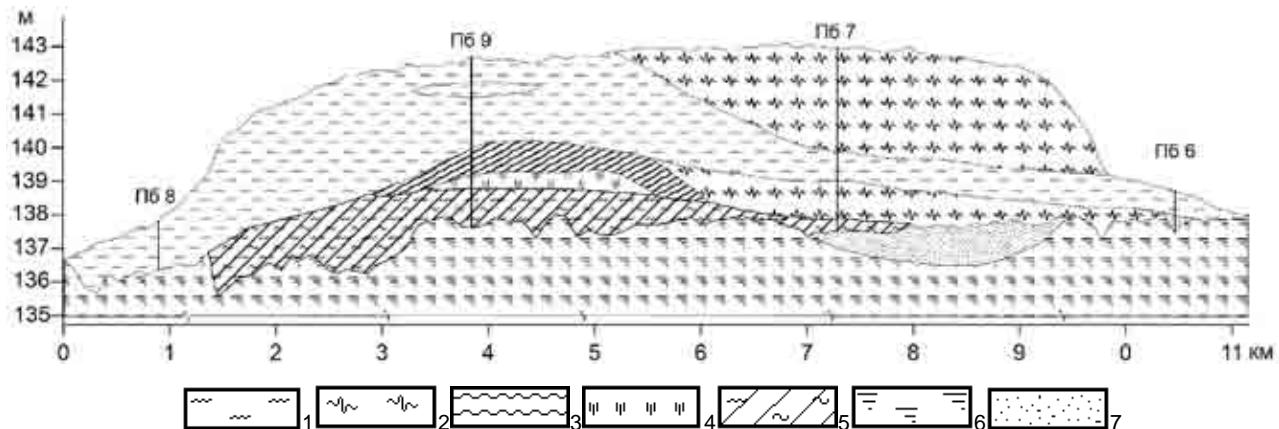


Рис. 2. Стратиграфический разрез торфяного месторождения Ельня (Миорский район Витебской области): 1 – магелланикум; 2 – фускум; 3 – пушицевый; 4 – шейхцериевый; 5 – осоково-сфагновый переходный; 6 – глина; 7 – песок

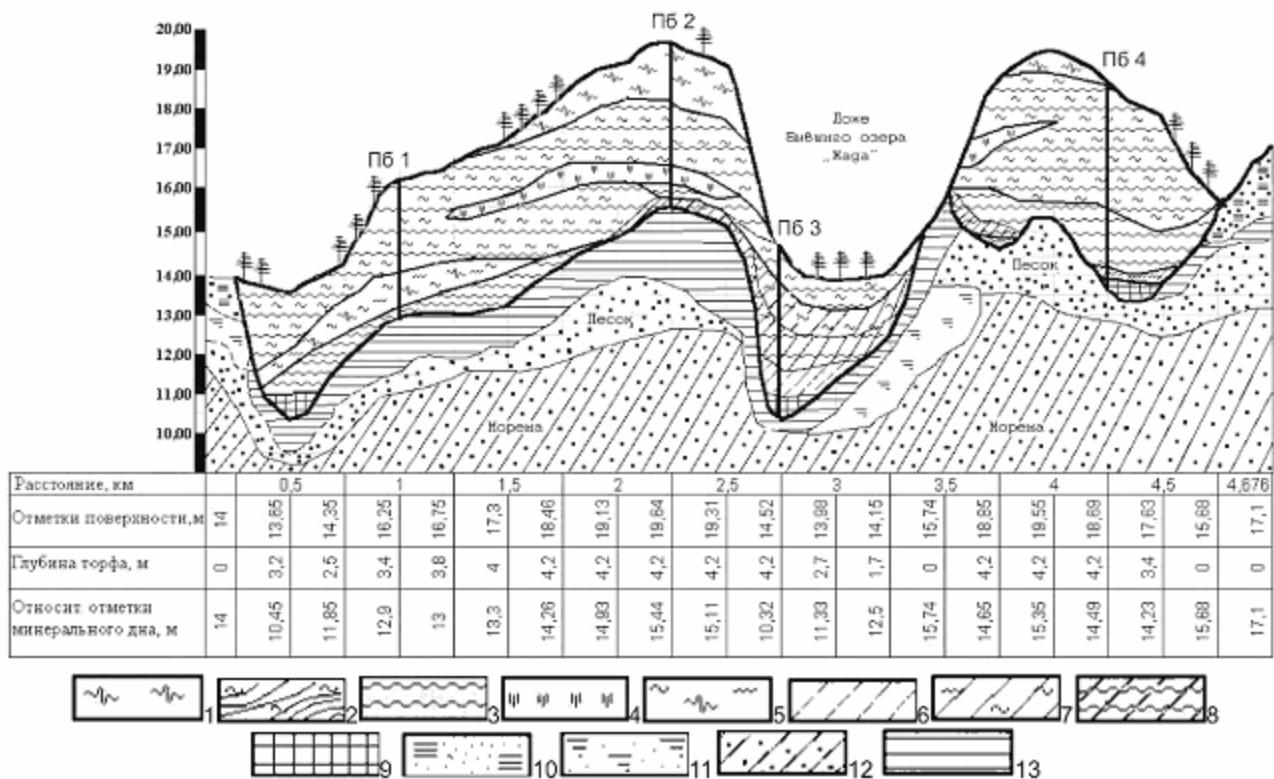


Рис. 3. Стратиграфия торфяного месторождения Стречно (Миорский район Витебской области): 1 – фускум; 2 – пушицово-сфагновый; 3 – пушицевый; 4 – шейхцериевый; 5 – комплексный верховой; 6 – гипновый; 7 – осоково-сфагновый; 8 – тростниково-осоковый; 9 – сапропель; 10 – супесь; 11 – суглинок; 12 – морена; 13 – ленточная глина

Исключение составляет впадина бывшего озера Жада, в которой на начальной стадии болото развивалось поверх сапропеля гипновым низинным торфом мощностью до 0,6 м. Выше откладывался тростниково-осоковый торф (0,7 м), осоково-сфагновый переходный (0,5 м) и пущицово-сфагновый верховой торф (0,5 м). Это можно объяснить большой площадью водосбора данной впадины, что обусловило богатое водно-минеральное питание и развитие болотных фитоценозов низинного типа.

Преобладающими видами торфа, слагающими торфяную залежь болота Стречно, являются пущицово-сфагновый торф – 84,2 %, и магелланикум-торф – 4,1 %.

Аналогичное преобладание верховых видов торфа наблюдается и для залежи болота Долбенишки. Процентное участие видов торфа, слагающих торфяную залежь болота, следующее: фускум-торф – 41 % мощностью до 6 м ($R = 10-30\%$); магелланикум-торф – 33 % глубиной до 3 м ($R = 15-30\%$), осоково-сфагновый торф – 14 %.

Стратиграфический разрез (рис. 4) показывает, что развитие болота началось с мезотрофной стадии, т.е. с отложения переходного осоково-сфагнового торфа мощностью до 1 м в нижней части торфяной залежи. Магелланикум-торф имеет мощность до 3,5 м, степень разложения 25 % и перекрывается сверху слоем фускум-торфа до 3–5 м толщиной и степенью разложения от 15 до 30 %.

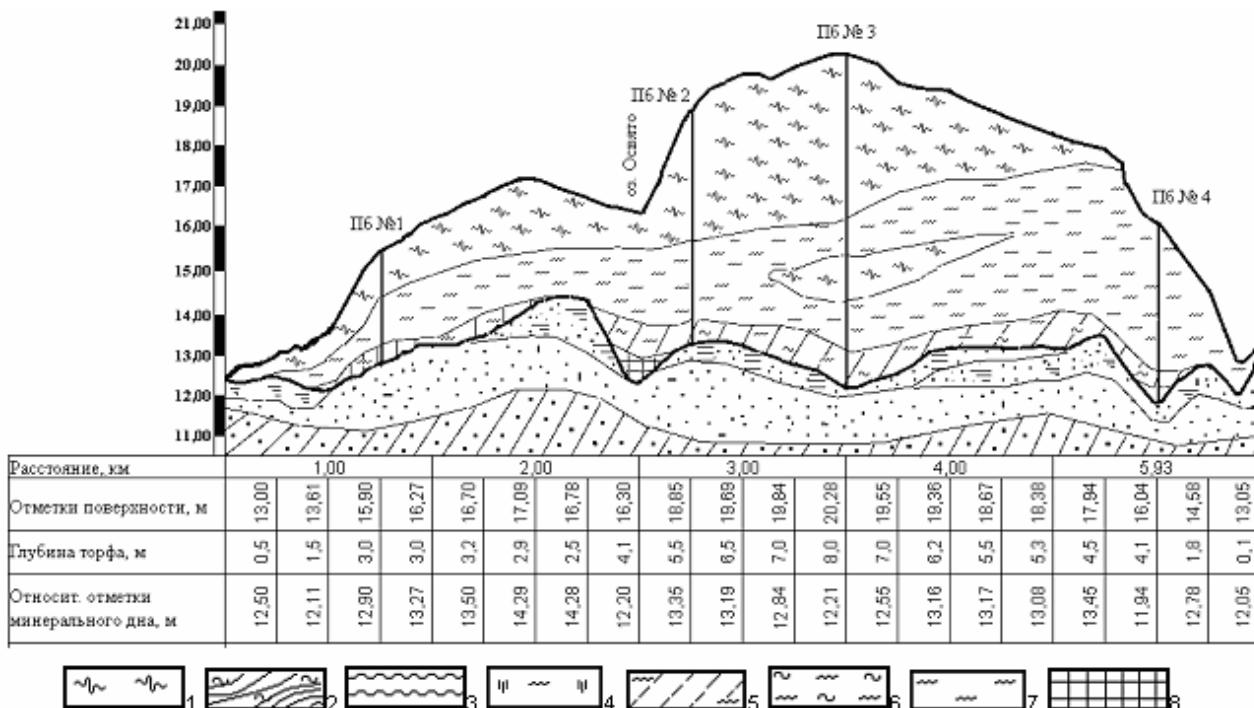


Рис. 4. Стратиграфия торфяного месторождения Долбенишки (Шарковщинский район Витебской области): 1 – фускум; 2 – пущицово-сфагновый; 3 – пущицевый; 4 – шейхцириевый переходный; 5 – гипновый переходный; 6 – сфагновый переходный; 7 – магелланикум; 8 – сапропель

У четвертого исследуемого торфяного месторождения Дубатовка водораздельного типа междууречного залегания ложбинного характера также преобладает верховая залежь. Как показывает стратиграфический профиль месторождения (рис. 5), болотообразовательные процессы здесь имели преимущественно олиготрофный характер. Подстилающими грунтами торфяного месторождения являются глина, суглинок, супесь и пески. Местами торфяная залежь подстилается сапропелевыми отложениями мощностью до 1,0 м.

Только на начальной стадии болото развивалось как переходное, о чем свидетельствует

наличие в нижней части торфяной залежи гипнового и сфагнового переходного видов торфа мощностью до 0,8 м.

Мощный пласт сильноразложившегося пущицевого вида торфа в пункте отбора проб 1–2 свидетельствует о том, что избыточно обводненная среда имела место лишь какую-то часть года. Выше залежь перекрыта почти по всему профилю верховым пущицово-сфагновым видом торфа мощностью до 2 м ($R = 13-35\%$). В северной части профиля встречаются линзы комплексного верхового и магелланикум торфа.

Верхний слой залежи представлен фускум-торфом мощностью до 2,5 м ($R = 10-15\%$).

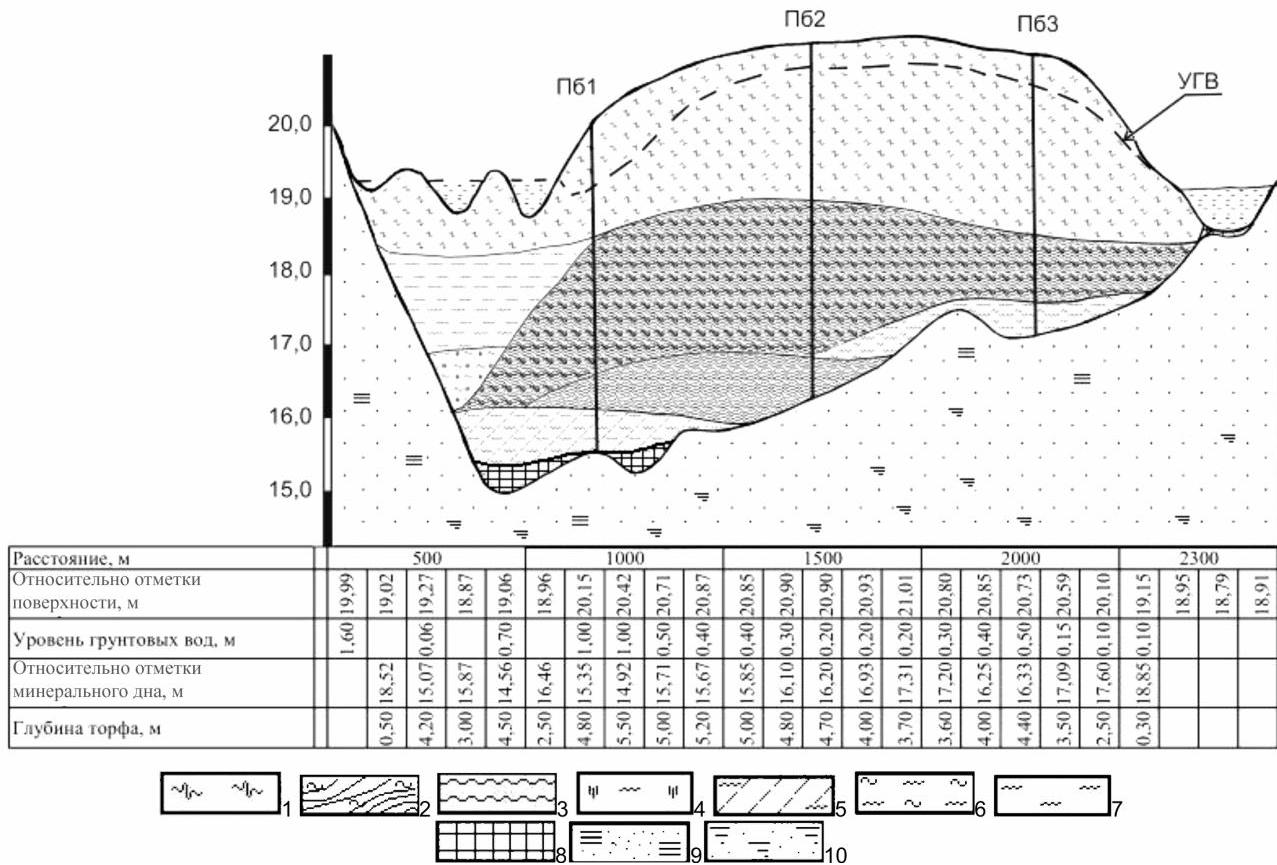


Рис. 5. Стратиграфический разрез торфяного месторождения Дубатовка (Сморгоньский район Гродненской области): 1 – фускум; 2 – пущицово-сфагновый; 3 – пущицевый; 4 – шейхцеревый переходный; 5 – гипновый переходный; 6 – сфагновый переходный; 7 – магелланникум; 8 – сапропель; 9 – супесь; 10 – суглинок

Таким образом, все четыре болота, относящиеся к одной геоморфологической группе, имеют одинаковую последовательность развития и схожий видовой состав торфяной залежи. Эвтрофная стадия в развитии данной группы болот не является обязательной и быстро сменяется мезотрофной стадией с отложением осоково-сфагнового и древесного переходного торфа незначительной мощности. Самой длительной является олиготрофная стадия развития болот. Верховые слои торфа сменяются, как правило, в следующей последовательности: пущицевый или сосново-сфагновый – 1,2–1,5 м, пущицово-сфагновый – 2,0–4,0, фускум – 1,5–5,0, комплексный верховой или магелланникум-торф – 3,0–4,0 м.

Исследуемые болота почти на всю глубину сложены верховыми торфами, лишь у самого дна местами в понижениях рельефа и по периферии болота залегают переходные осоково-сфагновый, сфагновый и гипновый виды торфа мощностью до 1 м, что обусловлено геоморфологическими условиями образования данных болот. С водосборной площади на периферию болота поступали сточные воды, более богатые минеральными веществами, чем атмосферные осадки, что обуславливало произрастание рас-

тений-торфообразователей переходного типа, требовательных к минеральному питанию. Кроме того, водоупорные грунты способствовали аккумуляции сточных вод с водосборной территории болота и образованию переходных видов торфа в понижениях рельефа.

Моховое, Болото Мох и Домжерицкое болота относятся к группе торфяных месторождений водораздельного залегания бессточных котловин [4]. Центрами торфообразования послужили существовавшие здесь ранее водоемы, о чем свидетельствуют отложения сапропеля, подстилающего торфяную залежь. Минеральные подстилающие грунты всех трех торфяных месторождений – пески. Основными источниками водного питания болот данной группы являются атмосферные осадки и поверхностные сточные воды с прилегающей территорией водосбора.

Процесс болотообразования месторождений этой геоморфологической группы начался с заторфования водоемов. В раннее последниковое время такие котловины были заполнены озерами, на дне которых накапливался сапропель, а с берегов они застали болотной растительностью, с течением времени трансформировавшейся в отложения торфа.

Согласно стратиграфическому разрезу, болото Моховое (рис. 6) на начальной стадии имело мезотрофный характер развития. Поверх сапропеля отложился древесно-осоковый переходный торф мощностью до 1 м ($R = 35\%$). Олиготрофная стадия формирования болота характеризовалась накоплением полуторометрового слоя верховых пущево-сфагнового ($R = 35\%$) и сосново-пущевого ($R = 45\%$) торфа. Далее

отложились магелланикум- и фускум-торф ($R = 15–20\%$) мощностью до 2 м.

В центрально-восточной части болота выделяется переходный стратиграфический участок, в нижних слоях которого обнаружен полуторометровый слой осокового низинного торфа, далее по высоте залежи встречаются низинные осоково-гипновый, гипновый, тростниковый или осоковый виды торфа мощностью 0,5–0,7 м.

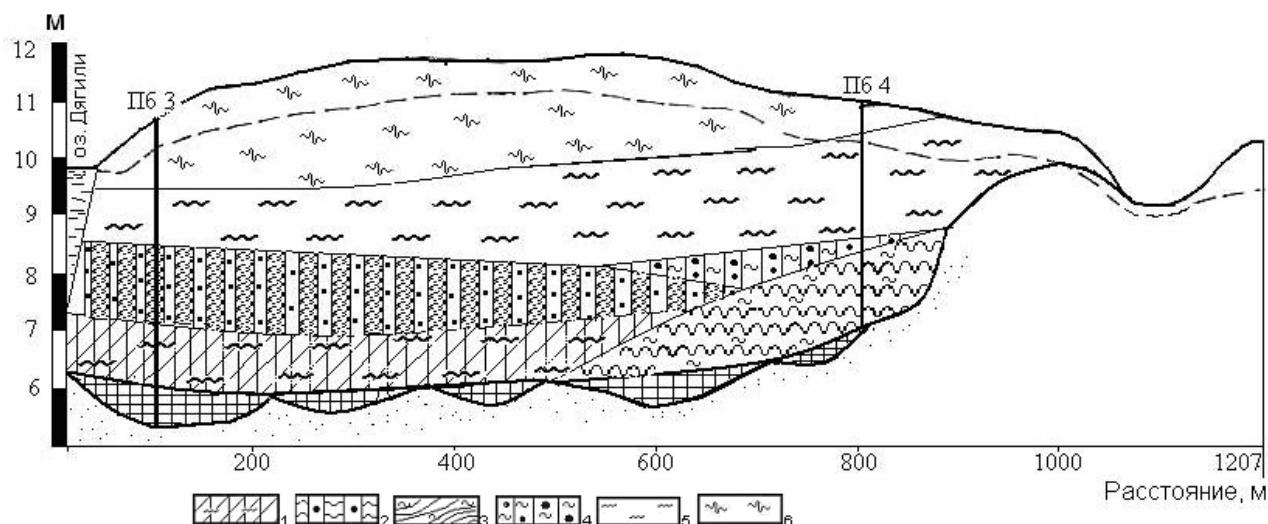


Рис. 6. Стратиграфический разрез торфяного месторождения Моховое (Мядельский район Минской области): 1 – древесно-осоковый переходный; 2 – сосново-пущевый верховой; 3 – пущево-сфагновый; 4 – сосново-сфагновый; 5 – магелланикум; 6 – фускум

Торфяное месторождение Болото Мох расположено на террасе реки Западная Двина. Поверхность болота имеет локальные уклоны к рекам Голчица и Хробрувка, протекающим по массиву.

В северо-западной, восточной и северной частях массива торф подстилается сапропелевыми отложениями мощностью 0,2–0,7 м.

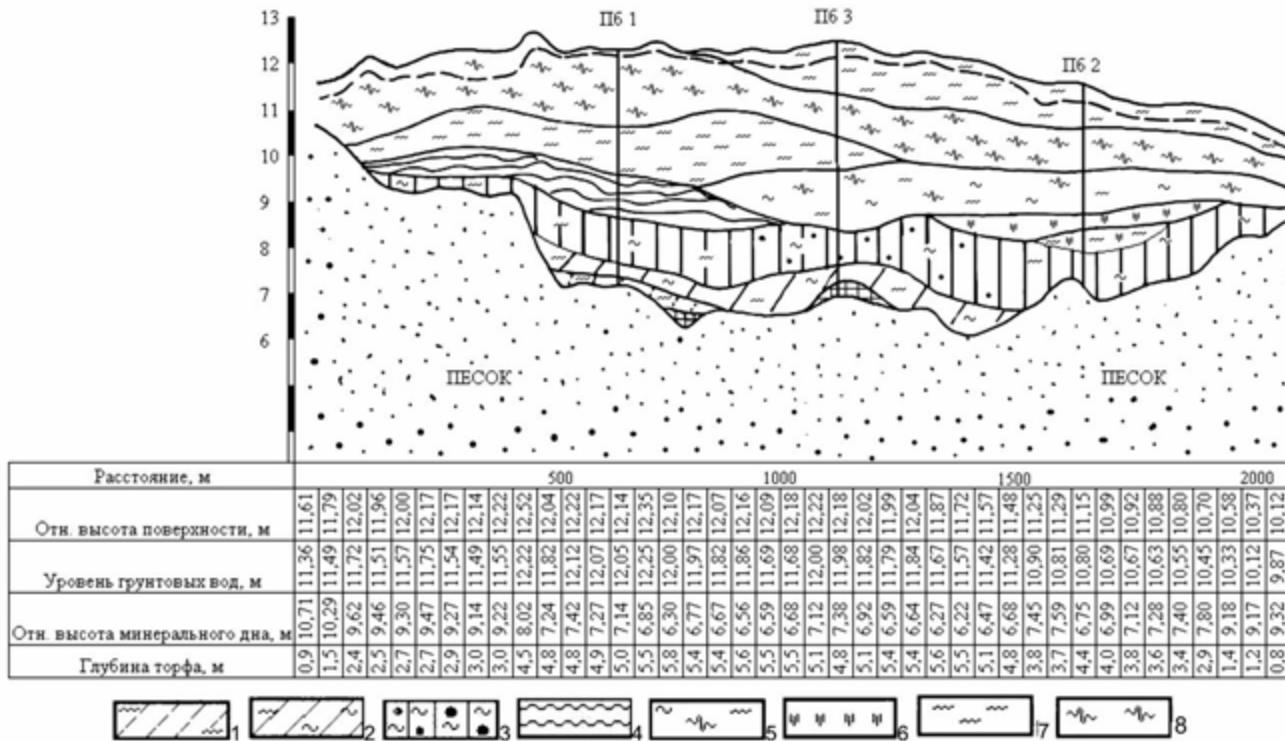
Стратиграфический разрез по профилю (рис. 7) показывает, что на начальной стадии болото формировалось за счет аккумуляции переходных гипнового и осоково-сфагнового торфа мощностью до 1 м ($R = 30\%$). Затем он сменился древесно-сфагновым торфом мощностью до 2 м ($R = 30\%$), который перекрывается сверху в южной части болота слоем пущевого торфа и в северной части – комплексным верховым торфом, образование которого свидетельствовало о переходе болота полностью к атмосферному питанию. В северной части залежи наблюдается линза шейхцериевого торфа. Тип его меняется снизу вверх от переходного к верховому. В южной части болота пущевый торф сменяется магелланикум-торфом мощностью до 2 м. Он, в свою очередь, перекрывается по всему стратиграфическому профилю значительным слоем

фускум торфа (2 м), переходящим в северной части опять в магелланикум-торф.

По встречаемости видов торфа по всей залежи торфяного месторождения Болото Мох преобладают магелланикум- (24 %) и фускум-торф (23 %).

Генетическими центрами болотообразования торфяного месторождения Домжерицкое также послужили водоемы, существовавшие прежде на месте месторождения, где начали развиваться процессы их заторфования. Об этом свидетельствуют донные отложения сапропеля мощностью от 0,2 до 1,0 м, имеющиеся в северной части торфяного месторождения (в крайней северо-восточной части с примесью мергеля). В придонных слоях залежи в южной части отмечена примесь сапропеля и мергеля. В северной части находится оз. Домжерицкое, продолжающее заторфовываться и в настоящее время.

На месте бывших водоемов, имевших крутые берега, шло образование залежи верхового и смешанного типа, из-за малой площади водосбора и бедного минерального питания. Такие участки наблюдаются в северной и местами в южной частях месторождения.



**Рис. 7. Стратиграфический разрез Болото Мох (Миорский район Витеbsкой области):
1 – гипновый переходный; 2 – осоково-сфагновый; 3 – древесно-сфагновый; 4 – пущевый;
5 – комплексный верховой; 6 – шейхцериевый; 7 – магелланникум; 8 – фускум**

В западной части и на восточной окраине в результате подтопления водами реки Бузянка и близости суходолов развивалась залежь низинного типа. В слоях, расположенных между залежью верхового и низинного типа, шло образование залежи переходного типа.

В настоящее время торфяное месторождение представляет собой площадь, несколько вытянутую с севера на юг с извилистой береговой линией, и куполообразной формой поверхности с небольшим повышением в центрально-северной части.

В стратиграфическом отношении торфяное месторождение Домжерицкое неоднородно. Здесь выделено четыре стратиграфических участка – верховой, смешанный, низинный и переходный. Наибольшее распространение имеет залежь низинного и переходного типов (54 %). На верховую и смешанную залежь приходится 46 %.

По периферии болота, на участках богатого минерального питания в пунктах отбора проб 37, 35 (рис. 8), отложились низинные древесно-осоковый ($R = 35 \%$, $A^c = 46,5 \%$), древесный ($R =$

35% , $A^c = 8,7 \%$) и древесно-гипновый ($R = 30 \%$, $A^c = 9,5 \%$) виды торфа.

В центральной части (Пб 36) болото формировалось за счет аккумуляции переходных древесно-гипнового и осоково-сфагнового видов торфа мощностью до 0,5 м ($R = 30 \%$) в нижней части торфяной залежи. Затем он сменился комплексным верховым торфом мощностью до 0,5 м, поверх которого отложился верховой сосновый и сосново-сфагновый торф мощностью до 2 м ($R = 30 \%$), в свою очередь перекрываемый слоем магелланникум-торфа до 1 м ($R = 20 \%$), переходящего в комплексный верховой торф до 2 м ($R = 10 \%$).

Таким образом, для исследуемых водораздельных месторождений группы бессточных котловин характерны все стадии развития торфяной залежи: эвтрофная, мезотрофная и олиготрофная. В отличие от месторождений группы междуручного залегания ложбинного характера, месторождения бессточных котловин кроме участков верхового типа торфяной залежи имеют переходные, смешанные и низинные стратиграфические участки (табл. 2).

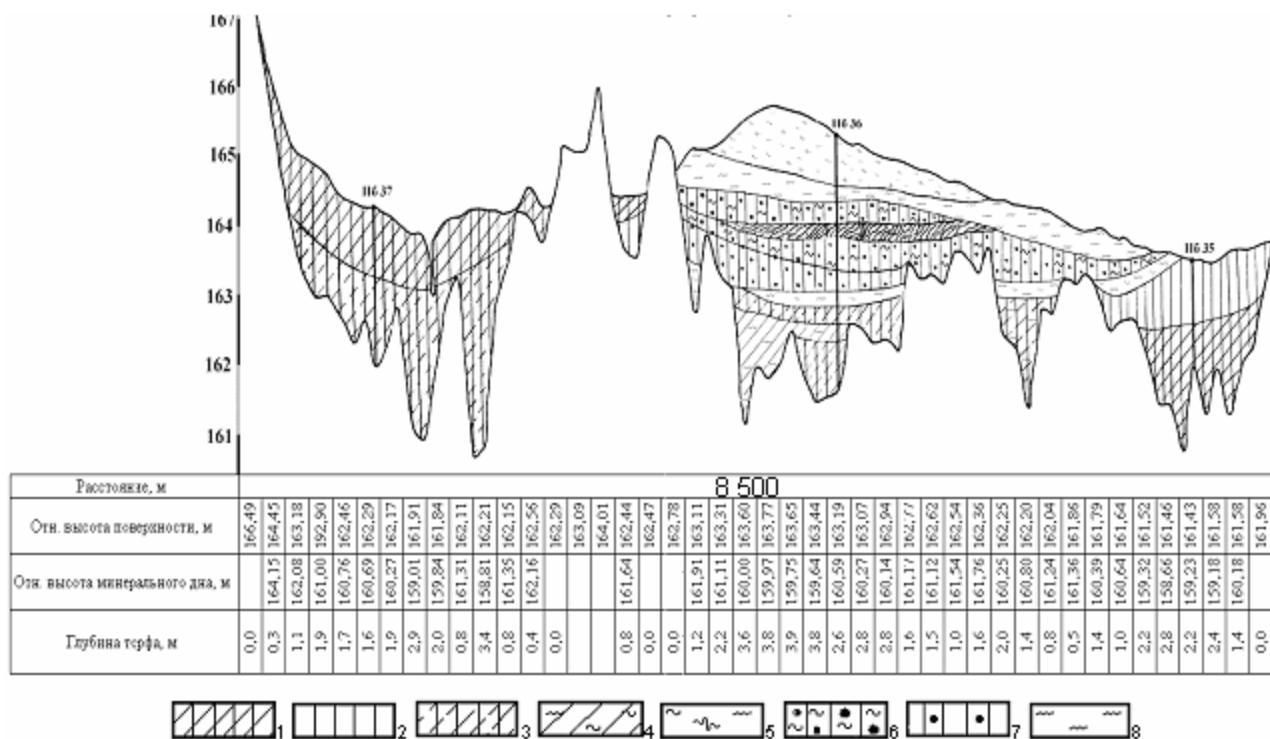


Рис. 8. Стратиграфический разрез торфяного месторождения Домжерицкое по профилю (Лепельский район Витебской области): 1 – древесно-осоковый; 2 – древесный; 3 – древесно-гипновый; 4 – осоково-сфагновый; 5 – комплексный; 6 – сфагновый; 7 – сосновый; 8 – магелланникум

Таблица 2. Характеристика стратиграфических участков исследуемых болот [5]

Название болота	Стратиграфический участок, % от общей площади	Площадь*, га	Вид и группа торфа, % по стратиграфическим участкам
Ельня	Верховой 100	16974,90	Магелланникум – 36; фускум – 31; переходно-топянной – 10; сосново-пушицевый – 7; шейхцериевый – 6; пушицевый – 5; древесно-переходный – 4; комплексный – 1
Стречно	Верховой 100	3961,00	Пушицево-сфагновый – 84; пушицевый – 5; магелланникум – 4; гипновый переходный – 3; сфагновый переходный – 2; осоково-пушицевый – 2
Долбенишки	Верховой 100	4436,80	Фускум – 41; магелланникум – 33; осоково-сфагновый – 14; пушицевый – 4; комплексный – 2; гипновый переходный – 2; шейхцериевый – 2; сосново-сфагновый – 1; древесно-переходный – 1
Дубатовка	Верховой 93	467,80	Магелланникум, фускум, пушицево-сфагновый – 77 шейхцериево-сфагновый, комплексный – 23
	Переходный 7	54,00	Осоковый переходный – 38; прочие – 13
Моховое	Верховой 80	797,15	Магелланникум – 83; фускум – 17
	Смешанный 5	105,50	Лесотопянной 100
	Низинный 3	31,40	Древесно-тростниковый – 100
	Переходный 6	57,20	Лесотопянной – 100
Болото Moх	Верховой 81	3834,60	Магелланникум – 24; фускум – 23; пушицево-сфагновый – 7; древесно-сфагновый переходный – 6; древесно-переходный – 6; пушицевый – 4; осоковый переходный – 4; комплексный – 4; прочие – 4
	Переходный 19	891,50	Магелланникум, осоково-сфагновый переходный, тростниковый – 13; фускум, древесно-переходный, сфагновый переходный, древесно-сфагновый переходный, древесно-осоковый переходный – 9; прочие – 16
Домжерицкое	Верховой 30	2785,62	Магелланникум – 100
	Смешанный 7	699,38	Лесотопянной, топянной – 50
	Низинный 39	3695,76	Лесотопянной – 60; осоковый, древесно-тростниковый – 20
	Переходный 24	2249,69	Топянной – 67; лесотопянной – 33

*Площадь в границах промышленной залежи (для верховых торфяных месторождений 0,7 м).

Слои торфа в залежи сменяются, как правило, в следующей последовательности: низинные древесно-осоковый, осоковый, гипновый – 0,5 м или осоково-сфагновый – 1 м, переходные древесно-сфагновый – 2, древесно-гипновый – 1 и верховые пушицево-сфагновый – 2, фускум – 1,5–2,0, комплексный верховой или магелланиум-торф – 1–2 м.

Таким образом, анализ стратиграфии торфяной залежи наиболее типичных торфяных месторождений Западно-Поозерской торфяно-болотной области показал, что она обусловлена генезисом болот, их геоморфологическими и гидрологическими особенностями.

Образованию болот группы междуречного залегания ложбинного характера способствовало наличие холмистого конечно-моренного ландшафта с большим количеством озер. Подстилаются торфяные месторождения водоупорными породами, озерными отложениями и глинами. Питание в основном атмосферное, а также сточными водами с поверхности водосбора, иногда частично грунтовыми водами.

Как правило, это сильновыпуклые верховые болота с вершиной до 5–6 м, характеризующиеся значительной мощностью залежи мало-

разложившегося верхового торфа с диапазоном степени разложения 10–35 %. Торфяная залежь сложена преимущественно верховыми магелланум-, фускум- и пушицево-сфагновым торфом (до 70 %). По строению залежи вся территория болот этой группы характеризуется как один верховой стратиграфический участок.

Торфяные месторождения Болото Мох, Моховое и Домжерицкое относятся к водораздельному типу месторождений группы котловинного залегания, формированию которых способствовало наличие озерно-моренного ландшафта в северной части республики. Подстилаются торфяные месторождения в основном песками. Питание болот данной группы осуществляется преимущественно атмосферными и сточными поверхностными водами.

Выпуклость поверхности болот не так ярко выражена, как у предыдущей группы, и составляет 1,5–3,5 м. Торфяная залежь характеризуется большим разнообразием слагающих ее видов торфа. На территории болот бессточных котловин выделяются все типы стратиграфических участков. В строении торфяной залежи верховой тип составляет 37–85 %, переходный 5–26, смешанный 1–10, низинный 1–37 %.

Литература

1. Беленький С. Г. Закономерности формирования торфяных месторождений верхового типа как сырьевых баз для комплексной переработки торфа: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 1987.
2. Кадастровый справочник «Торфяной фонд Белорусской ССР». Минск, 1979.
3. Матвеев А. В., Гурский Б. Н., Левицкая Р. И. Рельеф Белоруссии. Минск, 1988.
4. Пидопличко А. П. Торфяные месторождения Белоруссии. Минск, 1961.
5. Схема рационального использования и охраны торфяных ресурсов Белорусской ССР на период до 2010 года. Госагропромком БССР, БЕЛГИПРОЗЕМ. Минск, 1989.
6. Тановицкая Н. И. Особенности генезиса и стратиграфии торфяной залежи болота Ельня // Природные ресурсы. 2009. № 1. С. 43–53.

Институт природопользования НАН Беларуси

Н. И. Тановицкая, О. Н. Ратникова

ОСОБЕННОСТИ СТРАТИГРАФИИ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ ВЕРХОВЫХ БОЛОТ ЗАПАДНО-ПООЗЕРСКОЙ ТОРФЯНО-БОЛОТНОЙ ОБЛАСТИ

Приведены результаты исследований генезиса и стратиграфии торфяных месторождений Ельня, Стречно, Долбенишки, Дубатовка, Моховое, Болото Мох и Домжерицкое.

Исследуемые верховые болота относятся к водораздельному типу месторождений группы междуречного залегания, занимающих ложбины, выстланные плотным глинистым материалом, и котловинного залегания.

Приведены описания стратиграфических профилей болот с указанием изменения вида торфа и степени разложения по глубине.

Анализ стратиграфии торфяных залежей наиболее типичных болот Западно-Поозерской торфяно-болотной области показал, что она обусловлена генезисом болот, их геоморфологическими и гидрологическими особенностями. Для водораздельных болот междуречного залегания ложбинного характера особенностью является то, что торфяная залежь сложена преимущественно разложившимся верховым торфом с диапазоном степени разложения 10–35 %. Торфяная залежь сложена преимущественно верховыми магелланум-, фускум- и пушицево-сфагновым торфом (до 70 %). По строению залежи вся территория болот этой группы характеризуется как один верховой стратиграфический участок.

венно верховыми магелланикум-, фускум- и пушицово-сфагновым видами торфа (до 70 %). По строению залежи вся территория болот этой группы характеризуется как один верховой стратиграфический участок.

Для верховых болот котловинного залегания торфяная залежь характеризуется большим разнообразием слагающих ее видов торфа. На территории болот бессточных котловин выделяются все типы стратиграфических участков. В строении торфяной залежи верховой тип составляет 37–85 %, переходный 5–26, смешанный 1–10, низинный 1–37 %.

N. I. Tanovitskaya, O. N. Ratnikova

FEATURES OF STRATIGRAPHY OF PEAT DEPOSIT OF RAISED BOGS OF WEST-POOZERSKY PEAT-MIRE AREA

Results of researches of genesis and stratigraphy of peat deposits Yelnya, Strechno, Dolbenishki, Dubatovka, Mokhovoye, the Moss Bog and Domzheritsky are given in the article.

The investigated raised bogs refer to watershed type of deposits of group of inter-river deposit, occupying hollows, bedded with a dense clay material, and pit deposit.

Descriptions of stratigraphic profiles of bogs with instructions of change of a kind of peat and decomposition degree regarding the depth are resulted.

The analysis of stratigraphic peat deposits of the most typical bogs of West Poozersky peat-mire area has shown that it is caused by genesis of bogs, their geomorphological and hydrological features. A watershed bogs of inter-river deposit of linear depression feature are characterized with peat deposit consisting mainly of raised magellanicum-, fuscum- and cotton-grass-sphagnum peat kinds (till 70 %). As for the deposit structure all territory of bogs of this group is characterized as one raised stratigraphic site.

For raised bogs of pit bedding the peat deposit is characterized by great variety of composing it peat kinds. On the territories of bogs of non-drainage hollows all types of stratigraphic sites are singled out. The structure of peat deposit has a raised type – 37–85 %, transitive 5–26, mixed 1–10, a fen one 1–37 %.

Ж. А. Рупасова, А. П. Яковлев, Т. И. Василевская

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОРФЯНИКОВ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛОДОВ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *OXYCOCCUS* Hill. В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА БЕЛАРУСИ

*Дана сравнительная оценка количественных характеристик биохимического состава плодов двух таксонов рода *Oxycoccus* Hill. – клюквы болотной (*O. palustris* L.) и сорта *Franklin* североамериканского вида *O. macrocarpus* (Ait.) Pers. при их выращивании в опытной культуре на выработанном и мелиорированном торфяниках, расположенных на севере Беларуси.*

Одним из рациональных путей восстановления в Беларуси природного потенциала выведенных из сельскохозяйственного оборота выработанных и мелиорированных торфяников является создание на занимаемых ими территориях локальных фитоценозов ягодных растений сем. *Ericaceae*, что возможно лишь на основе предварительного исследования разных сторон их жизнеобеспечения и жизнедеятельности, с учетом влияния биотических и абиотических факторов. В этой связи особый научный и практический интерес представляет исследование влияния способа эксплуатации торфяников на содержание полезных веществ в плодах отдельных таксонов сем. *Ericaceae*. Работы, выполненные сотрудниками ЦБС НАН Беларуси в конце 80-х первой половине 90-х гг. XX в., свидетельствуют о том, что предложенные производству технологии выращивания плодов на промышленной основе предусматривают использование относительно плодородных торфяно-болотных почв с мощным слоем торфа. Но в Беларуси остаются практически невостребованными выработанные низкоплодородные торфяники.

С этой целью в 2008–2009 гг. в условиях опытной культуры в северной агроклиматической зоне Беларуси (Витебская обл.) была проведена сравнительная оценка биохимического состава плодов двух таксонов рода *Oxycoccus* – аборигенного вида клюквы болотной (*O. palustris* L.) и сорта *Franklin* североамериканского вида *O. macrocarpus* (Ait.) Pers. при их выращивании на выработанном и мелиорированном торфяниках, что позволило выявить степень зависимости параметров накопления в плодах полезных веществ, относящихся к разным классам химических соединений, от характера органического субстрата.

Для реализации поставленных задач в свежих усредненных пробах плодов вышеуказанных таксонов рода *Oxycoccus* определяли содержание сухих веществ – по ГОСТ 8756.2–82 [1]; аскорбиновой кислоты (витамина С) – стандартным индофенольным методом [3]; титруемых кислот (общей кислотности) – объемным методом [3]. В высушенных при температуре 65 °C усредненных пробах плодов определяли содержание химических элементов:

азота, фосфора, калия по методу К. П. Фоменко и Н. Н. Нестерова [12], кальция, магния – комплексометрическим методом [3]; глюкозы, фруктозы, сахарозы – резорциновым и анилинфталатным методами бумажной хроматографии по И. Г. Завадской и др. [4]; пектиновых веществ (водорастворимого пектина и протопектина) – карбазольным методом [3]; суммы антоциановых пигментов – по методу T. Swain, W. E. Hillis [14] с построением градуировочной кривой по кристаллическому цианидину, полученному из плодов аронии черноплодной и очищенному по методике Ю. Г. Скориковой и Э. А. Шафтган [11]; антоцианов – по методу Л. О. Шнайдмана и В. С. Афанасьевой [13]; суммы флавонолов – по методу Л. Сарапуу и Х. Мийдла [9]; суммы катехинов – фотометрическим методом с использованием ванилинового реагента [5]; фенолкарбоновых кислот (в пересчете на хлорогеновую) – методом нисходящей хроматографии на бумаге [7]; дубильных веществ – титрометрическим методом Левентяля [2]; бензойной кислоты – по методу М. И. Калебина и А. А. Колесника [6]; жирных масел – по методу В. А. Сапунова и И. И. Федуняк [8]; тритерпеновых кислот (в пересчете на урсоловую кислоту) – по методу А. В. Симонян и др. [10].

Все аналитические определения выполнены в 3-кратной биологической повторности сотрудниками лаборатории химии растений ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» Р. Н. Рудаковской, Н. П. Варавиной, Н. Б. Криницкой. Данные статистически обработаны с использованием программы Excel.

Сравнительное исследование количественных характеристик биохимического состава плодов двух представителей рода *Oxycoccus* – *O. palustris* L. и сорта *Franklin* крупноплодного вида – в условиях опытной культуры на мелиорированном и выработанном торфяниках показало их явную зависимость от характера субстрата. По нашим оценкам, содержание сухих веществ, в зависимости от субстрата, составляло: в плодах аборигенного вида 12,0–13,3 %, крупноплодного – 12,2–12,5 %; содержание в их сухой массе свободных органических кислот – соответственно 26,8–33,1 % и 19,9–22,3 %; ас-

корбиновой кислоты – 390,5–430,7 мг % и 392,6–417,2 мг %, фенолкарбоновых кислот – 1294,4–1361,1 мг % и 883,3–1061,1 мг %, бензойной кислоты – 1,61–2,58 % и 1,91–2,26 %.

Как следует из данных (рис. 1), содержание сухих веществ в плодах *O. palustris* на выработанном торфянике оказалось на 11% выше, чем на мелиорированном, тогда как для плодов крупноплодного вида достоверных различий по данному признаку выявлено не было.

Вместе с тем возделывание обоих видов клюквы на выработанном торфянике способство-

вало снижению, относительно мелиорированного торфяника, содержания в плодах свободных органических кислот на 11% у сорта *Franklin* и на 19% у дикорастущего вида, а также бензойной кислоты на 16 и 38% соответственно. При этом в первом случае данное снижение сопровождалось незначительным (в пределах 6%) обеднением плодов витамином С на фоне обогащения их на 20% фенолкарбоновыми кислотами, тогда как во втором, напротив, обогащением на 10% аскорбиновой кислотой при незначительном (на 5%) обеднении фенолкарбоновыми кислотами.

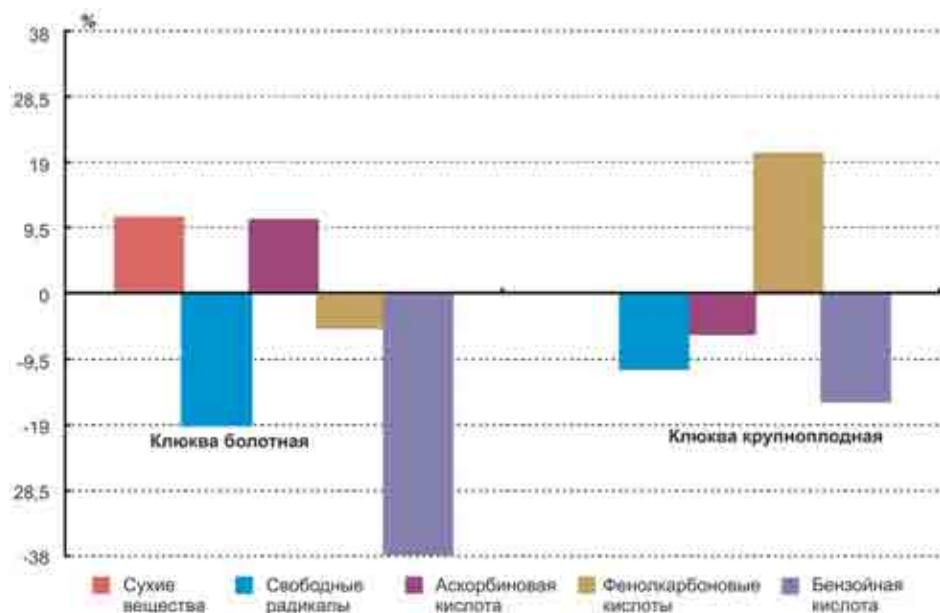


Рис. 1. Относительные различия содержания сухих веществ и органических кислот в сухой массе плодов таксонов рода *Oxycoccus* на мелиорированном (контроль) и выработанном торфяниках, %

Независимо от способа эксплуатации торфяников, плоды аборигенного вида характеризовались более высоким, чем у сортовой клюквы, суммарным содержанием растворимых сахаров, составлявшим в их сухой массе соответственно 13,67 и 14,09 % против 11,60 и 12,25 %, при более широких соотношениях в них количеств моноз и дисахарида, а также фруктозы и глюкозы. Характер субстрата не оказал достоверного влияния на общее количество растворимых сахаров в плодах *O. palustris*, тогда как при возделывании сорта *Franklin* крупноплодного вида на выработанном торфянике отмечено снижение данного показателя более чем на 5%, по сравнению с его аналогом на мелиорированном торфянике (табл. 1). Данное снижение было обусловлено, в первую очередь, весьма значительным (почти на 13%) ингибированием накопления в его плодах глюкозы, а также идентичным по величине снижением в них содержания дисахарида. Для дикорастущего же вида клюквы, напротив, на выработанном торфянике было показано

весьма существенное (на 21%) обогащение плодов глюкозой, но, несмотря на это, из-за столь же выразительного, как и у крупноплодного вида, снижения содержания дисахарида, общее количество в них растворимых сахаров оказалось сопоставимым с таковым в условиях мелиорированного торфяника. При этом характер субстрата не оказал достоверного влияния на содержание в плодах обоих видов клюквы фруктозы. Тем не менее в составе углеводного пулла их плодов в условиях выработанного торфяника имело место заметное, по сравнению с мелиорированным торфяником, усиление позиций моносахаридов, более выраженное у дикорастущего вида. Это сопровождалось усиленiem в составе моноз доли фруктозы у крупноплодного вида, но вместе с тем их ослабление у дикорастущего.

Несмотря на отсутствие существенных межвариантных различий в общем содержании растворимых сахаров в плодах исследуемых таксонов рода *Oxycoccus*, из-за менее активного в условиях

выработанного торфяника накопления в них свободных органических кислот, у обоих видов наблюдалось увеличение значений сахарокислотного индекса плодов, выраженное в большей степени у *O. palustris* (почти на 30 %) против 6 % у крупно-

плодного вида. Это однозначно указывало на улучшение органолептических свойств ягодной продукции, полученной на выработанном торфянике, относительно таковой на мелиорированном торфянике.

Таблица 1. Относительные различия содержания растворимых сахаров в сухой массе плодов таксонов рода *Oxusoccus* на мелиорированном (контроль) и выработанном торфяниках, %

Вид	Глюкоза	Фруктоза	Сахароза	Сумма сахаров	Фруктоза: Глюкоза	Монозы : Дисахарид	Сахарокислотный индекс
<i>O. palustris</i>	+21,2	—	-10,0	—	-20,0	+15,0	+29,3
<i>O. macrocarpus Franklin</i>	-12,8	—	-12,6	-5,3	+16,7	+9,2	+5,5

Примечание. Здесь и далее в табл. 2, 3 прочерк означает отсутствие статистически значимых по *t*-критерию Стьюдента различий при $p < 0,05$

В отличие от растворимых сахаров, при адекватных условиях произрастания плоды крупноплодного вида характеризовались более высоким, чем у аборигенного вида, суммарным содержанием пектиновых веществ, составлявшим соответственно 7,37 и 8,94 % против 6,96 и 7,93 % сухой массы (табл. 2). Это было обусловлено более активным накоплением в них доминирующей фракции данных соединений – протопектина (3,82 и 5,58 % против 3,43 и 3,71 %), на фоне маловыразительных межвидовых различий в содержании гидропектина.

Вместе с тем реакция пектинового комплекса плодов обоих видов клюквы на изменение характера субстрата оказалась весьма схожей, что следует из данных табл. 2. Так, в обоих случаях возделывание растений на выработанном торфянике способствовало обогащению плодов пектиновыми веществами на 13,9 и 21,3 % относительно их ана-

логов на мелиорированном торфянике, более выраженному у крупноплодного вида. У последнего это обеспечивалось исключительно активизацией накопления нерастворимого пектина при незначительном (в пределах 5 %) обеднении плодов гидропектином, тогда как у дикорастущего вида, напротив, имело место усиление в них биосинтеза обеих фракций пектиновых веществ, особенно гидропектина. Показанные межвидовые различия в изменении состава пектинового комплекса плодов при возделывании исследуемых таксонов клюквы на выработанном торфянике проявились также в соответствующих изменениях соотношения фракций пектиновых веществ, свидетельствующих о существенном усилении позиций протопектина в углеводном пуле крупноплодного вида и гидропектина в таковом дикорастущего вида.

Таблица 2. Относительные различия содержания пектиновых веществ в сухой массе плодов таксонов рода *Oxusoccus* на мелиорированном (контроль) и выработанном торфяниках, %

Вид	Гидропектин	Протопектин	Сумма пектиновых веществ	Протопектин : Гидропектин
<i>O. palustris</i>	+19,6	+8,2	+13,9	-10,0
<i>O. macrocarpus Franklin</i>	-5,1	+46,1	+21,3	+54,6

Независимо от способа эксплуатации торфяников в условиях опытной культуры плоды сорта *Franklin* крупноплодного вида клюквы характеризовались более высоким, чем у *O. palustris*, суммарным содержанием биофлавоноидов, составлявшим в их сухой массе соответственно 7639,0 и 10854,5 мг % против 5686,8 и 7014,4 мг %, и при сходном содержании флавонолов было обусловлено более активным в первом случае накоплением антициановых пигментов и катехинов.

Подобно пектиновому комплексу, реакция биофлавоноидного комплекса плодов обоих видов клюквы на изменение характера субстрата оказалась весьма схожей, что следует из данных (рис. 2). Так, возделывание их на выработанном

торфянике сопровождалось достоверным увеличением содержания в плодах биофлавоноидов (на 23 % у *O. palustris* и на 42 % у сорта *Franklin* крупноплодного вида), по сравнению с аналогами данных таксонов на мелиорированном торфянике. В первом случае это было обусловлено активизацией накопления в них только антициановых пигментов и катехинов, тогда как во втором – имело место также весьма заметное усиление биосинтеза флавонолов, что в сочетании с более выраженной, чем у дикорастущей клюквы, активизацией накопления в плодах собственно антицианов, обеспечило столь ощутимый интегральный эффект увеличения Р-витаминной активности ягодной продукции крупноплодного вида клюквы.

В зависимости от характера субстрата содержание в сухой массе плодов дикорастущей и крупноплодной клюквы дубильных веществ составляло соответственно 3,18–4,14 и 4,78–5,09 %, жирных масел 5,65–6,42 и 5,68–5,90 %, тритерпеновых кислот 2,96–3,09 и 3,09–3,32 %. При этом возделывание исследуемых таксонов на выработанном торфянике способствовало

обогащению их плодов, относительно аналогов на мелиорированном торфянике, дубильными веществами на 6 и 30 %, более выраженному у *O. palustris* L., для которого была показана также активизация накопления в них жирных масел на 14 %, причем в плодах обоих видов наряду с этим отмечено усиление накопления тритерпеновых кислот на 4–7 % (табл.3).

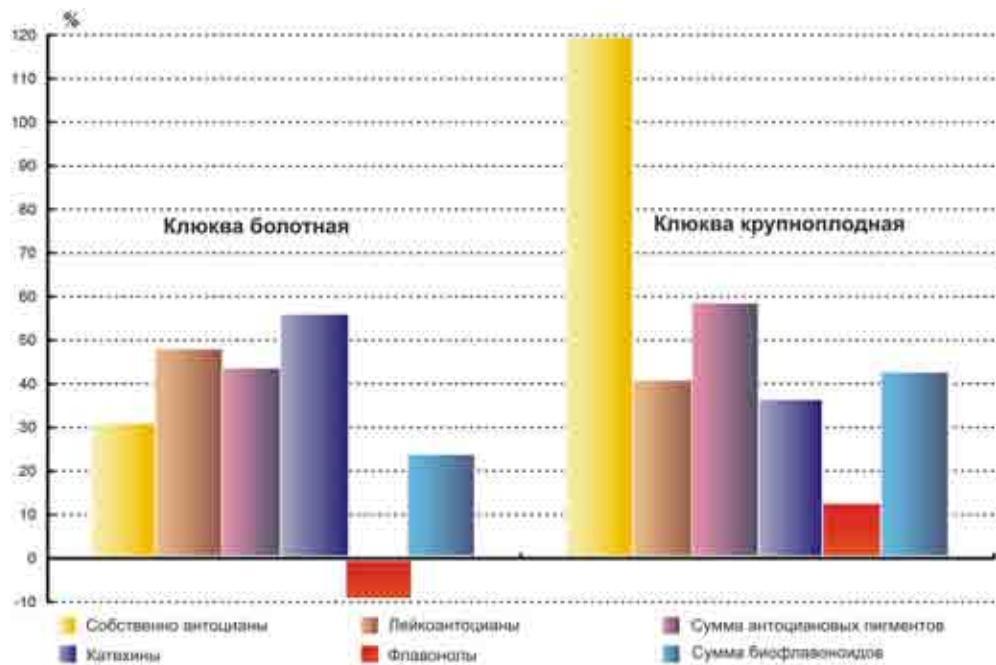


Рис. 2. Относительные различия содержания биофлавоноидов в сухой массе плодов таксонов рода *Oxusoccus* на мелиорированном (контроль) и выработанном торфяниках, %

Таблица 3. Относительные различия содержания терпеноидов, фенольных полимеров и макроэлементов в сухой массе плодов таксонов рода *Oxusoccus* на мелиорированном (контроль) и выработанном торфяниках, %

Вид	Тритерпеновые кислоты	Жирные масла	Дубильные вещества	N	P	K	Ca	Mg
<i>O. palustris</i>	+4,4	+13,6	+30,2	+17,3	+25,0	—	+10,7	—
<i>O. macrocarpus Franklin</i>	+7,4	—	+6,5	-9,7	-33,3	-31,7	-12,1	—

Способ эксплуатации торфяника оказал достаточно заметное влияние и на макроэлементный состав плодов исследуемых таксонов клюквы. В ответной реакции растений на изменение характера субстрата отчетливо проявились межвидовые различия (табл. 3).

К примеру, в условиях опытной культуры на выработанном торфянике плоды *O. palustris* характеризовались на 11–25 % более высоким, по сравнению с их аналогами на мелиорированном торфянике, содержанием азота, фосфора и кальция, при отсутствии достоверных межвидовых различий в содержании калия и магния. В отличие от аборигенного вида клюквы, для сорта *Franklin* крупноплодного вида при возделывании на выработанном торфянике, напротив, было показано на 10–33 % более низкое, чем на мелиорированном торфянике, содержание в плодах всех элементов, за исключением магния.

Для установления степени влияния способа эксплуатации торфяника на параметры накопления полезных веществ в плодах обоих исследуемых таксонов клюквы, для каждого из них были определены суммарные значения количеств, относительных размеров, амплитуд и соотношений статистически достоверных разноориентированных сдвигов в биохимическом составе плодов по 26 показателям при возделывании на выработанном торфянике, относительно таковых на мелиорированном, принятом за эталон сравнения. Подобная информация приведена в табл. 4.

Анализ приведенных данных выявил наличие заметных генотипических различий в направленности и величине вышеуказанных сдви-

гов, свидетельствующих о различиях ответной реакции исследуемых таксонов на изменение характера субстрата. Так, из 26 рассматриваемых признаков достоверным превышением эталонных значений у *O. palustris* L. отмечены 17 признаков, отставанием от них – 5, тогда как у сорта *Franklin* их количество и в том, и в другом случае составляло 11. В результате только у дикорастущей клюквы имело место превышение количества сдвигов положительной направленности относительно отрицательной, указывающее на определенные преимущества в биохимическом составе плодов при ее выращивании на выработанном торфянике. У сортовой же клюквы кратный размах соотношения количеств разноориен-

тированных сдвигов в биохимическом составе плодов соответствовал 1,0, что однозначно доказывало идентичность частоты проявления случаев превышения и отставания ее от эталона сравнения в накоплении в плодах полезных веществ. При этом амплитуда данных сдвигов, указывающая на степень проявления различий с эталоном, оказалась несколько меньшей у аборигенного вида клюквы, нежели у крупноплодного (соответственно 451 и 511 %), что свидетельствовало о явной несоизмеримости у тестируемых объектов средневзвешенных значений отклонений от эталона совокупности анализируемых признаков в ту или иную сторону.

Таблица 4. Суммарные значения количеств, относительных размеров, амплитуд и соотношений разноориентированных сдвигов в биохимическом составе плодов таксонов рода *Oxusoccus* при возделывании на выработанном торфянике, относительно таковых на мелиорированном

Вид	Количество сдвигов, шт.			Относительные размеры сдвигов, %			
	положительных	отрицательных	положительные : отрицательные	положительных	отрицательных	амплитуда	положительные : отрицательные
<i>O. palustris</i>	17	5	3,4	370,7	80,1	450,8	4,6
<i>O. macrocarpus</i>	11	11	1,0	356,3	154,8	511,1	2,3

Вместе с тем при выявлении степени ответной реакции тестируемых таксонов клюквы на изменение характера торфяного субстрата, представляется более оправданным использование соотношения не только количеств, но и суммарных величин относительных размеров различий с эталонными значениями позитивных и негативных сдвигов в их биохимическом составе. В этом случае размеры данного соотношения у дикорастущей клюквы оказались вдвое больше, чем у сортовой (соответственно 4,6 и 2,3), что, с одной стороны, свидетельствовало о более высоких средневзвешенных значениях положительных, нежели отрицательных, отклонений от эталона в биохимическом составе плодов обоих видов клюквы, а с другой стороны, указывало на явные преимущества в накоплении полезных веществ в плодах обоих видов клюквы при выращивании в условиях выработанного торфяника, относительно мелиорированного, при более выраженной ответной реакции на характер субстрата у дикорастущей клюквы.

Таким образом, в результате сравнительного исследования количественных характеристик биохимического состава плодов *O. palustris* и сорта *Franklin* крупноплодного вида клюквы при возделывании в опытной культуре на выработанном и мелиорированном торфяниках было установлено существенное влияние на них характера органического субстрата.

Так, возделывание обоих видов рода *Oxusoccus* на выработанном торфянике выявило ряд преимуществ перед их возделыванием на мелиорированном торфянике при сходстве ответной реакции *O. palustris* и сорта *Franklin* крупно-

плодного вида в плане активизации накопления в плодах пектиновых веществ на 14 и 21 %, биофлавоноидов на 23 и 42 %, более выраженной у представителя крупноплодного вида, на фоне увеличения сладости плодов на 6 и 29 %, обусловленного снижением на 11 и 19 % содержания в них свободных органических кислот (при отсутствии заметных изменений в общем содержании растворимых сахаров), а также увеличения на 6 и 30 % содержания в плодах дубильных веществ, более выраженного у дикорастущей клюквы. Показано, что возделывание последней на выработанном торфянике способствовало обогащению ее плодов примерно на 10 % сухими веществами и витамином С, на 14 – жирными маслами и примерно на 20 – глюкозой и гидропектином, на 11–25 % азотом, фосфором и кальцием тогда как у крупноплодного вида в данном случае наблюдалось обеднение на 5–13 % перечисленными органическими соединениями, а также на 10–33 % макроэлементами, по сравнению с их аналогами на мелиорированном торфянике. Вместе с тем возделывание обоих видов клюквы на выработанном торфянике приводило к обогащению их плодов на 4–7 % тритерпеновыми кислотами, на фоне их обеднения на 16–38 % бензойной кислотой, более выраженного у *O. palustris*.

Установлены явные преимущества в накоплении полезных веществ в плодах обоих видов клюквы при выращивании в условиях выработанного торфяника относительно мелиорированного, при более выраженной ответной реакции на изменение характера субстрата у дикорастущей клюквы.

Литература

1. ГОСТ 8756.2-82. Методы определения сухих веществ. М., 1982.
2. Государственная фармакопея СССР. Общие методы анализа. М., 1987. Вып. 1. С. 286–287.
3. Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П. и др. Методы биохимического исследования растений. М., 1987.
4. Завадская И. Г., Горбачева Г. И., Мамушина Н. С. Количественное определение углеводов ре-зорциновым и анилинфталатным методами с помощью бумажной хроматографии // Методика количественной бумажной хроматографии сахаров, органических кислот и аминокислот у растений. М.-Л., 1962. С. 17–26.
5. Запрометов М. Н. Биохимия катехинов. М., 1964.
6. Калебин М. И., Колесник А. А. Исследование свежих плодов, овощей и продуктов их переработки // Исследование пищевых продуктов / Под ред. Ф. В. Церевитинова. М., 1949. С. 218–245.
7. Мжаванадзе В. В., Таргамадзе И. Л., Драник Л. И. Количественное определение хлорогеновой кислоты в листьях черники кавказской (*V. arctostaphylos* L.) // Сообщ. АН Груз. ССР. 1971. Т. 63, вып. 1. С. 205–210.
8. Сапунов В. А., Федуняк И. И. Методы оценки кормов и зоотехнический анализ. Минск, 1958. С. 88–90.
9. Сарапуу Л. П., Майдла Х. Фенольные соединения яблони // Учеб. зап. Тарт. Гос. ун-та. 1971. Вып. 256. С. 111–113.
10. Симонян А. В., Шинкаренко А. Л., Оганесян Э. Т. Количественное определение тритерпеноидов в растениях рода *Thymus* // Химия природных соединений. 1972. № 3. С. 293–295.
11. Скорикова Ю. Г., Шафтэн Э. А. Методика определения антоцианов в плодах и ягодах // Тр. 3-го Всесоюз. сем. по биол. актив. (лечебным) веществам плодов и ягод. Свердловск, 1968. С. 451–461.
12. Фоменко К. П., Нестеров Н. Н. Методика определения азота, фосфора и калия в растениях из одной навески // Химия в сельском хозяйстве. 1971. № 10. С. 72–74.
13. Шнайдман Л. О., Афанасьевна В. С. Методика определения антоциановых веществ // 9-й Менделеевский съезд по общ. и прикл. химии: Реф. докл. и сообщ. М., 1965. № 8. С. 79–80.
14. Swan T., Hillis W. The Phenolic Constituents of *Prunus Domenstica*. 1. The Quantitative Analysis of Phenolic Constituents // J. Sci. Food Agric. 1959. Vol. 10, № 1. P. 63–68.

Центральный ботанический сад НАН Беларуси

Ж. А. Рупасова, А. П. Яковлев, Т. И. Василевская

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОРФЯНИКОВ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛОДОВ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА OXYCOCCUS Hill. В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА БЕЛАРУСИ

*Дана сравнительная оценка количественных характеристик биохимического состава плодов двух таксонов рода *Oxycoccus Hill.* – клюквы болотной (*O. palustris* L.) и сорта *Franklin* североамериканского вида *O. macrocarpus* (Ait.) Pers. при их выращивании в опытной культуре на выработанном и мелиорированном торфяниках в условиях севера Беларуси, что позволило выявить степень зависимости параметров накопления в них полезных веществ, относящихся к разным классам химических соединений, от характера органического субстрата. Установлены явные преимущества в накоплении полезных веществ в плодах обоих видов клюквы при выращивании в условиях выработанного торфяника относительно мелиорированного, при более выраженной ответной реакции на изменение характера субстрата у дикорастущей клюквы.*

Zh. A. Rupasova, A. P. Yakovlev, T. I. Vasilevskaya

INFLUENCE OF MEANS OF EXPLOITATION OF PEAT BOGS ON BIOCHEMICAL COMPOSITION OF FRUITS OF REPRESENTATIVES OF GENUS OXYCOCCUS Hill. IN THE CONDITIONS OF THE NORTH OF BELARUS

*At cultivation in skilled culture of a marsh cranberries (*O. palustris* L.) and of a large cranberries *O. macrocarpus* (Ait.) Pers. on the developed and ameliorated peat bogs in the conditions of the north of Belarus the comparative assessment of quantity indicators of biochemical composition of their fruits has been obtained. It has allowed to reveal a degree of dependence of parameters of accumulation in baccas of the beneficial materials which are falling into different classes of chemical combinations, from the character of organic substrate. Explicit advantages in accumulation of beneficial materials in fruits of both kinds of a cranberry are positioned at cultivation in the conditions of the developed peat bog concerning ameliorated, at more expressed response to change of character of substrate at a marsh cranberries.*

А. П. Гусев, Н. С. Шпилевская

ФИТОИНДИКАЦИОННО-ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АНТРОПОГЕННОЙ ДИНАМИКИ ЛЕСНОГО ЛАНДШАФТА

Рассмотрены общая схема и результаты фитоиндикационно-геоэкологического анализа антропогенной динамики геосистем юго-востока Беларуси. Предложен новый методический подход к оценке напряженности геоэкологической ситуации, базирующийся на изучении процессов деградации и восстановления геосистем. Рассмотрены особенности процессов деградации лесных геосистем, отражающиеся в фитоиндикационных показателях. Динамические тенденции на территории модельного района были оценены по особенностям потенциально возможного протекания восстановительных сукцессий. В качестве критерия оценки использовано площадное соотношение геосистем с дегрессивной динамикой; геосистем, в которых восстановительная сукцессия задерживается на тех или иных стадиях; геосистем с нормальным режимом протекания сукцессий.

В целях совершенствования системы геоэкологической оценки на основе исследований, проведенных в 1998–2009 гг., нами разработан фитоиндикационно-геоэкологический анализ (ФГА) динамики геосистем – методологическая концепция геоэкологических исследований динамики геосистем с использованием фитоиндикационных критериев. Суть ФГА – изучение пространственно-временных изменений геоэкологического состояния геосистем (геоэкологических ситуаций), отражающихся в комплексе показателей растительного покрова. Объектом ФГА выступают природные и природно-антропогенные геосистемы локального уровня. Предмет ФГА – динамика геосистем и связанные с ней изменения их геоэкологических характеристик (средо- и ресурсовоспроизводящих свойств, продуктивности, биоразнообразия, экологического равновесия), диагностируемые по фитоиндикаторам.

ФГА территории реализован как алгоритм методических разработок, представляющих следующие этапы.

1. Изучение природно-ландшафтной дифференциации территории; привязка к существующим схемам природно-ландшафтного районирования и классификации. Выяснение системы местоположений (на основе топографических карт масштаба 1:10000, 1:100000; полевых наблюдений).

2. Разработка модели сукцессионного комплекса как системы автогенных сукцессионных рядов, привязанных к типам местоположений. Выяснение основных характеристик сукцессионных процессов (на основе маршрутных наблюдений и исследований на постоянных пробных площадках).

3. Изучение современного использования земель. Инвентаризация видов землепользования и определение ареалов их распространения (на основе топографических карт, космоснимков, полевых наблюдений). Оценка антропогенной нагрузки. Выявление негативных природно-антропогенных процессов, определение их ареалов (по фитоиндикаторам, в качестве которых

выступают растительные сообщества и их характеристики). Оценка загрязнения компонентов геосистем (по литературным и фондовым источникам, а также по фитоиндикаторам). Выявление зон деградации растительного покрова, вызванной загрязнением.

4. Выяснение влияния антропогенной нагрузки и трансформации геосистем на сукцессионные процессы. Сравнение восстановительных сукцессий в геосистемах, имеющих различный уровень антропогенной трансформации. Определение современного сукцессионного статуса геосистем территории (сукцессионный статус геосистемы скоррелирован с ее средообразующими и средозащитными свойствами, продуктивностью, биоразнообразием). Оценка потенциала самовосстановления геосистем.

5. Оценка напряженности современной геоэкологической ситуации по соотношению процессов восстановления и деградации геосистем, с учетом загрязнения их компонентов. Анализ и оценка современных динамических тенденций.

Исследования проводились на территории модельного района, расположенного на юго-востоке Беларуси. Модельный район представляет собой территорию, обособленную долинами малых рек: Рандовка (с севера); Уза (с запада); Мильчанская канава (с востока и юго-востока). Общая площадь района составляет 72,3 км². Структура землепользования характеризуется преобладанием лесных геосистем – 43,9 %. Луга, пастбища, сенокосы занимают 24,1 %. Пахотные земли – 19,5 %. На долю нарушенных и застроенных земель приходится 10,2 % территории. Промышленно-техногенная нагрузка на геосистемы района связана с Гомельским химическим заводом, Гомельским радиозаводом, городской свалкой твердых бытовых отходов, полями фильтрации и рядом других техногенных объектов. Природно-ландшафтная основа представлена аллювиальным террасированным ландшафтом (53,7 % территории); моренно-зандровым ландшафтом (42,0 %) и пойменным ланд-

шафтом (4,3 %) (согласно классификации природных ландшафтов Беларуси [3]).

В пределах модельного района были выделены 7 участков, отличающихся природными условиями, величиной антропогенной нагрузки и спецификой хозяйственного освоения: I – северный участок (моренно-зандровая равнина, с покровом лесовидных суглинков; доминирует сельскохозяйственная нагрузка); II – северо-западный участок (2-я надпойменная терраса; доминирует сельскохозяйственная нагрузка); III – северо-восточный участок (экотон морено-зандрового и аллювиального террасированного ландшафта; доминирует промышленно-техногенный тип нагрузки); IV – центральный участок (2-я надпойменная терраса; преобладают лесные геосистемы); V – юго-западный участок (1-я надпойменная терраса; преобладают лесные геосистемы); VI – юго-восточный участок (1-я надпойменная терраса, захватывает западную окраину города Гомеля; доминирует нагрузка, связанная с городской застройкой и рекреацией); VII – южный участок (1-я надпойменная терраса; характерна многофакторная антропогенная нагрузка – сельскохозяйственная деятельность, складирование отходов).

Полевые работы выполнялись на ключевых участках и включали геоботаническую съемку по общепринятой методике [4] (2–5 пробных площадок размером 100–200 м² на ключевом участке); определение характеристик модельных деревьев (не менее 20 штук на ключевом участке); определение показателей антропогенного воздействия; выяснение природно-ландшафтных условий (тип почв, состав почвообразующих пород, глубина залегания грунтовых вод, проявления современных геологических процессов). Общее количество ключевых участков – 220, из них в лесных геосистемах – 102 ключевых участка.

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) и др. Для оценки состояния растительного покрова и сукцессионного статуса геосистем также использовались видовое богатство (число видов на 100 м²); численность естественного возобновления древесных видов (шт./га); доля терофитов в спектре жизненных форм (проценты от всех видов); доля фанерофитов в спектре жизненных форм (проценты от всех видов); представленность видов класса *Querco-Fagetea* (неморальные широколиственные леса) эколого-флористической классификации Браун-Бланке [6] (проценты от общего числа видов); представленность видов класса *Vaccinio-Piceetea* (boreальные хвойные леса) эколого-флористической классификации Браун-Бланке (проценты от общего числа видов); представленность лесных видов (виды всех лесных классов растительности, про-

центы от общего числа видов); синантропизация (доля видов синантропных классов *Stellarietea media*, *Artemisietae vulgaris*, *Agropyretea repentis* и так далее эколого-флористической классификации Браун-Бланке, проценты от общего числа видов). Оценка адвентизации растительности выполнялась по критериям: АД₁ – доля адвентивных видов от общего числа видов флоры (проценты от числа всех видов), характеризует степень адвентизации флоры; АД₂ – доля адвентивных видов в покрытии (проценты от общего проективного покрытия), характеризует эколого-ценотическое значение адвентивных видов в растительном покрове; АД₃ – доля адвентивных видов деревьев от общего числа древесных видов; АД₄ – доля адвентивных видов деревьев от общей численности естественного возобновления, характеризует эколого-ценотическое значение адвентивных деревьев, их способность к самовоспроизведению. Оценка состояния древостоя (насаждения) на ключевом участке выполнялась путем расчета индекса состояния древостоя по формуле

$$L_n = (100n_1 + 70n_2 + 40n_3 + 5n_4) / N,$$

где n_1 – количество здоровых деревьев; n_2 – количество ослабленных деревьев; n_3 – количество сильно ослабленных деревьев; n_4 – количество усыхающих деревьев; N – общее количество деревьев (включая сухостой) [5].

Для напряженности геоэкологической ситуации использовались: коэффициент пораженности территории современными геологическими процессами

$$\Pi_{\text{ср}} = (S_{\text{ср}} / S) \cdot 100 \%,$$

где $S_{\text{ср}}$ – площадь распространения современных геологических процессов; S – общая площадь; коэффициент пораженности территории дигрессиями растительности

$$\Pi_{\text{др}} = (S_{\text{др}} / S) \cdot 100 \%,$$

где $S_{\text{др}}$ – площадь территории, на которой отмечаются дигрессивная динамика растительности (антропогенных модификаций лесных геосистем, связанных с рекреацией, загрязнением атмосферы, пожарами, подтоплением); S – общая площадь; $\Pi_{\text{кз.}}$ – удельная площадь территории с катастрофическим уровнем загрязнения почв и вод (уровень загрязнения, при котором существование высшей растительности не возможно); коэффициент экологической стабильности:

$$K_c = \sum s_i \cdot k_i \cdot g,$$

где s_i – удельная площадь вида землепользования; k_i – экологическая значимость этого вида землепользования; g – коэффициент устойчивости рельефа [1]; $S_{\text{ПСВ=0}}$ – удельная площадь участков с «нулевым» потенциалом самовосстановления (здания, асфальтовые покрытия, токсичные грунты). Для уточнения генезиса дигрессивных изменений растительности и последующей оценки геоэкологической ситуации использова-

лись данные по загрязнению компонентов геосистем, взятые из опубликованных и фондовых источников. Градации оценочных показателей, приводятся в табл. 1.

Индекс напряженности ситуации рассчитывается по формуле:

$$H_{\text{гэс}} = \Sigma H_i / n,$$

где H_i – напряженность по i -му показателю, балл; n – число используемых показателей. Напряженность геоэкологической ситуации модельного района (геосистемы более высокого ранга) оценивается на основе анализа составляющих его участков. Предлагаются следующие градации $H_{\text{гэс}}$: 1,0–1,50 – очень низкая (нормальная ситуация); 1,51–2,50 – низкая (удовлетворительная ситуация); 2,51–3,50 – средняя (критическая ситуация); 3,51–4,50 – сильная (кризисная ситуация); 4,51–5,00 – очень сильная (катастрофическая ситуация).

Основной картографический материал, отражающий результаты ФГА, представлялся в виде набора карт, выполненных с помощью программного пакета ArcView 3.2a: природно-ландшафтной основы; структуры землепользования;

размещения ключевых участков; негативных природно-антропогенных процессов; современных сукцессионных статусов геосистем; средообразующей способности растительного покрова (актуальной); современных динамических тенденций, оценки напряженности геоэкологических ситуаций. Расчет площадных показателей осуществлялся на основе модуля Spatial Analyst 2.0a. Статическая обработка выполнялась с помощью программного пакета STATISTICA 6.0.

Геоэкологическая ситуация зависит от соотношения процессов деградации и восстановления геосистем. Ее напряженность возрастает при увеличении глубины и пространственного охвата деградационных процессов, снижении способности геосистем выполнять средо- и ресурсовоспроизводящие функции, сохранять экологическое равновесие, поддерживать биопродуктивность и биоразнообразие.

Спектр процессов деградации геосистем района представлен в табл. 2. Видно, что в наибольшей степени этими процессами поражена территория III участка.

Таблица 1. Критерии оценки напряженности геоэкологической ситуации*

Критерий	Геоэкологическая ситуация				
	1	2	3	4	5
ПТ _{срп} , %	< 1	1–5	5–25	25–50	> 50
ПТ _{др} , %	< 1	1–5	5–25	25–50	> 50
ПТ _{кз} , %	0	0–1	1–5	5–25	> 25
S _{ПСВ=0} , %	< 1	1–5	5–25	25–50	> 50
K _c	1,0–0,67	0,66–0,51	0,50–0,34	0,33–0,0	< 0,0

*Напряженность геоэкологической ситуации: 1 – очень низкая (нормальная); 2 – низкая (удовлетворительная); 3 – средняя (критическая); 4 – сильная (кризисная); 5 – очень сильная (катастрофическая).

Таблица 2. Негативные природно-антропогенные процессы на территории модельного района

Показатель	Участки						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Подтопление и заболачивание, %	1,2	1,1	12,9	4,8	0,2	1,2	1,0
Водная эрозия, %	5,0	0	5,5	0	0	0	4,2
Дигрессия лесных экосистем, %	1,5	0,3	12,1	3,0	0	13,3	3,5
Дигрессия лесных экосистем, % от площади лесных экосистем	55,6	10,3	53,5	3,2	0	49,3	17,9
Гибель растительности, %	0	0	1,6	0	0	0	0,3

Дигрессия лесной растительности – один из наиболее распространенных негативных процессов на изучаемой территории (3,6 % всей территории района и свыше 8 % площади лесных геосистем), оказывающий значительное влияние на ее средообразующий потенциал. Дигрессивная динамика обусловлена различными видами антропогенного воздействия: рекреация; воздействие выбросов транспорта и стационарных источников (промышленных предприятий); пирогенное воздействие, подтопление. Наиболее широко распространенным фактором деградации

лесных геосистем на территории района исследований являются пожары, возникновение которых тесно связано с деятельностью человека. Максимальная степень деградации (вплоть до разрушения древостоя) имеет место при комбинированном воздействии нескольких антропогенных факторов: химического загрязнения и пожаров, рекреации и пожаров. Нарушение древесного яруса обуславливает трансформацию видового состава растительности нижних ярусов. При разрушении или повреждении древостоя нижние ярусы «открываются» и нагрузка на них усиливается.

ется. Так, в экосистемах с сильно поврежденным и поврежденным древостоем доля лесных видов составляет от 6,3 до 62,5 % от общего числа видов (среднее значение – 27,1 %); доля синантропных видов от 4,8 до 57,1 % (23,9 %). В спектре жизненных форм возрастает доля терофитов (с 0,5 % в фоновых лесах до 11,4 %) и уменьшается доля фанерофитов (с 50,5 % в фоновых лесах до 26,6 %). В нарушенные экосистемы вторгаются адвентивные виды, которые практически отсутствуют в фоновых лесах. Их доля может составлять до 30 % от общего числа видов и 40 % от общего проектного покрытия. В травяном ярусе сосновых лесов с разрушенным и сильно поврежденным древостоем доминируют синантропные и луговые виды – *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Chamerion angustifolium* (L.) Holub, *Tanacetum vulgare* L., *Chelidonium majus* L., *Achillea millefolium* L., *Conyza canadensis* (L.) Cronquist, *Rumex acetosella* L., *Daucus carota* L., *Oenothera biennis* L., *Dactylis glomerata* L. и др. Из лесных видов присутствуют лишь немногие:

Convallaria majalis L., *Melampyrum sylvaticum* L., *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn. и некоторые другие. Численность естественного возобновления древесных пород, как правило, не превышает 2–3 тыс. шт./га и представлено *Betula pendula* Roth., *Populus tremula* L., реже *Pinus silvestris* L., *Quercus robur* L. В лесах, примыкающих к городской застройке, в естественном возобновлении увеличивается доля адвентивных *Acer negundo* L. и *Robinia pseudoacacia* L.

Состояние конкретной лесной геосистемы зависит как от локальной нагрузки, так и от состояния окружающих геосистем (табл. 3). Так, состояние древесного яруса (индекс L_n) улучшается по мере роста коэффициента экологической стабильности окружающей геосистемы, величины лесного массива и расстояния до ближайшего источника выбросов. И, наоборот, чем выше площадь геосистем с «нулевым» потенциалом самовосстановления и величина пирогенного воздействия, тем хуже состояние древесного яруса.

Таблица 3. Взаимосвязь показателей деградации лесных экосистем с ландшафтно-экологическими факторами (коэффициент корреляции R Спирмена, $p < 0,05$)

Показатель	$S_{\text{ПСВ}=0}$	K_c	S_l	R_1	R_2	ПВ
Видовое богатство (число видов на 100 м ²)	Н.д.*	Н.д.	Н.д.	Н.д.	0,22	Н.д.
Представленность лесных видов (проценты от общего числа видов)	-0,51	0,68	0,66	0,36	0,24	-0,51
Представленность синантропных видов (проценты от общего числа видов)	0,49	-0,68	-0,62	-0,37	-0,27	0,47
Представленность терофитов (проценты от общего числа видов)	0,47	-0,55	-0,54	Н.д.	-0,26	0,30
Представленность фанерофитов (проценты от общего числа видов)	-0,33	0,48	0,54	Н.д.	0,26	-0,42
Численность естественного возобновления древесных видов (шт./га)	-0,34	0,42	0,40	Н.д.	0,32	-0,23
Представленность видов класса <i>Querco-Fagetea</i> – неморальные широколиственные леса (проценты от общего числа видов)	-0,41	0,58	0,51	0,25	0,35	-0,53
ΔD_1	0,45	-0,48	-0,49	Н.д.	Н.д.	0,34
ΔD_2	0,35	-0,35	-0,40	Н.д.	Н.д.	0,27
ΔD_3	0,34	-0,40	-0,39	-0,28	Н.д.	Н.д.
ΔD_4	0,35	-0,40	-0,38	-0,26	Н.д.	Н.д.
L_n	-0,38	0,54	0,48	0,50	Н.д.	-0,49

Примечание. Н.д.* – значение коэффициентов корреляции недостоверны ($p > 0,05$). $S_{\text{ПСВ}=0}$ – удельная площадь геосистем с «нулевым» потенциалом самовосстановления, % (в скользящем квадрате 1x1 км); K_c – коэффициент экологической стабильности геосистемы (в скользящем квадрате 1x1 км); S_l – площадь лесного массива, в пределах которого размещен ключевой участок; R_1 – расстояние до ближайшего источника выбросов, км; R_2 – расстояние до ближайшей жилой застройки, км; ПВ – пирогенное воздействие (средняя высота нагара на модельных деревьях, м).

Анализ показал (табл. 4), что в пределах модельного района имеется широкий спектр гео-экологических ситуаций: от нормальной (участки IV и V) до кризисной (участок III). Нормальная ситуация характерна для 43,1 %, удовлетворительная – для 4,6 %, критическая – для 41,6 %, кризисная – для 10,7 % площади всего района. Кризисная ситуация на территории участка III обусловлена преобладанием здесь геосистем с низ-

ким средообразующим потенциалом (застройка, нарушенные земли), значительной степенью пораженности современными геологическими процессами и дегрессиями растительности, высоким уровнем химического загрязнения (в зоне влияния полигона твердых отходов Гомельского химического завода). В целом на территории модельного района удовлетворительная ситуация.

Таблица 4. Оценка напряженности геоэкологической ситуации на территории модельного района

Показатель	Участок						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
ПТ _{сгп} , %	5,3	1,1	18,4	4,8	0,2	1,2	5,2
ПТ _{кз} , %	0	0	1,6	0	0	0	0,3
ПТ _{др} , %	1,5	0,3	12,1	3,0	0	13,3	3,5
K _c	0,19	0,40	-0,23	0,84	0,83	-0,18	0,25
S _{ПСВ=0} , %	5,7	4,6	46,8	0,7	0,8	40,5	6,2
H _{гэс} , балл	2,6	1,8	3,6	1,4	1,0	3,0	2,8
Удельная площадь участка, %	28,3	4,6	10,7	28,0	15,1	5,5	7,8

Динамические тенденции (при условии сохранения современного уровня антропогенной нагрузки) были оценены по особенностям потенциально возможного протекания восстановительных сукцессий. При этом исходили из того, что для природных геосистем угрозу представляет не столько антропогенное уничтожение какой-либо биологической части, сколько разрушение механизма самовосстановления, так как биота и экосистемы способны регенерироваться в ходе сукцессий, пока не нарушены основные связи саморегулирования [2]. Критериями нарушения восстановительных процессов (уровня деградации потенциала самовосстановления) служили: 1) признаки задержки сукцессий на нелесных стадиях – длительный абиенный этап (2–10 и более лет); длительная пионерная стадия (3–10 и более лет); отсутствие или низкая численность естественного возобновления раннесукцессионных деревьев; низкое проективное покрытие травянистой растительности; 2) признаки

задержки сукцессий на стадии раннесукцессионного леса – отсутствие или низкая численность естественного возобновления позднесукцессионных деревьев; высокая синантропизация травяной, кустарниковой и древесной растительности; низкая представленность видов класса *Querco-Fagetea*; 3) показатели адвентизации растительности – высокая степень адвентизации естественного возобновления деревьев и кустарников на нелесных стадиях; высокая степень адвентизации травяной, кустарниковой и древесной растительности на лесных стадиях; наличие естественного возобновления адвентивных деревьев.

Важным критерием оценки динамических тенденций территории является площадное соотношение геосистем с дигрессивной динамикой; геосистем, в которых восстановительная сукцессия задерживается на тех или иных стадиях; геосистем с нормальным режимом протекания сукцессий (табл. 5).

Таблица 5. Оценка динамических тенденций на территории модельного района

Показатель	Участок						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Геосистемы с дигрессивной динамикой растительности, %	1,7	0,3	19,4	9,7	0,2	39,1	3,6
Геосистемы, в которых сукцессия задерживается на начальной стадии, %	5,7	4,6	46,8	0,7	0,8	40,5	6,2
Геосистемы, в которых сукцессия задерживается на бурьянных и луговых стадиях, %	52,9	7,5	21,6	0,7	0	7,8	23,5
Геосистемы, в которых сукцессия задерживается на стадии раннесукцессионного леса, %	38,7	3,5	11,8	1,2	0,5	12,6	13,9
Геосистемы, в которых сукцессии протекают в нормальном режиме, %	1,0	84,1	0,4	87,7	98,5	0	52,8

Геосистемы с дигрессивной динамикой имеют широкое распространение на территории VI (на 39,1 % площади) и III (19,4 %) участков. Задержка сукцессии на той или иной стадии характерна для I (на 97,5 % площади), III (80,2 %), и VI (60,9 %) участков. В нормальном режиме восстановительные сукцессии протекают на территории II (84,1 %), IV (87,7 %), V (98,3 %) и VII (52,8 %) участков. Исходя из этого, благоприят-

ные и относительно благоприятные тенденции характерны для участков II, IV, V и VII (напряженность геоэкологической ситуации сохраняется на нынешнем уровне), неблагоприятные – на участках I, III, VI (напряженность геоэкологической ситуации будет возрастать). В результате на территории модельного района в целом напряженность геоэкологической ситуации возрастет.

Таким образом, выполненные исследования показывают, что разработанный ФГА позволяет: 1) выявить и установить ареалы распространения негативных природно-антропогенных процессов; 2) на основе экологических критериев выполнить оценку современной геоэкологической ситуации;

3) оценить динамические тенденции, определяющие потенциальные геоэкологические ситуации.

Результаты ФГА могут служить основой для прогнозирования динамики геосистем, теоретического обоснования экологических нормативов и путей оптимизации природопользования.

Литература

1. Агрозоология / Под ред. В. А. Черникова, А. И. Чекереса. М., 2000.
2. Зональные типы биомов России: Антропогенные нарушения и естественные процессы восстановления экологического потенциала ландшафтов / Под ред. К. М. Петрова. СПб, 2003.
3. Марцинкевич Г. И. Ландшафтovedение: Учебник. Минск, 2007.
4. Миркин Б. М., Наумова Л. Г., Соломещ А. И. Современная наука о растительности: Учебник. М., 2002.
5. 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.
6. Braun-Blanquet J. Pflanzensociologie. Wien – New York, 1964.

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины

A. П. Гусев, Н. С. Шпилевская

ФИТОИНДИКАЦИОННО-ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АНТРОПОГЕННОЙ ДИНАМИКИ ЛЕСНОГО ЛАНДШАФТА

Рассматривается ФГА динамики геосистем – методологическая концепция геоэкологических исследований динамики геосистем с использованием фитоиндикационных критериев. Общая схема фитоиндикационно-геоэкологического анализа территории рассмотрена на примере модельного района, расположенного на юго-востоке Беларусь. Предложен новый методический подход к оценке напряженности геоэкологической ситуации, базирующийся на изучении процессов деградации и восстановления геосистем. Выявлен спектр характерных природно-антропогенных процессов (подтопление, водная эрозия, деградация лесной растительности) и установлены ареалы их распространения. Исследованы особенности процессов деградации лесных геосистем, отражающиеся в фитоиндикационных показателях. Выполнена оценка современной геоэкологической ситуации территории. На основе изучения особенностей протекания восстановительных сукцессий сделана оценка динамических тенденций на территории модельного района. Полученные результаты могут служить основой для прогнозирования динамики геосистем, теоретического обоснования экологических нормативов и путей оптимизации природопользования.

A. P. Gusev, N. S. Shpilevskaya

THE PHYTOINDICATIONAL-GEOECOLOGICAL ANALYSIS OF ANTHROPOGENIC DYNAMICS OF WOOD LANDSCAPE

PGA dynamics of geosystems is considered – a methodological concept of geoecological researches of geosystems dynamics with use of phytoindicator criteria. The general scheme of phytoindication-geoecological analysis of a territory is considered on an example of the modeling area in the southeast of Belarus. The new methodical approach to estimate an intensity of geoecological situation, based on studying of processes of degradation and restoration of geosystems has been offered. The spectrum of characteristic of nature-anthropogenic processes (flooding, water erosion, degradation of wood vegetation) has been revealed and areas of their distribution have been stated. Features of processes of degradation of the wood geosystems, reflected in phytoindicator indices have been investigated. The estimation of modern geoecological situation of the territory has been executed. On the basis of studying of features of the course of regenerative successions the estimation of dynamic tendencies in territory of modeling area has been made. The results obtained can form as a basis to forecast a dynamics of geosystems, of theoretical substantiation of ecological specifications and ways of nature management optimisation.

И. П. Козловская

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛИЧНЫХ АГРОЦЕНОЗОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНТЕТИЧЕСКИХ И ОРГАНИЧЕСКИХ КОРНЕОБИТАЕМЫХ СРЕД

Проведен сравнительный анализ затрат на субстраты и экологической нагрузки при функционировании тепличных агроценозов с использованием синтетических и органических корнеобитаемых сред.

В основе формирования агроэкосистем лежит фотосинтетическая функция культурных растений, и функционируют они как открытые системы за счет обмена веществами, энергией и информацией. Агроэкосистемы, сформированные по принципу оптимизации условий жизни растений, обеспечивают наиболее полную реализацию биологического потенциала растений, и высокую продуктивность ценоза. Производство продукции в современных агроэкосистемах базируется на оптимизации сложных, взаимосвязанных материально, энергетически, экономически и экологически процессах производства биологической продукции [1].

При формировании ряда агроэкосистем предусматривается получение биологической продукции во внебезонное время за счет дополнительных вещественных и энергетических субсидий. К такому типу относятся тепличные комбинаты – агроэкосистемы с интенсивным круглогодичным функционированием. По количеству получаемой овощной продукции гектар современных остеекленных теплиц соответствует 20–30 га овощей открытого грунта, а по стоимости овощной продукции – около 100 га [5].

Современный тепличный комбинат – агроэкосистема, которая предусматривает удовлетворение основных экологических требований растений посредством системы фитомониторинга, функционирующей на базе культивационных сооружений, обеспечивающих доступ солнечных лучей к растениям и изоляцию их от неблагоприятных условий внешней среды. Производство сельскохозяйственной продукции в современных тепличных комбинатах носит циклический характер и по характеру сближается с промышленным.

Тепличное овощеводство является важнейшей отраслью современного растениеводства, где выращивание растений наиболее полно отвечает требованиям «точного» земледелия. Учитывая дополнительные вложения в такие системы, грамотное управление их функционированием с целью наибольшей реализации в урожае биологического потенциала растений имеет особое значение. Повышение эффективности тепличного овощеводства базируется на

оптимизации энергетики и совершенствовании структуры ценоза.

Тепличные агроэкосистемы, где основные превращения веществ и энергии регулируются человеком, являются наиболее затратными, а биологический круговорот веществ в них имеет ряд специфических особенностей. Стабильное функционирование тепличного агроценоза, как и любой другой экосистемы, возможно при условии сохранения внутреннего единства, обусловленного тесными взаимосвязями между составляющими компонентами. В таком ценозе все энергетические и производственные затраты должны быть подчинены единой цели – достижению максимальной продуктивности культивируемых растений, а, следовательно, получению максимальной прибыли при минимальном загрязнении окружающей среды.

Основным принципом формирования энергетики тепличного ценоза является максимально возможное использование солнечной радиации, оптимизация вещественных и энергетических субсидий. Культивационные сооружения обеспечивают аккумуляцию световой энергии и ее частичную трансформацию в тепловую [5]. Однако климатические параметры окружающей культивационные сооружения среды не позволяют создать в них необходимый для роста и развития растений температурный режим без затрат дополнительной энергии, извлекаемой при сжигании топлива.

Устойчивость и продуктивность тепличных агроценозов зависят вещественных и энергетических субсидий, эффективность использования которых определяется качеством производственного процесса и экологической нагрузкой, которую формирует система за счет миграции веществ и энергии за ее пределы. Причем, чем меньше веществ и энергии выносится в окружающую среду, тем rationalней их использование системой.

Концентрационная функция живого вещества в таких системах реализуется за счет извлечения растениями элементов минерального питания из искусственно созданных субстратов, в которых, в отличие от почвы, эти элементы содержатся в растворенном виде в тех соотношениях, которые необходимы растениям [4]. Форми-

рование такого круговорота веществ позволяет значительно повысить эффективность использования удобрений и продуктивность растений.

В таком ценозе миграция потоков веществ, в первую очередь элементов питания, определяется циркуляцией воды. Особенности функционирования тепличной агроэкосистемы неизбежно обуславливают высокое водопотребление, интенсивный круговорот воды и значительный вынос ее за пределы системы. Оперативное перераспределение потоков веществ, и в первую очередь элементов минерального питания, достигается активной их циркуляцией в виде растворов.

Повышение эффективности функционирования тепличных агроэкосистем может быть достигнуто за счет оптимизации водопотребления – путем снижения интенсивности циркуляции питательного раствора через корнеобитаемую среду.

В соответствии с требованиями малообъемных технологий, система минерального питания строится на том, что все необходимые для роста и развития растений элементы питания подаются непосредственно к корневой системе в растворенном виде. Для этого используют специальное оборудование, которое позволяет осуществлять питание растений через систему ка-

пельного полива. Корневая система крупногабаритных тепличных растений располагается в питательном субстрате ограниченного объема, где к каждому растению подведена капельница.

В качестве корнеобитаемой среды используются органические субстраты, созданные на основе природного материала – торфа [2, 3], и синтетические – минеральная вата.

Минеральная вата – тонкопористый материал, который характеризуется отсутствием поглотительной способности и низкой теплоемкостью. Именно эти свойства и формируют специфику циркуляции в системе питательного раствора. При использовании минеральной ваты в качестве субстрата в тепличных агроэкосистемах плановый дренаж питательного раствора составляет около 30 %.

Если учесть, что расход воды тепличной агроэкосистемы, корнеобитаемая среда которой представлена минеральной ватой, составляет 15,5 тыс. м³/га, а канализационные стоки – только 1,05 тыс. м³/га, то очевиден факт, что основная часть воды фильтруется через дренажную систему (табл.1).

Таблица 1. Расход воды и затраты на водоснабжение и канализацию, 2006–2007 гг.

Объект	Расход воды, тыс. м ³	Канализация, тыс. м ³	Дренажные стоки, тыс. м ³
КУП «Минская овощная ф-ка», минеральная вата	15,5	1,05	14,45
УКАП «Фирма Днепр», органические субстраты	13,1	0,27	12,74

При использовании органических субстратов дренажные стоки составили 12,74 тыс. м³.

В зимних теплицах определенный уровень плодородия корнеобитаемой среды создается искусственно за счет регулирования физических параметров и режима минерального питания. Причем содержание питательных веществ должно быть достаточно высоким, чтобы обеспечить полноценное развитие и высокую продуктивность крупномерных тепличных растений в течение длительного периода вегетации. При этом недопустимо превышение концентрации почвенного раствора – в этом случае поступление питательных элементов в растения будет грубо нарушено. Верхним пределом концентрации раствора является 4 мСм – удельная электропроводность, или до 3 г/л по сухому остатку [4]. Такие особенности питания тепличных растений требуют строгого системного подхода к дозировкам, формам и срокам внесения удобрений. Элементы минерального питания, которые подаются в корнеобитаемую среду через систему капельного полива,

используются растениями, фиксируются субстратом и выносятся с дренажными стоками в почвенную толщу вплоть до грунтовых вод, загрязняя окружающую среду. Причем количество мигрирующих солей зависит от свойств корнеобитаемой среды.

По составу минеральная вата аналогична почвенным минералам, но не является источником питательных веществ. Не обладая буферной способностью, она быстро принимает реакцию раствора [4], непосредственно из которого растения получают питательные вещества.

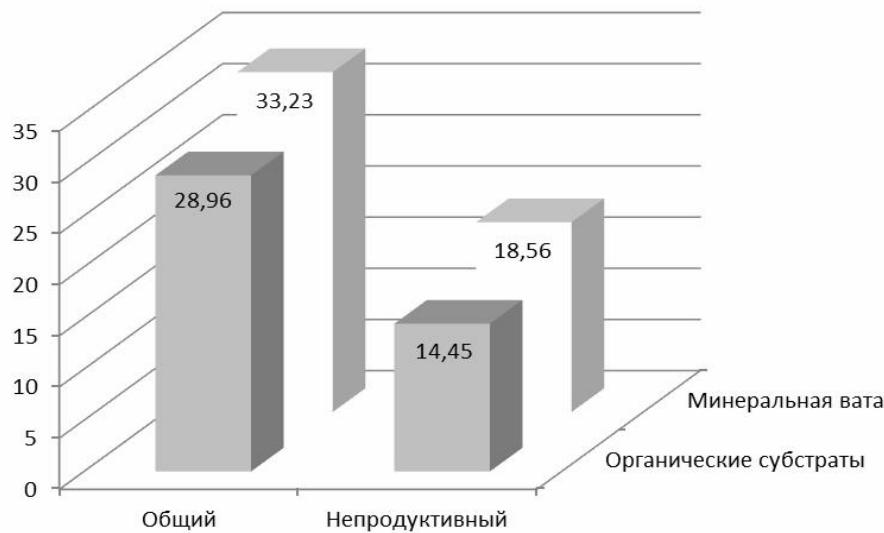
Расход элементов минерального питания в расчете на килограмм произведенной продукции при использовании в качестве корнеобитаемой среды минеральной ваты выше, чем на органических субстратах (рисунок).

Причем непродуктивный расход элементов питания фактически является выносом через дренажную систему в почвенную толщу.

При использовании синтетического субстрата непродуктивный расход элементов мине-

рального питания более чем на 4 г на каждый килограмм произведенной продукции превышает расход на органических субстратах. Для приготовления питательного раствора, который подается в систему капельного полива, используются только водорастворимые удобрения, имеющие высокую валютную стоимость. Поэтому при ис-

пользовании минеральной ваты существенно возрастают расходы на закупку минеральных удобрений. Соответственно и экологическая нагрузка, которую формирует тепличная агрокосистема, структурным компонентом которой является минеральная вата, значительно выше.



**Расход элементов минерального питания (г/кг продукции)
на различных субстратах**

Использование минеральной ваты требует дополнительных затрат на минеральные удобрения и создает серьезные экологические проблемы в процессе производства. В нашей стране минеральная вата не производится, для использования ее в производственном процессе осуществляются закупки за рубежом, что требует значительных валютных затрат. Затраты на органические субстраты значительно ниже, чем на синтетические (табл. 2).

Таблица 2. Затраты на субстраты на 1 кг произведенной продукции и их экономия по отношению к минеральной вате

Вид субстрата	Затраты, у.е./кг продукции	Экономия затрат	
		у.е.	%
Синтетический	0,133	—	—
Органический	0,061	0,072	54,1

Важнейшая отличительная особенность тепличных агроценозов – специфика рециркуляции веществ. Если в других агроценозах основная рециркуляция веществ достигается за счет микробного разложения органических остатков [1], то в тепличных агроценозах это звено круговорота имеет совершенно другие свойства. Растительные остатки обеззараживаются и удаля-

ются за пределы ценоза. Дальнейшая их утилизация проходит при участии микроорганизмов с индексом деструкции, характерным для данного региона.

Наряду с растительными остатками, по завершении биологического цикла образуются отходы производства, каждый вид которых имеет свои особенности утилизации.

Отработанная минеральная вата является твердым производственным отходом, рециркуляция которого требует не только организации сбора и сортировки, но и наличия перерабатывающих предприятий, оснащенных технологическим оборудованием, позволяющим утилизировать этот вид отходов. Под воздействием солнечных лучей отработанная минеральная вата утрачивает волокнистую структуру, а ее мелкие частицы приобретают высокую миграционную способность и могут активно мигрировать с нисходящим током воды вплоть до грунтовых вод, создавая тем самым серьезную экологическую проблему.

Затраты на утилизацию отработанной минеральной ваты приближаются к стоимости ее изготовления. В Европе для рециркуляции минеральной ваты построено несколько предприятий, в республике Беларусь промышленная утилизация минеральной ваты не производится.

При хранении отработанной минеральной ваты, как производственного отхода, требуются дополнительные затраты на создание специальных условий хранения. В соответствии с санитарно-экологическими требованиями хранить отработанную минеральную вату нужно только на специальных бетонированных корытообразных площадках без возможности поверхностного стока. Для предотвращения переноса частиц минеральной ваты ветром требуется специальное укрытие. Срок хранения этого вида отхода неограничен.

Одним из путей уничтожения твердых отходов является сжигание, но для отработанной минеральной ваты это направление утилизации неприемлемо.

Таким образом, использование минеральной ваты в качестве субстрата в тепличных агро-

экосистемах, наряду с дополнительными производственными затратами, формирует серьезную экологическую нагрузку:

- увеличивается расход воды на дренажный сток в теплицах;

- количество водорастворимых минеральных удобрений, которые поступают в окружающую среду с дренажным стоком, значительно выше (более чем на 4 г/кг произведенной продукции) чем при использовании органических субстратов;

- после кратковременного использования отсутствуют возможности рециркуляции отработанной минеральной ваты, а хранение отходов требует дополнительных затрат на оборудование площадок и расширения площадей свалок.

Л и т е р а т у р а

1. Агрэкология / В. А. Черников, Р. М. Алексахин, А. В. Голубев и др. М., 2000.
2. Аутко А. А., Козловская И. П. Комбинированная система минерального питания томата в зимних теплицах на органических субстратах // Земляробства і ахова раслін. 2003. № 4. С. 33–35.
3. Козловская И. П. Оптимизация свойств органических субстратов при выращивании томата в зимних теплицах // Вестн. БГСХА. 2003. № 2. С.15–17.
4. Козловская И. П. Питание томата в зимних теплицах. Минск, 2003.
5. Козловская И. П. Пути повышения экономической эффективности и экологической безопасности тепличного овощеводства. Минск, 2009

Белорусский государственный аграрный технический университет

И. П. Козловская

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛИЧНЫХ АГРОЦЕНОЗОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНТЕТИЧЕСКИХ И ОРГАНИЧЕСКИХ КОРНЕОБИТАЕМЫХ СРЕД

Проанализированы особенности функционирования тепличных агрэкосистем, повышение эффективности которых базируется на оптимизации энергетики и миграции потоков вещества. В связи с тем, что в тепличном ценозе миграция потоков веществ, в первую очередь элементов питания, определяется циркуляцией воды проведен сравнительный анализ водопотребления, формирования дренажных стоков, непродуктивного расхода элементов минерального питания на синтетических и органических корнеобитаемых средах. Проведено сравнение затрат на синтетические и органические субстраты в расчете на килограмм произведенной продукции. Обоснована экономическая и экологическая целесообразность использования органических субстратов.

I. P. Kozlovskaya

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF GREENHOUSE AGROCOENOCISES WITH APPLICATION OF SYNTHETIC AND ORGANIC ROOT HABITANT MEDIA

Some specialties of functioning of greenhouse agricultural ecosystems which efficiency based on the ways to optimize energy consumption and substance flows migrations were analyzed. On the basis of the fact that all of the greenhouse coenoseses substance flow migration, first of all feeding elements, is determined by water circulation, water consumption, drainage outflows, unproductive use of the mineral feeding elements on synthetic and organic substrata of greenhouse ecosystems were analyzed. Comparative analysis of economical expenditures on synthetic and organic substrata per kg of the produce was presented. The use of organic substrata have been proven economically and ecologically.

УДК 551.583 (476)

В. В. Коляда, Ю. А. Шубская

ОЦЕНКИ ФАКТОРОВ ИЗМЕНЕНИЯ АГРОТЕРМИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ БЕЛАРУСИ

Представлены методические подходы и количественные оценки факторов современных пространственных и временных изменений агротермических ресурсов Беларуси. Оценивается роль урбанизации в современном повышении температуры воздуха, вклад временно-го и температурного факторов в динамику сумм активных температур выше 0, 5, 10 и 15 °C, изменение континентальности климата, влияние гранулометрического состава почв на термические показатели сельскохозяйственных земель.

В условиях современных изменений климата, доминантой которых является глобальное потепление, особый интерес представляет анализ изменения термических ресурсов и оценка роли вызывающих их факторов. Термические ресурсы играют основополагающую роль в аграрном производстве, определяя саму возможность земледелия открытого грунта, а в пределах его ареала – видовой и сортовой состав культивируемых растений и потенциальные урожаи, т. е. структуру и продуктивность растениеводства, а опосредовано и сельского хозяйства в целом. Особая ценность естественных термических ресурсов определяется чрезмерно высокими издержками на восполнение их дефицита, чему свидетельством является весьма ограниченное применение защищенного грунта в земледелии даже наиболее развитых стран мира. Увеличение термических ресурсов в Беларуси создает возможности для расширения производства, в том числе за счет создания целых отраслей, что, с учетом базисной роли сельского хозяйства, открывает новые перспективы для всей экономики.

В основе оценок термических ресурсов исследуемой территории – многолетние наблюдения за температурой воздуха и почвы на метеорологических станциях. При этом однородность исходных метеорологических рядов во времени является условием сопоставимости рассчитываемых климатических показателей в пространстве. Для выявления и устранения неоднородности используются сопоставления значений метеоэлемента на одной и той же станции по годам, либо разностей (отношений) одновременных значений метеоэлемента на соседних станциях. Нарушения однородности вызываются случайными ошибками или систематическими сдвигами данных, обусловленными переносом метеорологической площадки либо станции, изменением типа приборов, сроков наблюдений, методики расчетов показателей. Помимо скачкообразных нарушений в рядах проявляется и «ползучая» неоднородность, связываемая, главным образом, с ростом населения и индустриализацией городов [11, 16]. С учетом тяготения существующей метеорологической сети к городским поселениям, особенно актуальным при анализе современной динамики агротермических ресур-

сов Беларуси представляется выявление иска-жающего эффекта урбанизации.

Для оценки агротермических ресурсов используется система показателей, базирующаяся на устойчивых переходах (весной и осенью) среднесуточной температуры воздуха через пороговые значения 0, 5, 10 и 15 °C, которые определяют соответственно безморозный и вегетационный периоды, периоды активной вегетации большинства культур и наиболее теплолюбивых растений. Даты переходов температуры через указанные пороговые значения, продолжительность периодов и суммы активных и эффективных температур характеризуют различные категории термических ресурсов теплого периода. Основными показателями термических ресурсов являются суммы активных температур. Особенно широкое применение нашли суммы температур выше 10 °C, значения которых, уменьшенные в 100 раз, в среднем соответствуют величине радиационного баланса, выраженного в ккал/см² [19]. Этот показатель является основным при агроклиматическом районировании территории Беларуси, используется при расчетах гидротермического коэффициента и биоклиматического потенциала продуктивности земель [1, 3, 18]. Суммы температур можно представить как произведение продолжительности периода на его среднюю температуру и с использованием индексного метода оценить вклад временного и температурного факторов в современную динамику термических ресурсов [12].

Влияние на климатические условия удаленности территории от Мирового океана определяет континентальность климата. Важнейшей ее характеристикой является годовая амплитуда температуры воздуха, возрастающая с продвижением вглубь континента. Континентальность климата влияет на условия произрастания культур и сроки проведения полевых работ: чем менее континентальным является климат, тем длиннее весна и осень, благополучнее складываются начальные и заключительные стадии развития растений и менее напряженным оказывается график посевных и уборочных работ. Для оценки континентальности климата применяются коэффициент Н. Н. Иванова, суммарная продолжительность вегетационной весны и осени и дру-

гие показатели [19]. Значимость оценок изменения этих показателей для Беларуси определяется их использованием при кадастровой оценке сельскохозяйственных земель и агроклиматическом районировании территории [3, 18].

Фоновые климатические данные не могут полностью удовлетворить растениеводство, вся практическая деятельность которого осуществляется на конкретных землях. Непосредственная экстраполяция таких данных на площади, лежащие между точками метеорологической сети, способна привести к грубым ошибкам [2]. В равнинных условиях важнейшим фактором изменчивости фоновых значений температуры является литологическая неоднородность почв [14]. Ее учет обеспечивает более объективную оценку распределения агротермических ресурсов по территории Беларуси.

Нами, по данным Белорусского гидрометцентра, получены оценки влияния рассмотренных выше факторов на параметры агротермических ресурсов Беларуси. Первоочередное внимание было уделено оценке искажающего влияния урбанизации на температуру воздуха, что имеет принципиальное значение для оценки агротермических ресурсов, прежде всего южных регионов страны.

В предшествующий период на территории Беларуси выделялись три агроклиматические области, имеющие субширотное простижение и средние значения сумм температур в пределах от 2000 до 2600 °C [18]. Считается, что глобальное потепление вызвало изменения агроклиматических границ и, в частности, привело к появлению фрагментарно выраженной на юго-западе и юго-востоке Полесья новой, четвертой области с суммами активных температур более 2600 °C [15]. Однако, согласно результатам последнего обобщения данных, выполненного в Белорусском гидрометцентре, за 1986 – 2005 гг. только на трех станциях: Пинск, Гомель и Брест средние значения сумм температур выше 10 °C несущественно (на 28, 41 и 83 °C соответственно) превысили 2600 °C. Картографирование этих данных с применением ГИС-технологий по четырем градациям (< 2200, 2200–2400, 2400–2600 и > 2600 °C), соответствующим предельным значениям агроклиматических областей, воспроизвело региональные структуры, образованные лишь тремя первыми из них; четвертая же градация оказалась представленной локальными вкраплениями в область третьей. Тот факт, что четвертая градация приурочена к крупнейшим городам юга Беларуси и не выражена на соседних сельских станциях, в том числе расположенных южнее, наводит на мысль о проявлении в данном случае локального эффекта урбанизации.

Оценка эффекта урбанизации проводится путем сопоставления данных наблюдений на городских и фоновых метеорологических станциях. Среди первых обычно рассматривают станции крупнейших городов Беларуси (столица и областные центры), среди вторых – ближайшие к ним

станции, расположенные в малых городах и поселках, т. е. практически в сельской местности. При этом для обеих категорий станций существует проблема их репрезентативности. Городская станция может располагаться в пригородной зоне, далеко за пределами города, например в аэропорту, но предпочтительным является ее нахождение внутри городской черты [4]. В качестве фоновых обычно рассматриваются данные по близлежащей сельской станции либо интерпolatedные в район расположения города данные нескольких таких станций [4–10, 13]. Однако наиболее репрезентативные фоновые станции обычно имеют весьма короткие ряды наблюдений, а интерполяция данных, как правило, содержит собственную ошибку и не всегда возможна. Особенно большие проблемы при интерполяции климатических данных возникают в приграничных районах.

Предлагаемый подход основан на анализе разностей средних температур воздуха между городскими и соседними фоновыми станциями за многолетний период. Он предъявляет довольно высокие требования к метеорологическим данным. Их непрерывные ряды должны охватывать практически весь послевоенный период, когда в Беларуси интенсивно проявились процессы урбанизации. При этом анализируемые ряды не должны иметь неоднородностей, обусловленных переносами станций, которые приводят к системным сдвигам, делая оценку данного эффекта проблематичной. Переносы обычно указываются в истории станций. Примером может служить перенос станции Могилев в начале этапа интенсивного развития города (1972 г.) [10]. Эффект урбанизации обнаруживается на графике разностей средних температур в виде восходящего тренда, совпадающего с этапом интенсивного роста города. Количественная оценка эффекта может быть получена как разность между осредненными значениями уровней ряда за данный и предшествующий ему этапы развития города.

Проблема репрезентативности городских станций для нас не актуальна, поскольку целью является не выявление эффекта урбанизации как такового, а установление искажающего воздействия городской среды на температурные показатели, используемые для оценки агротермических ресурсов. Отсутствие эффекта лишь указывает на возможность непосредственного использования данных показателей. Такая ситуация, обусловленная значительным удалением станции от города, например имеет место для Гродно [7]. Основными требованиями к фоновой станции являются приближенность к городу, а также аналогичное местоположение, что обеспечивает ей сходные с городской станцией тенденции в динамике термических показателей. Равнонаправленные тенденции, вызванные специфическими условиями и местоположениями весьма осложняют оценку эффекта урбанизации, например для Пинска, где на роль фоновой фактически может претендовать лишь станция Полес-

ская, площадка которой находится непосредственно на осушенном и освоенном торфянике.

Графики разности температур воздуха между городскими и фоновыми станциями за теплый период и их сглаженные 11-летние значения в едином масштабе представлены на рис. 1.

Наиболее ярко эффект урбанизации обнаруживается для Гомеля, причем сразу по двум фоновым станциям (Василевичи и Брагин). Графики обеих пар станций носят однотипный характер: их левые части описывают колебания разностей температур в районе 0°C , а правые части на фоне колебаний демонстрируют возрастающий тренд, который проявился примерно с конца 60-х гг. XX в. и к настоящему времени

достиг величины в $0,6^{\circ}\text{C}$. Средние значения разностей температур воздуха в левых частях графиков характеризуют предшествующий период и отражают различия в географическом положении станций. Возникновение же тренда, на наш взгляд, обусловлено процессами индустриализации и роста населения в городе Гомеле. Показательно, что разности температур между сельскими станциями Василевичи и Брагин остаются незначительными по амплитуде и сохраняют случайный характер в течение всего рассматриваемого периода. Исходя из обоих графиков максимальные значения эффекта урбанизации для Гомеля составляют около $0,6^{\circ}\text{C}$ (рис. 1).

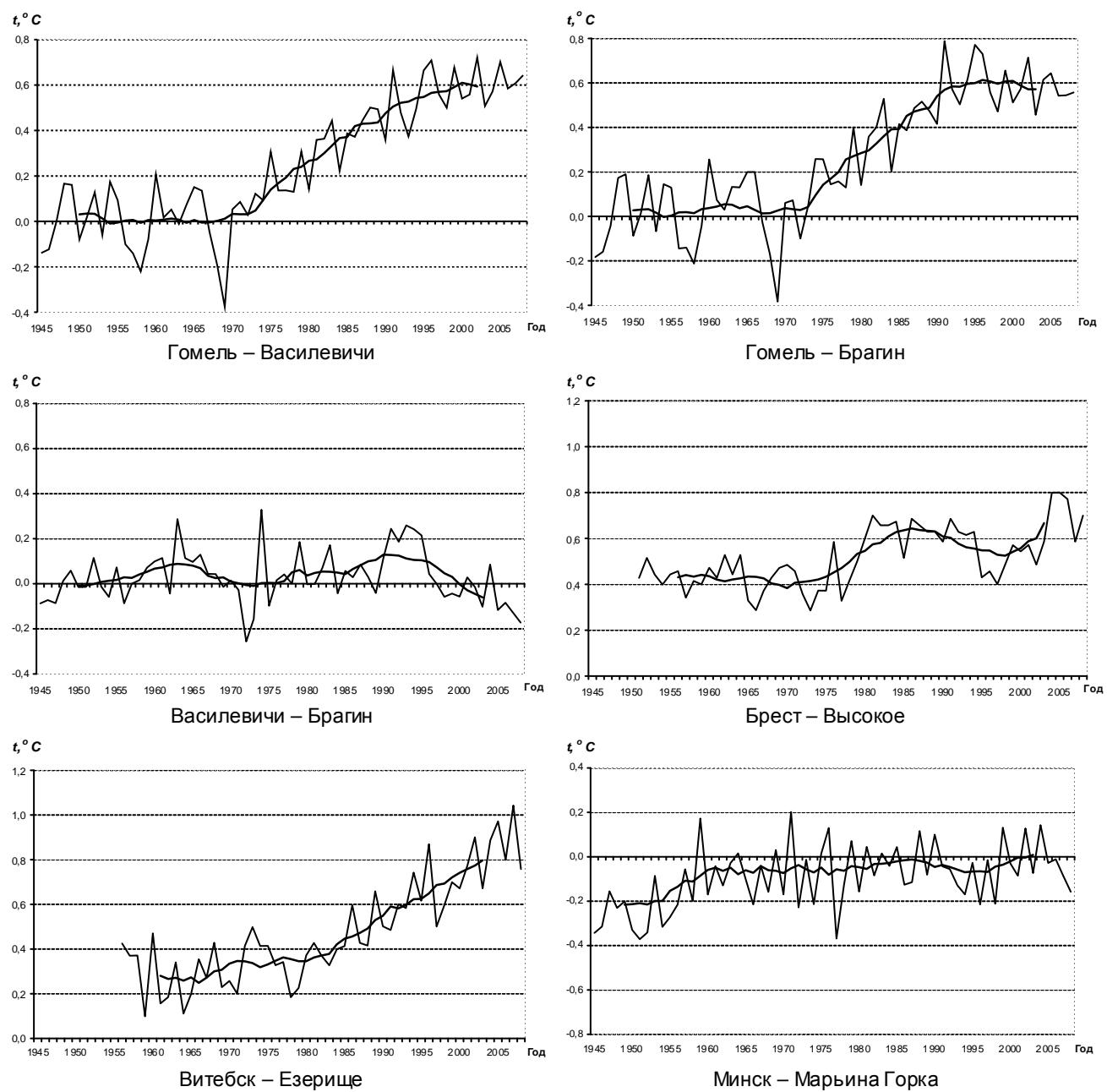


Рис. 1. Разности средних температур воздуха ($^{\circ}\text{C}$) за теплый (апрель – октябрь) период года между указанными метеорологическими станциями в 1945–2008 гг.

Принципиально схожий характер имеют графики, относящиеся и к другим городам. В случае их южной позиции температурные различия, обусловленные географическим положением станций (левая часть графиков), находятся в области положительных значений (Брест – Высокое, Витебск – Езерище). В то же время северо-западное положение Минска относительно Марьиной Горки определяет отрицательные значения разности температур в левой части их графика (рис. 1).

Незначительная выраженность эффекта урбанизации для Бреста (не более 0,3 °С) вызвана пригородным расположением станции [5]. Картина здесь также портит «провал» середины 90-х гг. ХХ в., связанный, очевидно, с экономическим кризисом. Известно, что важным фактором повышения температуры в городах является аэрозольное загрязнение воздуха в результате выбросов промышленных предприятий и транспорта [13]. Некоторое снижение разностей температур в эти годы просматривается и на графиках других городов. Максимальное значение эффекта урбанизации для Витебска по фоновой станции Езерище оценивается в 0,5 °С. В Минске эффект урбанизации проявился уже в 50-е гг. ХХ в. и его величина относительно станции Марьина Горка не превышает 0,2 °С (рис. 1).

Для выявления вклада временного и температурного факторов в приrostы агротермиче-

ских ресурсов Беларуси использованы данные Белгидрометцентра за современный (1986–2005 гг.) и предшествующий потеплению (1881–1990 гг.) интервалы времени. Индексный метод позволяет разложить приросты сумм активных температур для соответствующих периодов пропорционально изменениям их продолжительности и средней температуры. Результаты расчетов в разрезе административных областей и страны в целом представлены в табл. 1.

Она показывает, что в последние десятилетия основным фактором роста термических ресурсов в безморозный и вегетационный периоды, а также в период вегетации большинства сельскохозяйственных культур являлось увеличение их продолжительности. Особенно велико значение временного фактора в вегетационный период, когда вклад средней температуры был минимальным (менее 10 % для Беларуси в целом), а для Могилевской области – даже отрицательным. В период вегетации наиболее теплолюбивых культур (выше 5 °С) вклад температурного фактора, напротив, становится основным. Значение временного фактора для Могилевской области становится даже отрицательным, что в итоге приводит к общему сокращению данной категории термических ресурсов в восточном регионе Беларуси.

Таблица 1. Вклад факторов в изменение термических ресурсов теплого периода года за 1986–2005 гг. по административным областям Беларуси

Область	Абсолютные значения факторов, °С			Структура факторов, %	
	Средняя температура	Продолжительность	Сумма температур	Средняя температура	Продолжительность
Безморозный период (выше 0 °С)					
Витебская	21	94	115	18	82
Минская	41	87	129	32	68
Гродненская	28	70	97	28	72
Могилевская	0	74	74	0	100
Брестская	34	96	131	26	74
Гомельская	59	80	138	42	58
Беларусь	32	86	117	27	73
Вегетационный период (выше 5 °С)					
Витебская	6	115	121	5	95
Минская	20	113	133	15	85
Гродненская	12	90	102	12	88
Могилевская	-28	109	80	-35	135
Брестская	24	115	140	17	83
Гомельская	24	122	146	17	83
Беларусь	11	113	124	9	91
Период вегетации большинства культур (выше 10 °С)					
Витебская	27	57	84	32	68
Минская	42	57	99	43	57
Гродненская	25	49	74	34	66
Могилевская	5	37	42	13	87
Брестская	44	67	111	39	61
Гомельская	39	82	121	32	68
Беларусь	32	60	92	35	65
Период вегетации теплолюбивых культур (выше 15 °С)					
Витебская	34	45	79	43	57
Минская	44	49	93	48	52
Гродненская	40	12	52	76	24
Могилевская	27	-48	-21	-129	229
Брестская	46	45	91	51	49
Гомельская	59	8	67	89	11
Беларусь	42	24	66	64	36

По тем же материалам для современного и предшествующего интервалов времени были проведены расчеты и построены картограммы показателей континентальности климата (рис. 2).

Коэффициент континентальности климата Н. Н. Иванова – это выраженное в процентах отношение годовой амплитуды температуры воздуха к географической широте местности. Его величина менее 100 % указывает на преобладание на территории океанических, а более 100 % – континентальных влияний [19]. В предшествующий современному потеплению период значения коэффициента по станциям Беларуси изменились от 129 % (Гродно) до 149 % (Костюковичи). В настоящее время они в целом снизились и находятся в пределах от 115 % (Нарочь) до 138 % (Гомель). При этом относительные различия между станциями в современный период даже несколько возросли.

Другой показатель – общая продолжительность вегетационной весны и осени – опре-

деляется числом дней, за которые среднесуточная температура воздуха повышается с 5 до 15 °С весной и понижается с 15 до 5 °С осенью. В период 1881–1990 гг. он в среднем для Беларуси составлял 102 дня, изменяясь по станциям от 91 (Жлобин, Чечерск) до 114 (Докшицы, Новогрудок) дней. За 1986–2005 гг. среднее значение показателя возросло до 109 дней и варьировало в пределах от 97 (Гомель) до 122 (Лынтупы) дней, т. е. размах вариации опять же несколько увеличился.

Таким образом, за сравниваемые периоды произошло заметное увеличение суммарной продолжительности вегетационной весны и осени и, наоборот, уменьшение значений коэффициента континентальности климата. Различаясь обратным характером изменения своих значений, оба показателя континентальности климата вместе с тем демонстрируют весьма сходный характер распределения на территории Беларуси, изменяясь по линии северо-запад – юго-восток (рис. 2).

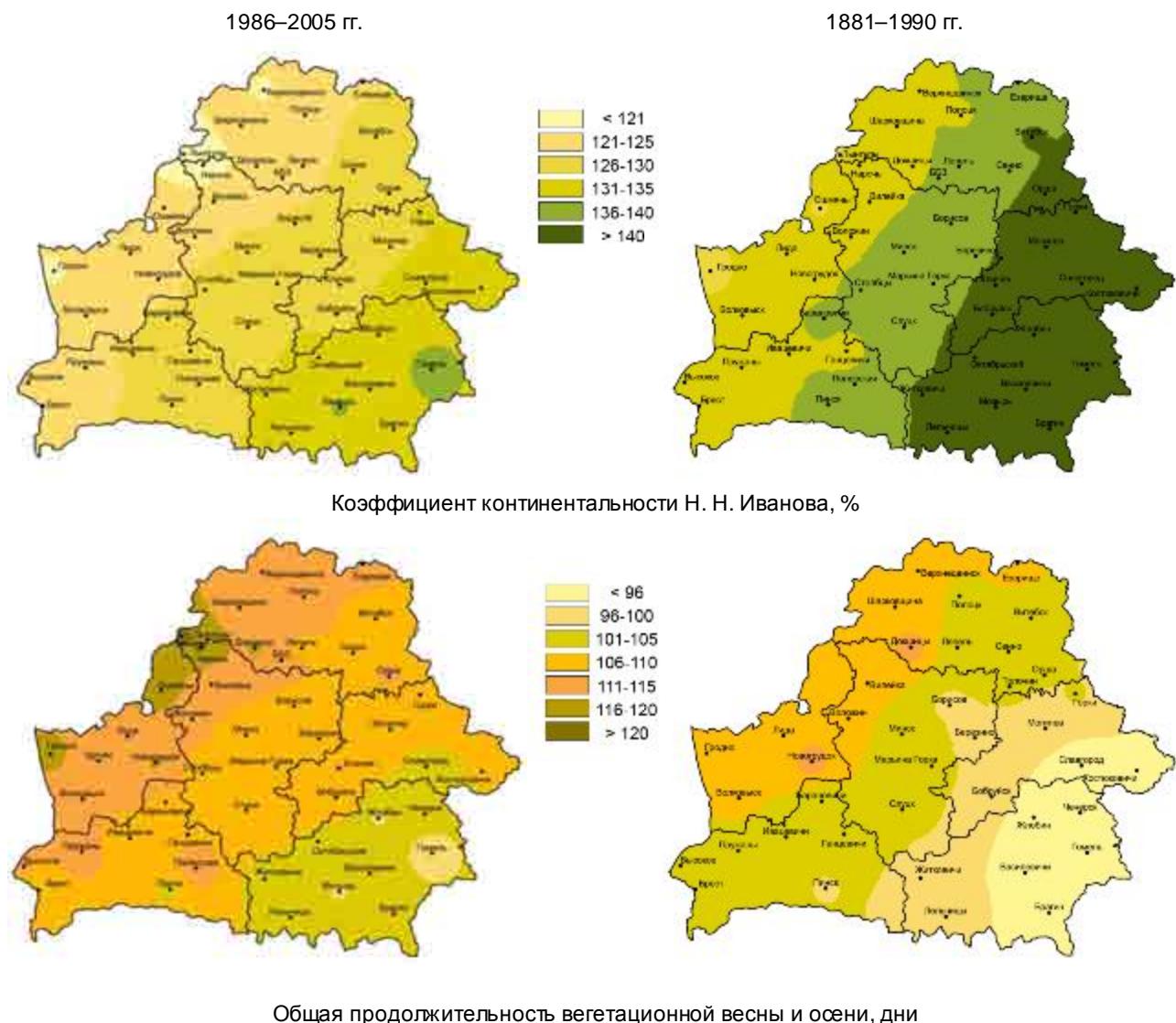


Рис. 2. Изменение показателей континентальности климата на территории Беларуси

Результаты оценки различий административных единиц Беларуси по термическим показателям с использованием их параметризованных значений и сводных данных о площадях земель по градациям гранулометрического состава почв [14, 17] отражают табл. 2 и рис. 3.

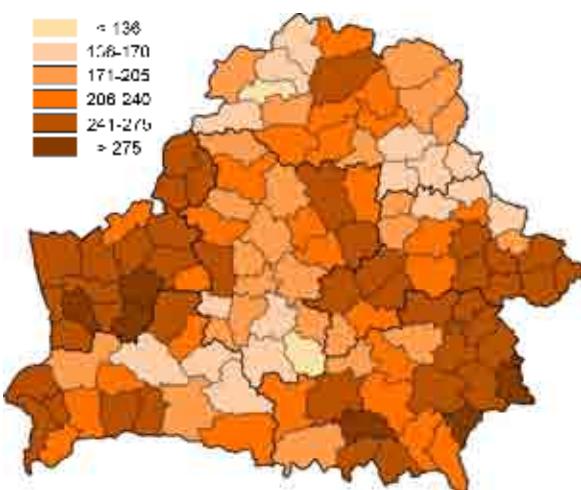
В табл. 2 по сути представлена термическая интерпретация существующих различий в гранулометрическом составе почв пахотных угодий Беларуси в разрезе административных областей. Известно, что почва вносит существенную корректировку в термические ресурсы в пределах сельскохозяйственных земель, увеличивая либо уменьшая фоновые значения термических показателей, фиксируемые на станциях. Как следует из таблицы, незначительное участие в пахотных землях относительно холодных глинистых, тяжелосуглинистых и торфяно-болотных почв и, напротив, широкое распространение более теплых легкосуглинистых, супесчаных и песчаных почв приводит в итоге к повышению агротермических ресурсов. В сравнении со среднесуглинистыми почвами, значения которых приняты за нуль, наличный гранулометрический состав

пахотных земель в среднем по стране обеспечивает более ранние (на 5 и 7 дней) переходы температуры через 5 и 10 °C, более продолжительный (на 18 дней) период с температурой более 15 °C и повышает суммы температур на 242 °C. Этот отепляющий эффект максимально проявляется в Гродненской области – самой теплой по гранулометрическому составу своих почв, а минимально – в Витебской. Близкими к среднему по стране уровню показателями термического режима почв характеризуются Брестская и Могилевская области, повышенными – Гомельская, а пониженными – Минская область.

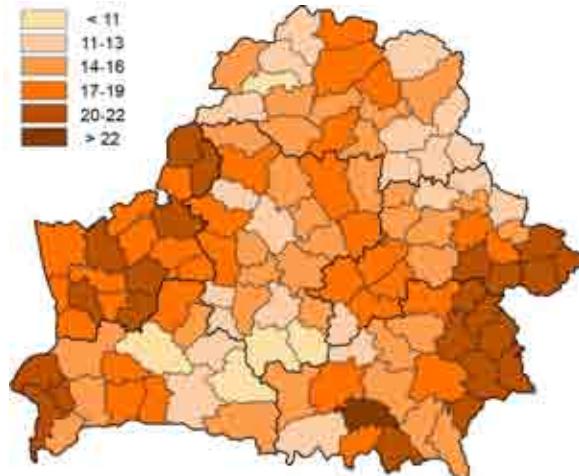
Еще большие контрасты по теплообеспеченности почв наблюдаются на уровне административных районов, где наиболее холодными почвами выделяется Шарковщинский район, а наиболее теплыми – Мозырский. Их значения для сумм температур изменяются в пределах от 81 до 308 °C, а для продолжительности периода с температурой выше 15 °C – от 7 до 23 дней (рис. 3).

Таблица 2. Различия в термических ресурсах пахотных земель Беларуси, обусловленные литологической неоднородностью почв

Область	Структура земель по гранулометрическому составу почв, %						Переход, дни		Сумма температур >10 °C	Продолжительность периода >15 °C, дни
	глины и тяжелые суглинки	средние суглинки	легкие суглинки	супеси	пески	торф	через 5 °C	через 10 °C		
Витебская	2,0	4,3	43,7	38,0	6,0	5,9	-3	-5	183	14
Минская	0,0	0,2	21,3	47,7	13,2	17,5	-2	-4	196	14
Гродненская	0,4	0,1	2,8	73,0	15,4	8,4	-5	-7	259	19
Могилевская	0,0	0,1	34,1	50,4	8,8	6,6	-4	-6	217	16
Брестская	0,0	0,3	3,5	32,7	40,7	22,8	-2	-5	215	15
Гомельская	0,0	0,3	4,4	32,8	46,9	15,6	-4	-7	245	18
Беларусь	0,4	0,9	18,9	45,2	21,5	13,0	-4	-6	217	16



Суммы температур почвы выше 10 °C



Продолжительность периода выше 15 °C, дни

Рис. 3. Различия сельскохозяйственных земель по термическим показателям почв в разрезе административных районов Беларусь

Таким образом, полученные оценки показывают, что в условиях современной дестабилизации климата при анализе изменения агротермических ресурсов на территории Беларуси нельзя не учитывать усиливающий эти изменения эффект урбанизации. Его выявление и устранение имеет принципиальный характер, прежде всего для южных регионов страны, которые отличаются максимальными агротермическими ресурсами и сегодня рассматриваются в качестве плацдарма для внедрения более теплолюбивых сортов и видов сельскохозяйственных культур. Адекватные фоновые значения температуры воздуха особенно важны при расчетах важней-

ших агроклиматических показателей – сумм активных температур, гидротермического коэффициента, биоклиматического потенциала, континентальности климата, которые используются при бонитировке сельскохозяйственных земель и агроклиматическом районировании территории Беларуси. При планировании и ведении сельского хозяйства также весьма актуальным представляется учет микроклиматических ресурсов территории, которые в равнинных условиях в значительной мере обусловлены гранулометрическим составом почв и максимально проявляются на низовом хозяйственном уровне.

Л и т е р а т у р а

1. Агроклиматический справочник / Под ред. Н. А. Малишевской. Минск, 1970.
2. Жученко А. А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). Кишинев, 1990.
3. Кадастровая оценка земель сельскохозяйственных предприятий (Методические указания). Минск, 1997.
4. Климат Беларуси / Под. ред. В. Ф. Логинова. Минск, 1996.
5. Климат Бреста / Под. ред. Ц. А. Швер. И. А. Савиковского. Л., 1979.
6. Климат Витебска / Под. ред. И. А. Савиковского. Л., 1981.
7. Климат Гомеля / Под. ред. И. А. Савиковского, Ц. А. Швер. Л., 1980.
8. Климат Гродно / Под. ред. И. А. Савиковского. Л., 1982.
9. Климат Минска / Под. ред. М. А. Гольберга. Минск, 1976.
10. Климат Могилева / Под. ред. И. А. Савиковского. Л., 1982.
11. Кобышева Н. В., Наровлянский Г. Я. Климатологическая обработка метеорологической информации. Л., 1978.
12. Коляда В. В. Индексный метод комплексной оценки факторов динамики агросистем // Природные ресурсы. 2007. № 2. С. 84–92.
13. Логинов В. Ф., Микуцкий В. С. Оценка антропогенного «сигнала» в климате городов // Изв. РГО. 2000. Т. 132, вып.1. С. 23–31.
14. Лосев А. П., Журина Л. Л. Агрометеорология. М., 2004.
15. Мельник В. И. Влияние изменения климата на агроклиматические ресурсы и продуктивность основных сельскохозяйственных культур Беларуси: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Минск, 2004.
16. Рубинштейн Е. С. Однородность метеорологических рядов во времени и пространстве в связи с исследованием изменения климата. Л., 1979.
17. Справочник агрохимика / Под ред. В. В. Лапы. Минск, 2007.
18. Шкляр А. Х. Климатические ресурсы Белоруссии и использование их в сельском хозяйстве. Минск, 1973.
19. Шульгин А. М. Методика сельскохозяйственной оценки климата. М., 1966.

Институт природопользования НАН Беларуси

В. В. Коляда, Ю. А. Шубская

ОЦЕНКИ ФАКТОРОВ ИЗМЕНЕНИЯ АГРОТЕРМИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ БЕЛАРУСИ

Представлены методические подходы и количественные оценки пространственных и временных изменений агротермических ресурсов, которые наблюдаются на территории Беларуси под влиянием глобального потепления климата и других факторов.

Предложен подход для выявления искающейся эффекта урбанизации при оценках агротермических ресурсов, основанный на расчетах и графическом анализе разности температур воздуха между городской и соседней фоновой метеорологическими станциями за длительный период наблюдений. Он устанавливается по появлению на графике восходящего тренда, который соотносится с этапом интенсивного развития городов Беларуси в послевоенный период. Количественная оценка эффекта может быть получена по разности между выровненными (сглаженными) значениями уровней ряда для данного и предшествующего ему этапов развития города. Оценки, выполненные для крупнейших городов, показали, что сегодня в отдельных случаях эффект урбани-

зации обеспечивает повышение температуры воздуха за теплый (апрель–октябрь) период года до 0,6 °C.

Индексным методом оценен вклад временного (продолжительность периода) и температурного (средняя температура периода) факторов в приросты различных категорий термических ресурсов (суммы активных температур за периоды выше 0, 5, 10 и 15 °C) в течение современной эпохи (1986–2005 гг.) относительно климатических норм (1881–1990 гг.) в разрезе административных областей Беларуси. Показано, что в приростах сумм температур выше 0, 5 и 10 °C основную роль играл временной фактор, в то время как приросты сумм температур выше 15 °C были обеспечены, главным образом, за счет температурного фактора.

Для тех же временных интервалов выполнена оценка и построены изолинейные картограммы показателей континентальности климата: коэффициента Н. Н. Иванова и общей продолжительности вегетационной весны и осени. Согласно полученным результатам, за сравниваемые периоды произошло заметное уменьшение значений коэффициента континентальности климата и, наоборот, увеличение суммарной продолжительности вегетационной весны и осени. Различаясь обратным характером изменения своих величин, оба показателя демонстрируют аналогичный характер территориального распределения в направлении с северо-запада на юго-восток.

С использованием параметризованных значений отдельных показателей и сводных данных о структуре площадей по градациям гранулометрического состава почв оценены различия в термических ресурсах сельскохозяйственных земель по административным районам и областям Беларуси.

V. V. Kalyada, Y. A. Shubskaya

ESTIMATIONS OF CHANGE FACTORS OF BEALRUS AGROTHERMAL RESOURCES

Methodical approaches and quantitative estimations of spatial and time changes of agrothermal resources which are observed in territory of Belarus under the influence of global warming of a climate and other factors are presented.

The approach to reveal a deforming effect of urbanization while assessing the agrothermal resources, based on calculations and the graphic analysis of a difference of temperatures of air between city and next background meteorological stations for the long period of supervision has been proposed. It is set when ascending trend on the schedule occur which corresponds with a stage of intensive development of Belarus cities during the post-war period. The quantitative estimation of the effect can be gained through difference between the leveled (smoothed) values of levels of a series for the stated and preceding stages of a city development. The largest cities estimations have shown that today in some cases the effect of urbanization provides rise in air temperature for a warm (April–October) period of year to 0,6 °C.

The index method estimates the contribution time (duration of the period) and temperature (average temperature of the period) factors in growths of various categories of thermal resources (the sum of active temperatures for the periods above 0, 5, 10 and 15 °C) during a modern epoch (1986–2005) concerning climatic norms (1881–1990) in a cut of administrative areas of Belarus. It has been shown, that in growths of sums of temperatures above 0, 5 and 10 °C the basic role was played by the time factor while sums of temperatures growths above 15 °C have been provided at the expense of the temperature factor mainly.

For the same time intervals the estimation is executed and isolinear cartograms of indicators of continental climate are made: N. N. Ivanov's coefficient and the general duration of vegetative spring and autumn. According to the results, for the compared periods an appreciable reduction of values of factor of continental climate happened and, vice versa, an increase in total duration of vegetative spring and autumn. Differing with reverse character of change of the values, both indicators expose similar character of territorial distribution in the direction from the northwest to the southeast.

Applying parametrical values of some indicators and summary data about structure of the areas on gradation of granular-metric structure of soils the distinctions in thermal resources of farmlands on administrative regions and Belarus areas have been estimated.

В. Е. Тышкевич

ОКУПАЕМОСТЬ РАСХОДОВ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОХОТНИЧЬЕГО ХОЗЯЙСТВА БЕЛАРУСИ

Проведен анализ затрат на ведение охотничьего хозяйства у крупнейших пользователей охотничьих угодий Беларуси. Оценена эффективность расходования финансовых средств. В зависимости от видовой специализации охотхозяйства и формы собственности определены необходимые финансовые затраты для рентабельного ведения данного хозяйства. Доказана необходимость развития иностранного охотничьего туризма – основного источника средств, необходимых для развития отрасли. Для крупнейших объединений пользователей угодий, обоснованы и предложены определенные направления интенсификации хозяйственной деятельности.

Охотничье хозяйство – отрасль природо-пользования, цель которой состоит в рациональном использовании, воспроизведстве и охране животных, как возобновляемого природного ресурса. Социально-экономические отношения в этой области развиваются вместе с перспективными направлениями преумножения ресурсного природного потенциала. Оптимизируя структуру и численность популяций, улучшая кормовые (защитные) условия угодий, охрану и мониторинг,

охотничье хозяйство способно достичь более высокого уровня и существенно расширить сферу услуг [4–22] (табл. 1). Наиболее перспективное направление развития – охотничий туризм [2, 7–20]. Доля охотников из других стран может достигать 5 млн евро, однако емкость рынка услуг в этой области на порядок выше, и даже внутренний туризм постепенно трансформируется в трофеиную охоту.

Таблица 1. Экономические показатели охотпользователей в 2004 и 2005 гг.

Площадь охотничьих угодий, тыс. га	Количество субъектов – охотхозяйств (единицы)	Средняя площадь охотхозяйства, тыс. га	Затраты, тыс. руб.		Доходы от охотхозяйственной деятельности, руб.			Окупаемость затрат, %
			на 1 тыс. га угодий	на биотехнические мероприятия, на 1 тыс. га охотугодий	С 1 тыс. га угодий, тыс.	Иностранный туризм		
Министерство лесного хозяйства в 2004 г.								
3402,0	81	42,0	330,9	77,7	241,1	306,4	37,4	72,8
Общественное объединение «Белорусское общество охотников и рыболовов» в 2004 г.								
11194,0	110	101,8	310,5	25,3	161,2	87,3	4,8	51,9
Общественное объединение «Белорусское военно-охотничье общество» в 2004 г.								
390,4	13	30,0	452,6	43,5	475,9	21,0	11,3	105,2
Республиканское государственно-общественное объединение БФСО «Динамо» в 2004 г.								
91,6	3	30,5	962,9	42,6	272,9	н/св	н/св	28,3
Управление делами Президента Республики Беларусь в 2004 г.								
824,3	9	91,6	606,2	203,2	618,2	368,8	72,4	102,0
Юридические лица без ведомственной подчиненности (охотничьи хозяйства) в 2004 г.								
486,0	17	28,6	1072,2	224,1	398,8	73,0	37,7	37,2
Прочие министерства и органы государственного управления в 2004 г.								
761,7	19	40,1	349,4	62,0	160,0	31,2	25,6	45,8
Всего по Республике Беларусь за 2004 г. (без заказников и запретных для охоты зон)								
17150,0	252	68,1	359,0	52,0	213,4	887,7	24,2	59,4
Министерство лесного хозяйства в 2005 г.								
3329,1	80	41,6	499,8	102,5	355,8	365,5	30,9	71,2
Общественное объединение «Белорусское общество охотников и рыболовов» в 2005 г.								
10915,6	110	99,2	422,6	37,3	203,9	120,3	5,4	48,2
Общественное объединение «Белорусское военно-охотничье общество» в 2005 г.								
357,3	12	29,8	611,0	49,5	664,7	35,3	14,9	108,8
Республиканское государственно-общественное объединение БФСО «Динамо» в 2005 г.								
59,7	2	29,8	1231,2	85,4	438,9	н/св	н/св	35,6
Управление делами Президента Республики Беларусь в 2005 г.								
840,9	9	93,4	768,3	224,4	728,7	392,6	64,1	94,8
Юридические лица без ведомственной подчиненности (охотничьи хозяйства) в 2005 г.								
487,6	17	28,7	1540,2	364,8	721,1	163,6	46,5	46,8
Прочие министерства и органы государственного управления в 2005 г.								
760,4	19	40,0	513,4	92,4	287,5	44,2	20,2	56,0
Всего по Республике Беларусь за 2005 г. (без заказников и запретных для охоты зон)								
16750,6	249	67,3	498,9	72,1	289,9	1121,6	23,7	58,1

В 2005 г. в Беларуси утверждена Государственная программа развития охотничьего хозяйства (до 2015 г.) [21], но нормативная база регламентирования необходимого объема средств для достижения поставленных целей отсутствовала, а применяемые нормативы устарели [3, 12, 18].

При расчетах мы руководствовались данными [11], которые впервые удалось обобщить при подготовке Госпрограммы развития охотничьего хозяйства и Правил ведения охотничьего хозяйства и охоты.

Использование материалов до 2006 г. связано с необходимостью последующей оценки эффективности проведенных мероприятий и обоснованности расходования финансовых средств, как в рамках выполнения отмеченной выше Госпрограммы, так и для сравнительной оценки методов интенсификации охотничьего хозяйства. Еще одним фактором пригодности данных явилось завершение к 2006 г. периода аэровизуальных учетов диких копытных, что позволило для оценки достигнутого уровня управления ими, оперировать достоверными показателями населения.

Нами рассмотрены показатели экономической деятельности крупнейших пользователей охотничьих угодий – общественных объединений «Белорусское военно-охотничье общество» (БВОО) и «Белорусское общество охотников и рыболовов» (БООР), «Белорусское физкультурно-спортивное общество (РГОО БФСО) «Динамо» и Министерства лесного хозяйства (табл. 1). Для анализа их охотхозяйственной деятельности

за 1999–2005 гг., использовались данные Госстата «2-ТП охота».

Расходы разделили на следующие категории:

1. Арендная плата за охотничьи угодья и содержание егерской службы (охрана угодий).
2. Приобретение кормов (высев кормовых полей), биотехнические сооружения и учеты.
3. Прочие мероприятия (установка аншлагов, транспортные расходы и т. д.).

Расходы на проведение охотустройства, из-за отсутствия логистики и четкого обоснования специализации считать обязательными прежде всего (до 2008 г. не дотировались). Разрабатываемые Проекты организаций и ведения охотничьего хозяйства, являются экспликациями угодий с зачастую устаревшими материалами лесоустройства и выдержками из Правил охоты [9–17].

При обработке данных Госстата (2 ТП охота) за 2004–2005 гг. установлено, что рентабельное ведение охотничьего хозяйства осуществлялось ОО «Белорусское военно-охотничье общество» (табл. 2, 3), в составе которого в 2004 г. было 13, а в 2005 – 12 хозяйств.

По экономическим показателям за 2004 г. и при 9 убыточных хозяйствах (окупаемость 9–84 %) получена прибыль. Борисовское, Шацкое и Поречское охотхозяйства получили прибыль. Окупаемость затрат в них составила соответственно 121, 142 и 102 %. Прибыль достигнута за счет рационального расходования средств (на 1 тыс. га), полное использование статей доходов (туризм) и оптимальную численность работников. В расходах наиболее высокий удельный вес занимают средства, затраченные на оплату труда.

Таблица 2. Экономические показатели охотхозяйственной деятельности ОО «БВОО»

Наименование субъекта хозяйствования	Общие затраты на ведение охотхозяйства, тыс. руб.		Затраты на биотехнические мероприятия по охране и воспроизведству животных, тыс. руб.		Доходы от охотхозяйственной деятельности всего, тыс. руб.	В том числе доходы от иностранного охоттуризма, всего, тыс. руб.	Вступительные и иные взносы, тыс. руб.	Прибыль, убытки (+, -) тыс. руб.	Окупаемость затрат, %	
	всего	на 1 тыс. га угодий	всего	на 1 тыс. га угодий					Без взносов	Со взносами
2004 г.										
ОО «БВОО»	17 6721,8	452,6	16 997,0	43,5	18 5818,8	21 017,1	11 8541,6	+9097,0	105,2	172,3
Осиповичское	517,8	92,5	–	–	1568,0	–	1540,8	+1050,2	302,8	600,3
Домановское	18 082,0	298,4	1212,0	20,0	13 769,0	845	1580,0	-4313,0	76,1	84,3
Брестское	4974,0	478,3	988,8	95,0	437,0	–	5913,4	-4537,0	8,8	127,7
Луковское	12 615,7	413,6	1099,9	36,1	8717,3	–	1783,2	-3898,4	69,1	83,2
Столбцовское	1031,1	278,7	21,3	5,8	185,0	–	–	-846,1	17,9	–
Борисовское	7654,7	244,6	2074,6	66,3	9238,0	1686,4	5809,2	+1583,3	120,7	196,6
Логойское	10 742,6	751,2	961,2	67,2	8927,9	–	13 398,1	-1814,0	83,1	207,8
Шацкое	70 306,4	808,1	5903,9	67,8	99 693,4	7016,2	53 592,4	+29 387,0	141,7	218,0
Любанское	5857,2	513,8	257,6	22,6	4112,8	–	2888,5	-1744,4	70,2	119,5
Дретуньское	10 665,4	294,6	1537,2	42,5	8944,7	6015,6	4153,0	-1720,7	83,9	122,8
Городокское	11 629,5	403,8	803,3	27,9	7694,2	–	7431	-3935,3	66,2	130,0
Поречское	22 164,3	591,0	2137,2	57,0	22 531,5	5453,9	20 452,0	+367,2	101,6	193,9
Ленинское	481,1	14,4	–	–	–	–	–	-481,1	–	–

Окончание табл. 2

Наименование субъекта хозяйствования	Общие затраты на ведение охотхозяйства, тыс. руб.		Затраты на биотехнические мероприятия по охране и воспроизводству животных, тыс. руб.		Доходы от охотхозяйственной деятельности всего, тыс. руб.	В том числе доходы от иностранного охоттуризма, всего, тыс. руб.	Вступительные и иные взносы, тыс. руб.	Прибыль, убытки (+, -) тыс. руб.	Окупаемость затрат, %	
	всего	на 1 тыс. га угодий	всего	на 1 тыс. га угодий					Без взносов	Со взносами
2005 г.										
ОО «БВОО»	218 338,2	611,0	17 651,8	49,5	237 549,8	35 316,9	125803,5	+19 200,0	108,8	166,4
Осиповичское	1248,0	222,8	—	—	1442,0	—	1780,6	+194,0	115,5	258,2
Домановское	18 099,0	198,6	2171,0	35,8	20 062,0	2960,0	1478,0	+1963,0	110,8	119,0
Брестское	6146,8	591,0	145,6	14,0	1528,5	—	7490,9	-4618,3	24,8	146,7
Луковское	17 248,3	565,5	846,1	27,7	9702,8	—	1910,8	-7545,5	56,2	67,3
Столбцовское	1986,9	537,0	50,7	13,7	455,0	—	899,0	-1531,9	22,9	68,1
Борисовское	9493,1	303,3	1373,3	43,9	11 747,8	2757,0	9570,5	+2254,7	123,7	224,6
Логойское	13 021,3	910,6	982,0	68,7	6600,6	—	14 790,0	-6420,7	50,7	164,3
Шацкое	82 527,5	948,6	6707,7	77,1	11 1750,7	5574,5	51 599,7	+29 223,2	135,4	198,0
Любанское	7223,0	633,6	283,1	24,8	6922,1	—	1979,4	-300,9	95,8	123,2
Дретуньское	14 396,3	397,7	1727,1	47,7	16 888,3	10 598,5	4161,2	+2492,0	117,3	146,2
Городокское	17 163,3	596,0	991,0	34,4	16 456,3	6597,6	8070,5	-707,0	95,9	142,9
Поречское	29 784,7	794,3	2374,2	63,3	33 993,7	6829,3	22 072,8	+4209,0	114,1	188,2

Таблица 3. Статьи затрат на ведение охотничьего хозяйства ОО «БВОО»

Наименование субъекта хозяйствования	Общие затраты на ведение охотничьего хозяйства, тыс. руб.	В том числе из фонда охраны природы, тыс. руб.	Из общих затрат, тыс. руб.								
			на биотехнические мероприятия	из них:				на проведение учета	на оплату труда		
				на подкормку	на регулирование нежелательных видов	на устройство биотехнических сооружений	прочие				
2004 г.											
ОО «БВОО»	176 721,8	7212,0	16 997,0	5084,8	373,0	1158,0	10 381,2	119,0	129 580,1	28 954,7	
Осиповичское	517,8	—	—	—	—	—	—	—	547,8	—	
Домановское	18 082,0	1212,0	1212,0	839,0	373,0	—	—	—	6653,0	10 217,0	
Брестское	4974,0	—	988,8	60,6	—	—	928,2	118,0	3806,6	60,6	
Луковское	12 615,7	—	1099,9	670,2	—	102,9	326,8	118,0	9743,4	1654,4	
Столбцовское	1031,1	—	21,3	-	—	—	21,3	—	1009,8	—	
Борисовское	7654,7	—	2074,6	190,2	—	18,5	1865,9	118,0	5253,4	208,7	
Логойское	10 742,6	—	961,2	258,9	—	82,4	619,9	118,0	7984,4	1679,0	
Шацкое	70 306,4	6000,0	5903,9	1104,6	—	400,0	4399,3	246,0	58 148,3	6008,3	
Любанское	5857,2	—	257,6	120,5	—	37,0	100,1	118,0	4138,5	1343,1	
Дретуньское	10 665,4	—	1537,2	720,4	—	228,0	588,8	118,0	7460,4	1549,8	
Городокское	11 629,5	—	803,3	610,2	—	193,1	-	118,0	8271,3	2436,9	
Поречское	22 164,3	—	2137,2	510,2	—	96,1	1530,9	118,0	16 306,1	3603,0	
Ленинское	481,1	—	—	—	—	—	—	—	287,1	194,0	
2005 г.											
ОО «БВОО»	218 338,2	1398,0	17 651,8	7338,0	—	1995,4	8318,4	1329	162 224,6	37 132,8	
Осиповичское	1248,0	-	-	-	—	—	—	—	1248,0	—	
Домановское	18 099,0	1398,0	2171,0	2171,0	—	—	—	—	6014,0	9914,0	
Брестское	6146,8	—	145,6	145,6	—	—	—	120,0	5009,0	872,2	
Луковское	17 248,3	—	846,1	731,0	—	115,1	—	120,0	13 662,3	2619,9	
Столбцовское	1986,9	—	50,7	-	—	—	50,7	—	1890,0	45,6	
Борисовское	9493,1	—	1373,3	215,2	—	19,3	1138,8	120,0	7547,7	452,1	
Логойское	13 021,3	—	982,0	388,8	—	122,0	471,2	90,0	11 319,8	629,5	
Шацкое	8252,7	—	6707,7	1400,8	—	920,7	4386,2	339,0	64 411,0	11 069,8	
Любанское	7223,0	—	283,1	133,4	—	95,1	54,6	120,0	5609,1	1210,8	
Дретуньское	14 396,3	—	1727,1	995,3	—	376,7	355,1	150,0	10 626,2	1893,0	
Городокское	17 163,3	—	991,0	608,7	—	239,0	143,3	120,0	12 538,4	3513,9	
Поречское	29 784,7	—	2374,2	548,2	—	107,5	1718,5	150,0	22 348,5	4912,0	

В Борисовском они составили 69 %, в Шацком – 83 и в Поречском хозяйстве – 74 %, в среднем по ОО «БВОО» – 73 % от общих затрат. В отмеченных рентабельных хозяйствах удельный

вес затрат на биотехнические мероприятия составил соответственно 27 %, 8,4 и 9,6 %; в среднем по объединению – 9,6 % от общей суммы затрат на ведение охотничьего хозяйства.

Удельный вес расходов на подкормку диких животных (корма) по «БВОО» составляет 30 % от общей суммы средств, истраченных на биотехнику (Борисовское – 9 %, Шацкое – 19 и Поречское 24 % от суммы затрат). В 2004 г. затраты на биотехнику по ОО «БВОО» на 1 тыс. га угодий составили 43,5 тыс. руб.: в Борисовском охотхозяйстве достигли 66,3 тыс. руб., в Шацком – 67,8, в Поречском – 57 тыс. руб., в остальных – от 5,8 до 95 тыс. руб. на 1 тыс. га угодий (зависели от численности дичи).

Экономические показатели ОО «БВОО» за 2005 г. улучшились, и прибыль от ведения охотничьего хозяйства составила 19,2 млн руб. Доходы от охотничьего туризма возросли на 51,8 млн руб. Из 12 охотхозяйств ОО «БВОО» в 2005 г. рентабельными были уже 6. Прибыль получена Домановским и Дретуньским хозяйствами. Окупаемость выросла на 3,6 % и достигла 109 % (при прежних затратах на биотехнику). Расходы на оплату труда в 2005 г. по сравнению с 2004 г. увеличились и составили 74,3 % (в Борисовском на 11 % в Шацком на 4,7 в Поречском на 1,4 %). Затраты на биотехнику снизились (8 % от общих затрат на ведение охотничьего хозяйства), но увеличились на подкормку – 11,6 % (41,5 % затрат на проведение биотехники).

Анализируя экономические показатели ОО «БВОО» за 2004–2005 гг., можно сделать следующие выводы:

1. Охотхозяйственная деятельность ОО «БВОО» в целом является рентабельной.
2. Причина убыточности ряда охотничьих хозяйств такова:
 - А. не реализовывалась возможность организации иностранного охотничьего туризма;
 - Б. нестабильность численности персонала.
3. Покрытие затрат «на охотничье хозяйство» происходило за счет взносов членов ОО «БВОО».

4. В Борисовском, Поречском и Шацком охотхозяйствах затраты на биотехнию (основная статья) на 1 тыс. га угодий превышают средние показатели по ОО «БВОО».

5. Объем расходов на оплату труда в Борисовском, Поречском и Шацком охотхозяйствах не выше среднего уровня по ОО «БВОО».

6. В 2004 г. Шацкое охотхозяйство дотировалось из бюджета на 6,0 млн руб. на биотехнику.

На основании вышеизложенного в качестве бездотационных охотничьих хозяйств по ОО «БВОО» можно рассматривать Борисовское и Поречское хозяйства. Прямые затраты на ведение охотничьего хозяйства (проведение биотехнических мероприятий, учеты численности животных, оплата труда) составили в 2004 г. по Борисовскому хозяйству 7446 тыс. руб.; Поречскому – 18561,3 тыс. руб. На 1 тыс. га охотугодий прямые затраты на ведение охотничьего хозяйства в указанных субъектах составили соответственно – 425,5 и 495,0 тыс. руб.

В 2005 г. Борисовское хозяйство израсходовало 9041 тыс. руб.; Поречское – 24872,7 тыс. руб. Затраты на 1 тыс. га охотугодий составили соответственно 516,6 тыс. руб. и 663,3 тыс. руб., что в целом можно считать приемлемыми показателями для объединения.

В системе РГОО БФСО «Динамо», в 2004 г. функционировало три охотхозяйства, в 2005 г. – два (одно упразднено). Охотхозяйственная деятельность характеризуется крайне низкой окупаемостью средств на ее ведение, составляя в 2004 г. – 28,3 % и в 2005 – 35,6 %, и все охотхозяйства работали нерентабельно (табл. 4, 5). Окупаемость расходов по крупнейшему Березинскому хозяйству в 2004 г. составила 15 %, в 2005 г. – 16,7%, охотхозяйству «Селяхи», соответственно, – 50 % и 62 %.

Таблица 4. Экономические показатели охотхозяйственной деятельности БФСО «Динамо»

Наименование субъекта хозяйствования	Общие затраты на ведение охотхозяйства, тыс. руб.		Затраты на биотехнические мероприятия по охране и воспроизведству диких животных, тыс. руб.		Доходы от охотхозяйственной деятельности всего, тыс. руб.	В том числе доходы от иностранного охоттуризма всего, тыс. руб.	Вступительные и иные взносы, тыс. руб.	Прибыль, убытки тыс. руб.	Окупаемость затрат, %	
	всего	на 1 тыс. га охотугодий	всего	на 1 тыс. га охотугодий					без взносов	с взносами
2004 г.										
БФСО «Динамо»	88 200,0	962,9	3,923	42,6	25 000,0	13 165,7	6230,7	-63 200,0	28,3	35,4
«Березинское»	42 384,0	1002,0	2123,0	50,2	6330,0	6330,0	2367,0	-36 051,0	14,9	20,5
«Селяхи»	36 108,8	1604,8	1800,0	80,0	18 091,1	6259,8	3863,7	-18 017,7	50,1	60,8
«Веречское»	9707,2	362,2	–	–	575,9	575,9	–	-9131,3	5,9	–
2005 г.										
БФСО «Динамо»	73 543,8	1232,0	5100,9	85,4	262 105,0	11 310,4	5913,4	-47 333,3	35,6	43,7
«Березинское»	42 822,0	1151,0	4101,5	110,3	7168,0	7168,0	1979,4	-35 654,0	16,7	21,4
«Селяхи»	30 721,8	1365,0	99,4	44,4	19 042,5	4142,4	3934,0	-11 679,3	62,0	74,8

Таблица 5. Статьи затрат на ведение охотничьего хозяйства РГОО БФСО «Динамо»

Наименование субъекта хозяйствования	Общие затраты на ведение охотхозяйства, тыс. руб.	В том числе за счет фонда охраны природы тыс. руб.	Из общих затрат, тыс. руб								
			на биотехнические мероприятия	из них:				на проведение учета	на оплату труда	прочие затраты	
				на подкормку	на регулирование нежелательных видов	на устройство биотехнических сооружений	прочие				
2004 г.											
БФСО «Динамо»	88 200,0	—	3923,0	3923,0	—	—	—	—	38 561,4	45 715,6	
Березинское	42 384,0	—	2123,0	2123,0	—	—	—	—	17 341,0	22 920,0	
«Селяхи»	36 108,8	—	1800,0	1800,0	—	—	—	—	16 692,0	17 616,8	
«Веречское»	9707,2	—	—	—	—	—	—	—	4528,4	5178,8	
2005 г.											
БФСО «Динамо»	73 543,8	—	5100,9	4300,9	800,0	—	—	100,	38 377,2	29 965,7	
Березинское	42 822,0	—	4101,5	3301,5	800,0	—	—	100,	22 321,0	16 299,5	
«Селяхи»	30 721,8	—	999,4	999,4	—	—	—	—	16 056,2	13 666,2	

Анализ затрат охотхозяйств БФСО «Динамо» показал, что основной удельный вес в расходах в 2004 г. занимали прочие затраты (содержание помещений и т.д.), изменяющиеся от 43 до 54 %. На оплату труда истрачено от 41 % до 47 % от всей суммы затрат. Удельный вес расходов на проведение биотехники составил в расходах на ведение охотничьего хозяйства всего 5 %.

В 2005 г. структура затрат на ведение охотничьего хозяйства по БФСО «Динамо» несколько изменилась, и расходы на оплату труда составили 52 % в общем объеме затрат, на содержание служебных помещений – от 38 до 44 %, на проведение биотехники – от 3,3 % до 9,6 %.

На основании анализа основных экономических показателей по охотхозяйственной деятельности РГОО БФСО «Динамо» за 2004–2005 гг. можно сделать следующие выводы.

1. Охотхозяйственная деятельность БФСО убыточна, с низкой окупаемостью средств.

2. Удельный вес расходов на биотехнические мероприятия достигает 10 % от всех затрат на ведение охотничьего хозяйства.

3. Затраты на охотхозяйственную деятельность покрываются вступительными и членскими взносами членов РГОО БФСО «Динамо».

Проведенный анализ затрат за 2004–2005 гг. по РГОО БФСО «Динамо» показал, что бездотационное ведение охотничьего хозяйства в объединении невозможно и требует затрат на воспроизводство и укрупнение популяций охотничьих видов фауны.

Основные экономические показатели охотхозяйственной деятельности Министерства лесного хозяйства за 2004–2005 гг. позволили установить следующее: убытки Минлесхоза от ведения охотничьего хозяйства за рассматриваемый период составили соответственно 305,7 млн руб. и 479,5 млн руб.; окупаемость затрат – 72,8 % и 71,2 % (табл. 6).

В 2004 г. из 70 лесоохотнических хозяйств (по такому количеству хозяйств была получена достоверная информация) без убытков работали 25 (рентабельно в Витебской области – 3, в Гомельской – 3, в Гродненской – 8, в Минской – 10,

в Могилевской – 1) [12]. В рентабельных хозяйствах расходы на биотехнию (на 1 тыс. га) варьировали от 10 в Островецком до 288 тыс. руб. в Крупском. Например, Лельчицкий лесхоз (147 тыс. га) на 1 тыс. га вкладывал 16 тыс. руб., а Гродненский (14 тыс. га) – 146 тыс. руб. В средних по площади хозяйствах, таких, как Молодечненский (40 тыс. га) и Россонский лесхозы (58 тыс. га) затраты на проведение биотехнических мероприятий составили соответственно 62 и 85 тыс. руб. на 1 тыс. га охотугодий.

В 2005 г. из 56 лесоохотнических хозяйств МЛХ (на такое количество была получена достоверная информация) рентабельно вели охотниче хозяйство 29: в Витебской области за два года без убытков работали Россонский и Шумилинский лесхозы, в Гродненской – Дятловский, Лидский, Новогрудский, Островецкий, Слонимский и Сморгонский, в Минской области – Вилейский, Клецкий, Копыльский, Логойский, Молодечненский, Слуцкий, Старобинский, Стародорожский и Столбцовский лесхозы.

К условно бездотационным охотхозяйствам Минлесхоза могут быть отнесены Дятловский и Молодечненский лесхозы, а к бездотационным – Россонский и Шумилинский, наиболее успешно развивающие трофейную охоту для туристов. В 2005 г. прямые затраты на ведение охотничьего хозяйства на 1 тыс. га охотугодий (к ним относятся затраты на проведение биотехнических мероприятий, учетов, оплату труда) в вышенназванных охотничьих хозяйствах Минлесхоза составили соответственно: 385 тыс. руб., 522 тыс. руб., 480 тыс. руб., 313 тыс. руб.

В общественном объединении «Белорусское общество охотников и рыболовов» охотхозяйственной деятельностью в 2005 г. занималось 110 субъектов (60 – юридические лица и 50 – их оргструктуры). Ведение охотничьего хозяйства осуществлялось районными, областными организациями и унитарными предприятиями ОО «БООР» и в 2005 г. для ОО «БООР» было убыточным. Затраты покрывали членскими взносами, которые госстатотчетностью в доходах ОО «БООР» не учитывались.

Таблица 6. Экономические показатели хозяйственной деятельности Минлесхоза за 2005 г.

Наименование субъекта хозяйствования в разрезе областных производственных объединений	Площадь арендованых охотугодий, тыс. га	Общие затраты на ведение охотничьего хозяйства, тыс. руб.		В том числе затраты на биотехнику по охране и воспроизведению диких животных, тыс. руб.		Доходы от охотхозяйственной деятельности, тыс. руб.		В том числе:		Прибыль (убытки), тыс. руб.	Окупаемость затрат, %
								всего	на 1 тыс. га угодий		
Всего: по МПХ	3329,1	1 664 000	500	341 200	102,5	1 184 500	365,5	—	365 500	-479 500,0	71,2
Брестское производственное лесохозяйственное объединение											
Барановичское	39,0	30 499	782	5 541	142	9 759	250	5 956	1 062	-20 740	32,0
Брестское	19,0	24 770	1 304	5 580	294	7 696	405	2 303	—	-17 074	31,1
Ганцевичское	47,2	26 626	564	4 103	87	20 722	439	3 127	17 497	-5 094	77,8
Ивацевичское	12,7	26 396	2 078	4 380	345	20 238	1 594	2 524	13 469	-6 158	76,7
Кобринское	54,9	19 735	359	1 327	24	19 308	352	15 715	389	-426	97,8
Лунинецкое	40,9	27 757	679	1 525	37	26 388	645	5 101	13 246	-1 369	95,1
Ляховичское	37,8	2 133	56	—	—	3 588	95	3 508	—	+1 455	168,2
Пинское	18,7	16 447	773	4 530	242	3 255	174	2 787	—	-13 192	19,8
Пружанское	209,2	98 462	471	13 450	64	118 870	568	29 713	73 524	+20 408	120,7
Столинское	41,8	19 903	476	1 164	28	9 037	216	3 044	1 880	-10 869	45,4
Телечанское	56,8	28 627	504	9 525	168	29 559	520	7 952	19 853	+932	103,3
Витебское производственное лесохозяйственное объединение											
Городокское	19,3	10 963	568	5 019	260	4 949	256	3 504	—	-6 014	45,1
Дисненское	41,0	20 398	498	7 070	172	8 716	213	7 466	—	-11 682	42,7
Лепельское	49,2	26 161	532	3 425	70	26 487	538	20 383	4 719	+326	101,2
Лиозненское	61,0	34 639	568	6 965	114	25 155	412	9 522	15 621	-9 484	72,6
Оршансское	19,9	9 078	456	1 148	58	4 641	233	4 442	—	-4 437	51,1
Поставское	36,0	28 651	796	942	26	17 166	477	13 863	—	-11 485	59,9
Бегомльское	41,2	26 335	639	4 690	114	17 114	415	11 352	5 410	-9 221	65,0
Бешенковичское	22,4	14 637	653	4 274	191	10 217	456	8 224	—	-4 420	69,8
Богушевское	22,4	12 327	550	6 482	289	11 324	505	10 991	334	-1 003	91,9
В. Двинское	22,4	8 584	383	5 480	245	9 985	446	9 676	—	+1 401	116,3
Витебское	28,1	14 607	520	1 307	47	6 859	244	6 337	—	-7 748	47,0
Глубокское	19,7	17 896	908	3 363	171	13 772	699	4 695	9 077	-4 124	77,0
Полоцкое	14,3	13 687	957	3 020	211	5 427	380	4 900	—	-8 260	39,7
Россонское	58,5	30 748	526	5 229	89	46 202	790	13 941	28 635	+15 454	150,3
Суражское	11,8	19 910	1 687	4 292	364	8 384	711	7 093	788	-11 526	42,1
Ушачское	28,2	28 427	1 008	3 995	142	22 248	789	6 350	15 193	-6 179	78,3
Шумилинское	55,5	23 600	425	8 420	152	29 222	486	15 463	13 759	+5 622	123,8
Гродненское производственное лесохозяйственное объединение											
Гродненское	14,8	10 675	721	3 123	211	6 474	437	4 910	—	-4201,5	60,6
Дятловское	45,0	17 314	385	2 065	46	19 652	437	17 473	2 179	+2 338	113,5
Ивьевское	46,6	13 840	297	1 738	37	14 091	302	13 456	—	+251	101,8
Лидское	10,5	3 613	344	1 246	119	5 415	516	53	—	+1 802	149,9
Новогрудское	21,0	11 054	526	1 611	77	12 762	608	12 762	—	+1 708	115,5
Островецкое	26,2	11 163	426	2 617	100	12 887	492	3 788	4 356	+1 725	115,5
Слонимское	18,0	11 765	654	1 379	77	12 778	710	3 325	7 271	+1 013	108,6
Сморгонское	31,6	9 254	293	2 805	89	9 706	307	7 740	—	+452	104,9
Щучинское	19,3	3 685	191	441,	23	4 343	225	4 215	—	+658	117,9
Минское производственное лесохозяйственное объединение											
Березинское	42,1	17 393	413	3 749	89	18 687	444	11 299	1 009	+1 294	107,4
Борисовское	26,4	9 790	371	3 041	115	10 183	386	8 050	—	+393	104,0
Вилейское	51,4	20 677	402	1 431	28	22 188	432	14 251	—	+1 511	107,3
Воложинское	31,2	39 600	1 269	15 700	503	52 042	1 668	2 600	22 742	+12 442	131,4
Клецкое	10,3	5 141	499	600	58	5 513	535	4 059	—	+372	107,2
Копыльское	16,1	6 302	391	1 897	118	12 577	781	7 718	4 005	+6 275	199,6
Крупское	23,1	16 740	725	7 370	319	10 666	462	4 925	1 487	-6 074	63,7
Логойское	80,9	27 498	340	15 773	195	27 929	345	17 087	10 842	-431	101,6
Любанское	38,1	12 076	317	6 400	168	11 352	298	10 510	—	-724	94,0
Минское	18,3	18 295	1 000	3 547	194	13 501	738	10 301	—	-4 794	73,8
Молодечненское	40,3	21 045	522	1 488	37	25 433	631	19 748	1 300	+4 388	120,9
Пуховичское	16,7	12 147	727	3 700	222	8 614	516	7 487	—	-3 533	70,9
Слуцкое	41,2	27 217	661	6 112	148	31 176	757	19 194	265	+3 959	114,5
Смолевичское	20,1	10 301	512	4 007	199	10 346	515	5 422	—	+45	100,4
Старобинское	30,3	10 969	362	1 531	51	18 858	622	9 471	6 431	+7 889	171,9
Стародоржское	24,3	10 596	436	2 800	115	10 765	443	4 709	—	+169	101,6
Столбцовское	22,5	8 930	397	3 951	176	11 156	496	5 350	4 006	+2 226	124,9
Узденское	10,2	6 630	650	1 600	157	6 646	652	4 608	—	+16	100,2
Червенское	16,4	13 440	820	3 445	210	9 816	599	4 004	—	-3 624	73,0

Анализ структуры расходов на ведение охотничьего хозяйства ОО «БООР» показал, что основной удельный вес в общих затратах занимали средства истраченные на оплату труда работников и другие расходы (содержание помещений, амортизация основных средств, аренда, налоги и т. д.) (табл. 7). В сумме прочие затраты и затраты по оплате труда могли достигать до 100 % от всех затрат на ведение охотничьего хозяйства. В то же время, удельный вес расходов на биотехнических мероприятий незначителен. В некоторых хозяйствах (Ганцевичское, Ляховичское в Брестской и Поставское в Витебской обл.) на проведение таких мероприятий не израсходовано ни рубля. Часть охотхозяйств ОО «БООР» заготавливает корма (подкормку), проводят учеты численности охотничьих животных и устройство различных биотехнических сооружений на общественных началах и в затратах на

ведение охотничьего хозяйства организационные структуры ОО «БООР» их не отражают. Особого внимания заслуживает тот факт, что во многих охотхозяйствах удельный вес прочих затрат превышал 50 %. Это вызвано тем, что областные организации «БООР» свои косвенные затраты (содержания аппарата управления, амортизация основных средств, издержки от торговли и производства, расходы на содержание помещений и т. д.) распределяют на свои оргструктуры (районные организации – охотхозяйства). В данной связи их затраты на ведение охотничьего хозяйства существенно возрастают. Поэтому рассматриваться в качестве бездотационных могут только высокоорганизованные охотхозяйства, предоставляющие услуги иностранным охотникам (по аналогии с ОО «БВОО»), с учетом членских взносов в затратах на ведение охотничьего хозяйства.

Таблица 7. Основные статьи затрат на ведение охотничьего хозяйства ОО «БООР» за 2005 г.

Наименование субъекта хозяйствования	Общие затраты на ведение охотничьего хозяйства, тыс. руб.	В том числе за счет фонда охраны природы, тыс. руб.	Из общих затрат, тыс. руб.						
			на биотехнические мероприятия	на подкормку	на регулирование численности диких животных нежелательных видов	на устройство биотехнических сооружений, расселение дичи	на проведение учета	на оплату труда	прочие затраты
Брестская область									
Дрогичинская Р/О	38841,9	–	130,0	100,0	–	30,0	30,0	23490,5	15191,4
Жабинковское ОРХ	34866,6	2304,7	2926,0	2390,2	490,8	45,0	–	14387,5	17553,1
Березовская Р/О	35996,2	–	84,4	–	–	84,4	–	15586,6	20325,2
Брестская Р/О	47970,5	–	159,4	76,0	83,4	–	–	24087,7	23723,4
Столинская Р/О	52748,0	9710,0	11116,0	1026,0	10090,0	–	143,0	23936,5	17552,5
Каменецкое ОРХ	33077,2	850,0	650,0	350,0	300,0	–	–	22083,8	10343,4
Ивацевичская Р/О	44485,8	1161,5	1308,8	1308,8	–	–	–	24948,4	18172,4
Ивановская Р/О	34227,9	1986,3	1986,3	–	1986,3	–	–	14673,0	17568,6
Малоритская Р/О	33065,0	3873,0	3873,0	–	3873,0	–	–	17291,0	11901,0
Ганцевичская Р/О	16994,8	345,6	–	–	–	–	345,6	7507,0	9142,2
Пинская Р/О	82070,5	934,1	3199,0	1167,1	1272,8	759,1	–	38465,9	40405,6
Ляховичская Р/О	17167,9	–	–	–	–	–	–	9593,8	7574,1
Кобринское ОРХ	28170,1	–	10,9	10,9	–	–	21,6	13570,1	14567,5
Барановичское ОРХ	107356,3	1199,6	5723,5	2716,8	1999,4	1007,3	200,0	43637,5	57795,3
Витебская область									
Толочинское ОРХ	59662,0	1500,0	7813,0	–	1500,0	–	–	18941,0	32868,0
Поставская Р/О	38856,0	–	–	–	–	–	556,4	19392,1	18907,5
Мирская Р/О	25826,0	401,0	1553,0	–	401,0	–	–	11975,0	12298,0
Дубровенская Р/О	33069,5	4593,7	5500,2	73,5	4593,7	–	–	15774,6	11728,8
Докшицкая Р/О	25420,0	2500,0	2596,0	96,0	2500,0	–	–	13905,0	8919,0
Глубокская Р/О	53098,8	2495,3	4481,7	–	28,4	2495,3	102,1	46659,1	1855,9
Витебская Р/О	84001,0	3175,0	7586,0	638,0	3561,0	750,0	139,0	32158,0	44118,0
Полоцкая Р/О	134720,8	7238,7	15480,0	1498,5	7238,7	170,8	–	51623,7	67617,1
Бешенковичская Р/О	17251,1	980,7	1466,2	–	980,7	12,1	–	9184,2	6600,7
Сенненская Р/О	25662,0	2912,0	3426,0	–	2912,0	–	–	11907,0	10329,0
Ушачская Р/О	25892,8	952,9	1815,0	–	952,9	–	–	11494,9	12582,9
Шарковщинская Р/О	22802,0	530,0	530,0	–	530,0	–	–	12483,0	9789,0
Чашникская Р/О	22939,6	1992,0	1992,0	–	1992,0	–	–	17925,7	3021,9
Бабиновичское ОРХ	26473,0	–	–	–	–	–	–	15825,0	10648,0
Оршанская Р/О	68864,7	734,3	5393,5	1637,8	–	–	36,5	35443,2	27991,5
Гомельская область									
Буда-Кошелевская Р/О	14778,0	525,0	525,0	–	525,0	–	–	6411,0	7842,0
Брагинская Р/О	18138,0	6465,0	6690,0	–	6603,0	–	–	6828,0	4620,0
Чечерская Р/О	18054,0	780,0	1687,0	–	–	780,0	–	7996,0	8371,0
Хойникская Р/О	15954,0	3833,0	4513,0	–	3912,0	–	–	5492,0	5949,0
Светлогорская Р/О	63300,0	7658,0	9549,0	4000,0	3658,0	188,0	–	26803,0	26948,0
Рогачевская Р/О	53886,0	3623,0	5600,0	–	3623,0	–	–	20449,0	27839,0
Речицкая Р/О	60491,0	5000,0	7519,0	555,0	5172,0	–	–	22579,0	30393,0
Петриковская Р/О	18797,0	746,0	834,0	–	746,0	–	–	8835,0	9128,0
Октябрьская Р/О	16999,0	995,0	1192,0	–	995,0	–	–	8488,0	7319,0

Окончание табл. 7

Наименование субъекта хозяйствования	Общие затраты на ведение охотничьего хозяйства, тыс. руб.	В том числе за счет фонда охраны природы, тыс. руб.	Из общих затрат, тыс. руб.						
			на биотехнические мероприятия	из них:			на проведение учета	на оплату труда	прочие затраты
				на подкормку	на регулирование численности диких животных нежелательных видов	на устройство биотехнических сооружений, расселение дичи			
Наровлянская Р/О	21544,0	7918,0	8341,0	—	7918,0	—	—	5692,0	7511,0
Мозырская Р/О	42303,0	5090,0	7843,0	—	5090,0	93,0	—	13819,0	20641,0
Лоевская Р/О	13665,0	2427,0	2540,0	—	2427,0	—	—	5655,0	5470,0
Кормянская Р/О	16534,0	999,0	1557,0	410,0	999,0	—	—	7663,0	7314,0
Калинковичская Р/О	27482,0	7387,0	8223,0	—	7387,0	—	—	9895,0	9364,0
Жлобинская Р/О	19461,0	284,0	1558,0	—	284,0	—	—	9056,0	8847,0
Ельская Р/О	17628,0	—	941,0	—	—	52,0	—	8452,0	8235,0
Добрушская Р/О	27122,0	5790,0	7218,0	169,0	5790,0	—	—	10493,0	9411,0
Гомельская Р/О	74564,0	4973,0	9207,0	—	4973,0	180,0	—	29082,0	36275,0
Ветковская Р/О	15363,0	3499,0	4099,0	—	3499,0	43,0	—	4732,0	6532,0
Гродненская область									
Берестовицкая Р/О	26063,0	—	7381,0	—	104,0	—	—	9196,0	9486,0
Волковысская Р/О	27707,0	—	1599,0	17,0	—	—	—	11894,0	14179,0
Гродненская Р/О	73076,0	—	4778,0	497,0	—	—	165,0	34799,0	33334,0
Дятловская Р/О	24059,0	—	673,0	—	—	—	—	12719,0	10667,0
Зельвенская Р/О	16976,0	—	126,0	—	30,0	—	—	9313,0	7540,0
Ивьевская Р/О	25501,0	—	355,0	—	—	—	—	14256,0	10890,0
Вороновская Р/О	32484,0	—	1610,0	—	—	—	—	18393,0	12481,0
Сморгонская Р/О	24307,0	100,0	1542,1	52,0	1442,1	—	—	14767,0	7997,9
Кореличская Р/О	30924,0	1351,0	2254,0	—	1351,0	—	—	16187,0	12483,0
Лидская Р/О	71085,1	6763,0	13464,1	—	6763,0	785,0	—	30930,3	26690,7
Мостовское ОРХ	61856,0	—	4229,0	1694,0	436,0	190,0	60,0	23685,0	33882,0
Щучинская Р/О	48975,0	3370,0	7390,0	—	3728,0	-	—	21609,0	19976,0
Слонимская Р/О	29629,0	—	2290,0	—	-	14,0	—	13203,0	14136,0
Свислочская Р/О	14983,0	—	3892,0	—	50,0	—	—	4812,0	6279,0
Островецкая Р/О	28001,0	6768,0	7180,0	—	5968,0	52,0	300,0	12002,0	8519,0
Новогрудская Р/О	42100,0	2215,0	3576,0	8,0	2215,0	—	—	21994,0	16530,0
Ошмянская Р/О	35243,0	4798,0	6572,0	—	4834,0	—	—	18364,0	10307,0
Озерская Р/О	23635,0	—	3923,0	2138,0	131,0	184,0	—	10590,0	9122,0
Минская область									
Логойское ОРХ	53418,4	1208,6	2540,9	1003,2	—	—	208,6	23039,7	27629,2
Пуховичская Р/О	112032,4	373,8	2590,0	404,5	—	33,8	—	50846,3	58596,1
Борисовская Р/О	94838,7	2246,9	3094,1	928,2	—	—	408,0	40299,7	51036,9
Стародорожская Р/О	53341,9	-	2343,4	732,6	—	42,2	—	21405,0	29593,5
Узденская Р/О	83659,6	1226,0	3813,7	830,4	—	106,2	226,0	37755,4	41864,5
Березинская Р/О	38360,3	73,2	2272,6	1250,8	—	76,0	—	16595,3	19492,4
Дзержинская Р/О	50214,9	718,1	1273,1	420,4	—	—	—	31166,3	17775,5
Столбцовская Р/О	34813,5	-	2463,5	726,6	—	41,6	—	17703,6	14646,4
Минская Р/О	74504,4	2776,9	4556,3	1100,9	989,0	—	—	40713,9	29234,2
Любанская Р/О	74316,7	423,5	1993,4	620,6	—	—	423,5	31717,1	40182,7
Вилейская Р/О	35986,9	901,2	1717,7	1018,4	—	—	417,3	15139,5	18712,4
Клецкая Р/О	44137,7	—	2086,8	408,9	—	—	—	18871,1	23179,8
Крупская Р/О	72870,8	—	2154,1	558,7	—	—	2,5	28253,0	42461,2
Молодечненская Р/О	59607,7	—	1834,9	1018,6	—	—	—	26721,3	31051,5
Смолевичская Р/О	79403,4	—	1746,0	1503,1	—	—	—	38015,8	39641,6
Слуцкая Р/О	55116,0	—	4331,5	1299,5	—	—	—	28490,2	22294,3
Червенская Р/О	54797,6	1000,0	4119,0	1564,9	—	15,8	—	29055,9	21622,7
Солигорская Р/О	72499,8	—	2731,7	850,9	—	—	—	34932,5	34835,6
Воложинская Р/О	69416,2	2034,0	2269,4	944,1	—	—	—	28805,1	38341,7
Могилевская область									
Шкловская Р/О	50863,0	7949,0	16364,0	8569,0	1960,0	—	—	17626,0	16873,0
Чаусская Р/О	54119,0	500,0	4931,0	-	3385,0	1546,0	—	26835,0	22353,0
Осиповичская Р/О	78060,0	15744,0	18590,0	5900,0	4339,0	8351,0	140,0	24406,0	34924,0
Бобруйская Р/О	59163,0	557,0	4769,0	1200,0	3113,0	456,0	—	24130,0	30264,0
Быховская Р/О	55062,0	598,0	2556,0	29	—	—	—	28952,0	23554,0

Дотации и кредитные средства в данном объединении следует привлекать на создание высокопродуктивных кормовых полей и охрану угодий с целью укрупнения (роста) популяций копытных [4, 5, 8–20]. Следующим важным направлением должен стать гостиничный бизнес

(инфраструктура), создание которого на завершающей фазе становления охотхозяйства позволит отказаться от дотаций и вести хозяйственную деятельность за счет средств от туризма.

В охотничьем хозяйстве Беларусь важнейшим гарантом бездотационного ведения яв-

ляется оптимальная численность обитающих в нем диких копытных, что достижимо при проведении комплекса мероприятий (прямые затраты). Объемы их должны окупаться получаемыми доходами в виде продукции охотничьего хозяйства и оказанием сопутствующих услуг [8–20].

Большое значение для объема обязательных расходов в данном случае имеет качество охотугодий, их пригодность для обитания животных (бонитет). Чем ниже бонитет, тем больше требуется средств на проведение различных мероприятий, улучшающих кормовые и защитные качества угодий, а основной целью инвестирования средств становится достижение оптимальной численности ресурсно-значимых видов, таких, как лось, олень, кабан и косуля. Оптимальная численность копытных позволит охотничьему хозяйству увеличить получение доходов при сохранении расходов только на текущие мероприятия.

Затраты на ведение охотничьего хозяйства также находятся в прямой зависимости от площади арендуемых угодий, в первую очередь, лесных [8–11]. Это обстоятельство и определило показатели для расчета примерных нормативов затрат. Мы перечислили мероприятия, с расчетными нормативами, составляющими тот минимум затрат, при которых возможно вести охотничье хозяйство без дотаций. Значения нормативов затрат могут варьировать между двумя допустимыми границами. Верхней являются возможности арендатора угодий по вложению инвестиций для получения доходов от охотничьего хозяйства, нижней – необходимые нормативные затраты, обеспечивающие неистощимую эксплуатацию охотничьих животных [1, 6, 11, 12, 17, 19].

Предварительные расчеты показали, что в качестве моделей не могут рассматриваться охотхозяйства юридических лиц, использующие собственные средства и более эффективные технологии для достижения оптимальных показателей насelenности угодий копытными [11–17, 19]. В связи с начальным периодом становления

частных охотхозяйств существенные инвестиции на биотехнические мероприятия позволяют избежать рассредоточения копытных, а основной объем в затратах это расходы, направляемые на долгосрочную перспективу (гостиницы, реинтродукция).

Полученные доходы охотхозяйств Беларуси на единицу площади угодий (1 тыс. га) приведены в (табл. 8). Доход организованных хозяйств и представляет собой приблизительную верхнюю границу норматива, как отражающую рыночный спрос на продукцию и услуги.

Выделение бездотационных и условно бездотационных охотхозяйств, позволяет рассматривать их в качестве моделей для расчета нормативов затрат, но при определении модельных охотхозяйств следует учитывать их направленность и специализацию, соотношение фактической численности хозяйственно значимых видов по отношению к оптимальной [9, 16].

Среди модельных охотхозяйств Шумилинское и Россонское – Минлесхоза и Озерское – ОО «БООР» специализируются на разведении диких копытных. Поречское и Домановское ОО «БВОО» – поливидовые, эксплуатируют копытных и отчасти, пернатую и пушную дичь. Несвижское ОО «БООР» специализируется на мелкой и пернатой дичи (табл. 9). Часть охотхозяйств, условно рентабельны (бездотационны), т. е. доходы, полученные в результате хозяйственной деятельности, превышают средства, израсходованные на ведение охотничьего хозяйства. Для остальных хозяйств его ведение убыточно и согласно Уставу общественного объединения «БООР», Озерское и Несвижское хозяйства могут использовать на ведение охотничьего хозяйства до 70 % собранных членских взносов, а Домановское и Поречское ОО «БВОО» – до 45 %.

Охотничьи угодья модельных охотничьих хозяйств, как среда обитания копытных, оцениваются выше среднего и ниже среднего качества (II–IV бонитеты).

Таблица 8. Доходы охотхозяйств на единицу площади охотничьих угодий за 2005 г.

Охотпользователи	Доходы в 2005 г., млн руб	Площадь, тыс. га		Доход на 1000 га, тыс. руб.	
		всего	лесных	общей площади	лесной площади
Всего по Беларуси	4856,7	17204,3	6977,2	282,3	696,1
<i>По основным охотпользователям</i>					
Минлесхоз	1184,5	3329,1	1804	355,8	656,6
ОО «БООР»	2225,5	10915,6	3778,1	203,9	589,1
ОО «БВОО»	237,5	357,3	166,9	664,7	1423,0
РГОО БФСО «Динамо»	26,2	59,7	24,6	438,9	1065,0
Управление делами Президента РБ	612,8	840,9	394,6	728,7	1553,0
Юридические лица или частные охотхозяйства	351,6	487,6	263,3	721,1	1335,4
Прочие	218,6	760,4	323,3	287,5	676,2
<i>По областям</i>					
Брестская	636,6	2680,8	1033,1	237,5	616,2
Витебская	1390,1	3505,7	1264,8	396,5	1099,1
Гомельская	517,2	3082,5	1497,6	167,8	345,4
Гродненская	478,5	2084,7	768,4	229,5	622,7
Минская	1231,5	3289,8	1331,3	374,3	925,0
Могилевская	602,8	2560,2	1082	235,5	557,1

Таблица 9. Охотэкономическая характеристика модельных охотничьих хозяйств

Наименование модельного охотхозяйства, ведомственная принадлежность	Площадь угодий			Лось (особей)			Кабан (особей)			Косуля (особей)			Экономическое состояние	Затраты на биотехнию, тыс. руб.		
	Всего, тыс. га	В том числе лесных		Фактическая численность	Оптимальная численность	Бонитет угодий	Фактическая численность	Оптимальная численность	Бонитет угодий	Фактическая численность	Оптимальная численность	Бонитет угодий				
		тыс. га	в %													
Министерство лесного хозяйства																
Быховское	61,0	38,8	64	118	120	III,4	147	150	III,5	352	500	III,7	Убыт.	180	5,0	9
Дятловское	45,0	27,7	62	80	90	III,4	175	170	II,6	240	300	III,9	Рент.	385	11,9	46
Калинковичское	87,8	55,8	64	40	150	III,7	245	248	III,4	333	880	III,3	Рент.	100	21,1	21
Логойское	86,0	49,5	58	36	140	III,6	230	250	III,0	240	600	III,8	Рент.	340	57,4	195
Мозырское	47,8	29,9	63	120	185	I,9	390	270	I,7	780	840	II,1	Убыт.	188	16,7	31
Молодечненское	40,3	16,3	40	45	35	III,9	55	50	IV,0	86	120	IV,4	Рент.	522	7,1	37
Речицкое	23,0	14,8	64	12	41	III,6	20	52	III,7	49	76	IV,7	Рент.	46	Нет	—
Россонское	58,5	36,2	62	190	185	II,7	280	280	II,3	170	460	IV,9	Рент.	526	17,0	89
Телеханское	56,8	28,4	50	60	85	III,4	195	480	III,3	285	465	I,0	Рент.	504	33,3	168
Шумилинское	55,5	29,5	53	272	230	II,1	462	301	II,1	328	321	IV,3	Рент.	425	35,7	152
Общественное объединение «Белорусское общество охотников и рыболовов» ОО «БООР»																
Барановичское	157,0	43,8	28	22	95	III,9	250	310	III,4	220	185	IV,4	Убыт.	684	5,3	36
Гомельское	173,8	63,7	37	190	190	III,4	370	320	II,9	1285	1250	II,9	Убыт.	429	12,3	53
Жабинковское	59,0	12,6	21	4	20	IV,0	76	60	II,7	45	165	III,4	Убыт.	591	8,4	50
Мостовское	104,7	40,3	38	137	120	II,8	335	130	III,1	487	320	III,8	Убыт.	591	6,8	40
Несвижское	73,0	9,0	12	22	35	III,0	65	60	II,3	25	80	IV,1	Убыт.	662	3,9	26
Озерское	21,6	18,3	85	56	60	III,4	149	120	II,5	475	400	II,8	Убыт.	1094	16,6	182
Сенненское	65,0	15,3	24	80	95	III,0	220	135	II,8	315	575	II,6	Убыт.	395	13,4	53
Толочинское	136,0	40,7	30	130	120	III,1	290	220	II,3	320	380	III,8	Убыт.	439	13,1	57
Общественное объединение Белорусское военно-охотничье общество ОО «БВОО»																
Домановское	60,6	37,9	62	153	120	III,8	222	180	III,6	230	370	IV,3	Рент.	299	12,0	36
Поречское	37,5	21,1	56	95	90	II,9	143	110	II,9	236	290	III,6	Рент.	794	8,0	63

Это предопределяет проведение определенных охотхозяйственных и биотехнических мероприятий на поддержание оптимальных условий существования животных (охрана, подкормка), или других мероприятий по достижению оптимальной для угодий плотности населения дичи.

Площадь модельных охотхозяйств колеблется от 21,6 тыс. га до 173,8 тыс. га, соотношение фактической и оптимальной численности копытных следующее:

1. Численность выше оптимума: Шумилинское МЛХ, Мостовское и Толочинское ОО «БООР».

2. Численность равна оптимуму: Домановское и Поречское ОО «БВОО», Россонское МЛХ, Озерское и Гомельское ОО «БООР».

3. Численность копытных не достигла оптимума: Несвижское и Жабинковское ОО «БООР», Телеханское, Калинковичское и Логойское МЛХ.

Учитывая изложенные выше критерии по выделению модельных охотхозяйств (бездотационность), а также принимая во внимание ведомственную принадлежность, расчет прямых

(обязательных) затрат на ведение охотничьего хозяйства может производиться по нормам Шумилинского – для Минлесхоза, Поречского – для ОО «БВОО» и Несвижского охотхозяйства – для ОО «БООР».

Выводы. Ведение охотничьего хозяйства с минимальными дотациями на квалифицированное охотустройство и дичеразведение, в условиях современной Беларуси возможно, но только общественными объединениями охотников, работающих по принципам Белорусского военно-охотничьего общества («БВОО») и Белорусского общества охотников и рыболовов («БООР»), для которых охотничье хозяйство – основной вид деятельности.

Необходимость развития целевой для охотничьего хозяйства логистики, пошагово обосновывающей объемы и периоды вложения инвестиций, позволили нам, при создании специализированных охотничьих хозяйств добиться вполне определенных результатов даже при минимальной численности дичи на начальном этапе становления [14–17, 20].

Отказ от истребительных и чрезмерно беспокоящих методов охоты как одной из мер по реституции популяций копытных при формировании поливидовой биотехники (севообороты кормовых растений и луговодство) позволяют на порядок увеличить их численность и существенно снизить издержки [4, 5, 8–12, 14–17, 20]. Постепенное создание популяций копытных при параллельном развитии гостиничного бизнеса позволяет заключать контракты с аутфитерами (ту-

рагенты) и даже приобретать статус самостоятельного аутфитера.

Без учета этих правил, постепенно приобретающих значение парадигмы, попытки так называемой «документальной» рентабельности и искусственного завышения численности дичи, для получения высоких квот изъятия, имеет быстрый и определенный финал – ликвидацию охотпользователя, начало которому – популяционная катастрофа копытных.

Литература

1. **Бухалков М. И.** Внутрифирменное планирование. М., 2003.
2. **Вашукевич Ю. Е.** Организационно-экономические основы становления и развития охотничьего туризма в России : Дис. ... канд. экон. наук. Иркутск, 2003.
3. Временные расценки на некоторые виды охотхозяйственных и биотехнических работ. Минск, 1978.
4. **Данилкин А. А.** Дикие копытные в охотничьем хозяйстве. М., 2006.
5. **Данилкин А. А.** Динамика населения диких копытных России: гипотезы, факторы, закономерности. М., 2009.
6. **Кроливецкий Э. Н.** Нормы и нормативы в планировании и хозяйственном регулировании. С-Петербург, 1992.
7. **Мельников В. К., Мельников В. В.** Современные проблемы организации охотничьего хозяйства России, охотничьего туризма и анализ правового обеспечения его в зарубежных странах и России. М., 2008.
8. **Тышкевич В. Е.** Наиболее перспективные направления развития охотничьего хозяйства Беларуси // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства. Киров, 2002. С. 340–344.
9. **Тышкевич В. Е.** Лесные охотничьи угодья как среда обитания парнокопытных и зайцеобразных // Лесное и охотничье хозяйство. 2005, № 1. С. 45–51.
10. **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.
11. **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.
12. **Тышкевич В. Е., Квакин В. И.** Краткая охотэкономическая характеристика состояния охотничьего хозяйства в Республике Беларусь // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства. Киров, 2007. С. 442–443.
13. **Тышкевич В. Е., Квакин В. И.** Современные проблемы охотоведства в Беларуси // Вестн. охотоведения. 2008. Т. 5. № 1. С. 106.
14. **Тышкевич В. Е.** Метод естественного формирования популяций оленя (*Cervus elaphus L.*) в смежных охотничьих угодьях // Лесное и охотничье хозяйство. 2008, № 10. С. 26–32.
15. **Тышкевич В. Е.** Важнейшие охотничьи ресурсы заказников «Кozyянский», «Налибокский» и «Острова Дулебы»: оценка состояния, методы восстановления и перспективы использования // Природопользование. Минск, 2008. Вып. 14. С.148-157.
16. **Тышкевич В. Е.** Показатели населенности охотничьих угодий дикими копытными (*Artiodactyla*) требуемые для восстановления популяций и интенсификации охотничьего хозяйства Беларуси // Природопользование. Минск, 2009. Вып. 15. С.158-169.
17. **Тышкевич В. Е.** Опыт организации мероприятий по снижению ущерба агроценозам со стороны диких копытных с помощью биотехнических мероприятий и расчет затрат на их проведение // Природопользование. Минск, 2009. Вып. 16. С. 149–156.
18. **Тышкевич В. Е.** Кадровый кризис в охотоведении и охотничьем хозяйстве Беларусь – пути его преодоления и потенциальная емкость «рынка» легитимного охотоведческого образования // Состояние среды обитания и фауна охотничьих животных Евразии. М., 2010. С. 47–56.
19. **Тышкевич В. Е.** Потравы и опыт борьбы с ними белорусских охотпользователей // Охота – национальный охотничий журнал. 2010. № 3. С. 16–19.
20. **Тышкевич В. Е.** Экономические потери охотничьего хозяйства Беларусь в случае подзаконного или иного запрета весенней охоты // Охрана и рациональное использование животных и растительных ресурсов: Материалы междунар. конф. Иркутск, 2010. С. 191–196.
21. Указ Президента Республики Беларусь № 580 «О некоторых мерах по повышению эффективности ведения охотничьего хозяйства и рыбохозяйственной деятельности, совершенствованию государственного управления ими». 2005.

22. Янушко А. Д., Дунин В. Ф., Захаренко А. П. Эколого-экономические основы лесоохотниччьего хозяйства Беларуси. Минск, 2006.

Институт природопользования НАН Беларуси

V. E. Тышкевич

ОКУПАЕМОСТЬ РАСХОДОВ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОХОТНИЧЬЕГО ХОЗЯЙСТВА БЕЛАРУСИ

Проанализированы затраты на ведение охотничьего хозяйства у крупнейших пользователей охотничьих угодий Беларуси и выделены их категории, обязательные для успешного ведения охотничьего хозяйства. По этой градации оценена эффективность расходования финансовых средств у крупнейших арендаторов охотничьих угодий.

Отмечено применение неэффективных и противоречащих общеевропейским принципам ведения охотничьего хозяйства, методик определения площади угодий пригодных для обитания диких копытных. В результате, при проектировании охотничьих хозяйств, происходит существенное искажение их потенциальных возможностей из-за искусственного сокращения площади угодий пригодных для обитания диких копытных.

Отдельно рассмотрены доходы, полученные охотхозяйствами за счет своей деятельности и средства, потраченные на содержание аппарата управления, покрытие издержек от производственной и иной деятельности.

В зависимости от видовой специализации охотхозяйства и формы его собственности определены необходимые финансовые затраты для рентабельного ведения охотничьего хозяйства. Научно обоснована необходимость развития иностранного охотничьего туризма – основного источника средств, необходимого для дальнейшей интенсификации охотничьего хозяйства и достижения окупаемости затрат на его ведение.

Для крупнейших объединений пользователей охотничьих угодий, ведущих охотничье хозяйство за счет взносов охотников или бюджетные средства, научно обоснованы и предложены определенные направления интенсификации хозяйственной деятельности.

V. E. Tyshkevich

PAYBACK OF EXPENSES AND INTENSIFICATION OF GAME-KEEPING IN BELARUS

In the course of the research the game-keeping costs of major forest users in Belarus have been analyzed and its categories required for successful game-keeping have been defined. Basing on these categories the effectiveness of game-keeping expenses born by major forest holders has been estimated.

There have been observed application of detrimental to common European principles of game-keeping and ineffective methods of determination of the habitation area of the wild ungulates. As a result, potentiality of a game-keeping unit while planning is greatly corrupted because of deliberate reduction of habitation area.

Proceeds of activities of a game-keeping unit and expenses on management personnel keeping as well as production and any other activity costs have been particularly considered.

Depending on the specialization of a game-keeping unit, reasonable financial expenses on profitable game-keeping have been defined. The necessity of development of foreign hunting tourism as a financial source for game-keeping intensification has been grounded.

For large units of forest holders using hunters' fees or budget funds there have been grounded and suggested certain ways of game-keeping intensification.

II. БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 518.5+552.578.1

Г. П. Бровка, И. И. Ивашкевич, В. Г. Левашкевич

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОВЫТЕСНЕНИЯ ГАЗА И ВОДЫ В ПОДЗЕМНЫХ ГАЗОХРАНИЛИЩАХ

Для расчета процессов взаимовытеснения газа и воды в подземных хранилищах газа разработаны математическая трехмерная модель, ее аналог в конечно-разностной форме и прикладная программа.

В настоящее время резервные объемы природного газа хранятся в основном в подземных хранилищах газа (ПХГ), которые представляют собой куполообразные пласти-коллекторы. Для определения оптимальных режимов закачки и отбора газа в ПХГ, а также предотвращения загрязнения окружающей среды при прорыве газа за пределы контура хранилища необходимо проводить соответствующие расчеты. Методики аналитического расчета процессов взаимовытеснения газа и воды базируются в основном на радиально-плоской геометрии, пренебрегая гравитационным и капиллярным потенциалами. Такой подход может быть вполне оправдан для пластов-коллекторов малой мощности и с симметричным куполом. В общем случае для корректного расчета процессов взаимовытеснения газа и воды необходимо рассматривать трехмерные модели, которые можно реализовать только численными методами. В литературе имеются ссылки на компьютерные программы, используемые для этих целей. Детальный анализ данных программ невозможно провести, так как в печати указываются только их технические возможности и учитываемые факторы. Известны вычислительные программы, разработанные во ВНИИГАЗе, УкрНИИГАЗе и Полоцком государственном университете [1–4]. Однако технические возможности программ ограничены, они не позволяют проводить полномасштабное моделирование задач гидро- и газодинамики в трехмерной постановке.

Анализ работ по моделированию процессов переноса в пластах-коллекторах ПХГ, а также разработок в данном направлении, выполненных в БелНИГРИ и Институте природопользования НАН Беларуси показал, что наиболее адекватными моделями являются трехмерные модели, учитывающие гравитационно-капил-

лярный потенциал воды в пласте и коэффициенты взаимопроницаемости воды и газа в зависимости от водонасыщения.

Развивая указанный подход, математическую модель взаимовытеснения газа и воды можно сформулировать в следующем виде.

С учетом капиллярного потенциала перенос воды в водоносном пласте при неполном влагонасыщении будет определяться фильтрационно-капиллярным потенциалом Φ_K :

$$\Phi_K = p - \rho g(z - z_0) + \Psi_K . \quad (1)$$

где p – гидростатическое давление; ρ – плотность воды; g – ускорение свободного падения; z – вертикальная координата; z_0 – вертикальная координата отсчета.

Уравнение фильтрации будет иметь вид

$$\vec{V}_B = -\frac{k_B(S_B)}{\mu_B} \nabla \Phi_K , \quad (2)$$

\vec{V}_B – вектор скорости фильтрации; μ_B – динамический коэффициент вязкости воды; $k_B(S_B)$ – коэффициент проницаемости воды как функция водонасыщенности S_B .

Уравнение влагопереноса в общем виде запишется так:

$$\rho_B m \cdot \frac{\partial S_B}{\partial t} = \operatorname{div} \left(\frac{k_B(S_B)}{\mu_B} \cdot \nabla \Phi_K \right) . \quad (3)$$

Для переноса газа в пористой среде при неполном ее насыщении используются следующие уравнения:

$$\vec{V}_G = -\frac{k_G(1-S_B)}{\mu_G} \cdot \nabla p , \quad (4)$$

$$m(1 - S_B) \cdot \frac{\partial p_\Gamma}{\partial t} = \text{div} \left(\frac{k_\Gamma(1 - S_B)}{\mu_\Gamma} \cdot \nabla p \right), \quad (5)$$

где \vec{V}_Γ – вектор скорости фильтрации газа; $k_\Gamma(1 - S_B)$ – коэффициент проницаемости пористой среды для газа как функция газонасыщенности.

Уравнения (4) и (5) образуют систему уравнений газа – влагопереноса в пористой среде. Эта система дополняется уравнениями, выражающими зависимость давления газа от его плотности и капиллярного потенциала от влагонасыщения:

$$p = \frac{\rho_\Gamma}{0,016 m S_\Gamma} \cdot R T, \quad (6)$$

$$\Psi_K = - \frac{a_1}{(S_B m p_B / \rho_{dk} - a_2)^3} + a_3, \quad (7)$$

$$p_B m \frac{\partial S_B}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{k_B(S_B)}{\mu_B} \frac{\partial \Phi_K}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{k_B(S_B)}{\mu_B} \frac{\partial \Phi_K}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{k_B(S_B)}{\mu_B} \frac{\partial \Phi_K}{\partial z} \right], \quad (10)$$

$$m(1 - S_B) \frac{\partial p_\Gamma}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{k_\Gamma(1 - S_B)}{\mu_\Gamma} \frac{\partial p}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{k_\Gamma(1 - S_B)}{\mu_\Gamma} \frac{\partial p}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{k_\Gamma(1 - S_B)}{\mu_\Gamma} \frac{\partial p}{\partial z} \right]. \quad (11)$$

Границные условия для уравнений переноса задаются в известной форме. В газовой области либо давление газа, либо расход газа. На границе контура питания задается постоянство давления. На поверхностях, соответствующих кровле и подошве пласта-коллектора задается равенство нулю потоков газа и воды или при наличии частичной проницаемости на этих поверхностях задаются граничные условия 3-го рода.

Для расчета процессов растворения и переноса растворенного в воде газа система уравнений необходимо дополнить уравнениями конвективно-диффузационного переноса водорастворимого газа.

Согласно закону Генри, в равновесном состоянии в жидкости находится определенное количество газа, пропорциональное давлению этого газа:

$$C_\Gamma = k_\Gamma \cdot p, \quad (12)$$

где p – парциальное давление газа, Па; C_Γ – концентрация газа в воде, кг/кг; k_Γ – постоянная растворимости газа: для метана при 20°C $k_\Gamma = 2,4 \cdot 10^{-10}$ 1/Па. Это означает, что при $p = 10$ МПа (100 атм.) в воде в равновесном состоянии будет находиться 2,4 г метана в 1 л воды или 3,3 л газообразного метана в стандартных условиях. При неполном вытеснении газом воды в период закачки в ПХГ в газовой области остаточное количество воды будет насыщено до равновесной концентрации растворенным газом. В период отбора газа это количество будет обмениваться растворенным газом с чистой водой, поступив-

шей из водонасыщенной области. В следующем цикле вода, частично насыщенная газом, будет вытеснена в область, в которой отсутствует растворенный газ, и обменяется растворенным газом с чистой водой. Процесс распространения растворенного в воде газа можно описать уравнением конвективно-диффузационного переноса. Предположим, что в пористой среде имеются две фазы влаги, подвижная и неподвижная, которые количественно характеризуются насыщенностью. Подвижной фазе влаги соответствует $S_{B\text{п}}$, а неподвижной – $S_{B\text{н}}$. В процессе циклического вытеснения газа и воды между ними происходит обмен концентрацией растворенного в воде газа.

Уравнения конвективно-диффузационного переноса водорастворимого газа с учетом кинетики массообмена между подвижной и неподвижной фазами воды в пористой породе будут иметь вид

$$\frac{\partial C_{\text{п}}}{\partial t} = D_\Gamma \frac{\partial^2 C_{\text{п}}}{\partial x^2} - \frac{v_B}{m S_{B\text{п}}} \cdot \frac{\partial C_{\text{ГН}}}{\partial x} + \alpha \frac{S_{B\text{н}}}{S_{B\text{п}}} (C_{\text{ГН}} - C_{\text{п}}), \quad (13)$$

$$\frac{\partial C_{\text{ГН}}}{\partial t} = D_\Gamma \frac{\partial^2 C_{\text{ГН}}}{\partial x^2} - \alpha (C_{\text{ГН}} - C_{\text{п}}), \quad (14)$$

где $C_{\text{п}}$ и $C_{\text{ГН}}$ – соответственно концентрация газа в подвижной и неподвижной фазах воды, D_Γ – коэффициент продольной диффузии водорастворимого газа в поровой влаге; α – коэффициент массообмена газа между подвижной и неподвижной фазами.

Анализ системы уравнений показывает, что в первом приближении коэффициентом про-

дольной диффузии D_r , который составляет не более 10^{-9} м²/с, можно пренебречь. В таком случае получаем уравнения конвективного переноса водорастворимого соединения с учетом кинетики сорбции.

$$\frac{\partial C_{\text{ГП}}}{\partial t} = -\frac{v_B}{mS_{\text{ВП}}} \cdot \frac{\partial C_{\text{ГП}}}{\partial x} + \alpha \frac{S_{\text{ВН}}}{S_{\text{ВП}}} (C_{\text{ГН}} - C_{\text{ГП}}), \quad (15)$$

$$\frac{\partial C_{\text{ГП}}}{\partial t} = -\frac{v_B}{mS_{\text{ВП}}} \cdot \frac{\partial C_{\text{ГП}}}{\partial x} + \alpha_1 \frac{S_{\text{ВН}}}{S_{\text{ВП}}} (C_{\text{ГН}} - C_{\text{ГП}}) + \alpha_2 \left(\frac{k_r \rho_r}{0,016 m S_B} \cdot RT - C_{\text{ГП}} \right), \quad (17)$$

$$\frac{\partial \rho_r}{\partial t} = -\alpha_2 m (1 - S_B) \left(\frac{k_r \rho_r}{0,016 \cdot m \cdot S_B} \cdot RT - C_{\text{ГП}} \right), \quad (18)$$

$$\frac{\partial C_{\text{ГН}}}{\partial t} = -\alpha_1 (C_{\text{ГН}} - C_{\text{ГП}}), \quad (19)$$

где α_1 – коэффициент массообмена газа между подвижной и неподвижной фазами, α_2 – коэффициент массообмена газа в газообразном состоянии и растворенного в подвижной фазе.

Система уравнений (17–19) может быть решена только численными методами, при этом необходимо решать всю задачу переноса жидкой и газообразной фаз в ПХГ. Для оценочных расчетов получено приближенное интегральное уравнение, учитывающее периодическое движение границы газо-водяного контакта при закачках

$$C(r, \varphi) = 0,5 \cdot C_M \left[1 - \operatorname{erf} \left(\sqrt{\frac{V(r, \varphi)}{\alpha_{\text{ЭФ}} \left(\frac{S_{\text{ВП}}}{S_{\text{ВН}}} + 1 \right)^3}} \tau \right) / \sqrt{\int_0^T \frac{V(r, \varphi)^2}{\alpha_{\text{ЭФ}}} \frac{\left(\frac{S_{\text{ВП}}}{S_{\text{ВН}}} \right)^2}{\left(1 + \frac{S_{\text{ВП}}}{S_{\text{ВН}}} \right)^3} d\tau'} \right], \quad (20)$$

где C_M – максимальная концентрация растворенного в воде газа; τ – время.

В уравнении (20) можно выделить параметр фильтрационного рассеяния $D_{\text{ФР}}$, определяемый как

$$D_{\text{ФР}} = \frac{V(r, \varphi)^2}{\alpha_{\text{ЭФ}}} \frac{\left(\frac{S_{\text{ВП}}}{S_{\text{ВН}}} \right)^2}{\left(1 + \frac{S_{\text{ВП}}}{S_{\text{ВН}}} \right)^3}. \quad (21)$$

Этот параметр по размерности соответствует коэффициенту диффузии и он определяет фильтрационное рассеяние, или, по аналогии с рассеянием водорастворимых соединений, гидродисперсию водорастворимого газа. Для корректного определения эффективных параметров рассеяния водорастворимого газа, входящих в уравнение (20), необходимо провести серию вычислительных экспериментов, решая системы уравнений (10–11) и (17–20).

Основная проблема численного расчета процессов взаимовытеснения газа и воды в во-

$$\frac{\partial C_{\text{ГН}}}{\partial t} = -\alpha (C_{\text{ГН}} - C_{\text{ГП}}), \quad (16)$$

В области неполного водонасыщения уравнения конвективного переноса водорастворимого газа будут иметь вид

и отборе газа из ПХГ. Основными параметрами, входящими в данное уравнение, являются радиальная скорость газоводяного контакта $V(r, \varphi)$ в определенном направлении, характеризуемом углом φ , эффективный коэффициент массообмена $\alpha_{\text{ЭФ}}$ соотношение подвижной и неподвижной жидких фаз, что позволяет в первом приближении оценить величину зоны рассеяния растворенного в воде газа на контуре ПХГ:

доносных пластах связана с выбором расчетной схемы и алгоритма, которые удовлетворительно могли бы работать в различных областях водонасыщения, от полного до остаточного влагонасыщения. Для решения такой проблемы разработана расчетная схема, основанная на использовании параметров псевдоупругости и запаздывания при резком изменении гидростатического давления в водной среде. Расчет гидростатического давления в водной среде с учетом указанного запаздывания проводится в такой последовательности:

$$m_c = 1 - S; \quad m_1 = m_c; \quad \text{если } m_c < m_0, \text{ то}$$

$$\begin{cases} \Pi_1 = \Pi_0; \quad P_r = \frac{\rho_r}{\Pi_1 \cdot 0,016} RT; \\ \Delta P_u = U_w (S_B - 1) \cdot \Delta t + U_T \left((1 - r) \frac{\rho_r}{0,016} RT - P_u \right) \cdot \Delta t; \\ P_u = P_u + \Delta P_u; \\ P_B = P_M (1 - \exp(E(m_0 - m_c))) + P_u + r \cdot P_r; \end{cases}$$

$$\text{иначе } \begin{cases} P_r = \frac{\rho_r}{m_1 \cdot 0,016} RT; \\ P_b = P_r; P_u = P_r(1-r). \end{cases}$$

Параметры: m_0 – минимальная условная пористость; $\rho_{ск}$ – плотность скелета породы; ρ_m – плотность материала породы; E – условный модуль упругости; P_u – условное гидростатическое давление; P_b – гидростатическое давление в жидкой фазе; P_m – максимальное давление; U_w – параметр измерения давления в жидкой фазе; U_f – параметр измерения давления в газовой фазе; r – параметр давления в газовой фазе; Π – пористость; R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура.

Введение в расчетную схему параметров запаздывания позволяет стабилизировать ее в периоды резкого изменения гидростатического давления и этим самым повысить устойчивость расчетного алгоритма. Особенность предлагаемого подхода состоит в том, что при резком изменении гидростатического давления за счет изменения параметров закачки или отбора газа, а также за счет флуктуаций расчетной схемы, гидростатическое давление в жидкой фазе конкретной точки плавно принимает значение,

соответствующее основным законам гидростатики и гидродинамики жидкок сред.

Для численного расчета процессов взаимовытеснения газа и воды в ПХГ разработана расчетная схема в трехмерной декартовой системе координат. При этом была выделена область, проекция которой на горизонтальную плоскость имеет прямоугольную форму размером 9800×3000 м². В пределах области находится граница ГВК. Пласт-коллектор в указанной области разбит в вертикальном направлении на 10 слоев с равномерным шагом, величина которого зависит от разности вертикальных координат подошвы и кровли пласта. Проекция области на горизонтальную плоскость разбивается равномерной прямоугольной сеткой с шагом 50 м или 25 м, в зависимости от степени детализации гидрогеологического строения ПХГ. Таким образом получается трехмерная сетка, неортогональная в вертикальных разрезах. С учетом того факта, что в некоторых точках перепад вертикальной координаты кровли составляет до 20 м на 50 м, изменения горизонтальной координаты, в расчетную схему введены параметры, позволяющие учесть уклон кровли пласта-коллектора.

Расчет потоков воды в указанной расчетной схеме имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} q_{B1z} &= \frac{K_{1B}}{\mu_B} \frac{\Phi_{i-1,j,o} - \Phi_{i,j,o} + \delta\Phi_1}{\Delta z_{j,o}} \Delta x \Delta y f_{1,i,j,o}, \\ q_{B2z} &= \frac{K_{2B}}{\mu_B} \frac{\Phi_{i+1,j,o} - \Phi_{i,j,o} + \delta\Phi_2}{\Delta z_{j,o}} \Delta x \Delta y f_{2,i,j,o}, \\ q_{B3z} &= \frac{K_{3B}}{\mu_B} \frac{\Phi_{i,j-1,o} - \Phi_{i,j,o}}{\Delta x} \Delta y 0,5 (\Delta z_{j-1,o} + \Delta z_{j,o}) f_{3,i,j,o}, \\ q_{B3z} &= \frac{K_{3B}}{\mu_B} \frac{\Phi_{i,j-1,o} - \Phi_{i,j,o}}{\Delta x} \Delta y 0,5 (\Delta z_{j-1,o} + \Delta z_{j,o}) f_{3,i,j,o}, \\ q_{B4z} &= \frac{K_{4B}}{\mu_B} \frac{\Phi_{i,j+1,o} - \Phi_{i,j,o}}{\Delta x} \Delta y 0,5 (\Delta z_{j+1,o} + \Delta z_{j,o}) f_{4,i,j,o}, \\ q_{B5z} &= \frac{K_{5B}}{\mu_B} \frac{\Phi_{i,j,o-1} - \Phi_{i,j,o}}{\Delta y} \Delta x 0,5 (\Delta z_{j,o-1} + \Delta z_{j,o}) f_{5,i,j,o}, \\ q_{B6z} &= \frac{K_{6B}}{\mu_B} \frac{\Phi_{i,j,o+1} - \Phi_{i,j,o}}{\Delta y} \Delta x 0,5 (\Delta z_{j,o+1} + \Delta z_{j,o}) f_{6,i,j,o}, \\ \delta\Phi_1 &= -\frac{\Delta z_{j,o}}{8(\Delta x)^2} \left[(\Phi_{i,j+1,o} - \Phi_{i,j-1,o})(z_{i,j+1,o} - z_{i,j-1,o}) + (\Phi_{i-1,j+1,o} - \Phi_{i-1,j-1,o})(z_{i-1,j+1,o} - z_{i-1,j-1,o}) + \right. \\ &\quad \left. + (\Phi_{i,j,o+1} - \Phi_{i,j,o-1})(z_{i,j,o+1} - z_{i,j,o-1}) + (\Phi_{i-1,j,o+1} - \Phi_{i-1,j,o-1})(z_{i-1,j,o+1} - z_{i-1,j,o-1}) \right], \\ \delta\Phi_2 &= \frac{\Delta z_{j,o}}{8(\Delta x)^2} \left[(\Phi_{i,j+1,o} - \Phi_{i,j-1,o})(z_{i,j+1,o} - z_{i,j-1,o}) + (\Phi_{i+1,j+1,o} - \Phi_{i+1,j-1,o})(z_{i+1,j+1,o} - z_{i+1,j-1,o}) + \right. \\ &\quad \left. + (\Phi_{i,j,o+1} - \Phi_{i,j,o-1})(z_{i,j,o+1} - z_{i,j,o-1}) + (\Phi_{i+1,j,o+1} - \Phi_{i+1,j,o-1})(z_{i+1,j,o+1} - z_{i+1,j,o-1}) \right]. \end{aligned}$$

Параметры, учитывающие уклон кровли пласта рассчитываются по формулам:

$$\begin{aligned}
 A_{1 i,j,o} &= \frac{Z_{i-1,j+1,o} - Z_{i-1,j-1,o} + Z_{i,j+1,o} - Z_{i,j-1,o}}{2\Delta x}, & B_{1 i,j,o} &= \frac{Z_{i-1,j,o+1} - Z_{i-1,j,o-1} + Z_{i,j,o+1} - Z_{i,j,o-1}}{2\Delta y}, \\
 A_{2 i,j,o} &= \frac{Z_{i+1,j+1,o} - Z_{i+1,j-1,o} + Z_{i,j+1,o} - Z_{i,j-1,o}}{2\Delta x}, & B_{2 i,j,o} &= \frac{Z_{i+1,j,o+1} - Z_{i+1,j,o-1} + Z_{i,j,o+1} - Z_{i,j,o-1}}{2\Delta y}, \\
 f_{1 i,j,o} &= A_{1 i,j,o}^2 + B_{1 i,j,o}^2 + 1, & f_{2 i,j,o} &= A_{2 i,j,o}^2 + B_{2 i,j,o}^2 + 1, \\
 f_{3 i,j,o} &= \cos^2 \alpha_{3 i,j,o} = \frac{\Delta x^2}{\Delta x^2 + (Z_{i,j-1,o} - Z_{i,j,o})^2}, & f_{4 i,j,o} &= \cos^2 \alpha_{4 i,j,o} \frac{\Delta x^2}{\Delta x^2 + (Z_{i,j+1,o} - Z_{i,j,o})^2}, \\
 f_{5 i,j,o} &= \cos^2 \alpha_{5 i,j,o} = \frac{\Delta y^2}{\Delta y^2 + (Z_{i,j,o-1} - Z_{i,j,o})^2}, & f_{6 i,j,o} &= \cos^2 \alpha_{6 i,j,o} = \frac{\Delta y^2}{\Delta y^2 + (Z_{i,j,o+1} - Z_{i,j,o})^2}.
 \end{aligned}$$

Потоки газа вычисляются по аналогичным формулам, только вместо фильтрационно-капиллярного потенциала Φ используется давление газа P , а вместо коэффициентов фильтрации воды K_v используются соответствующие коэффициенты фильтрации газа K_g .

На основе данной расчётной схемы были разработаны алгоритм и программа для численного расчета гидродинамических процессов в ПХГ в трехмерной постановке на неортогональных сетках, адаптированных к геометрии пласта-коллектора. Выявлено, что для численного моделирования гидродинамических процессов ПХГ целесообразно использовать трехмерную неортогональную сетку в декартовой системе координат. На базе этой сетки и построен вычислительный алгоритм и компьютерная программа.

В качестве объекта для моделирования взято Прибугское ПХГ. Были произведены оцифровки геологических карт изолиний кровли, подошвы и петрофизических характеристик. Для расчетов использовались данные от скважин, расположенных на моделируемой территории.

С помощью разработанной программы проведен расчет и визуализация распределения гидростатического давления, и газо- и водонасыщенности в газовой и водной областях ПХГ. На основании исходных данных вычислено давление газа в газовой области и границы ГВК в трехмерной системе координат. Для расчета динамики изменения газо- и водонасыщенности, согласно данным закачки и отбора газа за расчетный период, были введены данные по соответствующим скважинам, характеризующие интенсивность отбора и закачку газа.

В результате вычислительного эксперимента по гидродисперсии растворимого в воде газа установлено, что протяженность диффузационной области распределения концентрации растворимого газа с течением времени или от цикла к циклу будет увеличиваться пропорционально квадратному корню от времени. Конкретная величина протяженности этой зоны будет зависеть от среднего квадрата фактической скорости конвективного потока воды V и коэффициента массообмена α . Для оценки протяженности зоны гидродисперсии растворенного в воде газа были выполнены расчеты с предполагаемыми параметрами взаимовытеснения газа и воды в пласте-коллекторе, которые имели следующее значение: $V = 4 \cdot 10^{-5}$ м/с; $S_{\text{вп}}/S_{\text{вн}} = 1$; $\alpha = 10^{-4}$ с⁻¹. При этом было обнаружено, что протяженность зоны гидродисперсии за один годовой цикл составляет порядка 20 м. Следовательно, за 25 лет эксплуатации ПХГ протяженность зоны гидродисперсии растворимого газа увеличится до 100 м, что необходимо учитывать в первую очередь для оценки загрязнения подземных вод на контуре питания ПХГ, а также для учета потерь газа.

Программа позволяет рассчитывать и визуализировать распределение газо- и водонасыщенности, гидростатического давления в газовой и водной областях на срезах и разрезах, а также запасы газа в зависимости от давления в газовой области, контуры границы ГВК в динамических и статических режимах в проекции на горизонтальную плоскость (рис. 1) и по вертикальным разрезам (рис. 2).

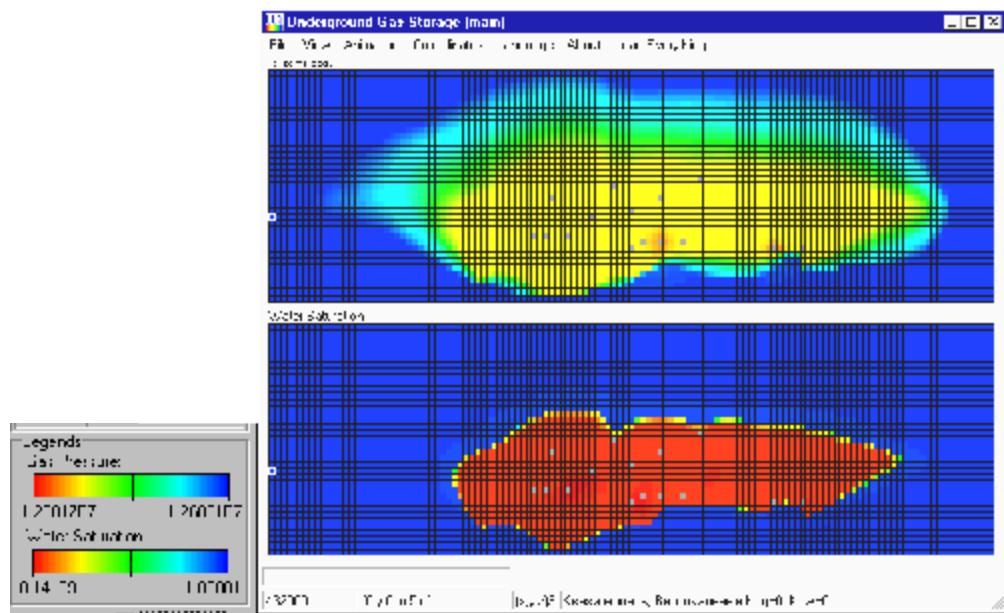


Рис. 1. Распределение гидростатического давления, газо- и водонасыщенности в пласте-коллекторе Приобугского ПХГ (проекция на горизонтальную плоскость)

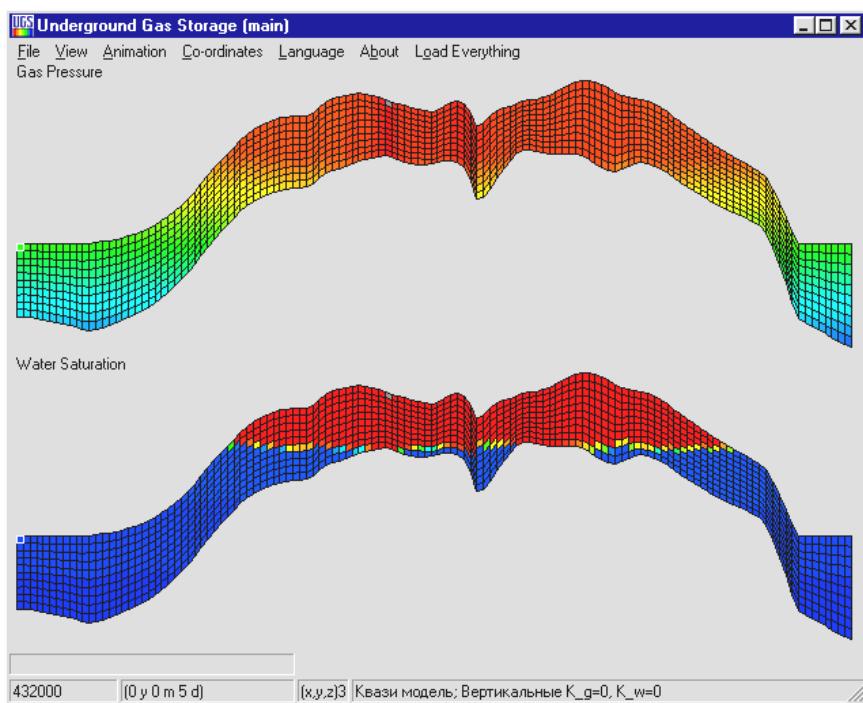


Рис. 2. Распределение гидростатического давления, газо- и водонасыщенности в пласте-коллекторе Приобугского ПХГ (вертикальный разрез в продольном направлении)

Полученные результаты могут быть использованы для визуализации и моделирования подземного газохранилища с целью расчета основных показателей ПХГ как на ближайшее время, так и на перспективу, что в итоге приводит к повышению эффективности эксплуатации ПХГ за счет управления газовой залежью путем наиболее рационального использования скважин. Про-

грамма может быть использована и при создании новых ПХГ, с более эффективным размещением скважин, исходя из результатов предварительного моделирования. Моделирование может также способствовать снижению экологических рисков, связанных с загрязнением подземных вод на контуре питания ПХГ.

Литература

1. **Бузинов С. Н., Парфенов В. И.** Опыт проектирования, создания и эксплуатации подземных хранилищ газа в системе РАО ГАЗПРОМ // Материалы Междунар. конф. по подземному хранению газа. Секция А. Ч. 1. М., 1995. С. 67–74.
2. **Бузинов С. Н., Ковалев А. Л., Крапивина Г. С.** Использование функции влияния при моделировании процесса создания и эксплуатации ПХГ // 50 лет ВНИИГАЗУ – 40 лет ПХГ. М., 1998. С. 138–143.
3. Геотехнологические аспекты формирования системы подземных газохранилищ Украины / В. Е. Каракинский, Б. П. Савкив, А. Н. Федутенко, И. М. Фык // Материалы Междунар. конф. по подземному хранению газа. Секция Е. Ч. 1. М., 1995. С. 54–71.
4. **Вегера А. И., Лурье М. В.** Моделирование утечек газа из подземных хранилищ газа, созданных в водоносных пластах. // Докл. НАН Беларуси. 2001. № 6. С. 104–108.

Институт природопользования НАН Беларуси

Г. П. Бровка, И. И. Ивашкевич, В. Г. Левашкевич

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОВЫТЕСНЕНИЯ ГАЗА И ВОДЫ В ПОДЗЕМНЫХ ГАЗОХРАНИЛИЩАХ

Для расчета процессов взаимовытеснения газа и воды в подземных хранилищах газа разработаны математическая трехмерная модель, ее аналог в конечно-разностной форме. Модель учитывает гравитационно-капиллярный потенциал воды в пласте и коэффициенты взаимопроницаемости воды и газа в зависимости от водопоглощения. Она также учитывает процессы растворения и переноса растворенного в воде газа конвективно-диффузионным путем.

На неортогональной сетке, адаптированной к геометрии пласта-коллектора, разработана расчетная схема, на ее основе построены вычислительный алгоритм и компьютерная программа.

С помощью предложенной программы на основании исходных данных по закачке и отбору газа проведен расчет и визуализация распределения гидростатического давления и газо- и водонасыщенности в газовой и водной областях ПХГ.

G. P. Brovka, I. I. Ivashkevich, V. G. Levashkevich

COMPUTER MODELLING OF INTER-SUBSTITUTION PROCESSES OF GAS AND WATER IN UNDERGROUND GASHOLDERS

The mathematical three-dimensional model, its analogue in a final-differential form have been developed to calculate processes of gas and water inter-substitution in underground gas storehouses. The model considers gravitation-capillary water potential in a layer and interpenetration factors of water and gas depending on water absorption. It also considers processes of dissolution and gas transfer dissolved in water by convection-diffusion way.

On not orthogonal grid, adapted for geometry of a layer-collector, the calculation scheme has been developed, the computing algorithm and the computer program on its bases have been constructed.

By means of the offered program on the basis of initial data on pumping and gas selection a calculation and visualization of distribution of hydrostatic pressure and gas- and water saturations in gas and water areas of UGH has been carried out.

УДК 536.62+519.68

А. Г. Бровка, К. В. Пяткевич

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В УСТРОЙСТВАХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИРОДНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Приводится методика расчета температурных полей в элементах конструкции теплофизических приборов. Данная методика позволяет выбрать и обосновать оптимальные параметры конструкции разрабатываемых приборов, стабилизировать их тарировочные характеристики, а также минимизировать неконтролируемые тепловые утечки.

При конструировании устройств для определения теплофизических характеристик природных дисперсных сред (почв, грунтов, горных пород) часто возникают задачи по выбору и оценке размеров и соотношений элементов конструкции для линеаризации тарировочных характеристик и минимизации неконтролируемых тепловых утечек, которые могут вносить существенные погрешности в определяемые величины. Для решения таких задач необходимо проводить расчеты температурных полей в элементах конструкции разрабатываемых приборов. Задачи не всегда удается разрешить аналитически, так как элементы имеют сложную геометрию и состоят из материалов с различными теплофизическими характеристиками. Поэтому в данном случае необходимо привлекать численные методы.

В лаборатории физико-химической механики природных дисперсных систем Института природопользования в настоящее время разрабатываются и модернизируются приборы для определения коэффициентов теплопроводности, фазового состава воды при отрицательных температурах, температуры начала замерзания воды в почвах и грунтах. Для оценки обоснования

оптимальных параметров этих приборов разработана прикладная программа на основании численного решения уравнения теплопроводности для трехмерной асимметричной области.

С учетом того, что большинство разрабатываемых теплофизических приборов представляет собой осесимметричные конструкции, задача решается для цилиндрической области, имеющей ограниченные размеры. На границах области задаются граничные условия 1-го или 3-го рода. На границах фрагментов с различными теплофизическими характеристиками внутри области задаются граничные условия 4-го рода. В определенных местах, соответствующих расположению нагревательных элементов с поверхностью плотностью теплового потока, задаются граничные условия 2-го рода. Начальные условия принимаются либо в виде однородного температурного поля, либо в виде распределения температуры в соответствии с условиями конкретной задачи.

Математическая задача в цилиндрической системе координат в осесимметричной постановке имеет следующий вид:

$$\frac{\partial T(r, z, \tau)}{\partial r} C = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda_r \frac{\partial T(r, z, \tau)}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T(r, z, \tau)}{\partial z} \right), \quad 0 \leq r \leq R, \quad 0 \leq z \leq H, \quad (1)$$

где $T(r, z, \tau)$ – температура функции радиальной и вертикальной координат, а также времени τ ; C – объемная теплоемкость; λ – коэффициент теплопроводности.

На границе области задаются граничные условия 3-го рода в виде

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial r} = -\alpha [T(R, z, \tau) - T_C], \quad r = R,$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha [T(r, 0, \tau) - T_C], \quad z = 0;$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial z} = -\alpha [T(r, H, \tau) - T_C], \quad z = H.$$

С учетом симметрии задачи относительно оси $r = 0$ на оси задается равенство нулю градиента температуры по радиальной координате:

$$\frac{\partial T}{\partial r} = 0, \quad r = 0.$$

При достаточно больших значениях коэффициента теплообмена α на границах области могут задаваться граничные условия 1-го рода путем задания в граничных точках соответствующих значений температуры.

Для численного решения уравнения теплопроводности расчетная область разбивается прямоугольной сеткой (рис. 1) с шагом по радиальной координате Δx и по вертикальной координате Δy .

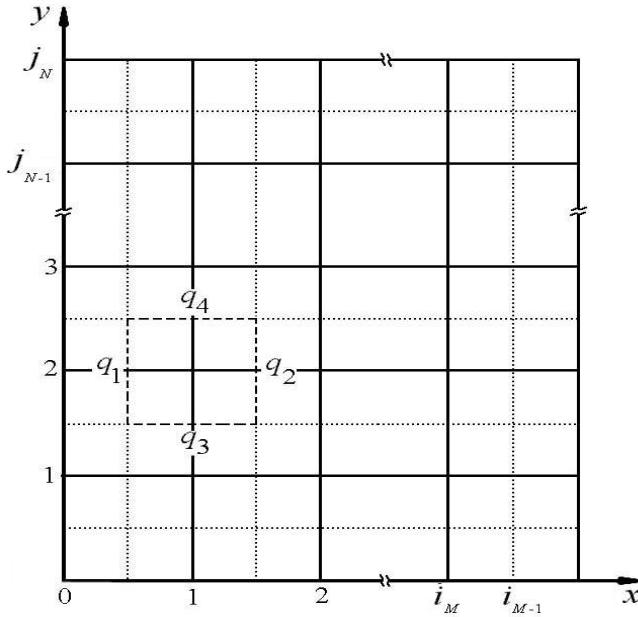


Рис. 1. Сетка для численного расчета

В общем случае потоки вычисляются по следующим формулам:

$$\begin{aligned}
 & \text{при } i = 1, M - 1, j = 1, N - 1 \\
 q_1(i,j) &= \left(\frac{T_{i-1,j} - T_{i,j}}{\Delta X} \right) (X_{i,j} - 0,5\Delta X) 2\pi\Delta Y \left(\frac{2\lambda_{i-1,j}\lambda_{i,j}}{\lambda_{i-1,j} + \lambda_{i,j}} \right); \\
 q_2(i,j) &= \left(\frac{T_{i+1,j} - T_{i,j}}{\Delta X} \right) (X_{i,j} + 0,5\Delta X) 2\pi\Delta Y \left(\frac{2\lambda_{i+1,j}\lambda_{i,j}}{\lambda_{i+1,j} + \lambda_{i,j}} \right); \\
 q_3(i,j) &= \left(\frac{T_{i,j-1} - T_{i,j}}{\Delta Y} \right) \left[(X_{i,j} + 0,5\Delta X)^2 - (X_{i,j} - 0,5\Delta X)^2 \right] \pi \left(\frac{2\lambda_{i,j-1}\lambda_{i,j}}{\lambda_{i,j-1} + \lambda_{i,j}} \right); \\
 q_4(i,j) &= \left(\frac{T_{i,j+1} - T_{i,j}}{\Delta Y} \right) \left[(X_{i,j} + 0,5\Delta X)^2 - (X_{i,j} - 0,5\Delta X)^2 \right] \pi \left(\frac{2\lambda_{i,j+1}\lambda_{i,j}}{\lambda_{i,j+1} + \lambda_{i,j}} \right).
 \end{aligned}$$

После вычисления всех тепловых потоков в узловой точке производится расчет изменения температуры в этой точке по формуле

$$\Delta T_{i,j} = (q_1 + q_2 + q_3 + q_4) / \left(C_{i,j} \left[(X_{i,j} + 0,5\Delta X)^2 - (X_{i,j} - 0,5\Delta X)^2 \right] \right) \Delta Y \pi \Delta \tau.$$

На границах для потоков со стороны внешней среды формулы имеют следующие особенности:

$$\begin{aligned}
 & \text{при } i = 0, j = 1, N - 1 \quad q_1(0,j) = 0; \\
 & i = M, j = 1, N - 1 \quad q_2(M,j) = \alpha(T_c - T_{M,j})(2\pi X_{M,j} \Delta Y); \\
 & j = 0, i = 1, M - 1 \quad q_3(i,0) = \alpha(T_c - T_{i,0}) \left[(X_{i,0} + 0,5\Delta X)^2 - (X_{i,0} - 0,5\Delta X)^2 \right] \pi; \\
 & j = N, i = 1, M - 1 \quad q_4(i,N) = \alpha(T_c - T_{i,N}) \left[(X_{i,N} + 0,5\Delta X)^2 - (X_{i,N} - 0,5\Delta X)^2 \right] \pi.
 \end{aligned}$$

В угловых точках со стороны внешней среды расчет производится по ниже указанным формулам:

$$\begin{aligned}
 &\text{при } i = 0, j = 0 \quad q_1(0,0) = 0; \quad q_3(0,0) = \alpha(T_c - T_{0,0})0,25\Delta X^2\pi; \\
 &i = 0, j = N \quad q_1(0,N) = 0; \\
 &\quad q_4(0,N) = \alpha(T_c - T_{0,N})0,25\Delta X^2\pi; \\
 &i = M, j = 0 \quad q_2(M,0) = \alpha(T_c - T_{M,0})X_{M,0}\pi\Delta Y; \\
 &\quad q_3(M,0) = \alpha(T_c - T_{M,0})[(X_{M,0})^2 - (X_{M,0} - 0,5\Delta X)^2]\pi; \\
 &i = M, j = N \quad q_2(M,N) = \alpha(T_c - T_{M,N})X_{M,N}\pi\Delta Y; \\
 &\quad q_4(M,N) = \alpha(T_c - T_{M,N})[(X_{M,N})^2 - (X_{M,N} - 0,5\Delta X)^2]\pi.
 \end{aligned}$$

Процедура расчета на каждом временном слое заканчивается присвоением новых значений температур во всех узловых точках и переходом на новый временной слой:

$$\begin{aligned}
 &i = 0, M, j = 0, N; \\
 &T_{ij} := T_{ij} + \Delta T_{ij}; \quad \tau := \tau + \Delta\tau.
 \end{aligned}$$

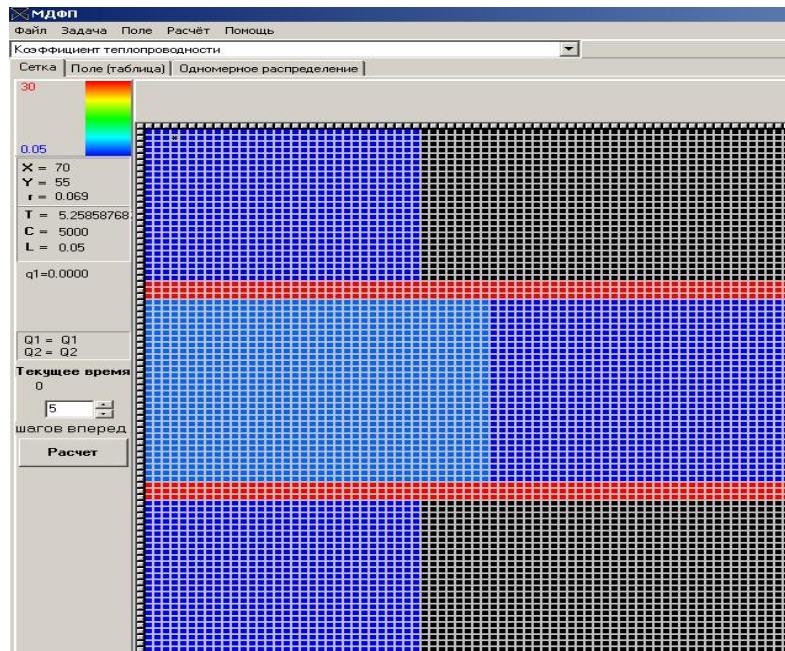


Рис. 2. Внешний вид главного окна программы

Расчетная схема реализована в прикладной программе. Интерфейс программы предусматривает выделение с помощью манипулятора мыши в рассматриваемой области отдельных фрагментов и задания в них конкретных теплофизических характеристик. Визуализация пространственного распределения теплофизических характеристик осуществляется в виде цветовой гаммы с высвечиванием контрольных значений характеристик в точке, соответствующей положению курсора мыши. Окно интерфейса программы имеет вид, представленный на рис. 2. В точках, соответствующих расположению нагревательных элементов, предусмотрено введение

дополнительного потока q_u интенсивностью, определяемой мощностью источника, и долей, приходящейся на узел расчетной сетки.

Выходной информацией является распределение температуры в интересуемой области, которое выводится в графическом и табличном видах.

Разработанная методика расчета температурных полей позволяет оценить теплообмен в элементах конструкций теплофизических приборов, выявить наиболее эффективные варианты этих конструкций, а также уточнить градуировочные характеристики и минимизировать погрешности за счет неконтролируемых утечек тепла.

Рассмотрим на конкретных примерах расчет температурного режима основных элементов конструкции калориметра [1]. Следует отметить, что оптимальным тепловым режимом для такой камеры, выполненной в форме конструкции из коаксиальных цилиндрических элементов, является тепловой режим с минимальным перепадом температуры вдоль осевого направления в каждом из элементов конструкции. Это, прежде всего, касается охранного стакана, на внешней поверхности которого расположен охранный нагреватель. Расчеты показывают, что изменение температуры калориметра T_k происходит в соответствии с уравнением (2):

$$\frac{\partial T_k}{\partial \tau} C_k = Q_h - \alpha_k (T_k - T_c), \quad (2)$$

где C_k – теплоемкость калориметра, Дж/К; Q_h – мощность нагрева, Вт; α_k – эффективность коэффициента теплообмена; T_c – температура в термостатируемой камере, $^{\circ}\text{C}$.

Для минимального перепада температуры в охранном стакане калориметра в различных тепловых режимах, включая стационарный и динамический, необходимо, чтобы выполнялись следующие соотношения:

$$\frac{\alpha_i}{C_i} = \frac{\alpha_k}{C_k}, \quad (3)$$

$$\frac{Q_{h_i}}{C_i} = \frac{Q_{h_k}}{C_k}. \quad (4)$$

где Q_{h_i} , α_i и C_i локальные значения мощности нагрева, коэффициента теплообмена и теплоемкости для отдельных элементов калориметра соответственно.

Для реализации условия (3) необходимо знать локальные значения α_j и C_j , зависящие от вертикальной координаты y . При этом конфигурацию охранного стакана и теплоизоляции нужно подобрать так, чтобы соотношение локального коэффициента теплоотдачи к локальной теплоемкости в центре и на торцах стакана было одинаковым с точностью не ниже 5 %. Далее, плотность намотки проволочного нагревателя на цилиндрическую поверхность охранного стакана должна соответствовать уравнению (4).

При вычислениях локальная теплоемкость охранного стакана оценивается по геометрическим параметрам, плотности металла и его удельной теплоемкости, что не представляет особых трудностей. Сложности возникают при оценке локального коэффициента теплоотдачи на торцах стакана. Для решения таких задач необходимо воспользоваться разработанной методикой численного расчета. С этой целью рассматривается область, представленная на рис. 3, а, соответствующая торцовой части слоя теплоизоляции между охранным стаканом и корпусом калориметрической камеры. Принимается, что на внутренней поверхности области задана температура T_1 , соответствующая температуре охранного стакана, а на внешней – T_2 , соответствующая температуре корпуса калориметрической камеры.

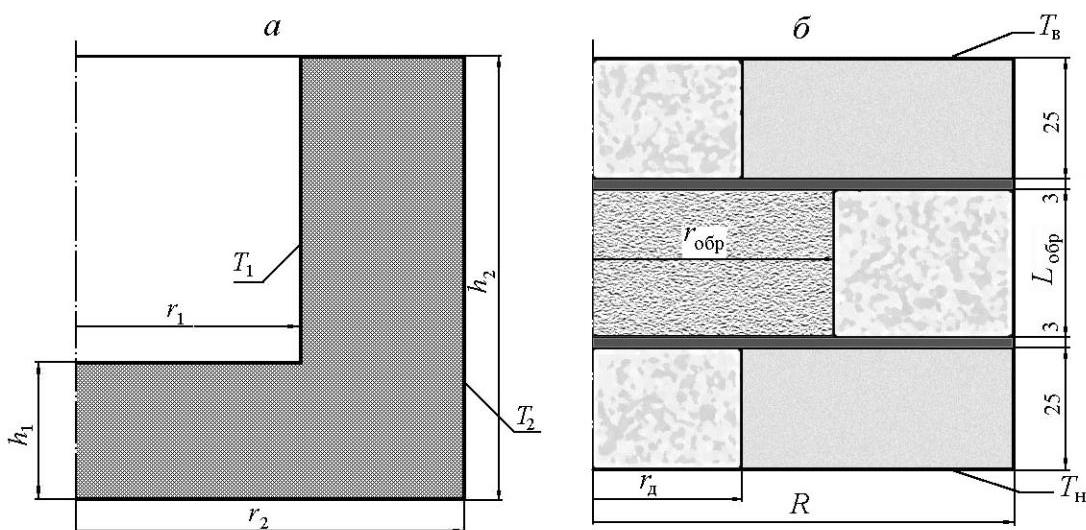


Рис. 3. Конфигурация области моделирования: а – слой теплоизоляции между охранным стаканом и корпусом калориметра; б – устройство с образцом для определения коэффициента теплопроводности

С помощью разработанной программы выполнена серия вычислений по распределению температуры и оценке теплового потока через слой теплоизоляции в форме, представленной на рис. 3, а. При этом варьировались геометрические параметры слоя путем изменения толщины теплоизоляции в цилиндрической части за счет изменения внутреннего радиуса r_1 и толщины слоя теплоизоляции в данной части за счет изменения параметра h_1 . Полученные данные представлены в табл. 1.

Параллельно с численными расчетами были выполнены соответствующие расчеты по приближенной методике, разработанной для таких же целей, но нуждающейся в проверке с помощью более точного численного метода.

Методика приближенного расчета заключается в следующем. Область теплообмена в торцевой части охранного стакана разбивают на фрагменты и ведут вычисления по формулам (5–7).

Теплопроводность через цилиндрическую стенку:

$$Q = \frac{2\pi\lambda(h_2 - h_1)(T_1 - T_2)}{\ln(r_2 / r_1)} ; \quad (5)$$

через плоскую стенку в форме диска:

$$Q = \frac{\lambda(T_1 - T_2)}{h_1} \cdot \pi r_1^2 ; \quad (6)$$

через цилиндрический угол:

$$Q = \frac{1}{4} \left[\frac{\lambda(T_1 - T_2)}{h_1} \cdot \pi(r_2^2 - r_1^2) + \frac{2\pi\lambda h_1(T_1 - T_2)}{\ln(r_2 / r_1)} \right] . \quad (7)$$

Справедливость формул (5,6) на достаточноном удалении от угловой части не вызывает сомнений и соответствует точным аналитическим расчетам для цилиндрической и плоской стенок. Относительно угловой части предполагаем, что теплообмен можно представить как сумму теплообмена за счет частей цилиндрической стенки и плоской кольцевой стенки с эмпирическим коэффициентом 1/4. Не вдаваясь в сложные теоретические доказательства, путем сопоставления результатов численного и приближенного аналитического расчетов, приведенных в табл. 1, показано, что при значении эмпирического коэффициента 1/4 результаты с погрешностью, не превышающей 1 %, совпадают.

Таким образом, с помощью численных вычислений удалось отработать методику расчета теплообмена в торцовых частях охранного стакана, что позволяет путем варьирования геометрических факторов обеспечить выполнение соотношения по локальным коэффициентам теплообмена и теплоемкости в различных частях калориметра и в соответствии с этим определить плотность намотки охранных нагревателей.

Таблица 1. Результаты численного и приближенного аналитического расчета тепловых потоков

Параметры системы							Тепловой поток, Вт				
T_1 , °C	T_2 , °C	λ , Вт/м·К	r_1 , м	r_2 , м	h_1 , м	h_2 , м	ч/з цилиндрическую стенку	ч/з плоскую стенку в форме диска	ч/з цилиндрический угол	суммарный	модельный
10	0	0,05	0,035	0,05	0,015	0,045	0,264	0,118	0,066	0,448	0,450
10	0	0,05	0,035	0,05	0,010	0,045	0,308	0,177	0,072	0,557	0,555
10	0	0,05	0,035	0,05	0,020	0,050	0,264	0,088	0,069	0,422	0,423
10	0	0,05	0,030	0,05	0,010	0,045	0,215	0,126	0,078	0,419	0,407

В качестве второго примера рассмотрим расчет стационарного температурного режима в устройстве для определения коэффициентов теплопроводности грунтов методом стационарного теплового режима. Особенность конструкции этого устройства [1] заключается в том, что температурное поле в образце создается двумя массивными теплообменниками, между которыми помещается образец. При этом в центральной части образца в массивных теплообменниках выполнены цилиндрические выемки, заполненные теплоизолятором. Теплообмен центральной части образца осуществляется через дискообразные теплообменные пластины из металла, в результате чего создается небольшой перепад температуры по радиусу данных пластин. По разности температуры между центральными и

периферийными частями теплообменных пластин можно оценивать тепловые потоки через образец, а по разности температуры между массивными теплообменниками – градиент температуры в образце.

Для уточнения градиуровочных характеристик и выбора оптимального размера образца были выполнены расчеты стационарного температурного поля в цилиндрической области, включающей фрагменты с различными коэффициентами теплопроводности (рис. 3, б). На указанной схеме темными полями выделены области с относительно высокими значениями коэффициентов теплопроводности (30–200 Вт/м·К), светлыми полями выделены области, заполненные теплоизоляционным материалом, и серым полем изображена область, соответствующая образцу. В

расчетах варьировались размеры образца и его коэффициент теплопроводности.

Анализ полученных данных показал, что при радиусе образца более 40 мм распределение температуры в центральной части образца и на теплообменных пластинах не зависит от его радиального размера. Это позволяет выбрать в качестве базового размера образцы радиусом 40–50 мм. На рис. 4 показано радиальное рас-

пределение температуры в образце теплопроводностью 1 Вт/м·К в форме плоского диска радиусом 40 мм и толщиной 30 мм в плоскости срезов на расстоянии 1, 5, 9, 13, 18, 22, 26 и 30 мм от нижней части образца, контактирующей с теплообменником, терmostатируемым при $T_h = +10^{\circ}\text{C}$. В то же время верхняя часть образца поддерживается при температуре $T_b = +5^{\circ}\text{C}$.

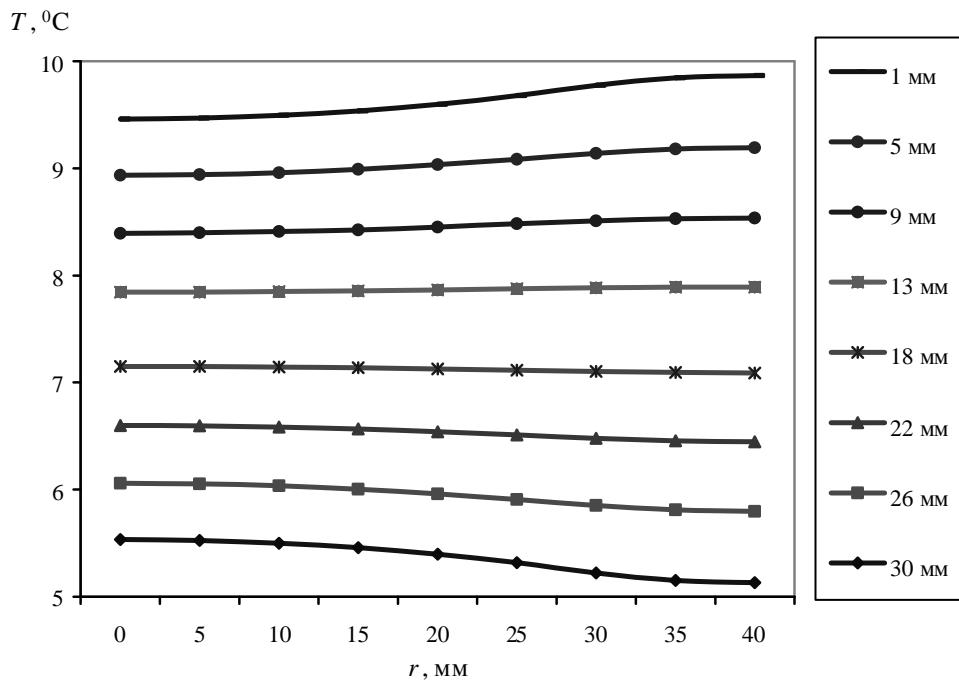


Рис. 4. Радиальное распределение температуры в толще образца по срезам:
 $r_{\text{обр}} = 40 \text{ мм}$, $L_{\text{обр}} = 30 \text{ мм}$, $T_b = 5^{\circ}\text{C}$, $T_h = 10^{\circ}\text{C}$, $r_d = 32 \text{ мм}$, $R = 75 \text{ мм}$

Из приведенного рисунка видно, что в торцовых частях образца наблюдается радиальное распределение температуры. В то же время в периферийных частях наблюдается распределение только по толщине образца. При этом, как показали расчеты, разность температуры между центральными и периферийными частями теплообменных пластин, контактирующих с торцовыми поверхностями образцов, обратно пропорциональны коэффициентам теплопроводности

образцов в диапазоне изменения коэффициента теплопроводности от 0,05 до 3 Вт/м·К. Выполненные расчеты позволяют обосновать методику определения коэффициентов теплопроводности почв, грунтов и горных пород методом стационарного теплового режима путем измерения перепадов температуры между массивными металлическими теплообменниками и в теплообменных пластинах.

Литература

- Бровка А. Г., Романенко И. И. Приборы и методы исследования теплофизических характеристик и фазового состава воды горных пород при отрицательных температурах // Горная механика. 2009. № 1. С. 71–79.

А. Г. Бровка, К. В. Пяткевич

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В УСТРОЙСТВАХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИРОДНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ**

Разработана методика и прикладная программа, позволяющая выбрать и обосновать оптимальные параметры конструкции приборов для определения теплофизических характеристик грунтов, стабилизировать их тарировочные характеристики, а также минимизировать неконтролируемые тепловые утечки. С помощью разработанной методики путем сопоставления результатов численного и приближенного аналитического расчета теплообмена в торцевых частях охранного стакана показано, что при значении эмпирического коэффициента 1/4, результаты с погрешностью, не превышающей 1 %, совпадают. С целью уточнения градуировочных характеристик устройства для определения коэффициентов теплопроводности грунтов и выбора оптимального размера образца выполнены расчеты стационарного температурного поля в цилиндрической области, включающей фрагменты с различными коэффициентами теплопроводности. Показано, что при радиусе образца более 40 мм распределение температуры в центральной части образца и на теплообменных пластинах не зависит от радиального размера. При этом разность температуры между центральными и периферийными частями теплообменных пластин, контактирующих с торцевыми поверхностями образцов, обратно пропорциональна коэффициенту теплопроводности образцов. Выполненные расчеты позволяют обосновать методику определения коэффициентов теплопроводности грунтов методом стационарного теплового режима путем измерения перепадов температуры между массивными теплообменниками и в теплообменных пластинах.

A. G. Brovka, K. V. Pyatkevich

**HEAT EXCHANGE MODELLING IN DEVICES FOR RESEARCH OF
HEAT-PHYSICAL CHARACTERISTICS OF NATURAL DISPERSE SYSTEMS**

The technique and the applied program has been developed, allowing to choose and prove optimum parameters of devices design to determine heat-physical grounds characteristics , to stabilize their calibration characteristics, and also to minimize uncontrollable thermal leaks. By means of the developed technique by comparing results of the numerical and approached analytical calculation of heat exchange in face parts of a security glass it has been shown, that at the value of empirical factor 1/4, results with a margin error, not exceeding 1 %, coincide. For the purpose of specification of graduation characteristics of the device for definition of factors of grounds heat conductivity and a choice of the optimum size of the sample the calculations of a stationary temperature field in cylindrical area including fragments with various factors of heat conductivity have been done. It has been shown, that at the sample radius more than 40 mm temperature distribution in central part of the sample and on heat exchange plates does not depend on the radial size. Thus a temperature difference between the central and peripheral parts of heat exchange plates contacting to face surfaces of samples, inversely proportional to factor of heat conductivity of samples. The executed calculations allow to prove definition of factors of grounds heat conductivity by method of a stationary thermal mode by measuring the temperature drops between massive heat exchangers and in heat exchange plates.

П. Л. Фалюшин, В. М. Крайко, Е. В. Ануфриева, Е. А. Смолячкова

ТЕРМОУСТОЙЧИВОСТЬ И СКОРОСТНОЙ ПИРОЛИЗ СМЕСЕЙ ГОРЮЧЕГО СЛАНЦА И САПРОПЕЛЯ

Приведены результаты экспериментальных исследований термоустойчивости и скоростного пиролиза смесей сланцев и органического сапропеля. Показано, что пиролиз бинарной смеси приводит к значительному увеличению выхода жидкых (около 2 раз) и газообразных продуктов по сравнению с исходным сланцем. Высокоскоростной пиролиз при температуре 800–900 °C дает наибольшую энергетическую продуктивность за счет получения горючих газов с высоким содержанием водорода иmonoоксида углерода.

Ранее были проведены исследования по пиролизу и термическому растворению сапропеля с получением высокого выхода газообразных и жидких топливных продуктов [1]. В работе [5] показана целесообразность термической переработки высокозольных сланцев совместно с другими твердыми топливами и горючими отходами (торф, бурые угли, сапропель, изношенные автопокрышки и др.), что позволяет повысить технико-экономические показатели и снизить себестоимость конечных продуктов переработки – смолы и газа.

Цель настоящей работы состояла в изучении термоустойчивости бинарных смесей сланца и сапропеля методом термического анализа, определением выхода и состава продуктов низкоскоростного и высокоскоростного процессов пиролиза и установления их энергетической ценности.

В республике находятся значительные запасы горючих сланцев и сапропеля. Залежи сланцев сосредоточены в Припятском бассейне, общие прогнозные запасы которых оценены в 8,8 млрд т, реальные промышленные – составляют около 3,6 млрд т [4]. Общие разведанные запасы сапропеля достигают 2,12 млрд м³. Для использования в энергетических целях пригоден сапропель с содержанием органического веще-

ства – 50 %. Его запасы в Беларуси около 412 млн м³, запасы кремнеземистого сапропеля достигают 1361 млн м³. Ресурсы органического сапропеля под торфяными залежами оцениваются в 250 млн м³, кремнеземистого – 286 млн м³ [2].

В качестве исходного сырья для исследований использовали технологическую пробу горючего сланца Туровского месторождения с содержанием органического вещества 18,1 %; зольностью – 79,6 % и теплотой сгорания 5750 кДж/кг. Выход жидких продуктов пиролиза технологической пробы горючих сланцев составил 11,3 % на сухое вещество [3,6]; сапропель с содержанием органического вещества 90,3 %; зольностью 9,7 %; теплотой сгорания 18 800 кДж/кг, выходом жидких продуктов пиролиза (смола и пирогенетическая вода) 35,7 % на сухое вещество и сапропель с содержанием органического вещества 75,5 %, зольностью 24,5 %, теплотой сгорания 15 400 кДж/кг, выходом жидких продуктов пиролиза 34,6 % на сухое вещество.

Приготовлены смеси с добавкой 30, 50 и 70 % (на сухое вещество) сапропеля к технологической пробе горючего сланца. Характеристика полученных смесей представлена в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика смесей горючего сланца и сапропеля

Исходное сырье	Влажность, W %	Зольность, A %	Низшая теплота сгорания, Q кДж/кг
Сапропель ($A^c = 9,7 \%$)			
Горючий сланец + сапропель (30 %)	4,8	58,3	9 900
Горючий сланец + сапропель (50 %)	6,1	44,8	12 400
Горючий сланец + сапропель (70 %)	7,7	30,4	14 900
Сапропель ($A^c = 24,5 \%$)			
Горючий сланец + сапропель (30 %)	5,8	61,3	8 670
Горючий сланец + сапропель (50 %)	7,1	51,2	10 910
Горючий сланец + сапропель (70 %)	6,8	41,6	12 860

Влияние органогенных добавок сапропеля, вводимых в горючий сланец, на термоустойчивость последнего характеризуется данными термического анализа. Кривые термического анализа технологической пробы горючего сланца представлены на рис. 1. Потеря влаги (сушка) заканчивается при 150°C , что фиксируется на

кривых ДТГ, ДТА и ТГ. Далее в интервале $220\text{--}300^{\circ}\text{C}$ потеря массы практически не происходит, но при этом фиксируется значительный экзотермический эффект с максимумом при 300°C , обусловленный процессами изомеризации органических соединений, т. е. происходит перестройка структуры без изменения массы.

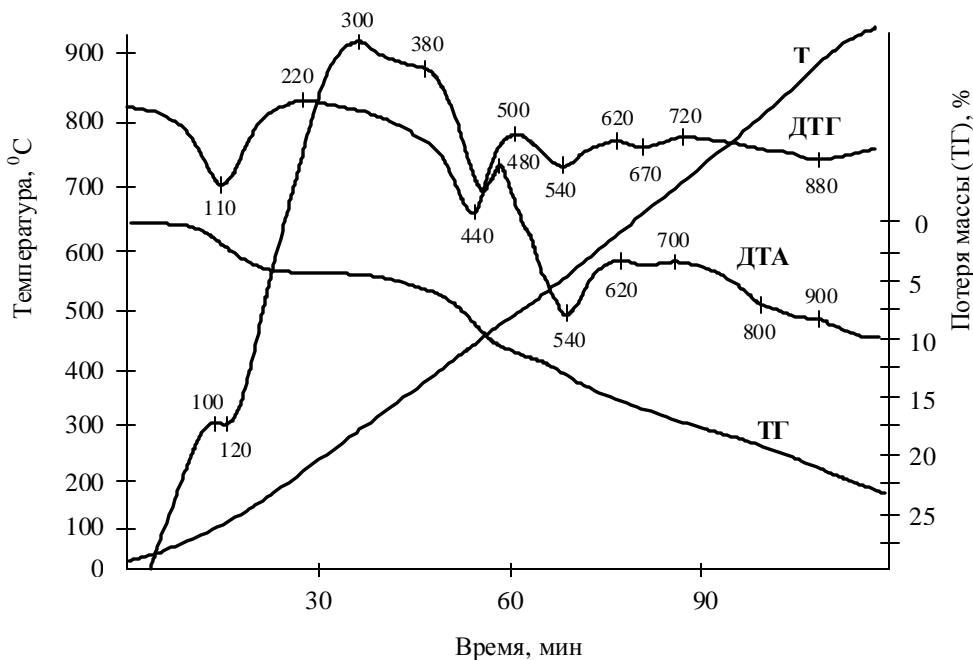


Рис. 1. Кривые термического анализа технологической пробы горючего сланца Туровского месторождения

Свыше 300°C начинает протекать интенсивное термическое разложение органического вещества с выделением летучих соединений, в основном смолы и газов, скорость потери массы (ДТГ) достигает максимума при 440°C . Экзотермический эффект при 380°C является ответственным, по-видимому, за синтез вновь образовавшихся соединений, за счет взаимодействия продуктов разложения между собой и с минеральными соединениями сланца.

После 470°C происходит разложение твердого остатка с выделением газообразных

продуктов, и этот процесс продолжается до 950°C . Пик на кривой ДТГ при 540°C и соответствующий эндотермический эффект обусловлены, вероятно, распадом органоминеральных соединений.

Общие потери массы (на сухой сланец) в процессе термического разложения составляют 24,2 % (табл. 2).

Кривые термического анализа сапропеля представлены на рис. 2.

Таблица 2. Показатели термического анализа горючего сланца, сапропеля и их смесей

Проба	Потери массы, % на сухое вещество при $T^{\circ}\text{C}$					Сумма потерь	ОВ усл
	До 150	150–350	350–500	500–700	700–980		
ГС	4,5	6,0	6,8	6,5	1,4	24,2	18,1
С	7,1	40,9	18,3	4,2	12,7	83,2	89,1
ГС+С (30 %)	4,7	15,9	12,3	6,0	8,5	47,5	39,7
ГС+С (50 %)	7,8	21,3	14,1	7,8	11,0	62,0	53,5
ГС+С (70 %)	7,2	31,6	17,8	6,6	10,1	73,3	68,1

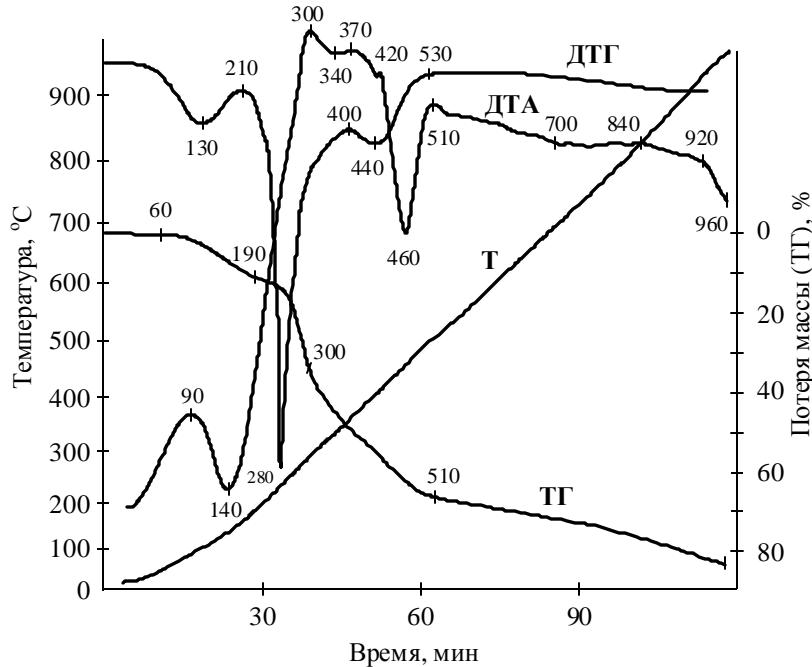


Рис. 2. Кривые термического анализа сапропеля торфоучастка «Речень» Любанского района

В интервале 20–150 °С в основном происходит удаление адсорбированной воды. Потери массы при этом невелики и составляют 7,1 % (табл. 2). Потери массы в интервале 150–500 °С обусловлены разложением органического вещества и достигают 59,2 %. Причем на кривой ДТГ четко прослеживаются две ступени распада: 150–350 (потери массы 40,9 %) и 350–500 °С (потери массы 18,3 %), связанные с разложением различных по термической устойчивости составных частей ОВ. Первая ступень этого температурного интервала обусловлена разложением лабильных кислородсодержащих соединений (углеводов, пектиновых веществ), вторая – разложением более сложных соединений циклического строения. Разложение органического вещества сопровождается экзотермическими эффектами с максимумами при 300 и 370 °С на кривой ДТА, природы которых обусловлена, по-видимому, структурными изменениями ОВ и синтезом более термоустойчивых соединений за счет взаимодействия продуктов пиролиза между собой и минеральными составляющими. В интервале 500–700 °С происходит дальнейшее постепенное разложение ОВ, что проявляется в плавном монотонном спаде кривой ДТГ (потери массы 4,2 %), такой же плавный спад кривой ДТГ продолжается до температуры 960 °С, при этом происходит частичное преобразование минеральных компонентов. В целом сумма потерь массы для изучаемого органического сапропеля составила 83,2 % (табл. 2).

Сравнение дериватограмм горючего сланца и сапропеля показывает, что на кривых ДТА

имеются аналогичные пики с максимумами при температурах 300 и 380 °С, связанные с разложением ОВ. Из табл. 2 и рис. 1 и 2 видно, что наиболее резкая потеря массы (около 50 %) происходит при разложении сапропеля (соответствует пику на кривой ДТГ при температуре 280 °С), чего не наблюдается в таком же температурном интервале у горючих сланцев. Отсутствие на кривых термического анализа сланцев данного пика закономерно, так как в процессе последующих стадий литогенеза в первую очередь разложению подвергалась наименее термостойкая часть органического вещества.

Общая сумма потерь летучих соединений до температуры 980 °С для горючих сланцев составляет 24,2 %, а для сапропеля – 83,2 %.

На рис. 3 представлены кривые термического анализа смеси горючего сланца (50 %) и сапропеля (50 %).

При этом оценивали изменение потери массы в характерных для горючего сланца температурных интервалах (табл. 2). Из рис. 3 и табл. 2 видно, что при термораспаде смесей горючего сланца и сапропеля происходит увеличение летучих веществ в интервале 150–350 °С в 2,5–5 раз, а в интервале смелообразования (350–500 °С) – в 2–3 раза. Таким образом, органогенная добавка сапропеля к горючему сланцу приводит к значительному увеличению потери массы в области температур разложения органического вещества и соответственно выходу летучих соединений, в том числе жидких высококалорийных продуктов и горючих газов.

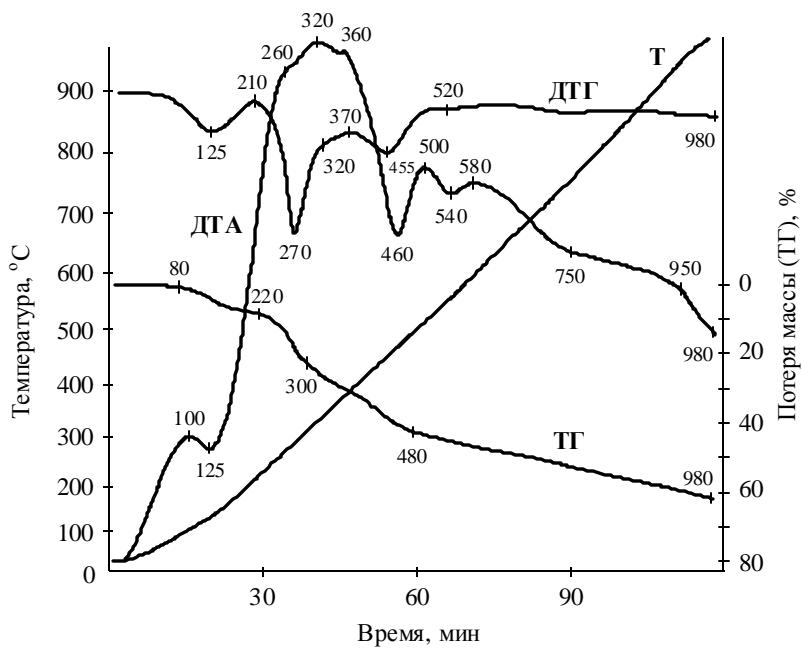


Рис. 3. Кривые термического анализа смеси горючего сланца (50 %) и сапропеля (50 %)

Низкоскоростной (скорость нагрева 5–8 °С/мин) пиролиз горючих сланцев в плотном слое провели в камере, представляющей собой герметически закрывающуюся кварцевую трубку, имеющую внутри перекрытие из мелкой нержавеющей сетки, на которую насыпают слой исследуемого сланца. Внешний обогрев реакционной камеры осуществляют через ее стенку с помощью электрической трубчатой печи. Интенсивность обогрева регулируют автотрансформатором. Продукты пиролиза в виде парогазовой смеси (смола, газ и пирогенетическая вода), выделяющиеся в процессе термического разложе-

ния горючего сланца, конденсируются и поступают в приемник, который помещают в сосуд со льдом. На пути движения газообразных продуктов установлен фильтр-поглотитель для очистки газа от смолистых соединений и выносимых из зоны реакции мелких частиц образующегося коксозольного остатка. Очищенный газ поступает в газометр. Твердый продукт (полукокс, кокс) остается на сетке пиролизера.

Результаты термохимического разложения горючих сланцев, с добавкой органического сапропеля, приведены в табл. 3.

Таблица 3. Выход продуктов низкоскоростного пиролиза смесей горючего сланца и сапропеля

Проба	Температура, °С	Выход продуктов пиролиза, % на сухое вещество			
		Смола	Подсмольная вода	Кокс	Газ
ГС	550	9,5	1,8	84,4	4,4
	800	7,8	3,4	83,9	4,9
Сапропель (A ^c = 9,7 %)	550	23,3	12,4	37,5	26,8
ГС + С(30 %)	550	15,1	6,9	70,7	7,3
	800	9,8	6,0	65,9	18,3
ГС + С(50 %)	550	16,5	7,3	63,2	12,9
	800	17,8	6,2	57,3	18,7
ГС + С(70 %)	550	19,5	11,7	52,4	16,4
	800	20,5	12,2	49,3	18,1
Сапропель (A ^c = 24,5 %)	550	21,9	13,0	48,1	17,0
ГС + С(30 %)	550	11,9	5,7	74,1	8,4
ГС + С(50 %)	550	15,5	7,6	66,3	11,0
ГС + С(70 %)	550	16,9	10,7	59,5	12,9

Из полученных данных видно, что добавка обоих видов сапропеля приводит к значительному увеличению выхода смолы и газа как при температуре 550 °C, так и при 800 °C. Выход смолы может увеличиваться в 1,3–2,6 раза, газа – в 1,7–4,1 раза в зависимости от вида сапропеля, его количества и температуры пиролиза.

Исследование состава, полученного при температурах 550 °C и 800 °C газа показало, что в результате низкоскоростного пиролиза образуется горючий газ довольно стабильного состава, содержащий при 550 °C около 30 % и при 800 °C около 50 % синтез-газа и 19–22 % метана с теплотой сгорания 2700–3500 ккал/нм³. Содержание же CO₂, являющегося балластом в составе газа, при 800 °C снижается в 2 раза.

Таким образом показано, что добавка к высокозольному горючему сланцу органического сапропеля приводит к существенному увеличению выхода жидких и газообразных продуктов разложения, причем он возрастает с ростом содержания добавки. Соответственно уменьшается выход полукокса.

Для дальнейшей интенсификации процесса, создания оптимальных условий для протекания реакций пиролиза твердого остатка, увеличения качественного состава и доли газовой составляющей в продуктах термического разложения проведена серия опытов по высокоскоростному пиролизу смесей горючего сланца и сапропеля ($A^c = 24,5\%$) до конечной температуры 700, 800 и 900 °C (табл. 4). Высокоскоростной (скорость нагрева 600–800 °C/с) пиролиз проводили на вертикальной установке во взвешенном (падающем) слое, в которой частицы топлива размером не более 1 мм подаются шnekовым питателем, оснащенным электродвигателем с моторредуктором, в вертикально расположенную, предварительно нагретую реторту и свободно падают вниз, подвергаясь резкому нагреву в реакционной зоне. Образуемая парогазовая смесь попадает в

устройство охлаждения, предназначенное для отделения жидкой фазы, затем газы собираются в газометр для последующего анализа их качественного и количественного составов.

Выход продуктов пиролиза в процентах на сухое вещество смеси следующий: газ – 17–31, жидкие продукты (смола и подсмольные воды) – 4–8, кокс – 65–75. Добавка 50 % сапропеля к горючему сланцу технологической пробы приводит к росту выхода газовой составляющей при высокоскоростном пиролизе в 2–2,5 раза. Добавка сапропеля к горючему сланцу позволила получить не только достаточно высокий выход газа пиролиза, но и улучшить его качественные показатели: при температурах пиролиза 700 и 800 °C содержание синтез-газа увеличилось на 10 % по сравнению с горючим сланцем.

Для оценки влияния метода на выход продуктов пиролиза произведен расчет энергетического баланса процесса пиролиза смеси горючих сланцев и сапропеля разными методами (табл. 5).

Из табл. 5 видно, что при пиролизе смеси горючего сланца и сапропеля при скорости нагрева 5–8 °C/мин до 550 °C можно получить 66,3 % кокса, 11,0 % газа, 15,5 % смолы и 7,6 % пирогенетической воды. Энергия исходной смеси горючего сланца и сапропеля (10,91 МДж/кг) распределяется следующим образом: 2,92 МДж (26,8 %) приходится на кокс, 0,88 МДж (8,1 %) – на газ, 5,84 МДж (53,5 %) – на смолу, что в сумме составляет 9,64 МДж. Остаток 1,27 МДж приходится на растворившуюся в пирогенетической воде смолу и другие органические и минеральные соединения.

При пиролизе смеси сланца и сапропеля при скорости нагрева 600–800 °C/с до 900 °C получается 65,1 % кокса, 30,7 % газа, 3,8 % смолы и 0,4 % воды. Энергетическая ценность данных продуктов: кокса – 2,99 МДж (27,4 %); газа – 5,74 МДж (52,6 %); смолы – 1,43 МДж (13,1 %).

Таблица 4. Выход и характеристика продуктов высокоскоростного пиролиза смеси горючего сланца и сапропеля (50 %)

Показатель	Температура, °C		
	700	800	900
Состав газа, объемные %			
CO ₂	20,2	16,1	9,1
C _n H _m	5,9	3,3	1,8
CO	37,2	32,8	35,7
H ₂	16,4	29,2	40,5
CH ₄	20,4	18,7	13,0
Плотность, кг/м ³	1,1118	0,9366	0,7809
Теплота сгорания, ккал/м ³	3 830	3 790	3 480
Выход газа, % на сухое вещество	16,8	23,7	30,7
Выход кокса, % на сухое вещество	74,8	71,1	65,1
Выход смолы, % на сухое вещество	8,4	5,8	4,2

Таблица 5. Энергетический баланс процесса пиролиза смеси горючего сланца и сапропеля ($A^c = 24,5\%$)

Параметр	Горючий сланец + сапропель(50 %)	Продукт пиролиза			
		Кокс	Газ	Смола	Вода
Низкоскоростной пиролиз в плотном слое, $T = 550^{\circ}\text{C}$					
Выход продуктов пиролиза, %	–	66,3	11,0	15,5	7,6
Теплота сгорания, Q_h МДж/кг	10,91	4,4	8,0	37,7	0
Энергетическая ценность, МДж	10,91	2,92	0,88	5,84	-1,27
Энергетическая ценность, %	–	26,8	8,1	53,5	0
Высокоскоростной пиролиз, $T = 900^{\circ}\text{C}$					
Выход продуктов пиролиза, %	–	65,1	30,7	3,8	0,4
Теплота сгорания, Q_h МДж/кг	10,91	4,6	18,7	37,7	0
Энергетическая ценность, МДж	10,91	2,99	5,74	1,43	-0,75
Энергетическая ценность, %	–	27,4	52,6	13,1	–

Результаты исследования показывают, что при низкоскоростном пиролизе основную энергетическую ценность представляет выделенная смола (около 50 %). Высокоскоростной пиролиз дает наибольшую энергетическую продуктивность за счет получения горючих газов (52,6 %).

Таким образом, показано, что добавка к высокозольному горючему сланцу органического сапропеля приводит к существенному увеличению выхода жидких и газообразных продуктов разложения и снижению выхода полукокса.

При низкоскоростном пиролизе горючих сланцев с 30 %-ной добавкой сапропеля при 550°C выход смолы увеличивается на 25–60 %, газа – на 70–90 %, в зависимости от состава сапропеля.

Высокоскоростной пиролиз смеси горючего сланца с 50 %-ной добавкой сапропеля приводит к росту выхода газовой составляющей в 2–2,5 раза. Добавка сапропеля к горючему сланцу позволила получить не только достаточно высокий выход газа пиролиза, но и улучшить его качественные показатели.

Следовательно, путем подбора исходного сырья, в частности добавки органического сапропеля к горючему сланцу, можно значительно повысить выход высококалорийных жидких и газообразных продуктов пиролиза и улучшить технико-экономические показатели процесса термохимической переработки.

Л и т е р а т у р а

1. Бракш Н. А. Сапропелевые отложения и пути их использования. Рига, 1971.
2. Курзо Б. В. Закономерности формирования и проблемы использования сапропеля. Минск, 2005.
3. Лиштван И. И., Фалюшин П. Л., Крайко В. М. и др. Состав и свойства горючих сланцев Туровского месторождения Беларуси // Химия твердого топлива. 2009. № 2. С. 3–6.
4. Полезные ископаемые Беларуси: К 75-летию БелНИГРИ / Под ред. П. З. Хомича. Минск, 2002.
5. Фалюшин П. Л. Исследования в области переработки горючих сланцев и бурых углей Беларуси // Твердые горючие отложения Беларуси и проблемы охраны окружающей среды. Минск, 1992. С. 154–160.
6. Фалюшин П. Л., Крайко В. М., Ануфриева Е. В. и др. Качественные показатели горючих сланцев Туровского месторождения // Природопользование. Минск, 2008. Вып. 14. С. 174–178.

**П. Л. Фалюшин, В. М. Крайко,
Е. В. Ануфриева, Е. А. Смолячкова**

**ТЕРМОУСТОЙЧИВОСТЬ И СКОРОСТНОЙ ПИРОЛИЗ
СМЕСЕЙ ГОРЮЧЕГО СЛАНЦА И САПРОПЕЛЯ**

Представлены данные экспериментальных исследований термоустойчивости и скоростного пиролиза смесей горючих сланцев и органического сапропеля.

Результаты термического анализа показали, что максимумы скорости потери массы (кривые ДТГ) для органического сапропеля фиксируются при 280 и 440 °C, для сланца – при 440 и 540 °C, т. е. у них имеется один общий пик, характеризующий, по-видимому, термораспад органико-минеральных соединений и генетически связывающий эти полезные ископаемые. Пик при 280 °C отмечен только для сапропеля и является ответственным за термораспад его легкоидролизуемых веществ. При термическом анализе смеси сланца и сапропеля в соотношении 1:1 соответствующие пики фиксируются при 270 и 455 °C.

Общие потери массы при термическом анализе горючего сланца составляют 24,2 %, для сапропеля – 83,2 %. При температуре 900 °C в условиях высокотемпературного пиролиза в составе летучих веществ преобладают горючие газы, а выход жидких продуктов снижается.

Совместная термохимическая переработка смесей горючих сланцев и сапропеля в зависимости от конечной температуры позволяет получать высокие выходы жидкых и газообразных энергоносителей, что дает возможность снизить их себестоимость.

**P. L. Falushin, V. M. Kraiko,
E. V. Anufrieva, E. A. Smolyachkova**

**HEAT STABILITY AND HIGH-SPEED PYROLYSIS
OF COMBUSTIBLE SLATE AND SAPROPEL MIXES**

Data of experimental researches of heat stability and high-speed pyrolysis of combustible slates and organic sapropel mixes are presented.

Results of thermal analysis have shown, that maxima of speed of loss of weight (curves DTG) for organic sapropel are fixed at 280 and 440 °C, for slate – at 440 and 540 °C, i. e. they have one general peak characterizing, apparently, thermal disintegration of organic-mineral compounds and genetically linking these minerals. The peak at 280 °C is noted only for sapropel and is responsible for its thermal disintegration of easy hydrolyzed substances. At the thermal analysis of slate and sapropel mix in the ratio 1:1 corresponding peaks are fixed at 270 and 455 °C.

The general losses of weight at the thermal analysis of combustible slate make 24,2 %, for sapropel – 83,2 %. At temperature of 900 °C in the conditions of high-temperature pyrolysis as a part of flying substances combustible gases prevail, and the exit of liquid products decreases.

И. И. Лиштван, П. Л. Фалюшин, В. М. Дударчик, Е. В. Ануфриева**УТИЛИЗАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ СОВМЕСТНОГО
ПИРОЛИЗА С ТОРФОМ С ПОЛУЧЕНИЕМ ВЫСОКОКАЛОРИЙНОГО ГАЗА**

Приведен обзор методов утилизации полимерных отходов. Представлены результаты экспериментальных исследований по пиролизу торфополиэтиленовых смесей в зависимости от условий процесса. Изучен выход продуктов пиролиза, состав и теплотворность газов, которая увеличивается на 30–40 % по сравнению с теплотой сгорания газа из торфа.

Различные виды все возрастающих объемов коммунальных и производственных отходов, содержащих в значительных количествах горючие компоненты (в первую очередь, полимерные отходы), постоянно сопровождают хозяйственную деятельность человека. Проблема эффективной утилизации представляет собой первостепенную глобальную задачу планеты. По данным [4], около 70 % пластмасс, входящих в состав отходов потребления, – полиолефины, 10–15 % – полистирол, 10–13 % поливинилхлорид (ПВХ), около 3–5 % – другие пластмассы. Известны следующие методы ликвидации таких отходов: утилизация (рецикл) – повторное использование отдельных видов отходов по известным технологиям переработки вторсырья; захоронение, наиболее распространенный и массовый способ решения проблемы – вывоз на свалки, что кардинально проблему не решает; термическое уничтожение, теплоутилизация, так как органические компоненты имеют достаточно высокую теплотворную способность.

В мировой практике наблюдается тенденция постепенного перехода от полигонального захоронения отходов к их промышленной переработке на основе применения интенсивных технологий. При этом обеспечивается обезвреживание отходов, утилизация и ликвидация, одновременно происходит санитарная очистка с наименьшими затратами и максимально возможной выгодой, без негативного экологического влияния.

Энергетическое использование горючих отходов включает: прямое сжигание; пиролиз/газификацию с последующим сжиганием образующихся горючих газов; получение биогаза на полигонах захоронения путем компостирования отходов.

В ряде стран законодательно установлена обязанность выработки энергии при сжигании горючих отходов, активно ведется поиск наиболее экологически безопасных и экономически выгодных методов использования горючих компонентов отходов, так как при прямом сжигании 1 т ТБО образуется такое же количество тепловой энергии, как при сжигании 250 кг мазута.

Процесс прямого сжигания сопровождается выбросом в атмосферу значительного количества экологоопасных стойких органических за-

грязнителей, включая полиароматические углеводороды, диоксины, фураны и другие супертоксиканты. Стоимость газоочистки может составлять более 60 % от стоимости мусоросжигающего завода.

Альтернативой процессу прямого сжигания отходов является термохимическая технология, предусматривающая их предварительное термическое разложение в бескислородной среде (пиролиз) и газификацию, после чего продукты управляемо дожигаются с переводом токсичных веществ в менее опасные.

Одним из перспективных направлений утилизации полимерных отходов является их предварительное выделение из общей массы отходов и последующая переработка любым из указанных способов – рециклингом или термической переработкой [1, 5, 6, 7]. Проблема утилизации универсальна для всех цивилизованных государств, но решается по-разному. К примеру, компания «Нэгдю Санге» (Япония) с начала 1980-х гг. начала производить из старых полиэтилентерефталатовых изделий (ПЭТ) полиэфирные волокна. Процесс вторичного использования ПЭТ бесконечен. Изготовленный из отходов ПЭТ коврик после износа можно переработать в ковровое покрытие для багажников автомобилей и так далее. Японская фирма «Мидзуно» из вторичного полиэфира (содержание более 50 %) производит спортивную одежду для школьников, кроссовки из искусственной кожи (40 % вторичного полиэфира). Фирма «Гундзэ» из эфирного материала производит скатерти, кухонные рукавицы, колпачки для чайников, циновки, подставки и т.д. Корпорация «Лайон Оффис Профктс» производит тканевые покрытия и материал подушек для офисных стульев, полки для папок и книг из стопроцентно вторичной пластмассы. Причем стулья легко разбираются и большинство их деталей можно использовать вторично [8]. Конечно, опыт отдельной страны в своем роде уникален. В каждом случае решения проблем, связанных с утилизацией ТБО, должны соответствовать специфике региона. Здесь важно учитывать положение дел в экономике государства, состояние уже имеющейся инфраструктуры по сбору и утилизации отходов и, в конце концов, умение и желание общества во-

площать политические решения в реальную жизнь.

Широкое поле деятельности – поиск новых областей применения для вторичных полимеров, разработка биоразлагаемых материалов. Так, фирмой «Symphony» (Великобритания) [8] разработана добавка d2w к полиэтилену или полипропилену, ускоряющая его разложение после использования. Внесение в формуемую массу полимера 1 % добавки не влияет на потребительские свойства материала, однако после окончания срока эксплуатации он разрушается, превращается в диоксид углерода и воду и, естественно, не требует последующей утилизации. Добавка способна катализировать реакции разрушения углеродных связей в молекулах полимера и их окисление через «запограммированный» период времени, для чего в нее включаются специальные стабилизаторы, блокирующие преждевременное разрушение. К примеру, для одноразовых пакетов срок службы 1 г. – одно количество стабилизатора, для многоразовой тары (несколько лет) – другой. В работе [8] сообщается, что данную добавку уже используют около 60 стран мира.

Компания «Chevron» [9] разработала новый способ утилизации полиэтиленовых отходов. Авторы показали, что это вещество может служить отличным сырьем для производства моторных масел и трансмиссионных жидкостей, которые в настоящее время требуют нефтяного сырья. С помощью высокой температуры учёные научились превращать полиэтилен в воск, который, в свою очередь, сделали основой технических масел. При этом и по качеству полученного материала, и по экономике новый способ утилизации полиэтилена может (при массовом распространении) не уступать иным способам производства технических масел, попутно решая проблему накопления мусора.

Пластмассы относятся к отходам, индивидуальное сжигание которых затруднено по причине текучести расплава. Тем не менее сжигание полимерных отходов, по причине хорошей теплотворной способности практикуется. Данная способность некоторых отходов, содержащих пластмассы, при горении следующая (МДж/кг): полиэтилен – 45; полипропилен – 45; полистирол – 41; нефть, пластик – 40; ПЭТФ – 23; ПВХ – 22; ТБО – 8–10; трехслойные полимерсодержащие упаковочные материалы – 37–45; полимерные отходы компьютеров – 43, полимерные отходы автомобилей – 33. Однако сжигание некоторых видов полимеров сопровождается образованием токсичных газов: хлорида водорода, оксидов азота, цианистых соединений и других, что вызывает необходимость проведения мероприятий по защите атмосферного воздуха. Главной задачей технологий сжигания на современном этапе является минимизация выбросов

вредных веществ. Это должно обеспечиваться соблюдением следующих условий: температура процесса горения – не менее 900–1100 °С, время удерживания газообразных продуктов в печи – не менее 2 с (по законодательству ЕС), перемешивание продуктов горения и наличие турбулентности в зоне горения, что обеспечивает отсутствие локального перегрева, застойных зон и ламинарного течения продуктов неполного горения из камеры сжигания вместе с выбросами. Перспективным способом переработки, как указывалось ранее, является пиролиз.

Пиролиз полиэтилена исследован в наибольшей степени по сравнению с другими полимерами, и существует много теорий, объясняющих процесс распада его макромолекул. Полиэтилен в отсутствие кислорода стабилен до 290 °С. Выше этой температуры полиэтилен начинает разлагаться с образованием продуктов меньшей молекулярной массы, напоминающих по внешнему виду воск. Элементный состав продуктов деструкции близок к эмпирической формуле $(-\text{CH}_2-)_n$. При наличии уже небольших количеств кислорода в газовой фазе полиэтилен начинает деструктировать с образованием кислородсодержащих продуктов. С повышением температуры пиролиза увеличивается выход газообразных веществ. Так, например, суммарное количество газообразных продуктов пиролиза при 500 °С всего 5,9 %, при 800 °С – уже 22,2 % [6]. Одна из теорий пиролиза полиэтилена утверждает, что его распад начинается в тех местах макромолекулярной цепи, где есть «слабые места», т.е. места, уже подвергшиеся окислению, содержащие примеси или перекисные структуры. Всего в полиэтилене существует четыре типа структур с ослабленными связями: пероксиды, карбонильные соединения, разветвленные углеродные цепи и насыщенные фрагменты. В результате пиролиза полиэтилена одним из основных продуктов является полипропилен, а из получаемой фракции C₅–C₈ наиболее представительным является гексен-1. При пиролизе полиэтилена, проводимом при 500 °С, среди продуктов в газовой фазе в значительных количествах обнаружены этан, пропин, пропилен, пропан, н-бутилен, н-бутан и ряд углеводородов фракции C₅–C₈. При 800 °С в газовой фазе дополнительно обнаруживаются водород, метан, ацетилен, этилен и вместе с тем исчезает пропан. Доля мономера в газовой фазе увеличивается с ростом температуры – 0 % при 500 °С, 5,5 % при 800 °С и 26,4 % при 1200 °С [6].

В конденсированных продуктах пиролиза полиэтилена присутствует смесь веществ, представленныхарами углеводородов (предельных и непредельных) с числом атомов углерода вплоть до молекулярной массы, равной 3100. Причем наблюдается интересная специфика, при которой имеют место два максимума выхода уг-

леводородов с числом углерода 16 и 29. В целом энергия активации процесса пиролиза полиэтилена составляет 302 кДж/моль. Наиболее массовые продукты пиролиза полиэтилена при 1200 °С представляют собой следующую смесь газов: метан – 9,6 %, ацетилен – 4,3, этилен – 19,0, этан – 0,9, пропилен – 12,6, пропан – 0,6, бутен – 2,9 %. Необходимо отметить, что данные, представленные разными авторами, сильно различаются [6].

Исследование продуктов пиролиза полиэтилена с применением газового хроматографа высокого разрешения показывает присутствие в газовой фазе более 70 различных веществ, среди которых присутствуют ароматические и поликлинические соединения. В наибольшем количестве присутствуют толуол, стирол, инден, нафталин, винилнафталин, фенилен, флуорен, фенантрен. В результате пиролиза полиэтилена обра-

зуется бифенил в количестве 1,4 мг/л. Среди веществ первого класса опасности следует отметить наличие бенз(а)пирена, максимальный выход которого достигает 180 мкг/г [6]. В результате внешних факторов (ультрафиолетовое излучение, температура, кислород воздуха) полимер претерпевает изменения, которые влияют, в конечном итоге, на состав продуктов пиролиза. Несомненно и то, что марки полимера, содержащие различные добавки также будут оказывать влияние на конечный состав продуктов пиролиза. Для рассмотрения возможностей переработки отходов ТБО в Беларусь целесообразно исследовать полиэтилен белорусских производителей. В табл.1 приведен состав продуктов пиролиза газовой фазы полиэтилена, производимого на ОАО «Полимир», который определен методом газовой хроматографии [6].

Таблица 1. Состав газовой фазы пиролиза полиэтилена при разных температурах, мкг/г

Вещество	Температура, °С						
	300	400	500	600	700	800	900
Водород	0	439	462	1017	2035	1452	1536
Метан	28	39416	53142	148759	179588	243966	218608
Этилен	36	17827	29496	63307	110889	83535	83992
Пропилен	7	22930	18986	40979	62119	62278	50699
Пропан	0	492	476	1648	2820	1376	2323
Бутилен	16	27210	21860	39758	54086	43908	59965
Бутадиен	61	949	646	1445	1906	1356	1523
Гексан	36	5 086	4526	8819	13302	24092	13866
Бензол	0,2	23	17	19	20	22	20
Толуол	0	14	11	13	6	25	23
Ксиол	0	2	1	0,5	2	2	2
Этилбензол	0	0,3	0,3	0,2	1,3	2	2
Стирол	0	5	4	0,5	6	9	7
Сумма	184,2	114394	129627	305766	426780	462025	432567

Из табл. 1 видно резкое увеличение выхода продуктов в газовую фазу при температуре выше 400 °С – начинает деструктировать углеводородная матрица. Некоторое уменьшение выхода ряда углеводородов при 900 °С объясняется их термической деструкцией и трансформацией в простейшие вещества, не определяемые методом газовой хроматографии.

Цель исследования – изучение возможности утилизации полимерных отходов методом совместного пиролиза с торфом с получением горючих газов повышенной теплотворности.

Как указывалось ранее, все возрастающие отходы пластмасс, и в особенности полиэтилена, создают серьезную экологическую проблему, актуальность решения которой выходит в разряд первоочередных во всем мире. С другой стороны, известно, что горючие газы пиролиза торфа имеют теплоту сгорания порядка 3000 Ккал/нм³. Это примерно в 3 раза ниже природного газа, и

введение в пиролизуемую массу более высококалорийных полимерных отходов будет способствовать решению задачи и их утилизации, и получения энергоносителя с более приемлемыми потребительскими свойствами.

Для определения оптимальных условий проведения пиролиза смеси торфа с полиэтиленом необходимо изучить особенности термической устойчивости исходных ингредиентов в различном диапазоне температур, потери масс и другие характеристики.

Полиэтилен и его смесь с торфом исследованы на дериватографе Паулик–Паулик–Эрдэи, результаты представлены в [2].

Реакции термораспада органического вещества торфа и полиэтилена протекают в одном температурном интервале 200–500 °С, что оказывает влияние на выход и состав газообразных и жидких продуктов пиролиза. Максимум скорости потери массы для торфа отмечен при 275 °С,

полиэтилена – при 455 °С. Для повышения выхода газа целесообразно проводить скоростной пиролиз бинарной смеси торфа и полиэтилена при температуре не ниже 800 °С в аппарате с непрерывно движущимся потоком сырья, в котором возможна интенсификация вторичных реакций, т.е. взаимодействие парогазовой смеси с коксом с образованием дополнительного количества горючих газов (CO, H₂, CH₄).

Для изучения термохимического процесса необходимо провести исследование состава и свойств твердых и жидких продуктов пиролиза торфополиэтиленовой смеси.

Была проведена серия опытов по пиролизу в стационарном слое торфа с полимерными отходами полиэтилена в дозах 10–20 % при 600–800 °С. Размеры частиц составляли не более 3 мм. Результаты материального баланса и состава горючих газов приведены в табл. 2.

Таблица 2. Материальный баланс, состав и теплота сгорания газа пиролиза торфополиэтиленовых смесей в стационарном слое при 650 °С

Состав пиролизуемой смеси	Выход продуктов пиролиза, % на сухую навеску				Состав газа пиролиза, об. %					Q, Ккал /м ³	
	Жидкая фракция		Кокс	Газ	CO ₂	C _n H _m	CO	H ₂	CH ₄		
	смола	вода									
Торф низинный W = 12,8 %, A ^c = 10,9 %	17,0	10,1	39,0	33,9	32,4	1,1	20,6	31,8	14,2	2800	
То же + 20 % ПЭ на с.в., w = 10,3 %	31,6	8,2	34,3	25,9	32,3	2,1	19,0	27,8	18,8	3185	
То же + 50 % ПЭ, w = 6,4 %	54,5	4,6	22,0	18,8	31,8	2,5	18,2	28,5	18,9	3245	
То же + 20 % целлофан*, w = 0,3 %	27,6	4,2	32,9	35,3	33,2	3,2	16,9	28,9	17,8	3205	

* Примечание: ПЭ – полиэтилен, целлофан – гидрат целлюлозы, наиболее дешевый упаковочный материал

Анализ результатов, полученных при пиролизе смеси торфа с отходами полиэтилена в стационарных условиях, выявил некоторые особенности. Так, пиролиз торфополимерной смеси приводит к значительному изменению материального баланса: увеличивается содержание смолы при незначительном снижении выхода пирогенетической воды. Этот факт можно объяснить частичным разложением полиэтилена при данных условиях пиролиза с последующими процессами полимеризации получаемых продуктов и переводом их в жидкую фракцию. Анализ состава пиролизного газа указывает на относительно невысокое увеличение содержания непредельных углеводородов, что косвенно также подтверждает факт протекания процессов вторичной полимеризации. Сравнение теплот сгорания пиролизных газов торфополимерных смесей указывает на повышение калорийности в среднем в пределах 15 %, причем выбранные дозы полимеров в смеси в данной серии опытов не оказали заметного влияния на теплоту сгорания полученных газов. Вероятно, пиролиз смесей с содержанием полиэтилена 20 % и более в условиях стационарного слоя малоэффективен в силу того, что лишь незначительная часть полимера конверсируется в газовую fazу и необходимо проводить опыты с меньшим его содержанием в смесях с торфом и при разных температурах.

Для оценки влияния дозы полимера и условий проведения пиролиза на состав и качество газов была проделана серия опытов при 600 и 800 °С с введением в пиролизуемую смесь добавок полиэтилена в количествах 5, 10 и 15 %. Более высокие количества нецелесообразны вследствие неполноты разложения при выбранных условиях проведения эксперимента. Торфяную сушенку с влажностью 10,9 % и зольностью 10,5 % смешивали с тонкоизмельченной полиэтиленовой крошкой, смесь прессовали в таблетки-брюкетики, которые затем подвергали пиролизу в стационарном слое. Результаты эксперимента приведены в табл. 3.

Следует отметить, что наиболее калорийными в составе пиролизных газов являются углеводороды. Анализ состава пиролизных газов показывает, что у образца с 5–15 %-ной добавкой ПЭ при более низкой температуре пиролиза (600 °С) непредельных углеводородов в смеси несколько больше. При увеличении содержания ПЭ независимо от температуры наблюдается рост содержания углеводородов, причем более интенсивно при более низкой температуре (см. табл. 3).

Данный факт объясняется нарастанием процессов полимеризации. При 5 %-ном содержании ПЭ она еще незаметна, а при более высоких дозах полимера роль ее существенно воз-

растает. Поэтому при получении более высококалорийной парогазовой смеси с большим содержанием углеводородов необходимо использовать конструкцию пиролизера, позволяющую проводить быстрый отвод парогазовой смеси из зоны реакции. Для этой цели может быть использован пиролизер шнекового типа с подвижным слоем топлива.

Был проведен эксперимент по скоростному пиролизу в подвижном слое торфа и торфополимерных смесей с содержанием ПЭ в смеси от 5 до 15 % при температуре 800 °С.

Процесс пиролиза проводился на установке с горизонтальным шнеком при скорости его вращения 3 об/мин, температуре 800 °С, средней скорости нагревания 40 °С/мин и времени нахождения вещества в зоне пиролиза – 20 мин. Схема установки приведена в [3].

Установка по пиролизу в подвижном слое состоит из реторт, представляющей собой горизонтально расположенную трубку из нержавеющей стали со встроенной герметичной системой подачи топлива. Внутри реторты помеща-

ется шнек для обеспечения движения материала в реакционную зону и последующего вывода образовавшегося коксозольного остатка в приемник. Шнек посредством гибкого вала соединен с мотор-редуктором, обеспечивающим заданную скорость подачи сырья и время нахождения его в зоне пиролиза посредством регулятора скорости вращения шнека. Нагрев внешний с помощью трубчатой электропечи. Образующаяся парогазовая смесь попадает в устройство охлаждения, предназначенное для отделения жидкой фракции. Пиролизный газ собирают в газометр для последующего анализа.

Идея опыта заключалась в получении в качестве целевого продукта пиролиза высококалорийного газа. Анализ состава газа пиролиза указал на заметный рост содержания непредельных углеводородов (в 3–3,5 раза), метана (в 1,5–2 раза) и диоксида углерода (в 1,3–1,5 раза) на фоне некоторого снижения содержания компонентов синтез-газа – водорода и оксида углерода, хотя общее его содержание находится на уровне 60 % (табл. 4).

Таблица 3. Состав и теплота сгорания газа пиролиза торфополиэтиленовых смесей

Образец	T, °C	Состав газа пиролиза, об. %					Q Ккал/нм ³	D, г/л
		CO ₂	C _n H _m	CO	H ₂	CH ₄		
Торф-сушенка	600	54,8	1,0	11,5	17,4	15,3	2234	1,366
	800	32,8	1,2	17,6	31,2	17,3	2971	1,038
То же + 5 % ПЭ	600	53,8	1,3	12,2	16,7	16,1	2345	1,364
	800	32,9	1,5	17,7	32,3	15,6	2908	1,033
То же. + 10 % ПЭ	600	51,6	2,4	11,9	17,3	16,8	2574	1,34
	800	35,0	2,0	17,8	28,2	17,0	2988	0,98
То же + 15 % ПЭ	600	49,9	3,6	10,8	19,1	16,7	2732	1,31
	800	32,3	2,5	18,0	30,8	16,4	3079	1,05

Таблица 4. Материальный баланс, состав газовой фазы и теплотворная способность продуктов пиролиза торфополимерных смесей в подвижном слое (800 °C)

Состав пиролизуемой смеси	Выход продуктов пиролиза, % на сух. навеску			Состав газа пиролиза, об. %					
	Жидкая фракция	Твердая фракция	Газ	CO ₂	C _n H _m	CO	H ₂	CH ₄	Q, Ккал /нм ³
Торф суш., w = 11,0 %, A ^c = 10,5 %	4,2	47,5	48	10,8	2,3	33,2	43,5	10,2	3315
То же + 5 % ПЭ	6,4	38,9	54,7	13,2	7,0	25,6	35,1	19,2	4285
То же + 10 % ПЭ	7,6	44,3	48,1	14,0	8,8	22,8	33,9	20,5	4535
То же + 15 % ПЭ	7,8	39,7	52,5	12,3	7,7	25,8	34,6	9,6	4420

Как следует из экспериментальных данных, теплотворность газа пиролиза торфополиэтиленовых смесей существенно (на 30–40 %) увеличивается по сравнению с торфом, что указывает

на перспективность такого способа утилизации полимерных отходов. Она также зависит от способа проведения пиролиза. К примеру, теплотворность газа, полученного при 800 °C пироли-

зом смеси торфа с 10 %-ной добавкой ПЭ в стационарных условиях, – 3000 Ккал/нм³, а этого же образца в подвижном слое соответственно равна 4535 Ккал/нм³.

Таким образом, применение в виде добавки к торфу ПЭ отходов в количестве 10–20 % по массе позволяет значительно увеличить теп-

лоту сгорания пиролизного газа, и, как следствие, повысить его энергетическую ценность, что дает основание рассматривать газ в качестве высокоэффективного энергоносителя при получении тепловой и электрической энергии.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ. Проект № Х09МН–002 от 15 апреля 2009 г.

Л и т е р а т у р а

1. Бородуля В. А., Виноградов Л. М., Гребеньков А. Ж. и др. Двухстадийная утилизация горючих отходов: Тез. докл. Междунар. форума по тепло- и массообмену. Минск, 2008. С.122–124.
2. Кожурин В. Н. Пиролиз торфа в смеси с полимерными отходами // Природопользование. Минск, 2009. Вып.15. С. 217– 221.
3. Лиштван И. И., Фалюшин П. Л., Дударчик В. М. и др. Пиролиз бурых углей Бриневского месторождения Республики // Химия твердого топлива. 2009. № 3. С. 20–25.
4. Марцуль В. Н., Абади М., Липик В. Т. Газообразные продукты пиролиза полимерных композиций на основе поливинилхлорида // Весці НАН Беларуси. Сер. хім. наука. 2002. № 1. С.105–109.
5. Милицкова Е. А., Потапов И. И. Переработка отходов пластмасс. М. 1997.
6. Прокопчук Н. Р., Липик В. Т. Рециклинг и утилизация полимерных отходов. Минск, 2008.
7. Шаповал Г. С. Утилизация полимерной тары // Экотехнология и ресурсосбережение. 1999, № 5. С. 35–43.
8. www.waste.com.ua.
9. www.chevron.com/deliveringenergy/geothermal.

Институт природопользования НАН Беларуси

И. И. Лиштван, П. Л. Фалюшин, В. М. Дударчик, Е. В. Ануфриева

УТИЛИЗАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ СОВМЕСТНОГО ПИРОЛИЗА С ТОРФОМ С ПОЛУЧЕНИЕМ ВЫСОКОКАЛОРИЙНОГО ГАЗА

Дан краткий обзор способов утилизации полимерных отходов, с примерами и подходами в решении проблемы в разных странах.

Представлены данные по пиролизу полиэтилена, составу газовой фазы. Приведены результаты исследований по пиролизу торфа в смеси с полиэтиленовыми отходами в стационарных условиях и в подвижном слое. Составлен материальный баланс выхода продуктов пиролиза, изучен состав горючих газов, оценена их теплотворная способность.

Показано, что утилизация полиэтиленовых отходов в смеси с торфом пиролизом в подвижном слое позволяет получать пиролизный газ с повышенной теплотой сгорания, достигающей 4500 ккал/нм³, что в 1,5 раза выше газа, полученного из торфа.

I. I. Lishtvan, P. L. Falushin, V. M. Dudarchik, E. V. Anufriyeva

UTILIZATION OF POLYMER WASTE BY METHOD OF JOINT PYROLYSIS WITH PEAT TO PRODUCE HIGH CALORIFIC GAS

A brief review of utilization ways of polymer waste has been done, with examples and approaches of solution in various states.

Data on polyethylene pyrolysis and gaseous phase composition have been presented. Research results on peat pyrolysis in the mix with polyethylene waste in stationary conditions and in mobile layer are given. A material balance of the outcome of pyrolysis products has been compiled, combustible gases composition has been studied, their calorific ability has been assessed.

It has been shown that utilization of polyethylene waste and peat mix by pyrolysis in a mobile layer allows to produce pyrolysis gas of enhanced calorific burning, reaching 4500 Kkal/ nm³, that by 1,5 times is higher than a peat gas.

Р. Ф. Братишко, Ю. Г. Соколовская

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПИРОЛИЗА ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

Приведены технико-экономические показатели получения горючего газа, древесного угля и смолы методом пиролиза древесных опилок в подвижном слое на экспериментальной установке в пиролизере с внешним нагревом дымовыми газами и горизонтальной шнековой подачей топлива.

Республика Беларусь не обладает значительными запасами собственных природных топливно-энергетических ресурсов. Однако мировой опыт показывает, что это обстоятельство не является непреодолимым препятствием для наращивания энергетического потенциала страны. Необходимо решить ряд важнейших задач, связанных с использованием местных видов топлива. Правительством республики поставлена задача по увеличению использования местных энергоресурсов, чтобы в ближайшие годы довести их долю в обеспеченности собственными энергоносителями до 25 %, в основном за счет древесины, торфа и горючих отходов [2].

Среди видов топлива в республике потенциальными возможностями для решения этой задачи обладают древесные отходы. Как показывает анализ состояния проблемы и современных тенденций в развитии технологий использования таких отходов [1, 3, 4], в настоящее время достаточно развиты способы их термохимической переработки, наиболее перспективным из которых является пиролиз, обеспечивающий получение не только топлива (горючего газа, древесного угля, смолы, в том числе растворимой), но и других ценных продуктов – уксусной кислоты, метанола и т.д. В сравнении с технологиями прямого сжигания отходов преимуществом пиролиза является значительно меньшее количество (в 2–5 раз) дымовых газов, снижение вредных выбросов в атмосферу и более простые системы очистки газов.

Выход и качество продуктов пиролиза зависят от состава перерабатываемого сырья, условий нагревания, конечной температуры нагрева. Большое значение имеют тип применяемого оборудования, способ обогрева, время пребывания летучих веществ в зонах с высокой температурой и другие факторы, определяющие равномерность температурного поля, глубину «вторичного» пиролиза парогазовых продуктов и оказывающие влияние на формирование конечных продуктов.

Целью настоящего исследования является ориентировочный технико-экономический расчет получения горючего газа, смолы и твердого продукта пиролиза – порошкообразного древесного

угля методом пиролиза древесных опилок в подвижном слое на экспериментальной установке.

Экспериментальная установка [4] разработана и изготовлена на РУП «Экспериментальная база «Свислочь» НАН Беларусь» на основании результатов исследований термического разложения растительной биомассы, торфа, бурых углей, горючих сланцев методом пиролиза в неподвижном и подвижном слоях, выполненных в лабораторных условиях. В основу ее работы положен принцип горизонтальной шнековой подачи сырья в зону реакции и его пиролиз в подвижном слое с наружным электрическим нагревом стенки аппарата до конечной температуры процесса 800 °C.

Экспериментальная установка мобильна и проста в эксплуатации, работает непрерывно; монтируется как на удалении от источника сырья, так и в непосредственной близости от него; может работать автономно, используя вырабатываемую энергию, за исключением работы электромеханического привода, когда необходим подвод энергии извне. Работой установки управляет один человек в смену.

Производительность установки изменяется от 30 до 100 кг/ч, исходя из объемов сырья, имеющегося в наличии для переработки.

В сравнении с пиролизом в неподвижном слое здесь процесс осуществляется непрерывно; существует возможность регулировать температурный режим и скорость процесса, что, в свою очередь, позволяет направленно изменять количественный выход и качественный состав продуктов пиролиза в зависимости от поставленной цели; и, наконец, пиролиз в подвижном слое дает более высокий выход горючих газов с долей синтез-газа ($\text{CO}+\text{H}_2$), достигающей 80 % и выше. Синтез-газ можно использовать как моторное топливо, а также как сырье для последующего каталитического превращения в жидкое углеводородное топливо, горючий газ – как энергоноситель в различных энергетических установках. Твердый продукт пиролиза – порошкообразный древесный уголь – пригоден для использования в качестве топлива, а также восстановителя металлов в металлургических процессах.

Средний состав исходного сырья для пиролиза – древесных опилок приведен в табл. 1.

В табл. 2 дана характеристика конечных продуктов пиролиза древесных опилок при 800 °C.

Таблица 1. Характеристика древесных опилок

Показатель	Величина
Влажность, %	10
Зольность, %	До 2
Размер частиц, мм	Менее 3
Элементный состав, % на сухое вещество	C – 50,0 H – 6,0 N – 0,1 S – 0,01 O – 43,8
Выход летучих веществ, %	85
Низшая теплота сгорания, ккал/кг	3890

При расчете себестоимости пиролизного газа и срока окупаемости технологии приняты три возможные цены древесных опилок: 20, 40 и 50 долл. США/т и две цены пиролизного газа: 100 и 150 долл. США/тыс. м³. В качестве коммерческих продуктов пиролиза опилок, кроме горючего газа, могут быть порошкообразный высококалорийный древесный уголь с содержанием углерода около 95 % и смола.

В табл. 3 представлены основные производственные показатели по каждому продукту пиролиза и общий годовой доход от их продажи.

Основными статьями затрат при работе на экспериментальной установке явились стоимость сырья, заработка плата, амортизационные отчисления, содержание и ремонт оборудования и стоимость электроэнергии.

В табл. 4 приведены данные по себестоимости продуктов пиролиза и срокам окупаемости основных затрат на их производство.

Таблица 2. Характеристика конечных продуктов пиролиза древесных опилок [4]

Продукт пиролиза	Выход, % от исходного сырья	Элементный состав		Низшая теплота сгорания, ккал/м ³ (кг)
		% объемн.	% на сухое вещество	
Горючий газ	60	CO ₂ – 14,7 C _n H _m – 2,5 CO – 27,0 H ₂ – 37,3 CH ₄ – 18,5		3 635
Древесный уголь	25		C – 94,5 H – 1,0 O – 4,5	8 000
Смола	5			9 000
Пирогенетическая вода	10			

Таблица 3. Показатели по продуктам пиролиза и общий годовой доход от их продажи

Показатель	Величина
Продолжительность работы в сутки, ч	24
Расход сырья в год, т	360
Расход электроэнергии, кВт·ч/г.	21 600
Производительность в год:	
пиролизный газ, тыс. м ³	254
древесный уголь, т	90
смола, т	18
пирогенетическая вода, т	36
Цена пиролизного газа, долл. США /тыс. м ³	100–150
Цена древесного угля, долл. США/т	350–450
Цена смолы, долл. США/т	115–160
Стоимость, долл. США:	
пиролизный газ	min 25400 max 38100
древесный уголь	min 31500 max 40500
смола	min 2070 max 2880
Итого	min 58970 max 81480

Таблица 4. Себестоимость продуктов пиролиза (долл. США) и срок окупаемости затрат на их производство

Показатель	Себестоимость и срок окупаемости затрат в зависимости от стоимости сырья		
	свое сырье	покупное сырье	
	20 долл. США/т	40 долл. США/т	50 долл. США/т
Затраты: единовременные, на изготовление установки	18000	18000	18000
Амортизационные отчисления, долл. США/г. Эксплуатационные затраты: заработка плата при наличии трех рабочих электроэнергия сырье содержание и ремонт оборудования	1800 10800 1899 7200 10067,94	1800 10800 1899 14400 10067,94	1800 10800 1899 18000 10067,94
Всего затрат	31766,94	38966,94	42566,94
Из них затраты на производство: пиролизный газ древесный уголь смола	19060,16 7941,74 1588,34	23380,16 9741,74 1948,35	25540,16 10641,74 2128,35
Себестоимость 1 м ³ (кг) продуктов пиролиза: пиролизный газ древесный уголь смола	0,075 0,088 0,088	0,092 0,108 0,108	0,101 0,118 0,118
Прибыль в год	16588,46	9388,46	5788,46
Рентабельность производства	0,28 0,43	0,16 0,34	0,11 0,29
Окупаемость единовременных затрат: максимум, лет минимум, лет	1,09 0,51	1,92 0,65	3,10 0,74

Существующий уровень цен на природный газ и древесный уголь позволяет считать приемлемыми все три варианта расчета себестоимости продуктов пиролиза. Это подтверждается результатами расчета рентабельности производства: при цене на сырье 20 долл. США/т средний показатель рентабельности составляет 35 %, при 40 долл. США/т – 25 %, при 50 долл. США/т – 20 %.

Малый срок окупаемости экспериментальной установки – от полугода до трех лет – показывает экономическую целесообразность ее использования для термохимической переработки древесных отходов с получением горючего газа, смолы и твердого продукта – порошкообразного древесного угля. Кроме того, с увеличением производительности установки приведенные показатели будут улучшаться.

Л и т е р а т у р а

1. Козлов В. Н., Нимвицкий А. А. Технология пирогенетической переработки древесины. М.–Л., 1954.
2. Мясникович М. В., Михалевич А. А. Энергетическая безопасность Республики Беларусь: состояние и пути решения проблемы // Наука и инновации. 2005. № 8(30). С. 3–11.
3. Репринцева С. М. Термическое разложение дисперсных твердых топлив. Минск, 1965.
4. Фалюшин П. Л., Журавский Г. И., Братишко Р. Ф. и др. Качественные показатели горючего газа термохимической переработки растительной биомассы методом пиролиза // Инженерно-физический журнал. 2009. Т. 82, № 3. С. 448–453.
5. Фалюшин П. Л., Дударчик В. М., Тановицкий В. И., Кожурин В. Н. Экспериментальная установка по термохимической переработке бурых углей и результаты ее испытаний // Природопользование. Минск, 2009. Вып. 15. С. 211–216.

P. F. Bratishko, Y. G. Sokolovskaya

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПИРОЛИЗА
ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ**

При решении задач устойчивого экономического, технического и социального развития общество уже сегодня сталкивается с необходимостью вовлечения в малую энергетику горючих отходов. Перспективным направлением в создании эффективных и экологически приемлемых методов их утилизации является термохимическая переработка путем пиролиза с получением газообразных, высококалорийных жидкых и твердых энергоносителей.

Ориентировочный расчет технико-экономических показателей пиролиза древесных опилок в подвижном слое на экспериментальной установке в пиролизере с внешним нагревом и горизонтальной шнековой подачей топлива – себестоимости продуктов, прибыли, рентабельности производства и срока окупаемости установки – показывает экономическую целесообразность ее использования для получения горючего газа, смолы и твердого продукта – порошкообразного древесного угля.

R. F. Bratishko, Y. G. Sokolovskaya

**TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF
WOOD WASTE PYROLYSIS**

To decide problems of steady economic, technical and social development the society already today faces the necessity of involving in small power a combustible waste. A perspective direction in the creation of effective and ecologically comprehensible methods of their recycling is thermal-chemical processing through pyrolysis with outcome of gaseous, high-calorific liquid and firm energy carriers.

Rough calculation of technical and economic indicators of pyrolysis of wood sawdust in a mobile layer in experimental plant in pyrolyser with external heating and horizontal screw fuel supply – cost prices of products, revenue, profitability of the manufacture and the plant pay-back term – shows economic feasibility of its use to produce combustible gas, tar and a firm product – powder-like charcoal.

**А. Р. Цыганов, А. Э. Томсон, Т. В. Соколова,
С. В. Пармон, В. С. Пехтерева**

СЕЛЕКТИВНЫЕ СОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ТОРФА

С помощью метода потенциометрического титрования показано, что сульфированные азот- и фосфатсодержащие ионообменные материалы на основе торфа относятся к слабокислотным (слабоосновным) ионитам. Обработка торфа фосфорной кислотой в сочетании с олеумом либо мочевиной позволяет ввести в органическую часть торфа дополнительные OH-группы – остатки фосфорной кислоты, что подтверждается данными ИК-спектрофотометрии. Установлена высокая селективность к иону UO_2^{2+} сульфированного торфа, модифицированного этилендиамином в Cl-форме, а к ионам Cu^{2+} – фосфорилированного образца.

При создании селективных сорбентов для концентрирования многозарядных ионов особое внимание уделяется веществам, содержащим донорные атомы азота, серы и фосфора, которые способны не только к ионному обмену, но и к донорно-акцепторному взаимодействию [3, 5, 6].

Для придания ионообменных свойств органическим материалам их подвергают химическим превращениям, основными из которых являются: избирательное окисление спиртовых групп до карбоксильных; получение сложных эфиров; прививка различных классов соединений, содержащих разные типы функциональных групп. Синтез сорбентов по вышеуказанным методам позволяет создавать как катиониты, так и аниониты. Большое распространение получили фосфатцеллюлозные сорбенты, синтез которых осуществлялся производными трехвалентного фосфора [2, 8].

Торф легко может быть подвержен химическим превращениям благодаря широкому набору функциональных групп (карбоксильных, кислых фенольных, спиртовых), входящих в состав его химических компонентов: гуминовых и фульвокислот, целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина.

Ранее было показано [9], что торф, обработанный серной кислотой (или олеумом) при температуре 150–200 °C становится устойчивым к выщелачиванию вплоть до pH 8, при этом резко возрастает его обменная емкость – до 3,5–4,5 мг-экв/г в зависимости от температуры сульфирования.

С целью получения азотсодержащих материалов на основе торфа проведена обработка его алифатическими (этилендиамин – $NH_2-CH_2-CH_2-NH_2$, триэтаноламин – $N(CH_2CH_2OH)_3$) и ароматическими (*n*-фенилендиамин $C_6H_4(NH_2)_2$)

аминами с последующей конденсацией с формальдегидом [4, 8].

Фосфатсодержащие сорбенты были получены обработкой торфа смесью фосфорной и серной кислот [10] или фосфорной кислоты и мочевины [5].

Содержание амино- и фосфорнокислых групп контролировали определением азота и фосфора по общепринятым методикам [1]. Кислотность-основность полученных производных торфа определяли методом потенциометрического титрования. Состав синтезированных материалов устанавливали методом ИК-спектрофотометрии.

Анализ результатов, приведенных в табл. 1, показал, что полученные ионообменные материалы содержат от 3 до 10 % азота, фосфатсодержащие – от 5,7 до 9 % фосфора.

По характеру кривых потенциометрического титрования, приведенных на рис. 1–3, сульфированные и азотсодержащие ионообменные материалы можно отнести к слабокислым (слабоосновным) ионитам.

Для фосфатпроизводных, полученных на основе фосфорной кислоты и мочевины, на кривых титрования наблюдается слабый выступ (см. рис. 3), который можно объяснить введением в состав торфа дополнительных OH-групп – остатков фосфорной кислоты.

Как показали исследования, сорбент на основе сульфированного торфа и этилендиамина обладает выраженными основными свойствами (см. рис. 2). Сорбционная емкость по иону Cl^- составила 2,6 мг-экв/г.

Анализ спектров исходного и модифицированных торфов (рис. 4) показал, что в них имеются существенные отличия.

Таблица 1. Физико-химическая характеристика азот- и фосфорсодержащих материалов на основе торфа

Образец	Содержание азота, %	Содержание фосфора, %	СОЕ по иону Cu^{2+} , мг-экв/г	СОЕ по иону Fe^{3+} , мг-экв/г	$K_{d\text{по}} (\text{UO}_2)$, мл/г
Гранулированный пушицевый торф, $R = 35-40\%$	0,7	0,3	1,1	0,7	$4,5 \cdot 10^2$
Торф сульфирированный	–	–	4,1	1,4	$8,8 \cdot 10^2$
Торф сульфирированный в среде диметилформамида	–	–	3,5	0,55	$1,6 \cdot 10^3$
Сульфоторф, модифицированный триэтаноламином	3,8	–	3,7	0,9	$4,7 \cdot 10^3$
Сульфоторф, модифицированный этилендиамином, OH-форма	10,1	–	2,6	1,5	$1,7 \cdot 10^3$
Сульфоторф, модифицированный этилендиамином, Cl-форма	9,9	–	–	0,6	$6,6 \cdot 10^3$
Торф, модифицированный <i>n</i> -фенилендиамином	3,3	–	2,1	0,6	$3,2 \cdot 10^3$
Торф фосфорилированный смесью фосфорной кислоты и олеума	–	5,7	4,4	0,54	$1,4 \cdot 10^3$
Торф фосфорилированный смесью фосфорной кислоты и мочевины, NH ₄ -форма	–	9,0	4,3	1,4	$3,6 \cdot 10^3$

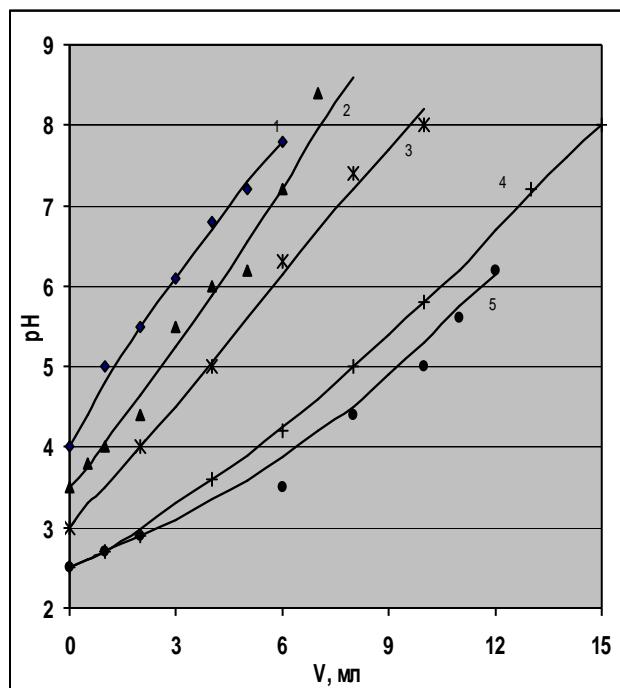


Рис. 1. Кривые потенциометрического титрования:
 1 – сорбент на основе торфа, модифицированного
n-фенилендиамином; 2 – исходного торфа;
 3 – сульфирированного торфа, модифицированного
 триэтаноламином; 4 – сульфирированного торфа;
 5 – сорбента на основе торфа, модифицированного
 смесью серной (олеум) и фосфорной кислот

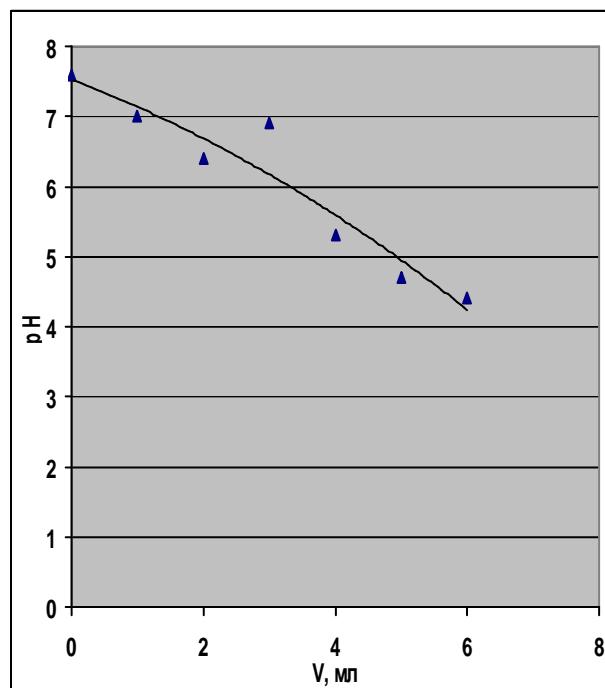


Рис. 2. Кривая потенциометрического титрования сульфирированного торфа, модифицированного этилендиамином

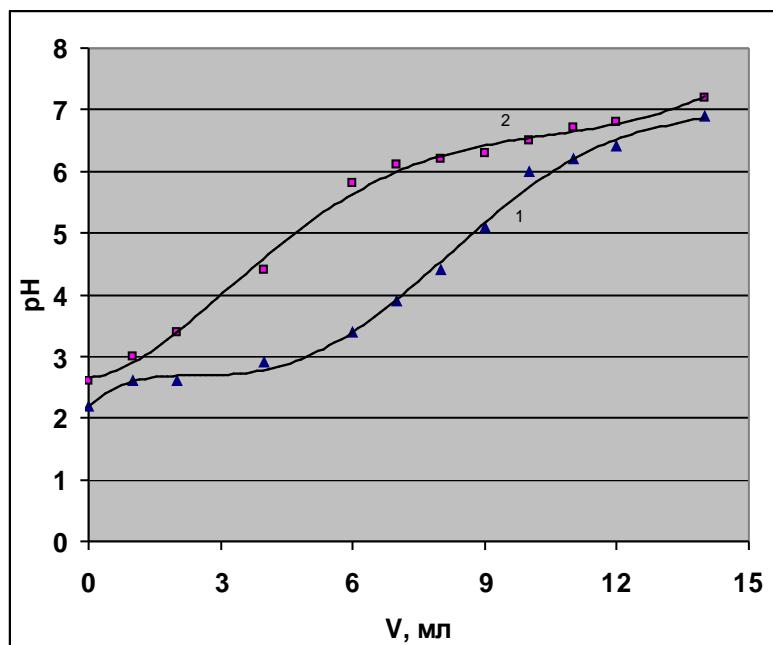


Рис. 3. Кривые потенциометрического титрования фосфорилированного торфа:
1 – количественное соотношение мочевины и фосфорной кислоты 5 : 1; 2 – 1 : 1

Так, в спектре торфа, сульфированного олеумом (рис.4, спектр 2), наблюдается сплошное поглощение $\nu_{\text{ОН...}}$ в области 3700–2400 cm^{-1} ; на его фоне два слабых максимума $\nu_{\text{CH}_2,\text{CH}_3}$ при 2930 и 2885 cm^{-1} , что характерно для карбонизованной органики; сильная полоса с максимумом 1720 cm^{-1} , соответствующая поглощению карбоксильных групп и карбонилов циклических эфиров; полоса $\nu_{\text{C}=\text{C}}$ сопряженных связей в области 1630–1620 cm^{-1} ; а также полосы 1230–1180 и 1045 cm^{-1} , перегиб в области 980–930 cm^{-1} соответствующие $\nu_{\text{C-O}}$ кислот и фенолов, ν_{as} и ν_s SO₃ сульфокислот.

Аминирование сульфированного торфа этилендиамином ($-\text{NH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$) приводит к существенным изменениям спектра (рис.4, спектр 3). В области 3700–3000 cm^{-1} наряду с широким максимумом 3400–3300 cm^{-1} появляется второй при 3280–3130 cm^{-1} $\nu_{\text{NH..}}$ различных аминных группировок. Заметное перераспределение поглощения происходит в области 1800–900 cm^{-1} . Исчезают полосы в области 1720 и 1230–1180 cm^{-1} , а появляются интенсивные полосы в области 1540–1590 cm^{-1} и 1405–1280 cm^{-1} , что может быть объяснено замещением свободных карбоксильных групп и гидролизом лактонных связей циклических эфиров в щелочной среде при обработке торфа этилендиамином с образованием этилендиаминовой соли гидролизованных сульфо- и карбоновых кислот [3].

В спектре сульфированного торфа, обработанного триэтаноламином $\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3$ (рис.4, спектр 4) наблюдаются изменения в области $\nu_{\text{ОН...}}$, которые обусловлены наложением

полос поглощения гидроксилов триэтаноламина (полоса 3410–3200 cm^{-1}) и аминогрупп образовавшихся третичных аммониевых солей, присутствие которых подтверждается снижением интенсивности полос в области $\nu_{\text{C=O}}$ 1720 и $\nu_{\text{C-O}}$ 1230 cm^{-1} и увеличением поглощения в области ν_{as} и $\nu_{\text{s COO}^-}$ 1630 и 1400 cm^{-1} .

О химическом взаимодействии фосфорной кислоты с торфом судили по появлению в спектре (рис.4, спектр 5) продукта взаимодействия полос поглощения структурных элементов при 1200–1300 cm^{-1} ($\delta_{\text{P-OH}}$ -внеплоскостное и $\nu_{\text{P=O}}$); 800–950 cm^{-1} ($\delta_{\text{P-OH}}$ -внеплоскостное); 450–550 cm^{-1} ($\delta_{\text{O-P-O}}$). В области $\nu_{\text{ОН...}}$ и $\nu_{\text{NH..}}$ 3100–3500 cm^{-1} заметны существенные изменения в системе водородных связей в фосфатпроизводных торфа.

Селективность модифицированного торфа по отношению к ионам меди и железа оценивали по величине статической обменной, а к иону уранила – сравнением коэффициентов распределения (K_d) при сорбции данного иона из модельных карбонатсодержащих растворов исходным и модифицированным торфом (см. табл. 1).

Синтезированные азот- и фосфорсодержащие материалы, как это видно из табл. 1, показали различную селективность по отношению к указанным ионам. Так, наибольшую селективность к иону уранила проявил сорбент на основе сульфированного торфа и этилендиамина в Cl-форме. K_d для этого сорбента по иону уранила составил $6,6 \cdot 10^3$ мл/г, что на порядок выше, чем для исходного торфа – $4,5 \cdot 10^2$ мл/г.

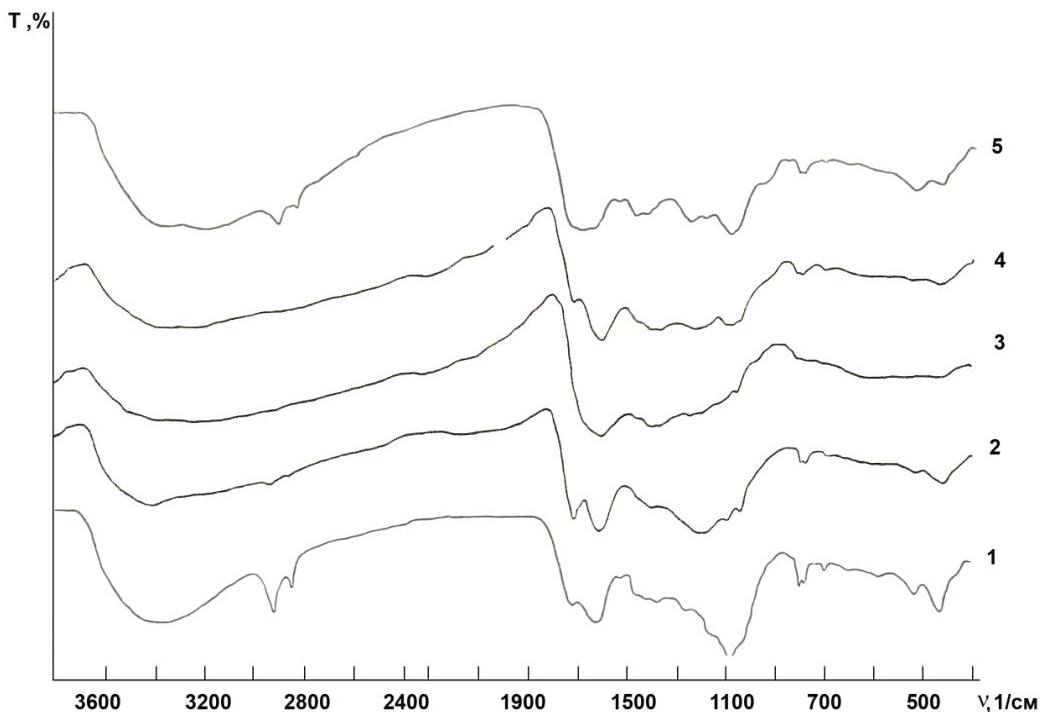


Рис. 4. ИК-спектры исходного и модифицированных форм торфа: 1 – исходный пушицевый торф; 2 – сульфирированный олеумом торф; 3 – сульфоторф, модифицированный этилендиамином; 4 – сульфоторф, модифицированный триэтаноламином; 5 – фосфорилированный торф в NH_4^+ -форме

Высокую селективность к ионам меди проявляют фосфатсодержащие сорбенты, полученные по обеим методикам, их сорбционная емкость в 4 раза выше, чем для исходного торфа (4,3 и 1,1 мг-экв/г соответственно).

Полученные азот- и фосфатсодержащие сорбенты низкоселективны по отношению к ионам железа ($\text{COE} = 0,5\text{--}1,4$ мг-экв/г).

Таким образом, показано, что направленная модификация торфа химическими агентами различных классов позволяет получить селективные сорбенты ионов тяжелых и редких металлов.

Л и т е р а т у р а

1. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М., 1961.
2. Волгина Н. И., Меос А. И., Вольф Л. А. и др. Получение фосфорсодержащих невоспламеняющихся и противогнилостных поливинилспиртовых волокон // Журн. прикл. химии. 1967. Т. 40, № 1. С. 209–210.
3. Кукушкин Ю. Н., Симонова С. А., Копылова Е. К. и др. Сорбция платиновых металлов сополимерами глицидилметакрилатэтилендиметакрилата с этилендиамином и диэтиламином // Журн. прикл. химии. 1979. Т. 52, № 7. С. 1488–1493.
4. Назаров Н. И., Королева Р. П. и др. Способ получения ионообменного материала. А. с. СССР. № 351864. Опубл. 1972. Бюл. № 28.
5. Новые волокнистые сорбционные материалы медицинского назначения / Под общ. ред. И. Н. Ермоленко. Минск, 1978.
6. Симонова С. А., Кукушкин Ю. Н. Комплексообразование иридия при сорбции гранулированными сорбентами сэтилендиаминовыми и диэтиламиновыми группами. // Журн. прикл. химии. 1986. № 8. С. 1708–1720.
7. Степанченко Т. К., Бидная Д. С., Кравцова М. П. Исследование сорбционных свойств активированных антрацитов, модифицированных триэтаноламином // Вестн. Харьков. ун-та. 1987. № 3. С. 83–86.
8. Цейтлина Л. А., Меос А. И., Вольф Л. А. Получение огнестойких поливинилспиртовых волокон и тканей // Химические волокна. 1961. № 6. С. 22–24.

9. Чистова Л. Р. Исследование ионообменных свойств некоторых торфов БССР. Автореф. дисс. ... канд. хим. наук. Минск, 1960.
10. Bynum Riehard V., Navratil James D. Ma Car thy Patric. Chem. Separ. Select. Pap. Ist. Int. Conf. Separ. Sci and Technol. NewYork. 1986. Vol. 9. P. 107–110.

Институт природопользования НАН Беларуси

**A. R. Цыганов, А. Э. Томсон, Т. В. Соколова, С. В. Пармон,
В. С. Пехтерева**

СЕЛЕКТИВНЫЕ СОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ТОРФА

С целью получения селективных сорбентов проведена модификация гранулированного пущицевого торфа ($R = 35\text{--}40\%$) азот- фосфат-серосодержащими химическими агентами. В качестве азотсодержащих соединений применяли алифатические и ароматические амины с последующей конденсацией с формальдегидом. Фосфатсодержащие сорбенты получали обработкой торфа смесью фосфорной и серной кислот или фосфорной кислоты и мочевины. Кислотность—основность определяли методом потенциометрического титрования, состав устанавливали методом ИК-спектрофотометрии. Синтезированные материалы содержат от 3 до 10 % азота, фосфатсодержащие – от 5,7 до 9 % фосфора. Сульфирированные азот- и фосфатсодержащие ионообменные материалы на основе торфа относятся к слабокислотным (слабоосновным) ионитам. Обработка торфа фосфорной кислотой в сочетании с олеумом либо мочевиной позволяет ввести в органическую часть торфа дополнительные OH-группы – остатки фосфорной кислоты. Установлена высокая селективность к иону UO_2^{2+} сульфирированного торфа, модифицированного этилендиамином в Cl-форме, а к ионам Cu^{2+} – фосфорилированного образца.

**A. R. Tsyganov, A. E. Tomson, T. V. Sokolova, S. V. Parmon,
V. S. Pekhtereva**

SELECTIVE SORBENTS ON MODIFIED PEAT BASIS

In order to obtain selective sorbents an updating of granulated cotton-grass peat ($R = 35\text{--}40\%$) with nitrogen – phosphate-sulfur containing chemical agents has been done. As nitrogen-containing compounds aliphatic and aromatic amins with the subsequent condensation with formaldehyde has been applied. The phosphate-containing sorbents were obtained by processing peat by a mix of phosphoric and sulfuric acids or phosphoric acid and urea. Acidity—the base has been defined by method of potentiometric titration, the structure has been found by method of IR-spectrum photometry. The synthesized materials contain from 3 to 10 % of nitrogen, phosphate-containing – from 5,7 to 9 % of phosphorus. The sulphized nitrogen – and phosphate-containing ion-exchange materials on the basis of peat refer to weak-acidic (weak-basic) ion exchanger. Processing peat by phosphoric acid in a combination with oleum or urea allows to enter into an organic part of peat additional OH-groups – the rests of phosphoric acid. High selectivity to ion UO_2^{2+} sulphized peat, modified by ethylene-diamin in Cl-form, and to ions Cu^{2+} – phosphoralised sample has been established.

**А. Э. Томсон, Т. В. Соколова, В. П. Стригуцкий,
С. В. Пармон, В. С. Пехтерева**

МЕХАНИЗМ ПОГЛОЩЕНИЯ АММИАКА МОДИФИЦИРОВАННЫМ ТОРФОМ

Установлено, что обработка торфа водными растворами кислот слабой и средней силы (лимонная, фосфорная и щавелевая), не затрагивающими структуру органического вещества, приводит к повышению его сорбционной способности по отношению к аммиаку и улучшению технологических параметров. Использование методов ИК- и ЭПР-спектроскопии позволило показать, что повышение сорбционной способности обусловлено усилением механизма сверхэквивалентной сорбции и непосредственным взаимодействием молекул аммиака с кислотными остатками.

Ранее установлено [6], что одним из эффективных направлений, позволяющих регулировать физико-химические и физико-механические свойства сорбционных материалов, получаемых на основе природных органических дисперсных материалов, обладающих широким спектром активных функциональных групп, является способ формирования композиционных структур за счет межфазного взаимодействия компонентов матрицы органического вещества носителя с различного рода добавками минеральной и органоминеральной природы.

Из литературы известно [1], что побочные химические реакции, сопровождающие сорбцию газообразных веществ на сорбенте и широко используемые в технологии газоочистки, позволяют сместить равновесие сорбции в выгодном направлении и приводят к высокоэффективному, практически 100 %-ному, поглощению газообразных веществ и аэрозолей даже из очень разбавленных газовых потоков. Выбор типа химической реакции и соответствующего агента зависит от природы сорбируемого вещества и возможности утилизации отработанного сорбента.

В связи с вышеизложенным, нами проведена обработка торфа растворами фосфорной, щавелевой и лимонной кислот, не разрушающими структуру его органического вещества, на стадии формования сорбционного материала. Критериями выбора модифицирующих кислотных агентов служили различия в природе и химических свойствах кислот (лимонная – слабая кислота, фосфорная и щавелевая – средней силы), стоимость, а также возможность экологобезопасной утилизации отработанных сорбентов. В связи с этим сорбенты, полученные на основе торфа с лимонной и щавелевой кислотами, после эксплуатации в газоочистном оборудовании, могли быть использованы в качестве органического удобрения, обогащенного азотом, а с фосфорной кислотой – в качестве удобрения, обогащенного азотом и фосфором. Получение модифицированных сорбентов производилось экструзионным способом, путем продавливания формируемой массы через фильеры определенного диаметра с последующей сушкой и сепарирова-

нием. Процесс подготовки формируемой массы торф + модифицирующие кислоты сводился к орошению торфа верхового (пушицевого) и низинного (осокового) типа растворами кислот концентрации 10^{-2} и 10^{-4} моль/л при соотношении твердой фазы к жидкой 1 : 2,5 и 1 : 5.

В табл. 1 и 2 приведены прочностные, водо-физические и сорбционные характеристики сорбентов, полученных на основе образцов торфа, обработанных фосфорной кислотой, являющейся по своей природе неорганической трехосновной кислотой с константой диссоциации $K_{diss} = 7,6 \cdot 10^{-3}$.

Анализ данных, представленных в табл. 1, показывает, что обработка пушицевого торфа фосфорной кислотой перед формированием оказывает существенное влияние на физико-химические и сорбционные свойства сформованных материалов. Так, поглощение увеличилось на 9,5–33,3 % в зависимости от концентрации фосфорной кислоты, и ее модуля – соотношения твердая фаза – жидкость. Причем при одной и той же концентрации кислоты влияние модуля несущественно. Несколько возросла прочность (~ до 12 %), а водопоглощение снизилось (~ до 35 %).

Из данных табл. 2 следует, что обработка осокового торфа растворами фосфорной кислоты также оказывается на сорбционных и физико-химических характеристиках сформованных материалов. Так, сорбция аммиака увеличилась на 7,7–21,5 %, водопоглощение на 12,5–31,9 %. Прочность сформованных материалов практически не изменилась.

В табл. 3 и 4 представлены физико-химические и сорбционные характеристики сорбентов на основе торфа верхового и низинного типов, модифицированного органическими кислотами: щавелевой и лимонной. Щавелевая кислота является двухосновной кислотой ($K_{diss} = 5,6 \cdot 10^{-2}$), стоимость 3400 бел. руб./кг. Лимонная кислота – окситрикарбоновая кислота ($K_{diss} = 7,4 \cdot 10^{-4}$), является отходом микробиологической промышленности, стоимость пищевой лимонной кислоты составляет 2500 бел. руб./кг.

Таблица 1. Физико-химические и сорбционные свойства сорбентов на основе пущевого торфа ($R = 40\%$), обработанного фосфорной кислотой

Образец	Насыпная плотность, кг/м ³	Водопоглощение, %	Прочность, МПа	Поглощение аммиака, мг-экв/г
Торф исходный	520	102,0	11,8	3,7
То же + H_3PO_4 , ($C = 10^{-2}$ моль/л) $M 1 : 5$, pH 2,15	535	66,0	12,6	4,9
То же + H_3PO_4 , $M 1 : 2,5$, pH 2,15	554	61,0	12,2	4,8
То же + H_3PO_4 , ($C = 10^{-4}$ моль/л) $M 1 : 5$, pH 3,85	529	88,8	12,0	4,1
То же + H_3PO_4 , $M 1 : 2,5$, pH 3,85	561	73,0	11,9	4,0

Таблица 2. Физико-химические и сорбционные свойства сорбентов на основе осокового торфа ($R = 20\%$), обработанного фосфорной кислотой

Образец	Насыпная плотность, кг/м ³	Водопоглощение, %	Прочность, МПа	Поглощение аммиака, мг-экв/г
Торф исходный	580	110,0	16,5	2,8
То же + H_3PO_4 , $M 1 : 5$, pH 2,15	660	123,7	16,4	3,5
То же + H_3PO_4 , $M 1 : 2,5$, pH 2,15	690	136,0	14,9	3,4
То же + H_3PO_4 , $M 1 : 5$, pH 3,85	630	129,4	16,5	3,2
То же + H_3PO_4 , $1 : 2,5$, pH 3,85	650	145,1	14,7	3,1

Таблица 3. Физико-химические и сорбционные свойства сорбентов на основе пущевого торфа, обработанного органическими кислотами

Образец	Насыпная плотность, кг/м ³	Водопоглощение, %	Прочность, МПа	Поглощение аммиака, мг-экв/г
Пущевый торф ($R = 40\%$)	520	102,0	11,8	3,7
То же + щавелевая кислота, $M 1 : 5$, pH 2,5 ($C = 10^{-2}$ моль/л)	565	125,4	15,6	5,2
То же + щавелевая кислота, $M 1 : 2,5$, pH 2,5	568	123,0	15,9	5,1
То же + щавелевая кислота, ($C = 10^{-4}$ моль/л) $M 1 : 5$, pH 4,1	559	120,0	15,2	4,9
То же + щавелевая кислота, $M 1 : 2,5$, pH 4,1	560	119,6	15,0	4,7
То же + лимонная кислота, $M 1 : 5$, pH 2,7 ($C = 10^{-2}$ моль/л)	562	110,5	15,2	4,5
То же + лимонная кислота, $M 1 : 2,5$, pH 2,7	568	115,6	15,4	4,4
То же + лимонная кислота, ($C = 10^{-4}$ моль/л) $M 1 : 5$, pH 4,4	560	111,8	15,1	4,2
То же + лимонная кислота, $M 1 : 2,5$, pH 4,4	563	109,8	14,9	4,1

Анализ данных табл. 3 показывает, что поглощение аммиака сорбентами на основе пущевого торфа, модифицированного органическими кислотами, увеличивается на 9,5–39,7 % в зависимости от концентрации кислот и их модуля, причем, как и в случае с фосфорной кислотой, соотношение твердая фаза – раствор не существенно. Необходимо также отметить положительную роль обработки торфа на стадии формирования сорбента органическими кислотами в улучшении прочностных и водно-физических по-

казателей. Так, насыпная плотность выросла на 9,2–9,4 %, водопоглощение – на 7,6–20,6 %, прочность – на 26,3–34,7 % по сравнению с сорбентами на основе немодифицированного пущевого торфа.

Аналогичная картина (см. табл. 4) наблюдается и для сорбентов на основе модифицированного осокового торфа. Поглощение аммиака растет на 6,4–27,7 %, насыпная плотность – 4,3–6,6 %, водопоглощение – на 56,4–80 %, прочность – на 9,7–12,7 %.

По данным ИК-спектров, образцы пушицевого торфа в процессе обработки фосфорной кислотой существенных структурных изменений не претерпевают. Полосы поглощения в области валентных колебаний основных функциональных групп (3400, 1715, 1615, 1510, 1060 см⁻¹, рис. 1) по их интенсивности и положению максимумов претерпевают незначительные изменения, что подтверждают данные табл. 5.

Таблица 4. Физико-химические и сорбционные свойства сорбентов на основе осокового торфа, обработанного органическими кислотами

Образец	Насыпная плотность, кг/м ³	Водопоглощение, %	Прочность, МПа	Поглощение аммиака, мг-экв/г
Осоковый торф ($R = 20\%$)	580	110,0	16,5	2,8
То же + щавелевая кислота, M1 : 5, pH 2,5	610	198,0	18,6	3,5
То же + щавелевая кислота, M1 : 2,5, pH 2,5	618	194,0	18,0	3,5
То же + щавелевая кислота, M1 : 5, pH 4,1	615	192,0	18,7	3,2
То же + щавелевая кислота, M1 : 2,5, pH 4,1	613	188,0	17,9	3,2
То же + лимонная кислота, M1 : 5, pH 2,7	610	182,0	18,4	3,2
То же + лимонная кислота, M1 : 2,5, pH 2,7	608	178,0	18,3	3,1
То же + лимонная кислота, M1 : 5, pH 4,4	609	172,0	17,4	3,0
То же + лимонная кислота, M1 : 2,5, pH 4,4	605	176,0	17,6	2,9

Таблица 5. Спектральные параметры сорбентов на основе пушицевого торфа с добавкой H₃PO₄

Композиция	Относительные оптические плотности			
	$\frac{D_{1715}^{\nu C=O_{\text{кислот}}}}{D_{1615}^{\nu C=C_{\text{сопр}}}}$	$\frac{D_{1715}^{\nu C=O_{\text{кислот}}}}{D_{1510}^{\nu C=C_{\text{аромат}}}}$	$\frac{D_{1615}^{\nu C=C_{\text{сопр}}}}{D_{1510}^{\nu C=C_{\text{аромат}}}}$	$\frac{D_{1060}^{\nu C-O_{\text{углев}}}}{D_{1510}^{\nu C=C_{\text{аромат}}}}$
	0,93	1,55	1,67	1,79
Торф исходный	0,94	1,28	1,37	1,53
То же + H ₃ PO ₄ , M1 : 5, pH 2,15	0,97	1,23	1,27	1,35
То же + H ₃ PO ₄ , M1 : 5, pH 3,85	0,93	1,22	1,32	1,46
То же + H ₃ PO ₄ , M1 : 2,5, pH 3,85	0,96	1,18	1,20	1,28

Таблица 6. Влияние сорбции аммиака на спектральные параметры сорбентов на основе пушицевого торфа с добавкой H₃PO₄

Композиция	Относительные оптические плотности			
	$\frac{D_{1700}^{\nu C=O_{\text{кислот}}}}{D_{1600}^{\nu COO^-}}$	$\frac{D_{1600}^{\nu COO^-}}{D_{1510}^{\nu C=C_{\text{аромат}}}}$	$\frac{D_{1400}^{\nu COO^-, NH_4^+}}{D_{1510}^{\nu C=C_{\text{аромат}}}}$	$\frac{D_{1400}^{\nu COO^-, NH_4^+}}{D_{1600}^{\nu C=C, COO^-}}$
	0,57	1,65	1,695	1,02
Исходный торф + NH ₃	0,575	1,58	1,69	1,07
То же + H ₃ PO ₄ , M1 : 5, pH-2,15 + NH ₃	0,68	1,42	1,42	1,00
То же + H ₃ PO ₄ , M1 : 5, pH-3,85 + NH ₃	0,67	1,41	1,395	0,99
То же + H ₃ PO ₄ , M1 : 2,5, pH-3,85 + NH ₃	0,73	1,31	1,30	0,99

В ИК-спектрах вышеуказанных образцов торфа после сорбции аммиака практически полностью исчезает полоса свободных карбоксильных групп и появляются характерные полосы поглощения карбоксилат-ионных (1600 и 1400 см⁻¹) и аммонийных (1410 см⁻¹) групп (табл. 6, рис. 2). Таким образом, сорбция аммиака протекает по механизму, установленному ранее [1].

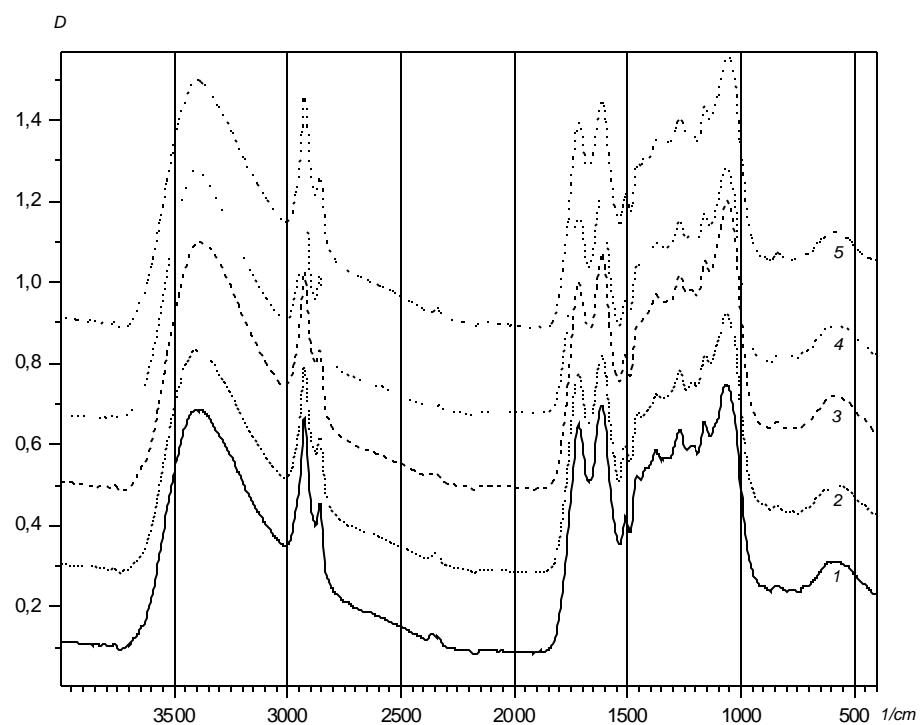


Рис. 1. ИК-спектры пущевого торфа исходного (1) и с добавкой H_3PO_4 :
2 – М 1 : 5, pH 2,15; 3 – М 1 : 5, pH 3,85; 4 – М 1 : 2,5, pH 2,15; 5 – М 1 : 2,5, pH 3,85

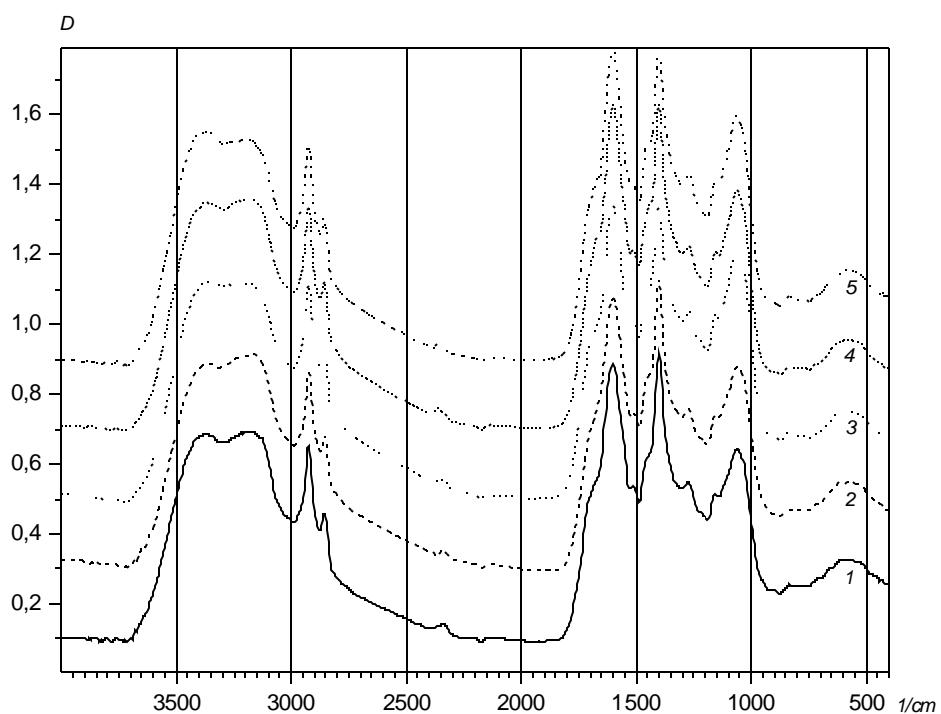


Рис. 2. ИК-спектры пущевого торфа исходного (1) и с добавкой H_3PO_4 : 2 – М 1 : 5, pH 2,15;
3 – М 1 : 5, pH 3,85; 4 – М 1 : 2,5, pH 2,15; 5 – М 1 : 2,5, pH 3,85 после сорбции аммиака

Таблица 7. Влияние сорбции аммиака на спектры ЭПР препаратов пущицевого торфа

Образец	АТТ*	$\Delta H_{0,1}$ мВт, Гс	ΔH_{50} мВт, Гс	g-фактор, 0,1 мВт	g-фактор, 50 мВт	$I, 10^{17}$ сп/г	A/A_0^{**}	Fe ³⁺			
								g=4		g=2	
								$\Delta H, \text{Гс}$	$I, 10^6$	$\Delta H, \text{Гс}$	$I, 10^8$
Исходный торф	46	4,0	4,0	2,0032	2,0028	6,0	4,87	80	0,4	Не регистрируется	
То же + NH ₃	46,5	5,6	7,3	2,0039	2,0032	10,83	2,99	80	0,4	>>	
Торф + лимонная кислота, M 1 : 2,5, pH 2,7	43,5	4,0	4,3	2,0037	2,0036	7,1	3,33	80	0,3	>>	
То же + NH ₃	44	5,5	6,4	2,0038	2,0047	11,2	2,16	80	0,3	>>	
Торф + H ₃ PO ₄ , M 1 : 5, pH 2,15	42	4,0	4,8	2,0037	2,0038	7,66	2,96	80	0,3	>>	
То же + NH ₃	44	6,3	7,2	2,0036	2,0039	17,13	3,34	80	0,3	>>	
То же + H ₃ PO ₄ , M 1 : 5, pH 3,85	43,5	3,7	4,8	2,0032	2,0036	6,0	3,20	80	0,4	>>	
То же + NH ₃	43,5	5,6	6,6	2,0036	2,0043	12,93	3,43	80	0,3	>>	
То же + H ₃ PO ₄ , M 1 : 2,5, pH 2,15	39	3,8	5,6	2,0033	2,0038	6,2	2,50	80	0,3	>>	
То же + NH ₃	46,5	5,6	6,6	2,0036	2,0038	11,9	3,22	80	0,4	>>	
То же + H ₃ PO ₄ , M 1 : 2,5, pH 3,85	43,5	4,0	4,8	2,0039	2,0038	6,1	2,74	80	0,4	>>	
То же + NH ₃	42	5,8	7,3	2,0036	2,0038	13,2	2,88	80	0,3	>>	
Торф + щавелевая кислота, M 1 : 2,5, pH 2,5	45	3,9	5,0	2,0039	2,0044	7,84	2,84	80	0,3	>>	
То же + NH ₃	46	5,3	5,4	2,0033	2,0036	15,2	2,81	80	0,4	>>	

*АТТ – показание аттенюатора СВЧ-тракта; ** A/A_0 – отношение амплитуд сигналов, снятых при 50 и 0,1 мВт.

Таблица 8. Влияние сорбции аммиака на спектры ЭПР препаратов осокового торфа

Образец	АТТ	$\Delta H_{0,1}$ мВт, Гс	ΔH_{50} мВт, Гс	g-фактор, 0,1 мВт	g-фактор, 50 мВт	$I, 10^{17}$ сп/г	A/A_0^{**}	Fe ³⁺			
								g=4		g=2	
								$\Delta H, \text{Гс}$	$I, 10^6$	$\Delta H, \text{Гс}$	$I, 10^8$
Исходный торф	46	6,8	7,0	2,0035	2,0036	3,1	4,87	80	0,4	950	1,15
То же + NH ₃	46,5	7,0	8,5	2,0036	2,0038	6,1	5,63	110	1,9	900	1,13
Торф + лимонная кислота, M 1 : 2,5, pH 2,7	40	6,4	8,0	2,0039	2,0040	5,1	4,59	110	2,2	635	0,68
То же + NH ₃	47	7,2	7,6	2,0040	2,0038	9,4	5,60	110	2,7	640	0,67
То же + H ₃ PO ₄ , M 1 : 5, pH 2,15	42	6,2	6,3	2,0038	2,0035	2,7	5,83	110	1,9	670	0,75
То же + NH ₃	46	7,1	9,0	2,0041	2,0036	5,5	6,72	110	2,1	690	0,73
То же + H ₃ PO ₄ , M 1 : 5, pH 3,85	45,5	6,6	7,2	2,0037	2,0040	2,8	5,32	110	2,3	660	0,73
То же + NH ₃	47	7,1	7,4	2,0040	2,0035	5,6	5,45	110	2,6	710	0,68
То же + H ₃ PO ₄ , M 1 : 2,5, pH 2,15	39,5	6,9	7,3	2,0038	2,0037	3,2	4,37	110	2,4	680	0,70
То же + NH ₃	46,5	7,0	8,5	2,0036	2,0038	6,1	5,63	110	2,4	660	0,75
То же + H ₃ PO ₄ , M 1 : 2,5, pH 3,85	42,5	6,6	7,2	2,0040	2,0040	2,8	5,08	110	1,7	810	0,83
То же + NH ₃	46,5	7,2	8,5	2,0040	2,0041	5,5	5,63	110	1,9	690	0,82
Торф + щавелевая кислота, M 1 : 2,5, pH 2,5	43	5,8	6,3	2,0036	2,0039	5,7	4,23	110	1,6	700	0,74
То же + NH ₃	47	7,1	7,8	2,0038	2,0039	6,6	5,62	110	1,7	715	0,95

В работах [3, 6, 7] установлено, что метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) позволяет извлекать существенную информацию о механизмах взаимодействия газообразного аммиака с торфом.

Методика регистрации и обработки спектров ЭПР приведена в [4]. Параметры спектров ЭПР исходных образцов типичны для верхового и низинного типов торфа [4] – пушицевого и осокового соответственно (табл. 7, 8). Низкая интенсивность сигнала ЭПР последнего обусловлена его меньшей степенью разложения. Большая ширина и меньшая степень насыщения сигнала ЭПР СВЧ-мощностью (высокое значение параметра A/A_0) обусловлены значительным содержанием азота в ароматических системах полисопряжения низинных типов торфа [4].

В осоковом торфе, помимо узкого сигнала органических парамагнитных центров (ПМЦ), регистрируется и размытый спектр соединений Fe^{3+} , что также типично для низинного типа торфа [4].

Сравнительно узкий сигнал в низких полях ($\Delta H \sim 100$ Гс, $g = 4$) обусловлен соединениями железа с сугубо ионной формой связи, широкий же ($\Delta H = 600\text{--}900$ Гс) в области $g \sim 2$ – соединениями железа с ковалентной формой связи, кластерами ионов. Первый обязан ионам Fe^{3+} , связанным с карбоксильными группами органического вещества торфа. Широкий сигнал объясняется как координационными формами связи Fe^{3+} с органическим веществом торфа, так и минеральными примесями. Наличие магнитных соединений железа является дополнительным фактором, объясняющим слабое насыщение сигнала органических ПМЦ в образцах осокового торфа (высокое значение параметра A/A_0). Заметим, что в случае использованного образца пушицевого торфа также регистрируется незначительное содержание ионов Fe^{3+} , связанных с карбоксильными группами, что, по-видимому, объясняет сравнительно слабое для случая верховых видов торфа снижение ЭПР СВЧ-мощностью.

Обработка аммиаком вследствие связывания его с ароматическими системами полисопряжения приводит к существенному увеличению сигнала ЭПР, сопровождаемому его уширением (особенно наглядным в случае пушицевого торфа), что свидетельствует об образовании новых ПМЦ, неспаренный электрон которых делокализован на атоме азота молекулы аммиака. [3]. Обращает на себя внимание одинаковые степень усиления сигнала ЭПР и поглотительная способ-

ность обоих типов торфа. Последнее не является тривиальным, поскольку поглотительная способность органогенных материалов объясняется в литературе исключительно их ионообменной емкостью [2, 5], а последняя в случае осокового торфа существенно ниже. Спектр же соединений Fe^{3+} при обработке аммиаком практически не затрагивается. Более того, в случае осокового торфа наблюдается даже некоторое усиление сигнала в низких полях ($g = 4$), обусловленное карбоксилат-ионами железа, что и приводит к ослаблению насыщения сигнала органических ПМЦ (повышение параметра A/A_0). Наряду с сохранением g -фактора это свидетельствует об отсутствии вытеснения кальция и железа ионами аммония.

Обработка органическими кислотами приводит к повышению g -фактора, что может быть объяснено частичной локализацией неспаренного электрона на атомах кислорода кислотного остатка. Предварительная обработка использованными органическими кислотами приводит к повышению концентрации органических ПМЦ в аммонизированных образцах торфа. Наблюдается также ослабление и сужение спектра ковалентно связанного железа ($g \sim 2$).

При работе с образцами торфа, обработанными кислотами, имеет место небольшое, но достоверное падение добротности измерительного резонатора, что проявляется в необходимости повышения уровня СВЧ-мощности, подаваемой в резонатор, для сохранения тока СВЧ-детектора (уменьшение параметра Атт). Данное падение логично объясняется диэлектрическими потерями, вносимыми полярными молекулами кислот. Падение добротности больше в случае образцов, обработанных раствором с концентрацией 10^{-2} моль/л (рН 2,15). При последующей же обработке аммиаком добротность резонатора стремится вернуться к исходному состоянию, что логично объясняется реакцией нейтрализации.

Таким образом, можно сделать вывод, что обработка торфа органическими кислотами усиливает механизм сверхэквивалентной сорбции аммиака, обусловленный энергетически выгодным образованием его молекулами мостиковых водородных и донорно-акцепторных связей с полисопряженными молекулами [3]. Поглотительная способность полученных препаратов повышается также и вследствие дополнительного непосредственного взаимодействия аммиака с кислотными остатками.

Л и т е р а т у р а

1. Аширов А. Ионообменная очистка сточных вод, растворов и газов. Л., 1983.
2. Косандрович Е. Г., Солдатов В. С. Сорбция аммиака из воздуха волокнистым сульфокатионитом ФИБАН К-1 // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. наука. 2004. № 3. С. 95–98.
3. Лиштван И. И., Томсон А. Э., Великая Е. Н. и др. О механизмах сорбции газообразного аммиака торфом // Химия твердого топлива. 2006. № 3. С. 33–42.
4. Стригуцкий В. П., Бамбалов Н. Н., Смирнова В. В. Подобие структур ароматического ядра наивного гуминового комплекса и препаратов гуминовых кислот // Химия твердого топлива. 1996. № 6. С. 29–32.
5. Тишкович А. В. Теория и практика аммонизации торфа. Минск, 1972.
6. Томсон А. Э., Соколова Т. В., Стригуцкий В. П. и др. О механизмах поглощения газообразного аммиака композиционными материалами на основе торфа // Природопользование. Минск, 2005. Вып. 11. С. 180–185.
7. Томсон А. Э., Шункевич А. А., Великая Е. Н. и др. О природе сверхэквивалентного поглощения газообразного аммиака торфом // Успехи коллоидной химии и физико-химической механики: Тез. докл. II-ой Междунар. конф. «Коллоид-2003». Минск, 2003. С. 106.

Институт природопользования НАН Беларуси

**А. Э. Томсон, Т. В. Соколова, В. П. Стригуцкий,
С. В. Пармон, В. С. Пехтерева**

МЕХАНИЗМ ПОГЛОЩЕНИЯ АММИАКА МОДИФИЦИРОВАННЫМ ТОРФОМ

Выполнена модификация образцов торфа верхового (пушицевый) и низинного (осоковый) типов водными растворами кислот слабой и средней силы (лимонная, фосфорная и щавелевая) концентрации 10^{-2} и 10^{-4} моль/л при соотношении твердой фазы к жидкой 1 : 2,5 и 1 : 5. Установлено повышение сорбционной способности по отношению к аммиаку, насыпной плотности, прочности и водопоглощения. По данным ИК-спектроскопии структура органического вещества торфа не затрагивается. Модификация приводит к повышению интенсивности и g-фактора сигнала ЭПР. Для аммонизированных образцов торфа также наблюдается большая концентрация ПМЦ в случае предварительной их модификации. Следовательно, улучшение сорбционной способности обусловлено в основном усилением механизма сверхэквивалентной сорбции. Дополнительный вклад вносят и непосредственное взаимодействие молекул аммиака с кислотными остатками.

**A. E. Tomson, T. V. Sokolova, V. P. Strigutsky,
S. V. Parmon, V. S. Pekhtereva**

THE MECHANISM OF AMMONIA ABSORPTION BY THE MODIFIED PEAT

Updating of samples of raised (cotton-grass) and low-mire (sedge) peat types by water solutions of acids of weak and average power (lemon, phosphoric and oxalic) of concentration 10^{-2} and 10^{-4} mol/l has been carried out at a ratio of a solid phase to liquid 1 : 2,5 and 1 : 5. The increase of sorption ability in relation to ammonia, bulk density, durability and water absorption has been established. According to IR-spectroscopy the structure of organic substance of peat is not mentioned. The updating results in the increase of intensity and the g-factor of ESR signal has been found. For the ammoniated samples of peat big concentration of PMC in case of their preliminary updating also is observed. Hence, improvement of sorption ability is caused mainly by strengthening of the mechanism of super-equivalent sorption. An additional contribution is also brought by direct interaction of molecules of ammonia with acidic residues.

**И. В. Дребенкова, Т. Я. Царюк, В. П. Стригуцкий, С. В. Пармон,
И. П. Фалюшина, Л. Д. Шапорева**

МЕХАНИЗМ ПОВЫШЕНИЯ ЗАЩИТНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИРНЫХ КИСЛОТ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ МОЮЩЕ-ДИСПЕРГИРУЮЩИМИ ПРИСАДКАМИ

Представлены результаты исследований вытесняющей способности и защитной эффективности жирных кислот растительных масел и их композиций с присадками различного функционального назначения. Обоснован выбор наиболее приемлемых из этих присадок для повышения защитных свойств жирных кислот. Исследован механизм взаимодействия компонентов в защитных композициях.

Маслорастворимые ингибиторы коррозии представляют собой органические вещества, содержащие в молекуле углеводородный радикал и одну или несколько функциональных групп, основными из которых являются кислород-, азот-, серо-, фосфор- и серофосфорсодержащие группы [2, 5, 10, 15, 16]. Наиболее широкое применение в качестве ингибиторов коррозии находят кислородсодержащие органические соединения, в том числе и жирные кислоты. За рубежом для этих целей часто используют синтетические жирные кислоты (СЖК), объемы производства которых ежегодно сокращаются [3, 12]. В тоже время в последние десятилетия в мире наметилась тенденция получения маслорастворимых ингибиторов коррозии из альтернативных источников сырья, в частности на основе продуктов переработки растительных масел и животных жиров [6, 8, 11, 14].

Для установления возможности создания ингибитора коррозии на основе побочных продуктов масложировых производств исследованы жирные кислоты (ЖК) растительных масел. Поскольку в них преобладают ненасыщенные кислоты, они должны обладать повышенной защитной эффективностью, так как ингибиторы с двойными связями в углеводородных радикалах образуют на металле структуры мостикового типа, когда адсорбирующиеся молекулы фиксируются на металле двумя центрами – активной группой и двойной связью.

Оценку уровня вытесняющей способности и защитной эффективности ЖК проводили в

сравнении с товарными российскими ингибиторами АКОР-1, Мибол и СД-11.

Вытесняющие свойства исследуемых объектов оценивали по ГОСТ 9.054-75 на пластинах из стали 10 при воздействии 0,1 %-ного раствора бромистоводородной кислоты. Сущность метода заключается в определении площади коррозионного поражения, вызванного действием оставшейся после погружения стальной пластины в испытуемый раствор бромистоводородной кислоты.

Защитную эффективность определяли по ГОСТ 9.054-75 в сернистом ангидриде и электролите (искусственная морская вода). Испытания в сернистом ангидриде проводят циклами, которые состоят из двух частей: в первой части образцы подвергают воздействию сернистого ангидрида в концентрации 0,015 % объемных при температуре 40 ± 2 °С и относительной влажности воздуха 95–100 % в течение 7 ч; во второй – создают условия конденсации влаги на образцах их охлаждением путем выключения нагрева камеры. Продолжительность – 17 ч. Критериями оценки защитной эффективности служили время до появления первых признаков коррозии (ППК) и потеря массы стали после удаления продуктов коррозии.

В результате исследования защитной эффективности ЖК установлено (табл. 1), что введение их в концентрации 10 % приводит к повышению этой способности масла в сернистом ангидриде в 10, электролите – в 3,5 раза. Бромистоводородную кислоту с поверхности металла раствор ЖК вытесняет полностью.

Таблица 1. Защитные свойства ЖК и товарных маслорастворимых ингибиторов коррозии

Ингибитор в концентрации 10 % в И-20А	Камера сернистого ангидрида, 1 цикл, сталь 10		Электролит, 10 суток, сталь 10		Вытеснение HBr, площадь поражения, %
	ППК, цикл	Потеря массы, г/м ²	ППК, сутки	Потеря массы, г/м ²	
И-20А	0,05	46,7	0,08	16,9	85
ЖК	0,9	4,7	0,16	5,0	Отсутствует
Мибол	0,67	15,2	2,0	2,7	10,0
СД-11	0,93	3,4	10,0	1,0	0,5
АКОР-1	0,59	19,1	0,5	4,3	80,0

Оценка уровня функциональных свойств ЖК по сравнению с широко применяемыми в России ингибиторами АКОР-1, Мицпол и СД-11 показала, что при воздействии бромистоводородной кислоты ЖК являются более эффективными, в сернистом ангидриде они превосходят или находятся на уровне зарубежных товарных ингибиторов коррозии, однако в электролите уступают им, особенно СД-11.

Таким образом, возникла необходимость повышения защитной эффективности ЖК, которую, как известно, можно повысить созданием композиций с синергетическим усилением функциональных свойств. ОАО «Нафтан» производит присадки к минеральным маслам, химическая структура которых дает основание предположить их способность к адсорбционно-хемосорбционному взаимодействию с поверхностью металла и рассматривать эти присадки в качестве компонентов защитных композиций. При разработке комбинированных ингибиторов коррозии путем сочетания ПАВ различного химического строения возможно и межмолекулярное, и химическое взаимодействие, приводящее к образованию новых продуктов, обладающих большей, чем исходные компоненты, ингибирующей эффективностью.

В связи с вышеизложенным целью настоящей работы является исследование возмож-

ности повышения защитных свойств ЖК путем сочетания с товарными присадками различного типа для минеральных масел и установление механизма их взаимодействия.

В результате анализа химической структуры и функциональных свойств товарных присадок для минеральных масел различного функционального назначения ОАО «Нафтан» показано, что для этой цели могут быть использованы сукцинимидная присадка С-5А и алкилфенольные присадки АФ, ВНИИ НП-354, ВНИИ НЦ-357 и ВНИИ НП-714.

Для оценки возможности модификации ЖК этими присадками и установления оптимальных соотношений компонентов проведены испытания вытесняющей способности и защитных свойств их изопроцентных композиций в суммарной концентрации 10 % в масле И-20А.

Сукцинимидная беззольная присадка С-5А является имидопроизводным янтарной кислоты и представляет собой 40–50 %-ный концентрат алкилсукцинимида в масле и непрореагированном полибутилене. Исследованием вытесняющих свойств композиций ЖК с присадкой С-5А установлено, что композиции, содержащие до 4 % С-5А, полностью вытесняют бромистоводородную кислоту, дальнейшее увеличение концентрации присадки приводит к падению этой способности (табл. 2).

Таблица 2. Вытесняющие и защитные свойства изопроцентных композиций ЖК и присадки С-5А

Соотношение ЖК : С-5А в И-20А, %	Сернистый ангидрид, 1 цикл		Электролит, 10 суток		Вытеснение НВр, площадь поражения, %
	ППК, цикл	Потеря массы, г/м ²	ППК, сутки	Потеря массы, г/м ²	
И-20А	0,05	46,7	0,08	13,2	85,0
10 : 0	0,90	4,7	0,15	4,7	Отсутствует
8 : 2	0,69	14,7	0,15	5,7	«
6 : 4	0,64	16,7	0,15	4,7	«
4 : 6	0,62	17,9	0,15	4,3	5,0
2 : 8	0,72	19,9	0,15	2,6	10,0
0 : 10	0,30	32,8	0,2	6,9	45,0

Характер изменения защитных свойств исследованных композиций зависит от типа коррозионной среды. Так, при воздействии сернистого ангидрида защитная эффективность композиций снижается с увеличением концентрации присадки С-5А, в электролите происходит некоторое ее повышение при соотношении ЖК : С-5А = 2 : 8.

Алкилфенол (АФ) представляет собой 40–50 %-ную смесь гомологов фенола орто- и пара-ориентации в минеральном масле, получаемую алкилированием фенола изобутиленом, хлорпарафином и др. Оценкой вытесняющей способности композиций ЖК с присадкой АФ показано, что введение даже 4 % ЖК обеспечивает полное вытеснение бромистоводородной кислоты с поверхности металла (табл. 3). Защитная эффективность исследуемых композиций при

воздействии сернистого ангидрида и электролита характеризуется линейными зависимостями: при повышении содержания присадки АФ защитные свойства в исследуемых средах снижаются.

Присадка ВНИИ НП-354 представляет собой раствор диалкилдифенилдитиофосфата цинка в масле. Исследованием вытесняющих свойств изопроцентных композиций ЖК с присадкой ВНИИ НП-354 установлено, что они обладают высокой способностью к вытеснению бромистоводородной кислоты (табл. 4). Во всех соотношениях, за исключением 10 % ВНИИ НП-354, кислота вытесняется полностью. Защитные свойства исследуемых композиций в условиях воздействия сернистого ангидрида и электролита характеризуются экстремальными зависимостями. В сернистом ангидриде синергизм защитных свойств максимально проявляется при соотно-

шении % ЖК : ВНИИ НП-354 = 4 : 6, в электролите – 6 : 4.

Присадка ВНИИ НЦ-357 изготавливается путем взаимодействия диалкилдитиофосфорной кислоты с оксидом цинка с последующей нейтрализацией диэтилентриамином. В результате исследования вытесняющей способности изопроцентных композиций ЖК с присадкой ВНИИ

НЦ-357 показано, что при их соотношениях соответственно % 10 : 0 и 8 : 2 этот показатель имеет самый высокий уровень (табл. 5). Испытаниями защитных свойств данных композиций установлено, что оптимальным соотношением в сернистом ангидриде является % ЖК : ВНИИ НЦ-357 = 8 : 2, электролите – ЖК : ВНИИ НЦ-357 = 4 : 6.

Таблица 3. Вытесняющие и защитные свойства изопроцентных композиций ЖК и присадки АФ

Соотношение ЖК : АФ в И-20А, %	Сернистый ангидрид, 1 цикл		Электролит, 10 суток		Вытеснение HBr, площадь поражения, %
	ППК, цикл	Потеря массы, г/м ²	ППК, сутки	Потеря массы, г/м ²	
И-20А	0,05	46,7	0,08	13,5	85,0
10 : 0	0,90	4,7	0,15	5,0	Отсутствует
8 : 2	0,90	4,7	0,15	5,5	«
6 : 4	0,89	5,1	0,15	6,0	«
4 : 6	0,94	8,1	0,13	6,9	«
2 : 8	0,82	17,5	0,13	7,7	0,5
0 : 10	0,37	29,2	0,13	8,8	55,0

**Таблица 4. Вытесняющие и защитные свойства изопроцентных композиций ЖК
и присадки ВНИИ НП-354**

Соотношение ЖК : ВНИИ НП-354 в И-20А, %	Сернистый ангидрид, 1 цикл		Электролит, 10 суток		Вытеснение HBr, площадь поражения, %
	ППК, цикл	Потеря массы, г/м ²	ППК, сутки	Потеря массы, г/м ²	
И-20А	0,05	46,7	0,08	13,5	85,0
10 : 0	0,90	5,0	0,15	5,0	Отсутствует
8 : 2	0,90	4,9	0,15	1,1	«
6 : 4	0,93	3,5	1,0	0,1	«
4 : 6	0,94	3,0	1,0	0,2	«
2 : 8	0,76	11,0	1,0	0,2	«
0 : 10	0,54	21,3	1,0	0,4	1,0

**Таблица 5. Вытесняющие и защитные свойства изопроцентных композиций ЖК
и присадки ВНИИ НЦ-357**

Соотношение ЖК : ВНИИ НЦ-357 в И-20А, %	Сернистый ангидрид, 1 цикл		Электролит, 10 суток		Вытеснение HBr, площадь поражения, %
	ППК, цикл	Потеря массы, г/м ²	ППК, сутки	Потеря массы, г/м ²	
И-20А	0,05	46,7	0,08	13,5	85,0
10 : 0	0,90	5,0	0,15	5,0	Отсутствует
8 : 2	0,90	4,5	0,15	1,8	«
6 : 4	0,87	5,9	0,15	1,0	0,2
4 : 6	0,87	5,9	0,15	0,6	0,5
2 : 8	0,74	12,0	0,15	1,3	2,0
0 : 10	0,33	31,1	0,15	2,8	5,0

Присадка ВНИИ НП-714 изготавливается путем осернения АФ, нейтрализации и карбонатации сульфодиалкилфенолята кальция с последующей очисткой от механических примесей и отгонкой растворителя и летучих компонентов. Оценкой вытесняющей способности изопроцентных композиций ЖК и присадки ВНИИ НП-714 установлено, что с увеличением содержания ЖК происходит рост такой способности и при 8 % и более обеспечивается полное вытеснение бромистоводородной кислоты (табл. 6). Показано, что при воздействии сернистого ангидрида изменения

защитных свойств исследуемых композиций от их соотношения характеризуются линейной зависимостью. Наиболее эффективна композиция, содержащая 10 % ЖК. В среде электролита зависимость защитных свойств от соотношения компонентов носит экстремальный характер с максимальным проявлением этой способности при соотношении % ЖК : ВНИИ НП-714 = 6 : 4.

Механизм синергетического усиления функциональных свойств защитных композиций на основе ЖК был исследован методами ИК- и ЭПР-спектроскопии [13].

Исследование молекулярных спектров изучаемых компонентов и их композиций проводилось с использованием спектрофотометрического комплекса на основе спектрофотометра «Spectord M-80» и ПЭВМ IBM. Программное обеспечение позволяло собрать данные, провести первичную обработку, архивацию. С целью выявления процессов, протекающих при смешении исследуемых компонентов, производилась симуляция спектров смесей для случая отсутствия какого-либо взаимодействия между ними и их последующее сравнение с экспериментально полученными спектрами.

В связи с тем, что процентное содержание масла в композициях составляет 90 %, в спек-

трах наблюдаются очень сильные полосы углеводородов: 1460–1450, 1370, 725 cm^{-1} , соответствующие деформационным колебаниям алифатических CH_2 - и CH_3 -групп.

Полоса поглощения свободных карбоксильных групп при 1712 cm^{-1} , как наиболее реакционно-способных в данных объектах, представляет особый интерес. По мере увеличения содержания присадки ВНИИ НП-354 и ВНИИ НЦ-357 интенсивность этой полосы уменьшается в соответствии с процентным содержанием ЖК. Графики зависимости оптической плотности полосы поглощения карбоксильных групп (1712 cm^{-1}) от содержания ЖК в композиции представлены на рис. 1, 2.

Таблица 6. Вытесняющие и защитные свойства изопроцентных композиций ЖК и присадки ВНИИ НП-714

Соотношение ЖК : ВНИИ НП-714 в И-20А, %	Сернистый ангидрид, 1 цикл		Электролит, 10 суток		Вытеснение НВр, площадь поражения, %
	ППК, цикл	Потеря массы, g/m^2	ППК, сутки	Потеря массы, g/m^2	
И-20А	0,05	46,7	0,08	13,5	85,0
10 : 0	0,90	5,0	0,15	5,0	Отсутствует
8 : 2	0,88	5,7	0,15	4,4	«
6 : 4	0,80	9,3	0,15	4,0	1,0
4 : 6	0,78	10,2	0,15	4,5	1,5
2 : 8	0,52	22,5	0,10	7,8	3,0
0 : 10	0,16	39,2	0,10	7,9	20,0

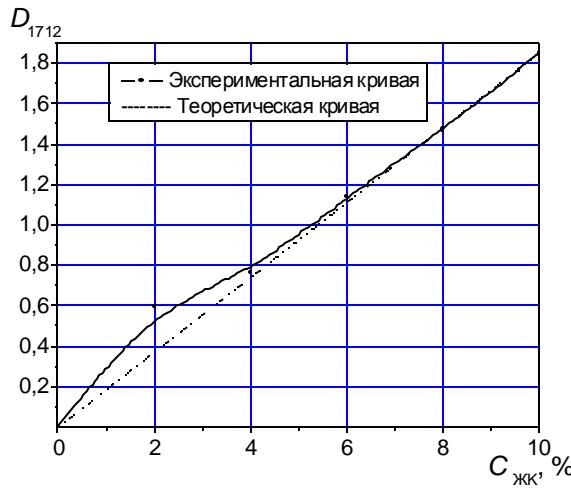


Рис. 1. Зависимость оптической плотности полосы поглощения свободных карбоксильных групп ($D_{1712\text{cm}^{-1}}$) от содержания ЖК ($C_{\text{ЖК}}$) в композиции с присадкой ВНИИ НП-354

Кривая, построенная по экспериментальным точкам, близка к линейной зависимости. Данное обстоятельство свидетельствует о том, что между компонентами композиций не происходит химических взаимодействий.

В ИК-спектрах изопроцентных смесей ЖК с присадкой ВНИИ НП-714 в масле И-20А наблю-

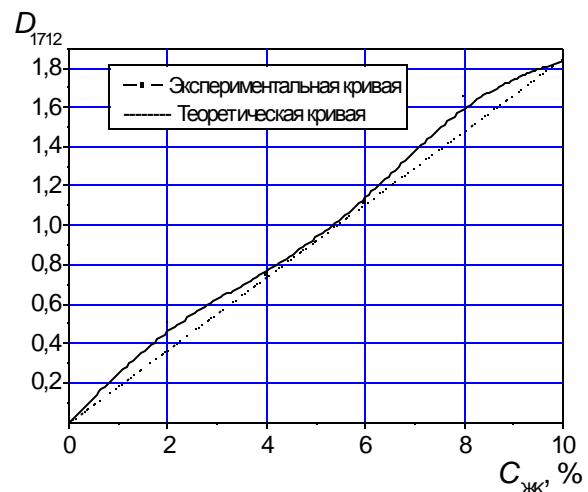


Рис. 2. Зависимость оптической плотности полосы поглощения свободных карбоксильных групп ($D_{1712\text{cm}^{-1}}$) от содержания ЖК ($C_{\text{ЖК}}$) в композиции с присадкой ВНИИ НЦ-357

дается определенное изменение в поглощении карбоксильных групп при 1712 cm^{-1} ЖК, а также в динамике уменьшения оптической плотности данной полосы. Так, в смесях с содержанием ЖК 2 и 4 % D_{1712} имеет аномально низкие значения 0,1 и 0,13 соответственно.

Вид экспериментальной кривой зависимости D_{1712} от содержания ЖК в композиции с присадкой ВНИИ НП-714 (рис. 3) свидетельствует о том, что между ЖК и присадкой происходит химическое взаимодействие, в результате которого свободные карбоксильные группы приобретают ионизированную форму (полоса в области 1600–1550 cm^{-1}).

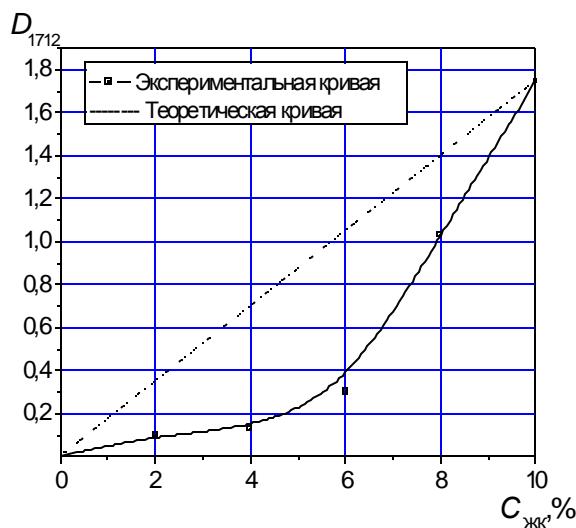


Рис. 3. Зависимость оптической плотности полосы поглощения свободных карбоксильных групп ($D_{1712\text{cm}^{-1}}$) от содержания ЖК ($C_{\text{ЖК}}$) в композиции с присадкой ВНИИ НП-714

В композицию, содержащую присадки ВНИИ НП-354 с С-5А, входят компоненты, не обладающие ярко выраженной поглощающей способностью в области 1710 cm^{-1} , соответствующей свободным карбоксильным группам. Полосы средней и слабой интенсивности при 1200–1170, 1020, 950–930, 840–810 cm^{-1} соответствуют поглощению функциональных тио- и фосфо-групп компонента ВНИИ НП-354, и их интенсивности в изопроцентных композициях изменяются (уменьшаются) в зависимости от процентного содержания, т.е., для этой композиции также характерно отсутствие химического взаимодействия между компонентами.

Регистрация спектров ЭПР осуществлялась на серийном радиоспектрометре РЭ-1301, снабженном источником повышенной СВЧ-мощности ($P = 50 \text{ мВт}$), при комнатной температуре в атмосфере воздуха. С целью избежать насыщения сигналов органических парамагнитных центров (ПМЦ) СВЧ-мощностью, их параметры определялись при $P_{\text{СВЧ}} = 0,1 \text{ мВт}$. Для получения более глубокой информации использовались также высокие уровни СВЧ-мощности [9]. Степень насыщения определялась по параметру A/A_0 , представляющему собой отношение амплитуд сигналов, снятых при $P = 50$ и $0,1 \text{ мВт}$ соответственно.

Большой степени насыщения соответствует меньшее значение параметра A/A_0 , для ненасыщающегося сигнала $A/A_0 \sim 15$. Спектры ЭПР анализируемых образцов записывались одновременно с эталонным образцом на основе порошка MgO, содержащего микропримеси ионов Mn^{2+} и Cr^{3+} , разработанном в ИПИПРЭ НАН Беларусь [1]. Это позволило повысить точность определения параметров сигнала ЭПР и контролировать уровень СВЧ-мощности в рабочем резонаторе прибора.

Научным обоснованием использования ЭПР-спектроскопии для исследования синергетического эффекта являются результаты по природе парамагнетизма битумных систем, полученные в [9]. В ней установлено, что парамагнетизм обусловлен не примесными центрами той или иной природы, а объясняется особенностями данных систем как образований в целом. При этом принципиальную роль играет синергетический эффект взаимодействия ароматических структур и водородных связей, обязанных функциональным группам. Явление синергизма оценивалось по изменению интенсивности и параметров сигнала ЭПР: ширине ΔH , положению по полю (g -фактор) и A/A_0 при растворении составляющих компонентов и отклонению вышеуказанных параметров в спектрах ЭПР композиций от закона аддитивности.

Отсутствие парамагнитного поглощения в масле И-20А объясняется его низкой молекулярной массой и высокой молекулярной подвижностью [27]. Очевидно, что именно данное обстоятельство позволяет применить метод ЭПР для исследования композиций маслорастворимых ПАВ.

В присадках С-5А, ВНИИ НП-354 и ВНИИ НЦ-357 сигнал ЭПР не регистрируется, что объясняется отсутствием или низким содержанием ароматических фрагментов.

Нетривиальным представляется наличие сигнала ЭПР в АФ вследствие отсутствия в нем классических молекулярных фрагментов полисопряжения (в собственно феноле сигнал не регистрируется). Полученный результат объясняется синергетическим эффектом взаимодействия одиночных ароматических колец и водородных связей, придающим АФ свойства полимеров с развитой системой сопряжения [9]. Однако низкий уровень парамагнетизма АФ не позволяет наблюдать его сигнал ЭПР в растворе масла.

Несмотря на отсутствие классических систем молекулярного полисопряжения присадка ВНИИ НП-714 характеризуется наличием довольно интенсивного сигнала ЭПР с параметрами, типичными для С-формы полимеров с развитой системой сопряжения связей [7]. Сильное насыщение сигнала ЭПР (низкое значение параметра A/A_0) наряду с высокой концентрацией парамагнитных центров (ПМЦ) свидетельствует о

жесткости коллоидных структур присадки ВНИИ НП-714.

Растворение приводит к классическому ослаблению насыщения сигнала СВЧ-мощностью (повышение значения параметра A/A_0) (табл. 7), что обусловлено соударениями коллоидных частиц присадки с молекулами растворителя. Но при этом неожиданным является повышение концентрации ПМЦ в 2,5 раза (в пересчете на присадку

ВНИИ НП-714). Ассиметрическая форма сигнала, обусловленная аксиальной анизотропией g -фактора, указывает на перестройку коллоидных частиц присадки. По-видимому, растворение создает стерически благоприятные условия для сближения фенольных фрагментов с последующим формированием «паркетных» структур [4]. Не исключено, что в данном случае образуются и своеобразные комплексы с молекулами растворителя.

Таблица 7. Параметры спектров ЭПР изопроцентных композиций ВНИИ НП-714 и ЖК

Образец	$\Delta H_{0,1\text{мВт}}$, Гс	$\Delta H_{50\text{мВт}}$, Гс	$g_{0,1\text{мВт}}$	$g_{50\text{мВт}}$	$N_{\text{эксп}}, 10^{16}\text{сп/г}$	$N_{\text{теор}}, 10^{16}\text{сп/г}$	A/A_0^*	$K=N_{\text{эксп}}/N_{\text{теор}}$
ВНИИ НП-714	6,6	6,6	2,0049	2,0048	27,6	27,6	2,89	1,0
ЖК	Сигнал отсутствует							
Изопроцентные смеси в масле И-20А								
10 % ВНИИ НП-714	6,9	6,1	2,0049	2,0050	7,3	7,3	5,25	1,0
8 % ВНИИ НП-714 + 2 % ЖК	6,3	6,0	2,0046	2,0044	2,7	5,8	10,16	0,58
6 % ВНИИ НП-714 + 4 % ЖК	6,0	—	2,0049	—	1,9	4,4	—	0,43
4 % ВНИИ НП-714 + 6 % ЖК	—	—	—	—	Меньше 0,4	2,9	—	Меньше 0,15
2 % ВНИИ НП-714 + 8 % ЖК	—	—	—	—	«	1,5	—	«
10 % ЖК	Сигнал отсутствует							

* A/A_0 – отношение амплитуд сигналов, снятых при 50 и 0,1 мВт

Ослабление сигнала ЭПР в композициях указывает на взаимодействие ЖК с ионами кальция, приводящее к разрушению коллоидных структур присадки ВНИИ НП-714. При одинаковом весовом содержании ВНИИ НП-714 и ЖК наблюдается исчезновение сигнала ЭПР.

Существенное повышение уровня paramagnetизма присадки ВНИИ НП-714 при растворении свидетельствует о ее взаимодействии со структурными элементами масла И-20А с образованием жестких коллоидных систем, что и объясняет низкую защитную эффективность данной присадки по сравнению с ЖК.

Ослабление сигнала ЭПР при введении ЖК указывает на разрушение вышеупомянутых коллоидных систем вследствие удаления из них связующих ионов Ca^{2+} . Повышение лабильности приводит и к улучшению защитных свойств.

С точки зрения ЭПР-спектроскопии экстремальным представляется соотношение % ЖК : ВНИИ НП-714 = 6 : 4, при котором происходит исчезновение ПМЦ. Для данной композиции наблюдаются и наилучшие защитные свойства в среде электролита. Полученный результат можно объяснить высокой лабильностью образовав-

шихся структур и максимальным содержанием кальциевых солей ЖК.

Методами ИК- и ЭПР-спектроскопии установлено, что механизм синергизма защитных свойств композиции ЖК с присадкой ВНИИ НП-714 объясняется химическим взаимодействием карбоксильных групп ЖК с карбонатным ядром присадки ВНИИ НП-714. В композициях ЖК с присадками ВНИИ НП-354 и ВНИИ НЦ-357 имеет место межмолекулярное взаимодействие, приводящее к образованию лабильных ассоциатов, обладающих повышенной способностью к адсорционно-хемосорбционному взаимодействию с поверхностью металла.

Таким образом, на основе анализа проведенных исследований установлено, что в качестве модификаторов ЖК нецелесообразно использование присадок С-5А и АФ, так как синергетического усиления защитной эффективности не происходит. Показано, что при введении в разрабатываемые композиции присадок ВНИИ НП-354, ВНИИ НЦ-357 и ВНИИ НП-714 наблюдается синергизм вытесняющих и защитных свойств. Оптимальными композициями являются: ЖК : ВНИИ НП-354 = 4 : 6, 6 : 4; ЖК : ВНИИ НЦ-357 = 4 : 6, 6 : 4; ЖК : ВНИИ НП-714 = 6 : 4.

Л и т е р а т у р а

1. А. с. 1228001. Индикатор для ЭПР-спектроскопии / А. А. Митько, Ю. Ю. Навоша, А. В. Папков и др. Опубл. 1986. Бюл. № 16.
2. Вигдорович В. И., Насыпайко И. Г., Прохоренков В. Д. Антикоррозионные консервационные материалы. М., 1987.
3. Вигдорович В. И., Таныгина Е. Д., Соловьевна Н. Е. Защитная эффективность и адсорбционная способность амида олеиновой кислоты в композициях на базе неполярных растворителей // Практика противокоррозионной защиты. 2004. № 2. С. 52–58.

4. Кожушнер М. А., Любченко Л. С., Черкашин М. И. О собственном парамагнетизме полимеров с сопряженными связями // Докл. АН СССР. 1987. Т.294, № 6. С. 1404–1407.
5. Королев Ю. В., Путилов В. Е. Защита оборудования от коррозии. Л., 1973.
6. Кулиев Р. Ш., Кулиев Ф. А., Муталибова А. А., Кулиева С. Р. Улучшение антакоррозионных и антиокислительных свойств растительных масел // Химия и техн. топлив и масел. 2006. № 1. С. 41–43.
7. Лиогонький Б. И., Лиштван И. И., Любченко Л. С. и др. Роль непарамагнитных ионов металлов в формировании парамагнетизма полисопряженных структур ПАВ // Докл. АН СССР. 1986. Т. 288, № 6. С. 1411–1415.
8. Martinez-Palou R. Evaluation of corrosion inhibitors synthesized from fatty acids and fatty alcohols isolated from sugar cane wax / R. Martinez-Palou, J. Rivera, L.G. Zepeda // Corrosion. 2004. V. 60, № 5. С. 465–470.
9. Прохоров С. Г. Научные и прикладные аспекты ЭПР-спектроскопии битумов. Дис ... канд. техн. наук. Минск, 1997.
10. Процишин В. Т., Евтушенко В. В., Микитенко В. С., Ермаков О. М. Новые маслорастворимые ингибиторы коррозии и консервационные масла на их основе // Нафт. и газ. пром-сть. 2003. № 3. С. 63–64.
11. Савченко О. Н., Сизая О. И. Использование растительных масел в противокоррозионной защите стали // Экотехнологии и ресурсосбережение. 2004. № 4. С. 14–18.
12. Таныгина Е. Д., Вигдорович В. И., Щель Н. В., Ермакова Н. В. Полифункциональные свойства маслорастворимых добавок на базе полиэтиленполиамина и СЖК в условиях атмосферной коррозии // Вестн. Тамб. ун-та. 1999. № 1. С. 49–53.
13. Физико-химическая природа синергизма функциональных свойств защитных композиций на основе маслорастворимых ПАВ [Текст]: отчет о НИР (промеж.) / ИПИПРЭ НАН Беларусь; рук. И. И. Лиштван. Минск, 2000. № ГР. 200004151.
14. Фукс И. Г., Евдокимов А. Ю., Джамалов А. А. Экологические аспекты использования топлив и смазочных материалов растительного и животного происхождения // Химия и техн. топлив и масел. 1992. № 6. С. 36–40.
15. Шехтер Ю. Н. Защита металлов от коррозии (ингибиторы, масла и смазки). М.-Л., 1964.
16. Шехтер Ю. Н., Крейн С. Э., Калашников В. П. Маслорастворимые сульфонаты. М., 1963.

Институт природопользования НАН Беларусь

И. В. Дребенкова, Т. Я. Царюк, В. П. Стригуцкий, С. В. Пармон, И. П. Фалюшина, Л. Д. Шапорева

МЕХАНИЗМ ПОВЫШЕНИЯ ЗАЩИТНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИРНЫХ КИСЛОТ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ МОЮЩЕ-ДИСПЕРГИРУЮЩИМИ ПРИСАДКАМИ

В результате исследований вытесняющей способности и защитной эффективности ЖК растительных масел показано, что они обладают невысоким уровнем защиты в электролите, вследствие чего возникла необходимость ее повышения путем сочетания с товарными присадками различного функционального назначения. Изучен механизм взаимодействия компонентов в защитных композициях. Механизм синергизма защитных свойств композиции ЖК с присадкой ВНИИ НП-714 объясняется химическим взаимодействием карбоксильных групп ЖК с карбонатным ядром этой присадки. В композициях ЖК 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. Исследованием функциональных свойств изопроцентных композиций ЖК с присадками сукцинимидного и алкилфенольного типа установлено, что для модификации ЖК целесообразно использовать присадки ВНИИ НП-354, ВНИИ НЦ-357 и ВНИИ НП-714.

I. V. Drebenkova, T.Y. Tsaruk, V. P. Strigutsky, S. V. Parmon, I. P. Falushina, L. D. Shaporeva

THE MECHANISM OF INCREASE OF PROTECTIVE EFFICIENCY OF FAT ACIDS OF VEGETABLE OILS BY WASHING-DISPERGIZING ADDITIVES

As a result of researches of superseding ability and protective efficiency of FA of vegetable oils it has been shown, that they possess low level of protection in electrolyte, as a result there was a necessity of its increase by combining commodity additives of a various functional purpose. The mechanism of interaction of components in protective compositions has been studied. The synergism mechanism of protective properties of FA composition with the additive VNII NP-714 is explained by chemical interaction of carboxylic groups of FA with carbonate core of this additive. In FA compositions with additives VNII NP-354 and VNII NC-357 the intermolecular interaction leading to the formation of labile associates, possessing the raised ability to adsorption-hemo-sorption interaction with a metal surface takes place. By studying functional properties of iso-percentage of FA compositions with additives of succenimidic and alkyl-phenol type it has been found that to update FA it is expedient to use additives VNII NP-354, VNII NC-357 and VNII NP-714.

УДК 562.417:636

**И. И. Лиштван, А. М. Абрамец, Ю. Г. Янuta, Г. С. Монич,
Н. С. Глухова, В. Н. Алейникова**

ГУМИНОВЫЕ КИСЛОТЫ И ПРОЦЕССЫ ТРАНСФОРМАЦИИ СТРУКТУРЫ, ВОДНЫХ СВОЙСТВ ТОРФА, ТОРФЯНЫХ ПОЧВ ПРИ ИХ СУШКЕ –УВЛАЖНЕНИИ

Исследованы закономерности процессов трансформации структуры, водных свойств торфяных систем (ТС), а также переноса влаги в зависимости от содержания в них гуминовых кислот (ГК). Интерпретация экспериментальных результатов дана с позиций анализа содержания в ТС ГК.

В основе процессов трансформации структуры, водных свойств ТС при их дегидратации (сушке) или, наоборот, увлажнении, лежат преимущественно поверхностные явления, а именно: капиллярные силы, процессы межмолекулярного взаимодействия, смачивания, переноса влаги, ионов и др. Торф, торфяные почвы – системы композиционные, содержащие в основном гумифицированные растительные остатки, в которых, как правило, преобладают гуминовые вещества (ГВ), представляющие собой бесструктурные органические образования природного происхождения с широким спектром ионообменных центров, функциональных групп. ГК – базовые составляющие ГВ. Это означает, что, установив специфику механизма действия ГК на физико-химические свойства ТС, представляется возможным управлять свойствами последних [1].

В процессе сельскохозяйственного использования в пахотном горизонте торфяных почв ассоциаты торфа периодически подвергаются высушиванию – увлажнению, т. е. периодически формируют компактные структуры при высушивании (находясь на поверхности почвы), а затем периодически подвергаются деструкции при увлажнении (находясь в подпахотном горизонте). Подобная трансформация структуры ТС влечет деградацию торфяных почв, а значит, активирует их ветровую и водную эрозию, ухудшает агрофизикохимические характеристики и, прежде всего, водные свойства. Рациональное использование торфяных почв связано с разработкой мероприятий, минимизирующих минерализацию органического вещества торфа, т. е. снижающих сток CO_2 , других производных углерода в атмосферу, грунтовые воды, деградацию агроландшафтов в целом.

Перенос влаги в реологически сложных дисперсных материалах, к которым относятся и ТС, сопровождается изменением их структуры. Свойства формирующихся структур на основе влажного сырья в значительной мере определяются процессами структурообразования, протекающими в материале при обезвоживании. При

этом активно воздействовать на процессы структурообразования можно изменением как реологических свойств сырья, так и характеристик внутреннего влагопереноса, режима сушки [2, 3].

В качестве объектов исследования применялись верховой и низинный торф различной степени разложения, т. е. с разным содержанием ГК, а также торфянная почва разной продолжительности сельхозиспользования (под пропашными культурами).

Для исследования процессов структурообразования при обезвоживании (сушке) ТС использованы методы физического моделирования, реологии, агрофизикохимического анализа и др.

Рассмотрим тело, материал которого имеет влагосодержание U , а плотность его твердой фазы равна γ . Тогда в общем случае объем тела V_i , может быть записан в виде:

$$V_i|_T = \frac{m}{\gamma} + \frac{mU_i}{\rho_1} + V_{2i}, \quad (1)$$

где, m — масса твердой фазы, кг; ρ_1 — плотность воды, kg/m^3 ; V_{2i} — объем, занимаемый газом, m^3 ; T — температура, $^\circ\text{C}$; первый член характеризует объем, занимаемый твердой фазой; второй член характеризует объем, занимаемый влагой.

Действие капиллярных сил приводит к возникновению в каркасе пористого тела напряжений. Если они не превосходят предельного напряжения сдвига, то деформация является упругой и каждому значению капиллярного давления отвечает определенная равновесная деформация (усадка) материала. В случае, когда возникающие напряжения превосходят предельное напряжение сдвига, кроме упругой деформации появляется и пластическая, величина которой зависит от времени. Происходящая усадка материала, вызывая изменение размеров пор, влияет на величину капиллярного давления P_k . По этой причине ход усадки при высушивании зависит от особенностей пористой структуры, реологических свойств материала и скорости его обезвоживания. Используя различные модифицирующие соединения, можно изменять реологические свойства торфа, что позволяет управлять процессом

усадки вещества с целью получения структур с необходимыми характеристиками [1, 4].

Величину относительной деформации материала при снижении его влагосодержания характеризует коэффициент усадки $K_i = dV/dU_i V_i$ или $K_i = \beta \rho_1 / \rho_1$ ($\beta = dV/dV_1$ — коэффициент, численно равный изменению объема тела dV_1 при удалении из него объема влаги dV_1 ; $\rho_1 = m/V_1$ — плотность сухого вещества материала в единице объема влажного). Продифференцировав (1), после несложных преобразований получим:

$$K_{3i}|_T = \frac{\rho_1}{\rho_1} + \frac{dV_{2i}}{dU_i V_i} = \frac{\rho_1}{\rho_1} + K_{2i}. \quad (2)$$

Первый член соотношения (2) характеризует относительную деформацию материала, а второй — относительное изменение объема газовой фазы в нем при обезвоживании, т. е. K_{2i} .

В случае двухфазного состояния торфяной системы, когда $V_{2i} = 0$

$$K_{pi}|_T = \frac{\rho_1}{\rho_1} = (\frac{\rho_1}{\gamma} + U_i)^{-1}. \quad (3)$$

Уравнение (3) позволяет рассчитать коэффициент усадки материала K_{pi} в двухфазном состоянии при различном влагосодержании. Или, если представить (2) с учетом (3), то получим

$$K_{3i}|_T = K_{pi} + K_{2i}. \quad (4)$$

На рис. 1 изображены расчетные (1) и экспериментальные (2–5) зависимости K_{3i} для торфа при $\gamma = 1,5$. Экспериментальные значения K_{3i} определены графическим дифференцированием функций $V_i = f(U_i)$, полученных при сушке цилиндрических гранул торфа (диаметр 19 мм, высота 40 мм) в «мягком» ($dU/dt = 0,5$ сут⁻¹) конвективном режиме на установке [2].

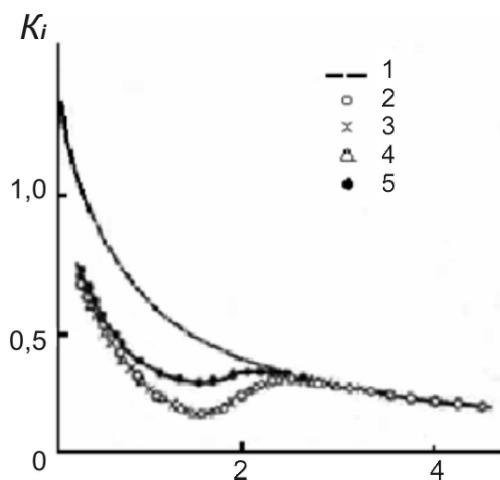


Рис. 1. Влияние начального влагосодержания торфа на величину коэффициента усадки:
1 — расчетные данные; 2 — $U_0 = 4,5$ кг/кг, $\rho_0 = 180$ кг/м³; 3 — $U_0 = 4$ кг/кг, $\rho_0 = 210$ кг/м³;
4 — $U_0 = 3,2$ кг/кг, $\rho_0 = 230$ кг/м³;
5 — $U_0 = 2,8$ кг/кг, $\rho_0 = 270$ кг/м³

Из рис. 1 следует, что при $U \geq 2,5$ кг/кг расчетные и экспериментальные значения K_i равны. Указанное обстоятельство свидетельствует о том, что усадка торфа происходит только вследствие уменьшения объема дисперсионной среды в теле сушки, т. е. $\beta = 1$. В этом состоянии ($U \geq 2,5$ кг/кг) материал имеет достаточную пластичность и скорость его усадки соответствует скорости обезвоживания. При уменьшении влажности торфа ($U \leq 2,5$ кг/кг) сопротивление материала деформированию увеличивается (в связи с ростом реологических параметров). Экспериментальные значения K_i становятся меньше расчетных, а процесс сушки сопровождается вхождением воздуха в поры материала ($\beta < 1$) [2, 3].

При влажности $U \leq 1,6 \dots 1,8$ наблюдается рост экспериментальных значений K_i (кривые 2–5). Их сближение с кривой 1 указывает на то, что происходит вытеснение воздуха из пор деформирующегося образца. Данный эффект может быть объяснен только деформацией сохнущего материала под действием сил, более мощных, чем капиллярные (обеспечивающие деформацию влажного материала на начальном этапе сушки). Такими силами являются межмолекулярные силы, вызывающие притяжение частиц торфа (после их сближения на расстояние, соизмеримое с радиусом действия дисперсионных сил в результате предшествующей усадки). В ряде случаев для этого необходимо преодоление силового барьера, что и вызывает торможение усадки торфа при $U \sim 2,5$ кг/кг. Самопроизвольное стягивание структурных составляющих материала после преодоления силового барьера сопровождается выдавливанием раствора из прослоек дисперсионной среды между частицами, что интенсифицирует усадку (рис. 1), несколько ускоряет сушку и уменьшает значения критерия фазового превращения.

Высота и положение энергетического барьера определяются видом изотерм расклинивающего давления Π (U) тонких прослоек воды. В свою очередь вид изотерм зависит от вклада различных составляющих (ионно-электростатической Π_e , дисперсионной Π_m структурной Π_s). Следовательно, влияя на те или иные составляющие расклинивающего давления, можно управлять процессом усадки, что важно как для ускорения сушки, так и для получения прочных, плотных структур на основе влажных реологически сложных дисперсных материалов. Возможность такого управления структурой проверена путем варьирования pH дисперсионной среды торфа, влияющей как на электростатическую, так и на структурную составляющую расклинивающего давления [2].

Второй путь воздействия на ход усадки материала состоит в изменении структуры торфа (посредством диспергирования).

Понятно, что при одном и том же количестве влаги на единицу массы твердой фазы толщина межфазных слоев влаги в среднем будет меньше (а число контактов частиц в единице объема материала — больше) в торфе, имеющем более высокую дисперсность. Увеличение числа контактов в диспергированном материале в итоге приводит к заметному росту деформирующей силы, вызывая тем самым большую усадку торфа (рис. 2).

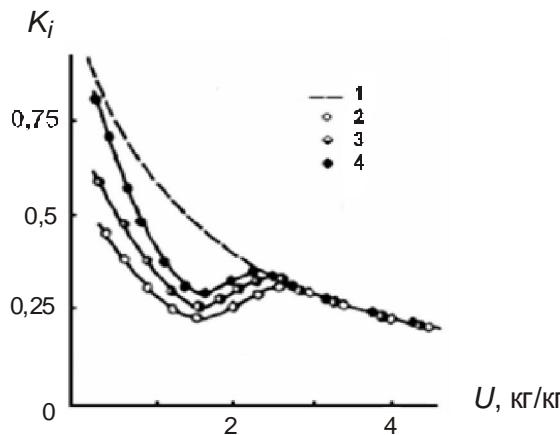


Рис. 2. Влияние дисперсности торфа на величину коэффициента усадки: 1 – расчетные данные; 2 – $S_0 = 240 \text{ м}^2/\text{кг}$; 3 – $S_0 = 290 \text{ м}^2/\text{кг}$; 4 – $S_0 = 320 \text{ м}^2/\text{кг}$ (где S_0 – удельная поверхность торфа)

Для диспергированного торфа значения K_i (при $U < 1 \text{ кг}/\text{кг}$) приближаются к теоретическим (рис. 2, кривая 4), отвечающим процессу деформирования материала, когда испарение влаги адекватно ее количеству, выжимаемому из тонких прослоек между частицами. В результате интенсивность испарения влаги из торфа с высокой дисперсностью на заключительных этапах сушки, как правило, больше, чем из торфяных систем с меньшей дисперсностью.

На рис. 3 показано влияние pH дисперсионной среды торфа на коэффициент его усадки. При $U > 2,5 \text{ кг}/\text{кг}$ усадка всех образцов торфа протекает одинаково (значения K_i , равны между собой и не зависят от pH). Связано это с «работой» только капиллярных сил, величина которых слабо зависит от pH раствора. При переходе в область, когда начинают проявляться силы межагрегатного взаимодействия ($U < 2 \text{ кг}/\text{кг}$), заметна сильная зависимость значений K_i (U) от pH дисперсионной среды.

С ростом pH, как известно [1, 2], происходит самопроизвольное диспергирование агрегатов торфа, обусловленное увеличением заряда частиц и сил электростатического отталкивания. Поэтому повышение pH, как и рост дисперсности (рис. 2), сопровождается интенсификацией усадки торфа, т. е. приближением экспериментальных кривых K_i (U) к теоретической (рис. 3, кривая 1).

Происходящий при этом рост числа контактов в единице объема материала закономерно вызывает увеличение предельного напряжения сдвига, прочности структуры торфа.

Рост усадки торфа при повышении pH (рис. 3) способствует получению более плотных прочных структур после высушивания материала.

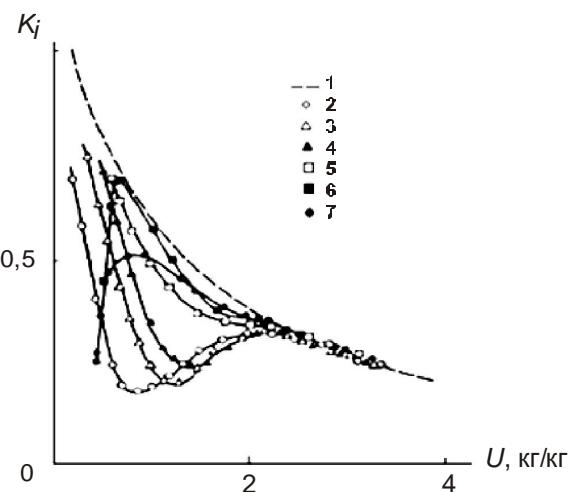


Рис. 3. Влияние pH торфа на величину коэффициента усадки при $U_0 = 3,6 \text{ кг}/\text{кг}$: 1 – расчетные данные; 2 – pH = 2,6; 3 – 3,5; 4 – 4,5; 5 – 5,8; 6 – 7,7; 7 – pH = 9,6

На рис. 4 показано изменение прочности на сжатие гранул торфа в зависимости от его pH. Из приведенных данных видно, что прочность структур торфа с ростом pH может быть повышена вдвое. Впрочем, при очень значительном увеличении pH наблюдается замедление хода усадки (рис. 3, кривая 7). Это может быть связано с начинаявшимся преобладанием эффекта роста высоты межчастичного силового барьера над эффектом увеличения числа контактов между частицами в единице объема материала (при самопроизвольном диспергировании торфа в щелочной среде), т. е. существует некоторый оптимум значений pH, при котором имеет место оптимальное протекание процесса усадки торфа в ходе его обезвоживания. Более плотная упаковка структурных составляющих последнего при высоких значениях pH приводит к замедлению усадки (рис. 3, кривые 6, 7) в области низкой влажности материала, но образующиеся структуры обладают высокой прочностью (рис. 4).

В кислой среде число контактов (формирующихся между агрегатами) мало, что приводит вначале к резкому замедлению усадки торфа в процессе обезвоживания (рис. 3, кривые 2, 3). При дальнейшем уменьшении влажности материала (когда в ходе сушки начинает удаляться вода, заключенная внутри агрегатов) темп усадки снова возрастает (вследствие взаимодействия

между собой частиц, составляющих агрегаты). Но в связи с небольшим числом контактов между агрегатами прочность таких структур невысока (рис. 4, кривая 1).

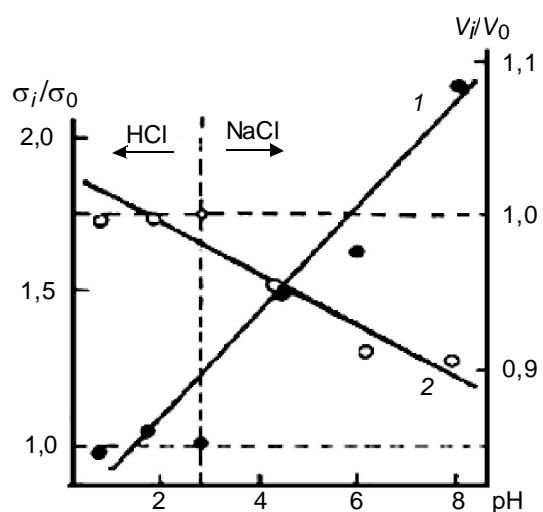


Рис. 4. Изменение относительного значения прочности и объема гранул торфа в зависимости от pH среды ($U_0 = 3,5 \text{ кг}/\text{кг}$, $U_k = 0,3 \text{ кг}/\text{кг}$): 1 – прочность; 2 – объем

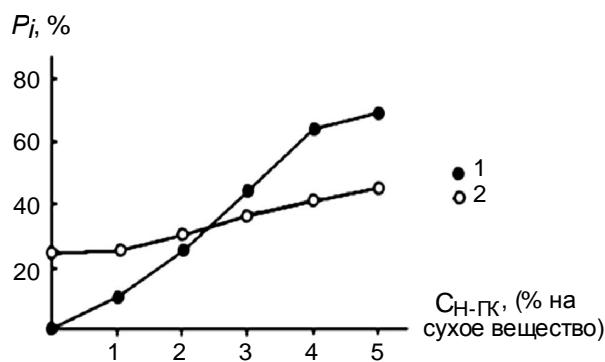


Рис. 5. Изменение содержания водопрочных агрегатов ($d > 1 \text{ мм}$) при модификации H-ГК: 1 – кварцевого песка; 2 – торфяной почвы

ГК как и ГВ в целом выполняют в ТС роль своеобразного «клейя», сшивающего структурные составляющие твердой фазы как органической, так и минеральной природы. Особенно велико значение данных соединений в почвенных системах, где они выполняют ряд важных функций, а именно: структурообразователей, влагоаккумуляторов, ионообменников, регуляторов переноса влаги, тепла, элементов минерального питания растений и др. Каждая из перечисленных функций весьма важна, но в данной работе основное внимание будет уделено функции ГК как структурообразователей почвенных систем минерально-

го и органического состава. В качестве объектов исследования использованы отмытый кварцевый песок (как модельная дисперсная система) с размером частиц $d \leq 1 \text{ мм}$, а также торфяная почва Полесской опытно-мелиоративной станции (ПОМС) с размером частиц также $d \leq 1 \text{ мм}$. Фракционирование почвы, песка осуществляли методом сухого ситового анализа. Методика модификации материалов ГП и проведения исследований аналогична изложенной в [2]. Эксперименты выполнены с выделенным из торфа гелем ГК. Агрегирующую способность ГК оценивали методом мокрого ситового анализа образцов модифицированной почвы и кварцевого песка. Результаты экспериментов представлены на рис. 5.

Из данных рис. 5 следует, что ГК в Н-форме (Н-ГК) как структурообразователи минеральных систем более эффективны, чем структурообразователи органических. Подобный результат обусловлен следующими факторами: во-первых, удельная поверхность кварцевого песка гораздо меньше, чем торфяной почвы, т. е. степень модификации торфяной почвы Н-ГК также меньше, чем кварцевого песка при равной дозе Н-ГК на единицу массы сухого вещества; во-вторых, дисперсные материалы органической природы – системы, набухающие в водной среде и претерпевающие деформационные изменения при иммобилизации влаги. Деформация структурных составляющих торфяной почвы сопровождается потерей связности агрегатов между собой вследствие разного темпа их деформации при набухании. И, наоборот, при обезвоживании (сушке) агрегатов торфяной почвы явления неоднородной деформации их структуры также имеют место из-за формирующихся внутри материала градиентов влагосодержания, инициирующих напряженное состояние, нарушение сплошности его структуры. Понятно, что чем больше размер агрегатов почвы, тем более интенсивно в них протекают процессы деструкции при их увлажнении – сушке.

В табл. 1 представлены результаты изменения агрегатного состава торфяной почвы бывшей Минской опытной болотной станции (МОБС) при поочередном увлажнении – высушивании.

Результаты табл. 1 свидетельствуют о том, что содержание агрегатов в торфяной почве с каждым новым циклом увлажнения – высушивания уменьшается, т. е. под действием процессов набухания и последующих явлений усадки имеет место дезагрегация торфяной почвы, а значит, деградация ее структуры. Так, после 4-х циклов увлажнения – высушивания наличие в почве агрегатов $d \geq 2 \text{ мм}$ уменьшается в 2,5 раза и составляет лишь 40 % от начального их содержания (P_0) в почве.

Таблица 1. Изменение агрегатного состава торфяной почвы МОБС при ее увлажнении – высушивании

Номер цикла	Содержание агрегатов $d \geq 2 \text{ мм} (P_i)$, %	Относительное содержание агрегатов $d \geq 2 \text{ мм} (P_i/P_0)$
0	77,4 (P_0)	1,0
I	53,6	0,69
II	41,2	0,53
III	35,1	0,45
IV	31,2	0,40

Примечание: анализ состава фракций выполнен сухим ситовым методом при влагосодержании почвы $U_k = 0,3 \text{ кг}/\text{кг}$.

Для капиллярно-пористых структур кинетика иммобилизации ими влаги обусловлена в основном капиллярной сетью, т. е. пористой, проводящей влагу системой, обеспечивающей ее транспорт вглубь торфяных агрегатов. На рис. 6 приведены результаты, полученные на основе графического расчета K_{2i} как разности между K_{gi} и K_{pi} (в соответствии с уравнением (4)):

$$K_{2i} = K_{gi} - K_{pi}. \quad (5)$$

Понятно, что газовая фаза в структуре дисперсного материала уменьшает коэффициент его усадки в процессе сушки, т. е. тормозит формирование плотной структуры. Об этом свидетельствуют отрицательные значения K_{2i} при его расчете, согласно (5). Результаты расчета представлены на рис. 6.

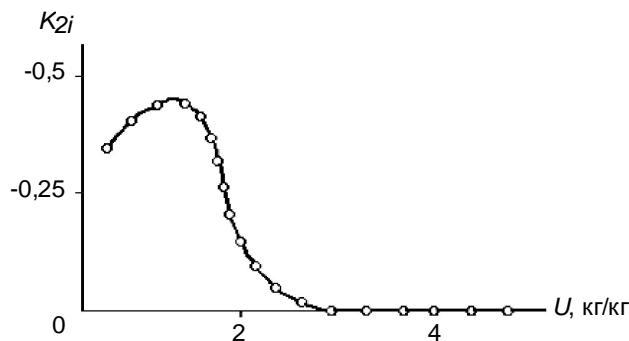


Рис. 6. Зависимость величины K_{2i} (характеризующей изменение объема газовой фазы) торфа при его сушке ($U_0 = 4,5 \text{ кг}/\text{кг}$, $\rho_0 = 180 \text{ кг}/\text{м}^3$) от влагосодержания материала. Данные получены на основе обработки результатов рис. 1 (кривые 1 и 2)

Согласно данным рис. 6, максимум значений K_{2i} приходится на влагосодержание торфа $U \approx 1-1,5 \text{ кг}/\text{кг}$, т. е. при данном состоянии материала присутствие газовой фазы в наибольшей мере препятствует его компактной агрегации при испарении влаги в процессе сушки. Формирующаяся поровая сеть в торфе является на первом этапе основным транспортным коридором проникновения влаги внутрь его структуры при контакте материала с водой, т. е. при его гидратации. Процесс капиллярного впитывания воды, а значит, и его иммобилизации твердой фазой, сопровождается набуханием торфа, разрушением его макроструктуры под действием расклинивающего давления набухающих фрагментов.

ГК и ГВ как коллоидно-высокомолекулярные органические производные, находясь в торфе, уменьшают его поровое пространство, а значит, препятствуют входению воздуха внутрь материала. Чем выше степень разложения торфа, тем больше он содержит ГВ и ГК. Данные виды торфа, как правило, весьма пластичны и при сушке формируют структуры с высокой плотностью. И, наоборот, чем ниже степень разложения торфа, а значит, и содержание в нем ГВ и ГК, тем более упругим является структурный каркас, вследствие наличия структур переплетения из растений-торфообразователей. При высушивании данные виды торфа формируют пористые структуры с высокими водопроницаемостью и водопрочностью [2]. Выполненные исследования свидетельствуют о том, что бессструктурный компонент торфа, а именно ГК и ГВ, является определяющим в процессах трансформации структуры ТС при их высушивании – увлажнении.

Литература

- Лиштван И. И., Круглицкий Н. Н., Третинник В. Ю. Физико-химическая механика гуминовых веществ. Минск, 1976.
- Абрамец А. М., Лиштван И. И., Чураев Н. В. Массоперенос в природных дисперсных системах. Минск, 1982.
- Лыков А. В. Теория сушки. М., 1968.
- Дерягин Б. В., Чураев Н. В., Муллер В. М. Поверхностные силы. М., 1985.

И. И. Лиштван, А. М. Абрамец, Ю. Г. Янута,
Г. С. Монич, Н. С. Глухова, В. Н. Аленикова

ГУМИНОВЫЕ КИСЛОТЫ И ПРОЦЕССЫ ТРАНСФОРМАЦИИ СТРУКТУРЫ, ВОДНЫХ СВОЙСТВ ТОРФА, ТОРФЯНЫХ ПОЧВ ПРИ ИХ СУШКЕ – УВЛАЖНЕНИИ

Исследованы закономерности процессов трансформации структуры, водных свойств ТС, а также переноса влаги в зависимости от содержания в них ГК. С использованием физических, математических, физико-химических и других экспериментальных методов обоснована детерминированность связей между структурой, водопрочностью, переносом влаги в торфе, торфяных почвах в зависимости от содержания в них ГК. Показано, что чем больше содержание в ТС последних, тем выше водопрочность их микроагрегированных структур и, наоборот, чем меньше содержание ГК в торфе, тем выше водопрочность его макроассоциированных структур. Экспериментально подтверждено, что периодическое увлажнение – высушивание ТС приводит к деградации их и, естественно, к активации процессов минерализации органического вещества. Приведены результаты экспериментов по оценке водопрочной агрегации кварцевого песка и торфяной почвы при их модификации гелями ГК торфа в Н-форме. Показано, что ГК как структурообразователи минеральных систем (кварцевого песка) более эффективны, чем органических (торфяной почвы). Интерпретация результатов исследований дана с позиций различной природы материалов, специфики их физико-химических свойств, явлений межфазного взаимодействия в гетерогенных системах.

I. I. Lishtvan, A. M. Abramets, Y. G. Yanuta,
G. S. Monich, N. S. Glukhova, V. N. Aleinikova

HUMIC ACIDS AND PROCESSES OF TRANSFORMATION OF STRUCTURE, WATER PROPERTIES OF PEAT, PEAT SOILS AT THEIR DRYING-WETTING

Laws of processes of transformation of structure, TS water properties, and also moisture transfer depending on HA content in them have been investigated. Applying physical, mathematical, physical and chemical and other experimental methods determinacy of communications between structure, water durability, moisture in peat, peat soils transfer depending on HA content has been proved. It has been shown that the greater TS content of the last, the higher water durability of their micro aggregated structures and, on the contrary, the lesser HA content in peat, the greater its water durability of its macro associated structures. It has been experimentally proved that periodic TS humidifying – drying leads to their degradation and, naturally, to activation of processes of mineralization of organic substance. Results of experiments according to water strong aggregation of quartz sand and peat soil are resulted at their updating by gels of peat HA in the H-form. It has been shown, that HA as structure formers of mineral systems (quartz sand) are more effective than of organic (peat soil). Interpretation of researches results is made from positions of the various nature of materials, specificity of their physical and chemical properties, the phenomena of inter-phase interaction in heterogeneous systems.

Н. Н. Бамбалов, В. В. Смирнова, А. С. Решетник

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПРЕПАРАТОВ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ТОРФА НИЗИННОГО И ВЕРХОВОГО ТИПОВ

Приведены данные по сравнительному изучению биологической активности гуминовых веществ (ГВ) торфа низинного и верхового типов, продуктов их фотолиза и окисления. После облучения светом или окисления пероксидом водорода препараты ГВ имели тенденцию к некоторому уменьшению биологической активности по сравнению с препаратами ГВ до облучения или окисления. Препараты ГВ из низинного торфа до и после окисления показали лучшие результаты по сравнению с препаратами ГВ из верхового торфа.

Биологическая активность ГВ интенсивно изучается с 30-х гг. XX в., в результате чего на отечественном и зарубежном рынках появилось большое количество биологически активных гуминовых препаратов, получаемых из торфа, бурого угля и других видов гумусодержащего сырья. Практически все страны, имеющие ресурсы такого сырья, производят биологически активные гуминовые препараты для растениеводства, животноводства, ветеринарии, медицины и бальнеологии.

Для получения гуминовых препаратов широко используется модификация ГВ и сырья методами окисления и гидролиза [4, 8, 11–13]. Имеющиеся на рынке гуминовые препараты «Оксидат торфа», «Гидрогумат», «Гидрогумин», «Оксигумат» и другие фактически являются продуктами такой модификации.

В последние десятилетия создана серия биологически активных микроэлементных удобрений, в которых ГВ являются не только биологически активным компонентом, но и недорогим лигандом [6, 7]. Показано [2], что ГВ торфа и бурого угля, модифицированные пероксидом водо-

рода и фотолизом, более перспективны по сравнению с исходными, для получения таких удобрений, потому что они растворимы в более широком диапазоне значений рН, обогащены полярными функциональными группами, а их молекулы имеют меньшие размеры систем полисопряжения. Однако при этом остается не ясным вопрос о влиянии фотолиза и окисления ГВ на их биологическую активность.

Цель работы – сравнительное изучение биологической активности ГВ торфа низинного и верхового типов и продуктов их фотолиза и окисления пероксидом водорода.

Объект исследования – торф верхового и низинного типов с производственных площадей торфопредприятий «Сергеевичское» и «Зеленоборское». Образцы высушены до воздушно-сухого состояния при 18–22 °C, просеяны через сито с диаметром ячеек 1 мм. В табл. 1 представлена их общая характеристика. Повышенная зольность верхового торфа, равная 9,78 %, объясняется тем, что образец взят из штабеля, куда попали минеральные включения при уборке торфа.

Таблица 1. Характеристика исследуемых образцов торфа

Показатель	Торф ПРУТП «Сергеевичское»	Торф РУП «Зеленоборское»
Тип торфа	Низинный	Верховой
Вид торфа	Тростниково-осоковый	Сосново-пушицевый
Степень разложения, %	35	35
Зольность, %	11,68	9,78
Содержание С _{орг.} , % к СВ	48,93	50,56
Содержание С _{орг.} , % к ОМ	55,41	56,03
Содержание ГВ, % к ОМ	37,47	50,97
Содержание ГК, % к ОМ	31,84	40,66
Содержание ФК, % к ОМ	5,63	10,28

Примечание: ПРУТП – Производственное республиканское унитарное торфяное предприятие;

РУП – Республикаинское унитарное предприятие; СВ – сухое вещество; ОМ – органическая масса; ГК – гуминовые кислоты; ФК – фульвокислоты.

Общее содержание углерода в образцах торфа определяли серно-хромовым методом [10].

Навески низинного тростниково-осокового торфа 10 г обрабатывали 2 %-ным раствором NaOH (соотношение 1:10), и суспензию выделяли в течение 2 ч на кипящей водяной бане (96–98 °C). После охлаждения гидролизат разбавляли водой до объема 400 мл. Раствор отцентрифугировали. Для осаждения ГК 50 мл раствора ГВ подкисляли 10 %-ной серной кислотой до pH 1. После фильтрования осадок ГК с фильтра переносили в колбу 50 мл 0,1 н. раствора NaOH. Количественное содержание углерода в ГВ и ГК определяли по методике [1]. Содержание углерода в ФК определяли по разности между количествами углерода в ГВ и ГК.

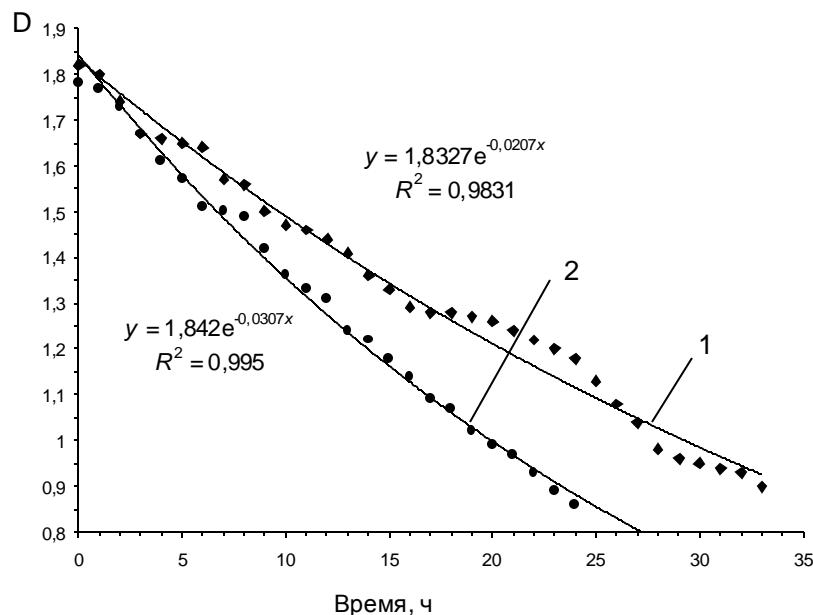
Поскольку раствор ГВ интенсивно окрашен, то для облучения светом понадобилось дополнительное разбавление, для чего к 60 мл раствора ГВ, в котором содержалось 0,311 г углерода,

добавили 90 мл дистиллированной воды. Общий объем раствора ГВ для облучения составил 150 мл.

В качестве источника излучения использовали лампу ДРТ-400. Поверхность раствора ГК находилась на расстоянии 11 см от источника излучения при постоянном перемешивании раствора магнитной мешалкой. Его температура в процессе облучения составляла 65–66 °C. Испарившуюся часть воды восполняли каждые 30 мин. Измерение оптической плотности осуществляли на приборе КФК-2МП при длине волны 440 нм и толщине кюветы 1 мм через каждый час облучения. Эксперимент проводили 33 ч, в течение которых pH раствора ГВ поддерживали в пределах 10–12 путем добавки NaOH, так как в этом диапазоне происходит их максимальное обесцвечивание [5]. Данные об изменении баланса отдельных групп ГВ и оптической плотности в результате фотолиза представлены в табл. 2 и на рисунке.

Таблица 2. Содержание углерода в ГВ, ГК и ФК, выделенных из торфа до и после облучения светом

Препарат	Содержание углерода, г		Потери (-) / увеличение (+)	
	до облучения	после облучения	г	%
Низинный торф				
ГВ	2,0760	1,2900	-0,7860	-37,86
ГК	1,7640	0,4353	-1,3287	-75,32
ФК	0,3120	0,8547	+0,5427	+173,94
Верховой торф				
ГВ	2,856	2,4600	-0,3956	-13,85
ГК	2,280	1,0000	-1,2800	-56,14
ФК	0,576	1,4604	+0,8844	+153,54



Влияние светового излучения на величину оптической плотности растворов ГВ:
1 – из низинного торфа; 2 – из верхового торфа

Оптическая плотность раствора ГВ из низинного торфа до облучения светом составляла 1,82, после облучения в течение указанного времени она уменьшилась до 0,9, т. е. практически в 2 раза (рис., кривая 1). Анализ полученных данных показал, что изменение оптической плотности в зависимости от времени облучения аппроксимируется обратной экспоненциальной зависимостью с величиной достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9831$.

При облучении светом раствора ГВ потери ГВ составили 37,86 %, потери ГК – 75,32 %, а содержание ФК увеличилось на 173,94 %. Это означает, что под влиянием света произошли глубокие изменения молекул ГК с образованием из них дополнительных количеств ФК [9].

Аналогично были получены препараты ГВ, ГК и ФК из верхового сосново-пушицевого торфа. Для облучения светом к 45 мл раствора ГВ, где содержалось 0,321 г углерода, добавили 105 мл дистиллированной воды до общего объема 150 мл. Оптическая плотность раствора ГВ из верхового торфа до облучения светом была 1,78, при облучении в течение 24 ч она уменьшилась до 0,86, что составило 48,31 % (рис., кривая 2). Анализ полученных данных показал, что изменение оптической плотности в зависимости от времени облучения аппроксимируется обратной экспоненциальной зависимостью с величиной достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9950$.

При облучении светом раствора из верхового торфа потери ГВ составили 13,85 %, потери ГК – 56,14 %, а содержание ФК увеличилось на 153,54 %.

Сравнив результаты фотолиза ГВ из торфа низинного и верхового типов, видим, что ГК верхового торфа более устойчивы к фотохимическому воздействию по сравнению с ГК низинного торфа. Для получения соединений типа ФК методом фотолиза целесообразно использовать торф низинного типа.

Первый вегетационный опыт по изучению биологической активности полученных препаратов выполняли в период с 24 апреля по 18 мая 2009 г. в 0,5-литровых светонепроницаемых сосудах с использованием питательной смеси Прянишникова [5]. В сосуды добавили растворы гуминовых препаратов в таком объеме, чтобы получить в питательной смеси концентрацию 0,005 %. Над раствором помещали по 4 проростка зерна пшеницы, а их корни опускали в раствор. Повторность опыта – 5-кратная (по 20 растений в каждом варианте). Сосуды с вегетирующими растениями находились при естественном освещении в течение 24 дней. Каждые 3 дня проводили аэрацию корневой системы. Биологическую активность оценивали по выходу биомассы пшеницы (табл. 3).

Во всех вариантах до облучения наблюдалось увеличение выхода биомассы растений, кроме варианта с препаратом ФК, что можно объяснить кислой реакцией среды в сосудах, так как в этом опыте в питательную смесь вносили кислый препарат ФК. Препараты ГК во всех случаях показали лучшие результаты по сравнению с препаратами ГВ.

Таблица 3. Влияние исходных и модифицированных фотолизом ГВ торфа на выход биомассы пшеницы на питательной смеси Прянишникова

Вариант	Проценты к фону	pH гуминового препарата
Фон (смесь Прянишникова)	100	
Низинный торф до облучения		
Фон + ГВ	122,1 ± 15,25	10,1
Фон + ГК	135,3 ± 14,56	10,2
Фон + ФК	76,6 ± 9,6	2,7
Низинный торф после облучения		
Фон + ГВ	114,1 ± 16,89	10,05
Фон + ГК	124,6 ± 15,62	10,1
Фон + ФК	69,9 ± 13,0	3,4
Верховой торф до облучения		
Фон + ГВ	146,7 ± 11,8	10,15
Фон + ГК	154,5 ± 11,9	10,1
Фон + ФК	69,3 ± 6,56	3,0
Верховой торф после облучения		
Фон + ГВ	105,6 ± 9,63	10,2
Фон + ГК	122,5 ± 15,02	9,95
Фон + ФК	83,5 ± 8,29	3,6

Однако после облучения светом препараты ГВ и ГК, полученные из низинного и верхового торфа, имели тенденцию к некоторому уменьшению биологической активности.

Препараты ГВ и ГК из верхового торфа до облучения показали немнога лучшие результаты по сравнению с аналогичными препаратами ГВ и ГК из низинного торфа. После облучения препаратов из верхового торфа их биологическая активность также имела тенденцию к уменьшению по сравнению с препаратами из низинного торфа. Возможно, что в процессе фотолиза ГВ происходит распад некоторой части биологически активных веществ.

Второй вегетационный опыт по изучению биологической активности препаратов из низинного и верхового торфа без облучения светом проводили в тех же сосудах. Однако в этом опыте вместо питательной смеси Прянишникова использовали дистиллированную воду. В сосуды добавляли растворы препаратов в таком объеме, чтобы получить концентрации 0,005 и 0,0005 %. Над раствором помещали по 4 проростка пшеницы, а их корни опускали в воду. Повторность опыта – 4-кратная (по 16 растений в каждом варианте). Сосуды с вегетирующими растениями размещали при естественном освещении. Опыт длился 14 дней (с 5 по 19 июня). Каждые 3 дня проводили аэрацию корневой системы.

Биологическую активность оценивали по выходу биомассы пшеницы (табл. 4). При обеих концентрациях во всех вариантах наблюдали увеличение выхода биомассы по отношению к фону.

Во всех вариантах при концентрации гуминовых препаратов 0,005 % выход биомассы рас-

тений пшеницы выше, чем при концентрации 0,0005 %, что говорит о недостаточности такой концентрации для стимулирования роста и развития растений. В данном опыте выход биомассы растений ниже по сравнению с первым опытом, поскольку в воде не было питательных веществ, как в смеси Прянишникова, что сказалось на росте пшеницы.

Третий вегетационный опыт по изучению биологической активности препаратов из торфа низинного и верхового типов проводили в период с 17 по 31 июля (14 дней) в тех же сосудах. Питательной средой была смесь Прянишникова, разбавленная водой в соотношении 1:1. В сосуды добавляли растворы препаратов в таком объеме, чтобы получить в питательной среде концентрации 0,01 и 0,005 %. Над раствором помещали по 4 проростка пшеницы. Повторность опыта – 4-кратная (по 16 растений в каждом варианте). Сосуды с вегетирующими растениями размещали при естественном освещении. Каждые 3 дня проводили аэрацию корневой системы.

Данные, представленные в табл. 5, показали, что во всех вариантах отмечено увеличение выхода биомассы растений по сравнению с фоном. Значительной разницы в биологической активности препаратов ГВ, ГК и ФК при концентрациях 0,01 и 0,005 % не наблюдалось.

Лабораторный опыт по изучению биологической активности препаратов из низинного и верхового типов торфа до и после окисления пероксидом водорода проводили в тех же сосудах. Питательной средой была смесь Прянишникова, разбавленная водой в соотношении 1:1.

Таблица 4. Влияние ГВ торфа на выход биомассы пшеницы на дистиллированной воде

Вариант	Концентрация, %	Проценты к фону	pH гуминового препарата
Фон (дистиллированная вода)	0	100	
Низинный торф			
Фон + ГВ	0,005	107,8 ± 4,52	10,8
Фон + ГВ	0,0005	106,2 ± 3,7	»
Фон + ГК	0,005	112,7 ± 8,64	10,79
Фон + ГК	0,0005	104,2 ± 10,3	»
Фон + ФК	0,005	114,6 ± 5,1	9,7
Фон + ФК	0,0005	106,5 ± 8,54	»
Верховой торф			
Фон + ГВ	0,005	113,3 ± 7,47	10,33
Фон + ГВ	0,0005	108,8 ± 1,19	»
Фон + ГК	0,005	109,1 ± 5,67	10,0
Фон + ГК	0,0005	104,9 ± 9,91	»
Фон + ФК	0,005	108,8 ± 5,97	9,84
Фон + ФК	0,0005	103,9 ± 5,30	»

Таблица 5. Влияние ГВ торфа на выход биомассы пшеницы на питательной смеси Прянишникова, разбавленной водой в соотношении 1:1

Вариант	Концентрация, %	Проценты к фону	pH гуминового препарата
Фон (разбавленная водой смесь Прянишникова 1:1)	0	100	
Низинный торф			
Фон + ГВ	0,005	123,7 ± 8,23	9,31
Фон + ГВ	0,01	114,1 ± 11,3	9,31
Фон + ГК	0,005	118,6 ± 12,63	9,38
Фон + ГК	0,01	120,1 ± 9,48	9,38
Фон + ФК	0,005	120,7 ± 6,95	9,32
Фон + ФК	0,01	123,4 ± 7,28	9,32
Верховой торф			
Фон + ГВ	0,005	120,7 ± 8,93	9,35
Фон + ГВ	0,01	121,3 ± 6,91	9,35
Фон + ГК	0,005	118,0 ± 6,85	9,46
Фон + ГК	0,01	115,9 ± 4,91	9,46
Фон + ФК	0,005	119,8 ± 3,0	9,05
Фон + ФК	0,01	108,4 ± 9,39	9,05

Препараты ГВ из обоих видов торфа получены окислением исходных растворов ГВ пероксидом водорода до уменьшения оптической плотности раствора примерно в 2 раза (как при фотолизе).

В сосуды добавили растворы препаратов в таком объеме, чтобы получить в питательной среде их концентрации 0,005 %. Над раствором помещали по 4 проростка пшеницы, а корешки опускали в раствор. Повторность опыта – 5-кратная (по 20 растений в каждом варианте). Сосуды с вегетирующими растениями размещали при естественном освещении. Опыт длился 14 дней (с 13 по 27 октября). Каждые 3 дня проводили аэрацию корневой системы.

Данные табл. 6 свидетельствуют о том, что во всех вариантах наблюдалось увеличение выхода биомассы пшеницы по сравнению с фоном. Однако препараты ГВ из обоих видов торфа после окисления пероксидом водорода имеют более низкую биологическую активность по сравнению с препаратами ГВ до окисления. Тенденция к снижению биологической активности ГВ,

полученных в результате окисления пероксидом водорода, может быть объяснена разрушением некоторой части ГВ при окислении и образованием из них ФК.

Препараты ГВ из низинного торфа до и после окисления показали лучшие результаты по сравнению с препаратами ГВ из верхового торфа до и после окисления.

Не исключается, что модифицированные фотолизом и окислением препараты ГВ торфа будут более активно воздействовать на растения в других фазах развития. Исследования в этом направлении следует продолжить.

Таким образом, выполненные исследования биологической активности исходных и модифицированных фотолизом и окислением гуминовых препаратов показали, что указанные модификации не оказывают существенного влияния на их биологическую активность при выращивании молодых проростков пшеницы, однако в обеих модификациях наблюдается тенденция к её снижению.

Таблица 6. Влияние окисления ГВ пероксидом водорода на выход биомассы пшеницы на питательной смеси Прянишникова, разбавленной водой в соотношении 1:1

Вариант	Проценты к фону	pH гуминового препарата
Фон (разбавленная водой смесь Прянишникова 1:1)	100	
Низинный торф исходный		
Фон + ГВ	117,35 ± 6,38	9,63
Низинный торф после окисления пероксидом водорода		
Фон + ГВ	110,20 ± 12,96	9,24
Верховой торф исходный		
Фон + ГВ	110,54 ± 13,23	9,45
Верховой торф после окисления пероксидом водорода		
Фон + ГВ	105,78 ± 9,0	9,20

Л и т е р а т у р а

1. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М. 1962.
2. Бамбалов Н. Н., Самокар О. М. Взаимодействие гуминовых веществ и продуктов их деструкции с ионами меди // Природопользование. Минск, 2009. Вып. 16. С. 207–211.
3. Вальтер О. А., Пиневич Л. М., Варасова Н. Н. Практикум по физиологии растений с основами биохимии. М.–Л., 1957.
4. Горовая А. И., Орлов Д. С., Щербенко О. В. Гуминовые вещества. Киев. 1995.
5. Жданок С. Л., Бамбалов Н. Н. Влияние pH на устойчивость окраски растворов гуминовых кислот // Весці НАНБ. Сер. хім. науок. 2005. № 1. С. 90–92.
6. Жоробекова Ш. Ж. Макролигандные свойства гуминовых кислот. Фрунзе. 1987.
7. Карпухин А. И. Функциональная роль комплексных соединений в генезисе почв и питании растений // Гуминовые вещества в биосфере / Под ред. Д. С. Орлова. М., 1993. С. 117–125.
8. Наумова Г. В., Кособокова Р. В., Косоногова Л. В. и др. Гуминовые препараты и технологические приемы их получения // Гуминовые вещества в биосфере / Под ред. Д. С. Орлова. М., 1993. С. 178–189.
9. Патент 7764. РБ. 2006.
10. Пономарева В. В., Николаева Т. А. Серно-хромовый метод одновременного определения С и N // Почвоведение. 1961. № 5. С. 88.
11. Способ получения стимулятора роста растений из торфа: А. с. 946485 СССР: МКИ³ А 01 Н 61/00 / Е. И. Гаврильчик, И. В. Гордин, М. А. Колесов. Опубл. 1982. Бюл. № 34.
12. Способ получения стимулирующих удобрений: А. с. 763309 СССР: МКИ³ С 05 F 11/02 / В. Е. Раковский, Г. С. Дьячков, В. П. Круглов и. др. Опубл. 1980. Бюл. № 28.
13. Томсон А.Э., Наумова Г. В. Торф и продукты его переработки. Минск, 2009.

Институт природопользования НАН Беларусь

N. N. Бамбалов, В. В. Смирнова, А. С. Решетник

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПРЕПАРАТОВ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ТОРФА НИЗИННОГО И ВЕРХОВОГО ТИПОВ

Приведены данные по сравнительному изучению биологической активности гуминовых веществ низинного и верхового типов торфа, продуктов их фотолиза и окисления. Лабораторно-вегетационные опыты с проростками пшеницы проводились в течение 14–24 дней при естественном освещении. Биологическая активность препаратов оценивалась по выходу сухой биомассы растений пшеницы различных вариантов по сравнению с фоном. Установлено, что после облучения светом или окисления пероксидом водорода препараты ГВ имели тенденцию к некоторому уменьшению биологической активности. Препараты ГВ из низинного торфа до и после окисления показали лучшие результаты по сравнению с препаратами ГВ из верхового торфа до и после окисления.

Не исключается, что модифицированные фотолизом и окислением препараты ГВ торфа будут более активно воздействовать на растения в других фазах развития. Исследования в этом направлении следует продолжить.

Выполненные исследования биологической активности исходных и модифицированных фотолизом и окислением гуминовых препаратов показали, что указанные модификации не оказывают существенного влияния на их биологическую активность при выращивании молодых проростков пшеницы, однако в обеих модификациях наблюдается тенденция к ее снижению.

N. N. Bambalov, V. V. Smirnova, A. S. Reshetnik

COMPARATIVE ESTIMATION OF BIOLOGICAL ACTIVITY OF PREPARATIONS OF HUMIC MATTERS OBTAINED FROM A LOW-MIRE AND RAISED TYPES OF PEAT

Data on comparative studying of biological activity of humic matters of low-mire and raised types of peat, their photolysis products and oxidations are cited. Laboratory-vegetative tests with wheat sprouts were carried out within 14–24 days at natural illumination. Biological activity of preparations was estimated on an exit of a dry biomass of plants of wheat of various variants in comparison with a background. It has been found that after light irradiation or oxidations by hydrogen peroxide HM preparations tended to some reduction of biological activity. HM preparations from low-mire peat prior and after oxidation have shown the best results in comparison with those from raised peat prior and after oxidation.

It is not excluded, that modified by photolysis and oxidation HM preparations of peat will influence more actively plants in other phases of evolution. Researches in this direction should be continued.

The executed researches of biological activity of initial and modified by photolysis and oxidation humic preparations have shown, that the specified modifications do not render essential influence on their biological activity at cultivation of young sprouts of wheat, however in both modifications the tendency to its decrease is observed.

Т. Л. Зайцева, В. К. Жуков, С. В. Пармон, Л. С. Шеремет

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ВОДНО-СПИРТОВОГО ЭКСТРАКТА КОРЫ ИВЫ

*Из коры ивы выделен водно-спиртовой экстракт. Изучен компонентный состав экстракта, определены основные физико-химические характеристики. Установлено значительное содержание биологически активных веществ антимикробного и противовоспалительного действия – ненасыщенных жирных кислот и суммарных тритерпеноидов. Методом колоночной адсорбционной хроматографии экстракт разделен на шесть фракций, основными из которых являются фракция, элюированная спирто-хлороформной смесью с добавлением уксусной кислоты, и водная фракция. В химическом составе основных фракций водно-спиртового экстракта ивы преобладают углеводы и соли органических кислот. Основная часть суммарных тритерпеновых соединений экстракта также сосредоточена в этих фракциях. Показано, что жидкий экстракт коры ивы обладает функцийной активностью в отношении патогенов растений *Botrytis cinerea*, *Alternaria panax* и *Fusarium sp.**

Как известно, растения-торфообразователи содержат целый комплекс веществ, обладающих разносторонним терапевтическим действием. Использование растительного сырья в качестве источника биологически активных веществ известно давно и широко применяется в пищевой промышленности, косметике и медицине. Одним из перспективных источников такого рода сырья может выступать ива: в химический состав ее коры входят такие биологически активные соединения как флавоноиды (кверцетин), дубильные вещества (до 13 %), гликозиды (салцин, полулин), антисептики (пирокатехин), витамины [2, 4, 6]. В результате обработки растений органическими растворителями их биологически активные соединения концентрируются в полученных экстрактах, количественный и качественный состав которых зависит от вида сырья, размеров его частиц и способа предварительной подготовки, а также от выбора экстрагента и степени его полярности [1].

Анализ литературных источников показал, что достаточно хорошо изучены и находят широкое применение водные и спиртовые вытяжки из коры ивы остролистной [7, 9, 10].

Цель настоящей работы – исследование компонентного состава и биологической активности водно-спиртового экстракта коры ивы козьей – типичного представителя болотной растительности низинного типа.

Ранее нами установлено, что наибольшее количество веществ извлекается при экстракции коры двухлетних побегов растения с использованием в качестве экстрагента 70 %-ного этилового спирта [8]. Учитывая это, получение экстрактов осуществляли следующим образом. Отобранное на торфяном месторождении «Красное» Смолевичского района Минской области растительное сырье (кору двухлетних побегов ивы козьей) подсушивали до воздушно-сухого состояния (влажность 14,1 %) и измельчали до размеров частиц

5–7 мм. В лабораторных условиях навеску подготовленного сырья помещали в коническую колбу, снабженную обратным холодильником, заливали экстрагентом в массовом соотношении сырье:экстрагент 1 : 20 и нагревали на песочной бане до температуры кипения. В качестве экстрагента использовали 70 %-ный этиловый спирт. Продолжительность экстракции составляла 4 ч.

После окончания процесса охлажденный до комнатной температуры экстракт декантировали, шрот трижды промывали экстрагентом. Полученные фильтраты объединяли, и из них при атмосферном давлении отгоняли экстрагент. Затем концентрированный экстракт переносили в фарфоровую чашку и выпаривали остатки экстрагента на водяной бане, после чего высушивали в вакуумном шкафу при температуре 50 °C до постоянной массы. В результате было получено хрупкое воскоподобное вещество красно-коричневого цвета с приятным запахом. Выход водно-спиртового экстракта и основные его физико-химические показатели, которые определяли по стандартным методикам [3], представлены в табл. 1.

Таблица 1. Выход и физико-химическая характеристика водно-спиртового экстракта коры ивы

Показатель	Величина
Цвет	Красно-коричневый
Выход, % от массы воздушно-сухого сырья	21,2
Температура плавления, °C	52–90
Кислотное число, мг КОН/г	46
Число омыления, мг КОН/г	143
Иодное число, г I ₂ /100 г	27
Эфирное число, мг КОН/г	99
Содержание тритерпеноидов, %	80,5

С целью детального исследования химического состава экстракт, выделенный методом адсорбционной колоночной хроматографии, разделяли на основные классы органических соединений. Разделение водно-спиртового экстракта коры ивы проводили при комнатной температуре на стеклянной хроматографической колонке с внутренним диаметром 40 мм и длиной 180 мм, снабженной краном. В нижнюю часть колонки плотно набивали небольшое количество стекловолокна для удержания адсорбента. В качестве адсорбента использовали силикагель. Навеску силикагеля (391,0 г) предварительно просеивали через сито с размерами отверстий 0,16–0,25 мм и вводили в хроматографическую колонку «сухим» способом. Далее колонку смачивали гексаном.

Навеску экстракта ивы (15,6 г), также вводили в колонку «сухим» способом из расчета соотношения адсорбент : образец 20 : 1. Далее порциями вводили ряд растворителей с постепенным увеличением степени полярности элюента: гексан, о-ксилол, хлороформ, хлороформ–этиловый спирт (2 : 1), хлороформ–этанол–уксусная кислота (10 : 5 : 1), горячая дистиллированная вода. Контроль над полнотой извлечения каждым растворителем осуществляли на рефрактометре и методом ТСХ. После оттона растворителя и выпаривания получали фракции экстракта, определяли их выход и физико-химическую характеристику по стандартным методикам [3]. Результаты исследования представлены в табл. 2.

Таблица 2. Физико-химическая характеристика фракций водно-спиртового экстракта коры ивы

Показатель	Элюент					
	Гексан	О-ксилол	Хлороформ	Хлороформ–этанол	Хлороформ–этанол–уксусная кислота	Вода
Цвет	Желтый	Оранже-вый	Оранжевый	Коричневый	Красно-коричневый	Темно-коричневый
Выход, %	1,1	2,2	6,7	0,3	48,3	28,1
Температура плавления, °C	25–31	15–19	18–21	26–40	43–58	53–79
Кислотное число, мг КОН/г	10	56	58	21	11	10
Число омыления, мг КОН/г	91	109	78	141	72	69
Эфирное число, мг КОН/г	81	53	20	120	61	59
Иодное число, г I ₂ /100 г	–	1	1	–	18	20
Содержание три-терпеноидов, %	3,7	–	–	0,26	33,9	26,8

Химический состав каждой фракций определяли также методом ИК-спектроскопии. ИК-спектры образцов в виде тонких пленок, а также запрессованных с KBr, записывали на приборе «Specord M 80». При характеристике полос поглощения были использованы следующие сокращения: с. – сильная; с.ш. – сильная, широкая; о.с.ш. – очень сильная, широкая; о.с. – очень сильная; узк. – узкая; ср. – средняя; сл. – слабая; выст. – выступ. Результаты спектрального анализа представлены в табл. 3.

Данные табл. 2 показывают, что из экстракта коры ивы выделено шесть фракций. Наибольший выход имеют фракции, извлекаемые смесями растворителей хлороформ–этанол–уксусная кислота и дистиллированной водой –

48,3 и 28,1 % соответственно. По внешнему виду превалирующие фракции представляют собой воскоподобные вещества красно-коричневого и коричневого цвета с температурой плавления в среднем 48–69 °C. По результатам ИК-спектроскопии основу преобладающих фракций составляют углеводы и соли органических кислот (см. табл. 3). Вещества, выделенные хлороформом, составляют 6,7 % от массы исходного экстракта, характеризуются высоким значением кислотного числа и по данным спектрального анализа представляют собой смесь органических кислот и углеводородов (см. табл. 2, 3). Не разделившийся остаток в колонке составил 10,7 %, потери экстракта ивы составили 2,6 %.

Таблица 3. Фракционный состав водно-спиртового экстракта коры ивы по данным ИК-спектроскопии

Элюент	Основные полосы поглощения, см ⁻¹	Отнесение
Гексан	2950–2860 о.с., 1740 сл., 1480 сп., 1380 сп., 725–720 сп.	Углеводороды с примесью карбонилсодержащих соединений
О-ксилол	3300–3100 с.ш., 2950–2860 с., 1740–1720 сп., 1480 сп., 1250–1200 сл.ш., 1150–1050 сп., 725 сп.	Углеводороды, спирты, органические кислоты, сложные эфиры
Хлороформ	3300–3100 с.ш., 3060 сл., 3020 сл., 2950–2860 с., 1740–1720 сп., 1600 сл., 1510 сл., 1480 с., 1300, 1250–1200, 1050 сл., 725 сп.	Углеводороды, кислоты, примесь ароматических соединений
Хлороформ–этанол (2 : 1)	3300–3100 с.ш., 2950–2850 с., 1740 с., 1600 сп., 1500 сл., 1480 с., 1320, 1150–1050 сп., 780, 725 сп.	Углеводороды, сложные эфиры, спирты, примесь ароматических соединений
Хлороформ–этанол–уксусная кислота (10 : 5 : 1)	3400 о.с.ш., 2930–2870 сп., 1732 сп., 1605 о.с., 1515 сл.выст., 1480 с., 1465 с., 1430 с., 1380 с., 1256 сп., 1180–1050–985 с.	Углеводы, соли органических кислот, примесь ароматических соединений
Дистиллированная вода	3400 о.с.ш., 2930–2870 сп., 1570 с., 1520 сл., 1410 с., 1420 сп., 1260 сп., 1105–1050–990 о.с., 930 сп.	Углеводный комплекс, соли органических кислот

Далее изучали биологическую активность исходного экстракта ивы и каждой фракции отдельно. Биологическую активность фракции оценивали по количественному содержанию в ее компонентном составе суммарных тритерпеноидов. Анализ проводили по методике, разработанной нами ранее [5], где в качестве эталона использовали тритерпеновый углеводород $C_{30}H_{50}$ (см. табл. 3). В основу методики положено взаимодействие тритерпеновых соединений с концентрированной серной кислотой, в результате чего происходит протонирование молекул тритерпеноидов с образованием катионов, дающих характерную окраску раствора и максимум спектра поглощения в ультрафиолетовой области при 310 нм. УФ-спектры эталона и исследуемого образца записывали на автоматизированном приборе SPECORD VIS.

В результате проведенного эксперимента было установлено высокое содержание суммарных тритерпеновых соединений – 80,5 % от массы экстракта в пересчете на тритерпен $C_{30}H_{50}$ (см. табл. 1). Анализ данных по изучению биологической активности отдельных фракций экстракта ивы показал, что тритерпеновые соединения сконцентрированы в превалирующих фракциях экстракта ивы: во фракции, элюированной спирто-хлороформной смесью с добавлением уксусной кислоты, – 33,9 % и во фракции, элюированной горячей дистиллированной водой, – 26,8 % от массы исходного экстракта в пересчете на тритерпеновый углеводород $C_{30}H_{50}$ (см. табл. 2). Такого рода соединения во всех остальных

фракциях практически отсутствуют. Следовательно, исходя из этого, а также опираясь на результаты исследования компонентного состава превалирующих фракций, можно заключить, что наибольшая часть тритерпеноидов водно-спиртового экстракта коры ивы имеет углеводное происхождение – являются сапонинами.

Наличие в химическом составе водно-спиртового экстракта коры ивы биологически активных соединений (тритерпеноидов, ненасыщенных жирных кислот, спиртов) позволило нам предположить, что экстракт коры ивы может проявлять фунгицидную активность.

Для проверки предположений совместно с лабораторией фитопатогенных организмов ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларусь» были проведены исследования жидкого водно-спиртового экстракта коры ивы (содержание сухого вещества 2,5 %) на биологическую активность в отношении трех патогенов растений *Botrytis cinerea*, *Alternaria panax*, *Fusarium sp.* В качестве эталона использовался фундазол (0,4 %-ной концентрации), фунгицид широкого спектра действия. Споры грибов экспонировались на предметных стеклах во влажных камерах в чашках Петри в капле препарата. В контрольном варианте споры размещались на предметных стеклах во влажных камерах чашек Петри в капле воды. Для определения фунгицидной активности препаратов учитывался процент прорастания спор. Выборка составляла по 150 спор в каждой капле (по 50 спор в 3 полях зрения при увеличении $\times 80$), в двух повторностях. Споры грибов

были заложены на прорастание в растворы экстракта ивы различной концентрации: 0,4 %, 0,2 %, 0,1 %. Время экспозиции спор *Botrytis cinerea* –

– 24 ч., *Alternaria panax* – 6 ч., *Fusarium sp.* – 12 ч. Результаты эксперимента представлены в табл.4.

Таблица 4. Фунгицидная активность водно-спиртового экстракта коры ивы

Образец	Среднее количество проросших спор, %		
	<i>Botrytis cinerea</i>	<i>Fusarium sp.</i>	<i>Alternaria panax</i>
Экстракт 2,5 %	0	0	0
Экстракт 0,4 %	0,17	48,00	39,0
Экстракт 0,2 %	0,17	49,70	41,83
Экстракт 0,1 %	0,17	49,70	44,33
Контроль	1,67	47,83	44,00
Фундазол	0	8,67	0

Анализ экспериментальных данных показал, что жидкий водно-спиртовой экстракт коры ивы с исходной концентрацией сухого вещества 2,5 % обладает фунгицидной активностью в отношении всех использованных фитопатогенных грибов в такой же степени, как и известный синтетический препарат фундазол. Кроме того, можно считать, что раствор экстракта с концентрацией сухого вещества 0,4 % также проявляет фун-

гицидные свойства в отношении патогенных грибов *Botrytis cinerea*. Значит, исследованные образцы могут быть использованы как экологически чистые препараты для борьбы с фитопатогенными микроорганизмами, возбудителями распространенных заболеваний культурных и дикорастущих растений, таких, как мягкие гнили, увядания, различные пятнистости.

Л и т е р а т у р а

1. Белькевич П. И., Гайдук К. А., Зуев Т. Т. Торфяной воск и сопутствующие продукты. Минск, 1977.
2. Белькевич П. И., Голованов Н. Г., Долидович Е. Ф. Битумы торфа и бурого угля. Минск, 1985.
3. Государственная фармакопея СССР. М., 1987.
4. Зайцева Т. Л., Жуков В. К. Характеристика экстрактивных веществ некоторых растений-торфообразователей // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. 2006. № 4. С.113–115.
5. Зайцева Т. Л., Навоша Ю. Ю., Шеремет Л. С., Пармон С. В. Усовершенствованный метод количественного определения биологически активных тритерпеноидов в экстрактах торфа и растений-торфообразователей // Химия растительного сырья. 2000. № 4. С. 35–37.
6. Кузнецов М. А. Лекарственное растительное сырье. М., 1984.
7. Машковский М. Д. Лекарственные средства. М., 1993.
8. Носаль М. А., Носаль И. М. Лекарственные растения и способы их применения в народе. Минск, 1997.
9. Ушанова В. М., Воронин В. М., Репях С. М. Исследование влияния компонентов лекарственного растительного сырья на состав получаемых экстрактов // Химия раст. сырья. 2001. № 3. С. 105–107.
10. Чирков А. И., Килинин А. А. Лекарственные растения в дерматологии и косметике. М., 1995.

Институт природопользования НАН Беларуси

Т. Л. Зайцева, В. К. Жуков, С. В. Пармон, Л. С. Шеремет

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ВОДНО-СПИРТОВОГО ЭКСТРАКТА КОРЫ ИВЫ

Поиск новых источников биологически активных веществ природного происхождения актуален и в настоящее время. Перспективным сырьем для этих целей является ива с быстро растущей биомассой и комплексом биологически активных соединений в компонентном составе ее коры. Цель настоящей работы – исследование компонентного состава и биологической активности

водно-спиртового экстракта коры ивы козьей – типичного представителя болотной растительности низинного типа. С использованием водно-спиртового экстрагента из коры ивы выделен экстракт. Методом колоночной адсорбционной хроматографии данный экстракт разделен на шесть фракций. Определены выход и основные физико-химические характеристики исходного экстракта коры ивы, а также его фракций. Установлено высокое содержание в его компонентном составе суммарных тритерпеновых соединений (около 80 % от массы экстракта в пересчете на тритерпен $C_{30}H_{50}$), обладающих противовоспалительными и antimикробными свойствами. Показано, что жидкий экстракт коры ивы с концентрацией сухого вещества 2,5 % проявляет fungicidные свойства в отношении патогенов *Botrytis cinerea*, *Alternaria panax* и *Fusarum* sp. в такой же степени, как известный синтетический препарат фундазол.

T .L. Zaitseva, V. K. Zhukov, S. V. Parmon, L. S. Sheremet

**THE PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTIC AND BIOLOGICAL ACTIVITY
OF AQUEOUS-ALCOHOLIC EXTRACT OF A WILLOW BARK**

Search of new sources of biologically active substances of a natural origin is yet actual now. A perspective raw materials for these purposes is the willow with quickly growing biomass and a complex of biologically active compounds in component structure of its bark. The purpose of the present work is to investigate the component structure and biological activity of an aqueous-alcoholic extract of a goat willow bark – the typical representative of marsh vegetation of lowland type. Using aqueous-alcoholic extra-agent an extract has been obtained from a willow bark. Using the column-adsorption chromatography method the stated extract has been divided into six fractions. The output and basic physical and chemical characteristics of initial extract of a willow bark and its fractions are defined. A high content of total tri-terpen compounds (about 80 % of the weight of an extract in recalculation per tri-terpen $C_{30}H_{50}$) in its component composition has been revealed, possessing anti-inflammatory and antimicrobial properties. It has been shown, that the liquid extract of a willow bark having concentration of solid matter 2,5 % reveals fungicidal properties for *Botrytis cinerea*, *Alternaria panax* and *Fusarum* sp. pathogenic matters in the same degree, as a known synthetic preparation fundazol. .

**А. Э. Томсон, Г. В. Наумова, С. Ф. Шурхай, Н. А. Жмакова,
Т. Ф. Овчинникова, Н. Л. Макарова**

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ НЕКОТОРЫХ КОМПОНЕНТОВ ТОРФА И РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Представлены результаты определения антиоксидантной активности некоторых компонентов торфа (гуминовых кислот, фульвокислот, пектинов, свободных фенольных соединений), фракций меланоидинов, выделенных из отходов растительного сырья – ростков солода, лузги гречневой и какао-велла.

В настоящее время ветеринария и медицина уделяют особое внимание не только лечебным препаратам, но и биологически активным добавкам, которые способствуют ускорению обмена веществ, усилинию реактивности и жизнеспособности организма, повышению иммунобиохимического гомеостаза, устойчивости к неблагоприятным факторам (к несбалансированности корма, стрессовым состояниям, недостатку света, тепла, и др.).

Нарушение иммунобиохимического гомеостаза в процессе жизнедеятельности сельскохозяйственных животных оценивается специалистами как одна из главных причин снижения выживаемости и выбраковки молодняка, низкой продуктивности при откорме, уменьшения молочной продуктивности, что приводит к существенному недобору мясной и молочной продукции (до 30%). Основными факторами, нарушающими внутренний гомеостаз животных, являются несбалансированность рационов по питательным и биологически активным веществам, загрязнение кормов химическими веществами (радионуклидами, тяжелыми металлами, нитратами, канцерогенными выбросами и т.д.), оксидативный стресс у животных под воздействием неблагоприятных факторов внешней и внутренней среды. Одним из проявлений биологического действия этих факторов является активизация в организме животных свободно радикальных процессов, которые, по мнению некоторых авторов, повреждают мембранны клеток и способствуют накоплению токсических продуктов перекисного окисления липидов, приводящих, в свою очередь, к различным сбоям в обмене веществ, а главное, – в иммунном статусе организма [5, 6].

Для защиты животных от негативных изменений в организме под воздействием свободных радикалов необходима разработка и использование в практике животноводства и ветеринарии антиоксидантных препаратов, способных эффективно противостоять болезням [1–3].

Сырьем для получения данных препаратов может служить торф и отходы растительного сырья – источники природных биологически активных соединений различных химических классов.

Поэтому значительный интерес представляло выделение, накопление отдельных фракций органических компонентов торфа и растительного сырья и последующее исследование уровня их антиоксидантной активности.

В качестве исходного материала для получения таких биологически активных фракций выбраны: верховой магелланикум-торф со степенью разложения 20–25 %, оболочки семян (луга гречневая), ростки солода (отход пивоваренного производства), а также какао-велла (отход кондитерской промышленности), которые, согласно научным данным, включают в свой химический состав кроме гемицеллюз широкий спектр биологически активных веществ: витаминов, ферментов, протеинов, аминокислот, пектинов, фенольных соединений. Кроме того, луга гречневая содержит биологически активные красящие вещества – фитомеланины и меланоидины, а ростки солода и бобы какао – меланоидины, образующиеся в процессе сушки, предусмотренной технологиями переработки проросшего ячменя и бобов какао. Эти отходы в республике пока не находят эффективного применения.

Изучена общая химическая характеристика органической части исходного сырья, использованного при получении отдельных фракций, обладающих антиоксидантными свойствами.

Для исследования торфа применялся метод группового анализа, предусматривающий выделение его основных органических компонентов: водорастворимых веществ, легкогидролизуемых полисахаридов, трудногидролизуемых веществ (целлюлозы), гуминовых веществ и негидролизуемого остатка («лигнина»).

Групповой анализ растительных отходов проводили по тому же методу, который выбран для торфа, но, учитывая тот факт, что фракция продуктов, получаемых при щелочной обработке растительного сырья, не содержит гуминовых веществ, она названа «щелочерастворимые вещества».

Результаты исследования компонентного состава магелланикум-торфа со степенью разложения 20–25 %, ростков солода, какао-веллы и луги гречневой представлены в табл. 1.

Таблица 1. Компонентный состав торфа и отходов растительного сырья

Вид сырья	Содержание компонентов, % на органическую массу							
	Водорастворимые вещества		Легкогидролизуемые вещества		Трудногидролизуемые вещества		Щелочерастворимые вещества	
	общее содержание	РВ	общее содержание	РВ	общее содержание	РВ		
Магелланикум-торф <i>R</i> = 20–25 %	4,3	2,1	34,1	14,8	8,1	7,7	39,0*	14,5
Ростки солода	29,6	8,3	43,4	18,2	10,3	12,1	2,3	14,4
Лузга гречневая	5,0	1,4	34,8	25,0	35,1	29,9	6,6	18,5
Какао-велла	8,9	4,1	41,7	20,5	28,8	19,7	5,4	15,2

* Гуминовые вещества.

Установлено, что различные категории сырья, используемого в экспериментах, существенно отличаются по химическому составу. Так, наиболее лабильными составляющими любого растительного сырья являются водорастворимые вещества, способные переходить в жидкую фазу при его длительной обработке (5 ч) горячей водой (96–98 °C). Самым высоким выходом водорастворимых веществ характеризуются ростки солода, водные экстракты которых содержат около 30 % органических веществ. Низким содержанием водорастворимых веществ отличается торф (4,3 %).

Следует отметить, что водорастворимые вещества ростков солода (29,6 % на ОМ) включают в свой состав значительное количество редуцирующих сахаров (РВ), а также, согласно дополнительным исследованиям, обогащены меланоидинами и карбоновыми кислотами. Легкогидролизуемые полисахариды также преобладают в ростках солода, если в торфе их уровень составляет 34,1 %, то в ростках солода – 43,4 %.

Как и следовало ожидать, целлюлоза (трудногидролизуемые вещества) в разном количестве также входит в состав растительных тканей исследуемого сырья.

В компонентном составе органического вещества ростков солода целлюлоза составляет лишь 10,3 %, что вполне объяснимо принадлежностью ростков к молодым проросткам ячменя.

Низким выходом трудногидролизуемых веществ отличается исследуемый торф (8,1 %). Это обусловлено значительной степенью гумификации торфяного сырья (*R* = 20–25 %), в процессе которой происходит микробиологическая деградация целлюлозы, а также невысоким содержанием данных соединений в химическом составе материнского вещества (биомасса сфагновых мхов).

Необходимо отметить исключительно большое различие в исследуемых образцах сырья в содержании щелочерастворимых веществ. Наибольшим выходом отличается торф – 39,0 % щелочерастворимых веществ. Эта фракция в торфе представлена гуминовыми веществами.

Низким выходом щелочерастворимых веществ характеризуются ростки солода (2,3 %), несколько выше этот показатель у другого растительного сырья.

Все исследуемые образцы не отличаются высоким содержанием негидролизуемого остатка – так называемого «лигнина», что обусловлено низким уровнем лигнификации данных видов растительного сырья.

Для определения антиоксидантной активности отдельных компонентов торфа из него были выделены фракции гуминовых кислот, фульвокислот, пектинов и фракция, содержащая свободные фенольные соединения, которые, как известно, способны проявлять антиоксидантные свойства. Из растительного сырья выделяли меланоидины.

Гуминовые кислоты из торфа выделяли его трехкратной обработкой 0,1 н раствором едкого натра при соотношении торф:жидкость 1 : 150 при температуре 80–90 °C в течение 1 ч. Фильтраты соединяли, подкисляли соляной кислотой до pH 1–2. Осадок вымораживали в течение 2 сут при температуре -5 °C, отделяли от фильтрата, промывали дистиллированной водой до исчезновения ионов хлора в промывных водах (проба с азотокислым серебром) и высушивали на воздухе. Выход гуминовых кислот составил 29,5 % от органической массы торфа.

Фульвокислоты выделяли по методу Форсита из кислого фильтрата после осаждения ГК [4], применяя адсорбцию органических компонентов на угле марки ОУ-А (щелочной). Такой метод разделения наиболее выгоден по сравнению с методами осаждения, так как позволяет получить более чистые препараты ФК. Кислый раствор фульвокислот пропускали через уголь. После их адсорбции уголь промывали 0,1 н соляной кислотой для удаления аминокислот, пуриновых оснований и углеводов. Затем через уголь пропускали смесь ацетона и воды в соотношении 10 : 1 для очистки фульвокислот от углеводов и фенольных компонентов, уголь промывали водой, которая снимает полисахариды, содержащие глюкозные и глюкуроновые остатки и пентозаны.

Все эти фракции сопутствовали фульвокислотам при их выделении. Сами фульвокислоты снимали с активированного угля 0,5 н раствором гидроксида натрия с ацетоном в соотношении 4:1. Раствор фульватов натрия нейтрализовали до pH 7 соляной кислотой, диализовали, концентрировали вымораживанием при температуре минус 2–5° С и высушивали при температуре 35–40° С. Выход фульвокислот составил 9,5 %.

Для выделения пектинов из торфа использовали метод, описанный в [7]. Полисахариды гемицеллюлоз связаны с другими компонентами растительной ткани (целлюлозой, лигнином, экстрактивными веществами), поэтому процесс их выделения является многостадийным и включает отделение полисахаридов от других компонентов, их фракционирование и очистку. Для извлечения экстрактивных веществ высушенные и измельченные образцы торфа экстрагировали смесью спирт:бензол (1 : 2) в аппаратах Сокслета, а затем для удаления лигнина и гуминовых веществ торф окисляли в течение 10 мин при температуре 65 °С 10 %-ным раствором надкусной кислоты. Выход холоцеллюлозы составил 69,8 %. После этого полисахариды экстрагировали 18 %-ным раствором гидроксида натрия. Пектинны осаждали 5-кратным объемом этилового

спирта. Осадок полисахаридов промывали спиртом, а затем ацетоном и высушивали при комнатной температуре. Выход пектинов составил 16,2 %.

Из магелланикум-торфа выделяли также фракцию, содержащую фенольные соединения. Для этого торф трижды экстрагировали при комнатной температуре 70 %-ным этиловым спиртом. Экстракти объединяли, спирт упаривали, а остаток растворяли в 1 %-ном растворе гидроксида натрия. Выход спирторастворимой фракции составил 2,1 % от ОМ торфа.

Из растительного сырья были выделены фракции меланоидинов. Для выделения последних из лузги гречневой, ростков солода и какао-веллы использовали метод их экстракции раствором гидроксида натрия. Щелочные экстракти диализовали против проточной воды до pH 8,5, а затем меланоидины осаждали ацетоном. Полученную суспензию центрифугировали, осадок промывали этианолом и высушивали при температуре 60 °С. Выход меланоидинов составил (% от ОМ сырья): из лузги гречневой – 4,4; из ростков солода – 3,0; из какао-веллы – 2,4 %.

Сведения о выделенных продуктах представлены в табл. 2.

Таблица 2. Выход фракций из торфа и исходного растительного сырья

Вид сырья	Фракция	Выход, % от ОМ сырья	Содержание ОВ, %	Влажность, %	Зольность, %
Торф	Гуминовые кислоты	29,5	90,2	8,5	1,3
	Фульвокислоты	9,5	89,2	7,6	3,2
	Пектинны	16,2	86,0	7,9	6,1
	Фенольные соединения	2,1	92,7	6,8	0,5
Лузга гречневая	Меланоидины	4,4	90,4	8,2	0,8
Ростки солода		3,0	91,2	7,3	1,5
Какао-велла		2,4	90,3	8,4	1,3

Как видно из полученных данных, выделенные фракции характеризовались высоким содержанием органических веществ и низкой зольностью. При этом наиболее высоким содержанием золы отличались пектинны, способные удерживать минеральные составляющие за счет кислых функциональных групп (карбоксилов). Все фракции имели примерно одинаковую влажность, поскольку процесс их высушивания проводили в одинаковых условиях и хранили в эксикаторе.

Для оценки степени (уровня) антиоксидантной активности полученных препаратов в них определяли содержание биологически активных веществ восстановливающего характера, сравнивая эти показатели с их содержанием в кверцетине, по методике, обычно используемой

для определения антиоксидантной активности фитопрепаратов, пищевых и кормовых добавок. Как известно, кверцетин является наиболее важным и наиболее распространенным флавонолом в своей группе и принят у специалистов-биохимиков в качестве стандарта при оценке антиоксидантной активности. В растениях он встречается как в свободном виде, так и в форме гликозидов (например, рутин).

Определение антиоксидантной активности проводили по [8]. Данная методика основана на реокислении восстановленного рибофлавина. При этом использовали реакционную среду, которая в объеме 3 мл содержала: 6,5 мкМ рибофлавина; 13,0 мкМ метионина; 87 мкМ нитросинего тетразолия; 1 мг желатина; 33 мкМ ЭДТА и 20 мкМ трис-HCl (pH 8,0).

Контролем служила дистиллированная вода. Оптическую плотность (λ_{560}) регистрировали до и после 6 мин освещения белым светом (лампа ЛЭТИ-60). Интенсивность облучения подбирали такой, чтобы скорость восстановления нитросинего тетразолия при pH 8 составляла 0,05

ед. оптической плотности / мин. По интенсивности изменения окраски ($\Delta\Delta_{560}$) судили об антиоксидантной активности исследуемых препаратов.

Результаты определения антиоксидантной активности отдельных фракций торфа и растительного сырья приведены в табл. 3.

Таблица 3. Антиоксидантная активность отдельных фракций, выделенных из торфа и растительного сырья

Образец	Разведение	Антиоксидантная активность		
		в процентах	мг кверцетина /мл	средняя, мг кверцетина /мл
Кверцетин	1:1000	22,30	1,0	1,0
Гуминовые кислоты	1:150	73,06	7,61	7,68
	1:200	65,74	7,75	
Фульвокислоты	1:85	79,63	6,30	6,15
	1:90	77,70	6,00	
Пектины	1:20	64,99	0,75	0,71
	1:40	37,46	0,66	
Меланоидины ростков солода	1:10	70,15	0,45	0,45
	1:20	49,23	0,44	
Меланоидины лузги гречневой	1:10	26,30	0,86	0,72
	1:20	19,46	0,58	
Меланоидины какао-веллы	1:30	45,94	0,38	0,36
	1:40	41,72	0,34	
Фенольная фракция торфа	1:10	87,36	1,52	1,55
	1:20	80,84	1,58	

Как видно из полученных данных, исследуемые фракции имели различную антиоксидантную активность. Так, если гуминовые кислоты и фульвокислоты проявляли соответственно активность равную 7,68 и 6,15 мг кверцетина на 1 мл, то у фракций растительных препаратов, в частности меланоидинов, данный показатель был на уровне 0,36–0,72 мг кверцетина на 1 мл. На таком же уровне находилась антиоксидантная активность пектинов торфа, которая не превышала 0,71 мг кверцетина на 1 мл. Фенольная фракция торфа проявляла несколько большую активность в сравнении с меланоидинами и составляла 1,55 мг кверцетина на 1 мл, но примерно в 3 раза меньшую, чем гуминовые вещества торфа. Следовательно, антиоксидантная активность продуктов, выделяемых из торфа, в боль-

шей мере может быть обусловлена веществами полифенольного характера, чем низкомолекулярными фенольными соединениями.

Таким образом, оценка антиоксидантных свойств отдельных компонентов растительного сырья и торфа показала, что гуминовые вещества, представленные гуминовыми кислотами и фульвокислотами, обладают более высокой антиоксидантной активностью, чем известный антиоксидант кверцетин.

В результате проведенных исследований впервые установлена перспективность использования гуминовых препаратов, получаемых на основе торфа, в качестве биологически активных кормовых добавок с высокой антиоксидантной активностью, способных повышать иммунитет сельскохозяйственных животных.

Л и т е р а т у р а

1. Зенков Н. К., Ланкин В. З., Земщиков Е. Б. Оксидательный стресс. М., 2001.
2. Левина Г. Н. Высокопродуктивные стада коров, необходимость повышения резистентности животных// Аграрная наука. 2005. № 7. С. 290–295.
3. Нежданов А. Г., Кушнир И. Ю., Рецкий М. И., Лободик К. А. Преоксидация липидов и состояние системы антиоксидантной защиты у высокопродуктивных коров в норме и при акушерской патологии // Свободные радикалы, антиоксиданты и здоровье животных. Материалы междунар. науч.-практ. конф. Воронеж, 2004. С. 116–122.
4. Орлов Д. С., Гришина Л. А., Ерошичева Н. Л. Практикум по биохимии гумуса. М., 1969.
5. Саватеев А. В. Перекисное окисление липидов как один из факторов возникновения плацентитов у коров // Ветеринарная наука производству. Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Минск, 2005. Вып. 38. С. 449–451.
6. Цыганский Р. А. Динамика свободнорадикального окисления у коров при различном функциональном состоянии: Автореф. дис. канд. биол. наук. Ставрополь, 2003.
7. Шарков В. И., Куйбина Н. И. Химия гемицеллюз. М., 1972.

8. Beauchamp C. O., Fridovich I. Superoxide dismutase: Improved assays and an assays applicable to acrylamide gels // Anal. Biochem. 2000. Vol. 44. P. 276–287.

**Институт природопользования НАН Беларуси,
Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси**

**А. Э. Томсон, Г. В. Наумова, С. Ф. Шурхай, Н. А. Жмакова,
Т. Ф. Овчинникова, Н. Л. Макарова**

**АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ НЕКОТОРЫХ КОМПОНЕНТОВ ТОРФА
И РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ**

Объект исследования – торф и отходы растительного сырья как источники природных биологически активных соединений различных химических классов.

Цель работы – выделение, накопление и последующее исследование уровня антиоксидантной активности отдельных фракций органических компонентов торфа и растительных отходов – ростков солода, какао-вэлла и лузги гречневой.

Из верхового магелланум-торфа со степенью разложения 20–25 % выделены фракции гуминовых кислот, фульвокислот, пектинов и фракция, содержащая свободные фенольные соединения, из растительного сырья – меланоидины. Для оценки уровня антиоксидантной активности полученных препаратов в них определяли содержание биологически активных веществ восстанавливающего характера, сравнивая эти показатели с их содержанием в известном природном антиоксиданте – кверцетине. Установлено, что наибольшую антиоксидантную активность проявляли гуминовые кислоты и фульвокислоты (7,68 и 6,15 мг кверцетина на 1 мл), активность фенольной фракции торфа была значительно ниже и составляла 1,55 мг кверцетина на 1 мл. Это свидетельствует о том, что антиоксидантная активность препаратов из торфа в большей мере может быть обусловлена веществами полифенольного характера, чем низкомолекулярными фенольными соединениями. Меланоидины растительного сырья и полисахарида торфа проявляли более низкую антиоксидантную активность – 0,36–0,72 мг кверцетина на 1 мл.

В результате проведенных исследований впервые установлена перспективность использования гуминовых препаратов, получаемых на основе торфа, в качестве биологически активных кормовых добавок с высокой антиоксидантной активностью, способных повышать иммунитет сельскохозяйственных животных.

**A. E. Tomson, G. V. Naumova, S. V. Shurkhay,
N. A. Zhmakova T. F. Ovchinnikova, N. L. Makarova**

ANTIOXIDATIVE ACTIVITY OF SOME PEAT COMPONENTS AND VEGETATIVE WASTE

As raw materials for these preparations production, peat and a waste of vegetative raw materials – sources of natural biologically active compounds of various chemical classes.

The purpose of the given work was allocation, accumulation and the subsequent research of the level of anti-oxidative activity of some fractions of peat organic components and a vegetative waste - malt sprouts, cocoa-vella and buckwheat shell.

From the raised magellanicum peat with degree of decomposition 20–25 % fractions of humic acids, fulvic acids, pectins and the fraction containing free phenol compounds have been extracted, from vegetative raw materials – melanoidins have been extracted. To assess a level of anti-oxidative activity of the obtained preparations the content of biologically active substances of restoring character has been defined in them, comparing these indicators with their content in a known natural anti-oxidant – querticine.

It has been found that the greatest anti-oxidative activity revealed humic acids and fulvic ones (7,68 and 6,15 mg of querticine per 1 ml), activity of phenolic fraction of peat was much lower and made 1,55 mg of querticine per 1 ml. It testifies that anti-oxidative activity of preparations from peat to greater degree can be caused by substances of polyphenolic character, than by low-molecular phenolic compounds. Melanoidines of vegetative raw materials and polysaccharoids of peat exposed lower anti-oxidative activity - 0,36-0,72 mg of querticine per 1 ml.

As a result of the carried out researches the perspectives of humic preparations use obtained on the basis of peat, as biologically active fodder additives with high anti-oxidative activity, capable to raise immunity of agricultural animals for the first time has been claimed.

Т. Я. Кашинская, А. П. Гаврильчик, Н. В. Шевченко

ПОЛУЧЕНИЕ ПРЕПАРАТОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТОРФА

Обобщены результаты исследований по созданию торфяных препаратов различного назначения: концентрированных жидких гуминовых удобрений с микроэлементами, гуминового красителя для древесины, тканей, кожи, преобразователя ржавчины, выщелачивающего реагента для добычи редких и цветных металлов, торфяного препарата для фитоэкстракции при очистке территорий, загрязненных тяжелыми металлами.

Неизменно приоритетными являются исследования, обеспечивающие эффективное использование природных ресурсов; среди таких ресурсов торф занимает особое место по сложности состава и наличию широкого класса химических веществ, представляющих интерес для многих производств.

Разнообразие исходного растительного материала и многообразие условий формирования торфяных месторождений позволяют рассматривать торф как сырье для получения препаратов самого различного назначения.

Разработана технология и налажено производство гуминового препарата многоцелевого использования, который выделяется обработкой торфа водным раствором амиака при повышенных температуре и давлении. Подбирая торфяное сырье, варьируя температурой, давлением, соотношением компонентов (торф, концентрация аммиачного раствора, соотношение торф: раствор амиака) и используя одно и то же технологическое оборудование, получаем продукт, который находит применение, по меньшей мере, в трех различных направлениях:

1) для получения анткоррозионных составов;

2) в качестве красителя для древесины, текстильных и кожевенных изделий;

3) как биологически активный стимулятор в составе жидких гуминовых удобрений с микроэлементами.

В результате коррозии из обращения постоянно выходит до 30 % добываемого железа. Около 2/3 этого количества возвращается производству в виде металломола, но 1/3, т.е. 10 % всей мировой добычи, теряется безвозвратно.

Всякие условия, способствующие образованию защитных пленок или повышению их прочности, увеличивают устойчивость металла по отношению к коррозии. Защитное действие ингибиторов связано с их адсорбией на поверхности и последующим торможением анодных и катодных процессов, обусловливающих коррозию металла. Ингибиторами анодных процессов являются сильные окислители и вещества, образующие на поверхности защитные пленки. Инги-

биторами катодных процессов являются, как правило, органические соединения, среди которых много азотсодержащих веществ (аммиака, уротропина, жирных и ароматических аминов и их солей, гетероциклов, пиридиновых оснований). Пленочная теория объясняет механизм действия ингибиторов образованием труднорастворимых компонентов.

Гуминовые кислоты торфа обладают способностью к комплексообразованию, содержат в своем составе азот, образуют комплексные соединения с катионами металлов. Обработка торфа водным раствором амиака при повышенных температуре и давлении приводит не только к образованию гуматов аммония, но и модифицирует гуминовые кислоты, существенно увеличивая содержание азота в их конденсированных структурах путем замены кислорода на азот в гетероциклах. Кроме того, в результате синтеза при взаимодействии амиака с углеводным комплексом торфа образуются новые азотсодержащие гетероциклы, которые по мере повышения температуры модификации превращаются в термоустойчивые соединения [10]. Такие модифицированные амиаком гуминовые кислоты проявляют повышенную способность пассивировать процесс коррозии металла. Выявленные анткоррозионные свойства данных кислот были использованы для получения на их основе средств для борьбы с коррозией металлов. Они дают хороший защитный эффект при использовании в составе преобразователей ржавчины и в консервационных составах. Степень защиты от коррозии металлов модифицированными гуминовыми кислотами зависит от ботанического состава торфа и уменьшается в ряду: низинный, переходный, верховой. Введение в состав преобразователя ржавчины (КРАФ) и грунтовки-преобразователя (ПРИТ) модифицированных гуминовых кислот существенно улучшило качество вышеназванных средств. [12, 13].

Крашение древесины при изготовлении мебели производится для выявления текстуры и усиления естественной окраски, выравнивания тона и имитации малоценных пород под ценные. Наряду с синтетическими анилиновыми красите-

лями для этой цели применяются природные красители на основе гуминовых кислот каустобиолитов. Модифицирование гуминовых кислот торфа обработкой водным раствором аммиака при повышенных температуре и давлении позволяет получить гуминовый краситель более высокого качества по сравнению с ранее применявшимся гуматом натрия. По качеству и свойствам полученный гуминовый краситель относится к лучшим образцам этого класса природных пигментов: светостоек, хорошо прокрашивает древесину, контрастно проявляет ее текстуру, не мигрирует в отделочные материалы, легко смывается с рук, не обладает кожно-резорбтивным и кожнораздражающим действием, хорошо смешивается с синтетическими красителями, что позволяет получать большое разнообразие оттенков и успешно конкурировать с традиционными для мебельной промышленности анилиновыми красителями и тонаксилами [14, 15]. Происходящая при обработке торфа аммиаком модификация гуминовых кислот, сопровождающаяся дезагрегацией их молекул, уменьшением молекулярного веса, возрастанием числа функциональных, в частности азотсодержащих хромофорных групп, позволяет получать препарат с высокой красящей способностью. Более того, данный препарат является эффективным красителем коричневой гаммы для текстильных и кожевенных изделий. Производственные испытания показали пригодность торфяного красителя в качестве пигmenta для печати на трикотажных изделиях [3]. На основе препарата разработан состав для отделки натуральной кожи и изделий из нее [11]. Эффект апперетирования (освежения) лицевой натуральной кожи объясняется пленкообразующими и красящими свойствами гуматов торфа. Состав успешно прошел производственные испытания в технологии восстановления покрытий на одежде из натуральной кожи для выравнивания цвета, придания изделию блеска и товарного вида. Нанесенное покрытие для повышения водостойкости защищают лаком.

В качестве сырья для получения гуминового красителя предпочтительно использовать верховой торф степенью разложения более 25 %.

Внедрение в сельскохозяйственное производство передовых технологий невозможно без обеспечения сбалансированного питания растений микроэлементами, а также использования биологически активных препаратов, оказывающих положительное влияние на развитие растений и качество получаемой продукции. Известна способность гуминовых веществ торфа оказывать благоприятное влияние на рост растений. Под влиянием низких концентраций гуминовых кислот (0,01–0,0001 %) в растениях активизируются все основные звенья обмена веществ: синтез белка, нуклеиновых кислот, фосфорсодержащих соединений – переносчиков энергии. Гу-

миновые кислоты оказывают влияние на ферментативную деятельность растительной клетки, усиливают фотохимические процессы, транспорт электронов, фосфорилирование в хлоропластах. Активизация обменных процессов и синтезирующих систем у растений в присутствии гуматов способствует повышению урожая и улучшению его качества. Кроме того, гуминовые вещества усиливают резистентность растений к неблагоприятным условиям среды.

Создание торфяных препаратов, обладающих физиологической активностью, требует решения двух основных задач: увеличения выхода и повышения активности гуминового комплекса. В проявлении биологической активности гуминовых веществ важная роль отводится функциональным группам, которые определяют ионообменные и сорбционные свойства этих соединений. Высокой физиологической активностью обладают более ароматизированные фракции торфяных гуминовых кислот, содержащие больше фенольных гидроксилов и хиноидных групп. Гуминовые кислоты торфа, обработанного аммиаком при повышенных температуре и давлении, характеризуются малым содержанием боковых цепей, наличием большего количества функциональных групп, способных к взаимодействию с металлами, азотсодержащих ароматических структур, склонных к комплексообразованию. Кроме того, получаемый при такой обработке торфяной препарат обогащен и другими биологически активными веществами, а именно меланоидинами, пектинами и аминокислотами. Этот торфяной препарат, проявляющий высокую биологическую, а также по отношению к металлам обменную и комплексообразующую активность, послужил основой для создания концентрированных жидких гуминовых удобрений с микроэлементами (ЭлеГум–Медь, ЭлеГум–Марганец, ЭлеГум–Цинк, ЭлеГум–Бор) для некорневой подкормки растений [1]. Жидкие составы содержат 10 г гуминового препарата и не менее 50 г микроэлемента в 1 л раствора. Такие концентрации компонентов позволяют при подкормках с разбавлением в 200 раз выйти на оптимальные при обработке растений концентрации биостимулятора (0,005 %) и микроэлементов (0,025 % Me) и, используя 1 л раствора жидкого удобрения, обрабатывать 1 га посевов. Эффективность разработанных жидких гуминовых удобрений подтверждена полевыми и производственными испытаниями, проведенными на посевах льна, сахарной свеклы, кукурузы и озимой ржи [5]. Наиболее пригодным в качестве сырья для получения гуминового препарата, выполняющего роль базового при производстве концентрированных жидких гуминовых удобрений «ЭлеГум», является верховой торф степенью разложения более 20 %.

Применение механохимической активации методом интенсивного диспергирования торфяного сырья улучшает технологический процесс получения гуминового препарата и расширяет диапазон видов торфов, пригодных в качестве сырья для его получения [9].

В Республике Беларусь имеется масса промышленных отходов, которые могут быть использованы для извлечения металлов. Так, отход переработки апатитового сырья на Гомельском химическом заводе – фосфогипс – содержит до 0,5 % редкоземельных элементов и 2,4 % стронция, что в соответствии с требованиями, предъявляемыми к рудному сырью, является техногенным редкоземельно-стронциевым месторождением [2]. Отходы и отслужившие срок изделия электронной и электронно-технической промышленности содержат в своем составе ценные и цветные металлы. Экономический и экологический интерес представляют извлечение свинца из отработанных гальванических элементов, тяжелых и цветных металлов из бумажной макулатуры перед ее последующим использованием. Добыча же редких и цветных металлов традиционно осуществляется методом подземного или кучного выщелачивания и сопряжена с использованием больших объемов агрессивных по отношению к окружающей среде реагентов [15]. Так, промышленное извлечение благородных металлов из рудных концентратов производится цианистыми соединениями – крайне опасными ядами для живых существ. При получении цветных металлов наиболее распространенными выщелачивающими агентами являются кислоты.

Гуминовые кислоты проявляют высокую сорбционную и ионообменную активность. В связи с этим предпринимались попытки использовать данные кислоты и их соли в качестве растворяющих агентов при подземном и кучном выщелачивании урана, цветных и благородных металлов [14]. Получение, как и использование, гуминовых кислот в качестве выщелачивающих агентов требует применения больших объемов агрессивных веществ (едких щелочей). В связи с этим нами предпринята попытка модификации торфа таким образом, чтобы получить водорастворимые препараты с большим выходом. В естественном состоянии содержание растворимых при 100 °С водой веществ (ВР) редко превышает 4 %. Использование диспергирующих механизмов интенсивного действия позволяет перевести в водорастворимое состояние до 20 % органического вещества торфа [4]. Кроме того, для обогащения торфа водорастворимыми веществами может быть использован природный процесс саморазогревания, сопровождающий хранение фрезерного торфа [7].

В лабораторных экспериментах исследована выщелачивающая активность этих водных препаратов по отношению к металлам, близким

по химическим свойствам к перспективным для добычи в Республике Беларусь. Были использованы труднорастворимые соединения: оксид меди (CuO) и свинец (II) хромовокислый (PbCrO_4). Оценку растворяющей способности препаратов, полученных на основе торфа, производили измерением содержания меди и свинца в растворах после обработки труднорастворимых соединений методом настаивания в различных препаратах в течение 2–14 сут. Для сравнения использовались гуминовые кислоты, предлагавшиеся ранее для выщелачивания золота и урана. Если гуминовые кислоты переводят в раствор медь до концентрации 30 мг/л, свинец – до 20 мг/л, то разработанные нами препараты – до 330 мг/л меди и до 100 мг/л свинца. При одной и той же концентрации выщелачивающего раствора наиболее эффективными являются водные экстракты окисленного в процессе саморазогревания торфа. Если препараты получены из механоактивированного торфа, то более высокой выщелачивающей активностью обладают в данном случае выделенные из образцов верхового торфа [8].

Развитие современных технологий в промышленности и сельском хозяйстве приводит к интенсивному возрастанию содержания металлов в окружающей среде, на несколько порядков превышающего фоновые природные концентрации. Загрязнение почв тяжелыми металлами и радионуклидами происходит вследствие выбросов промышленных предприятий, использования заводских и бытовых отходов в качестве удобрений или мелиорантов, радиационных аварий. На почве с высоким содержанием металлов неизбежна интенсивная транслокация их из почвы в растения, что приводит не только к снижению урожая сельскохозяйственных культур, но и к снижению качества полученной продукции. Загрязнение тяжелыми металлами является одним из наиболее опасных видов деградации почв. Поступающие тяжелые металлы способны передаваться по геохимическим и пищевым цепям в другие среды и могут привести к загрязнению поверхностных и почвенно-грунтовых вод, растений, животных и человека.

Все больший интерес представляет развитие методов охраны и улучшения почв, проведение на основе этих методов мелиоративных мероприятий. К таким мероприятиям относится и биологическое очищение земли от загрязнителей – тяжелых металлов и радионуклидов – за счет отчуждения урожая, так называемая фитомелиорация почв. Тяжелые металлы, извлекаемые из почвы растениями, удаляются с биомассой. На их поступление в растения влияет множество причин: форма нахождения их в почве, антибиотизм и синергизм ионов, свойства почвы, биологические свойства растений. В почве преобладают труднорастворимые соединения, и поток избыточных ионов тяжелых металлов в корни не

столь велик, как можно было бы ожидать, исходя из валового содержания. Возникает необходимость искать и отрабатывать приемы увеличения поступления металлов в растения. При фиторемедиации, для повышения ее эффективности, применяют ряд соединений, увеличивающих подвижность ионов металлов в почве и их поступление в растения. Существует ощущимая потребность в реагентах, обеспечивающих очистку почв от тяжелых и токсичных металлов.

Для эффективного проведения фитоэкстракции необходимы как перевод в растворимое состояние труднорастворимых металлов—загрязнителей, так и обеспечение интенсивного роста растений – биоочистителей почвы. Нами исследована возможность использования для фитоэкстракции препаратов, полученных на основе торфа.

Хранение торфа, добывшего фрезерным способом в производственных складочных единицах сопровождается саморазогреванием. Протекающие при этом микробиологические, ферментативные, химические процессы приводят к существенному изменению его химического состава, значительному увеличению содержания водорастворимых веществ, обогащенных органическими кислотами, гумино- и фульвоподобными соединениями, обладающих высокой выщелачивающей способностью по отношению к труднорастворимым соединениям меди и свинца. Кроме того, водорастворимые вещества окисленного торфа проявляют высокую ростостиму-

лирующую активность [16]. Поэтому представляло интерес исследовать способность водорастворимых веществ окисленного в природных условиях торфа влиять на поступление тяжелых металлов в корневую систему растений и возможность применения таких препаратов для фитоочистки почв, загрязненных тяжелыми металлами.

На примере озимой ржи, редиса и салата были проведены лабораторные вегетационные опыты по исследованию возможности применения препаратов из торфа для фитоэкстракции, а конкретно, на поступление свинца и меди в растения из почвы, загрязненной этими металлами [6].

Анализ полученных данных показывает, что полив почвы водорастворимыми веществами окисленного торфа способствует накоплению тяжелых металлов в растениях, увеличивая поступление свинца в 3–11 раз в зависимости от вида растения и торфяного препарата и накопление меди в 1,8 раза. Результаты дают основание рассматривать водорастворимые вещества окисленного торфа как перспективные препараты для фитоочистки на овощеводческих плантациях, расположенных вблизи городов и промышленных центров, а также на территориях, примыкающих к тепловым электростанциям, цементным заводам, крупным животноводческим комплексам, аэродромам и автомагистралям, на сельхозугодьях возле предприятий черной и цветной металлургии.

Л и т е р а т у р а

1. ВУ. 12422. 2008.
2. Высоцкий Э. А., Махнac А. А., Гудак С. П. и др. Нетрадиционные виды минерального сырья Беларуси // Природные ресурсы. 1999. № 2. С. 5–16.
3. Гаврильчик А. П., Быстрая А. В., Зобак Л. Т., Макеева Л. А. Торфяной краситель для текстильных материалов // Торф. пром-сть. 1991. № 5. С. 31–34.
4. Кашинская Т. Я., Гаврильчик А. П., Калилец Л. П. и др. Изменение химического состава торфа при диспергировании // Химия твердого топлива. 1997. № 6. С. 14–24.
5. Кашинская Т. Я., Гаврильчик А. П., Лапа В. В. и др. Жидкие гуминовые удобрения с микроэлементами // Природопользование. Минск, 2009. Вып. 15. С. 231–235.
6. Кашинская Т. Я., Гаврильчик А. П., Шевченко Н. В. Использование торфяных препаратов для целей фитоэкстракции // Природопользование. Минск, 2007. Вып. 13. С. 158–161.
7. Кашинская Т. Я., Фалюшин П. Л., Шевченко Н. В. Изменение гуминовых веществ при автокислении торфа // Науч. докл. высшей школы. Биол. науки. 1991. № 10 (334). С. 28–33.
8. Кашинская Т. Я., Шевченко Н. В. Исследование растворяющей способности продуктов химической и механохимической модификации торфа по отношению к металлам // Природопользование. Минск, 2005. Вып. 11. С. 186–190.
9. Кашинская Т. Я., Шевченко Н. В. Механохимические превращения торфа // Торф в решении проблем энергетики, сельского хозяйства и экологии. Материалы Междунар. конф. Минск. 2006. С. 206–209.
10. Маль С. С., Поваркова С. С., Сливка З. М. Низкотемпературная модификация торфа водными растворами аммиака // Химия твердого топлива. 1982. № 5. С. 110–116.
11. SU 1089130, 1984.
12. SU 1258094, 1984.
13. SU 1623189, 1989.
14. SU 1080451, 1983.
15. SU 1519223, 1988.

16. Шевченко Н. В., Кашинская Т. Я. Новые методы получения и активизации ростостимулирующих веществ торфа // Гуминовые вещества в биосфере. Материалы II-ой Междунар. конф. М. 2004. С. 212– 215.

Институт природопользования НАН Беларуси

T. Я. Кашинская, А. П. Гаврильчик, Н. В. Шевченко

ПОЛУЧЕНИЕ ПРЕПАРАТОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТОРФА

Представлены обобщенные результаты многолетних исследований по созданию торфяных препаратов различного назначения.

Так, произведя термообработку торфа в аммиачной среде, получается препарат, который находит применение, по меньшей мере, в трех различных направлениях. Во-первых, является пре-восходным красителем для древесины, тканей и кожи, успешно конкурирующим с традиционными для мебельной промышленности анилиновыми красителями и тонаксилами. Торфяной краситель является малотоксичным, равномерно наносится на поверхность деталей мебели, хорошо про-крашивает поры и выявляет текстуру древесины, светостоек, хорошо смешивается с синтети-ческими красителями, что позволяет получить большое разнообразие оттенков. Во-вторых, про-являет способность пассивировать процесс коррозии металлов и используется для получения анткоррозионных составов (преобразователей ржавчины и консервационных средств). В-третьих, обладая комплексным действием как-то: проявляя высокую биологическую актив-ность и имея большую обменную и комплексообразующую активность по отношению к металлам, этот торфяной препарат является основой для создания концентрированных жидких гуминовых удобрений с микроэлементами (ЭлеГум-Медь, ЭлеГум-Марганец, ЭлеГум-Цинк, ЭлеГум-Бор) для не-корневой подкормки растений.

Обогатив торф водорастворимыми веществами, используя природный окислительный про-цесс саморазогревания либо механохимическое активирование при интенсивном диспергировании, можно получить препарат, обладающий высокой растворяющей способностью по отношению к металлам и проявляющий ростостимулирующую активность, что позволяет его рекомендовать в качестве выщелачивающего агента при добыче редких и цветных металлов, а также для целей фитоэкстракции при очистке территорий, загрязненных тяжелыми металлами.

T.Y. Kashinskaya, A. P. Gavrilchik, N. V. Shevchenko

OBTAINING PEAT-BASED PREPARATIONS OF DIFFERENT FUNCTION

The generalized results of long-term researches to create peat preparations of different function are presented.

So, having made peat heat treatment in the ammoniac environment, the preparation is done which may be used at least in three various directions. First, it is an excellent wood , fabrics and a leather dye, successfully competing with aniline dyes traditional for the furniture industry and tone-oxides. Peat dye is a weak-toxic, is evenly put on a surface of details of furniture, paints well the pores and exposes a wood structure, has a light fastness, well mixes up with synthetic dyes that allows to obtain a big variety of shades. Secondly, it reveals ability to retard the corrosion process of metals and is used to obtain anticorrosive structures (rust transformers and conservation means). Thirdly, being of a complex action, such as : revealing high biological activity and having big exchange and complex-forming activity in relation to metals, this peat preparation is a basis for creation of concentrated liquid humic trace element fertilizers (EleGum-copper, EleGum-manganese, EleGum-zinc, EleGum-bore) to feed the top of plants.

Having enriched the peat with water-soluble substances, using a natural oxidizing process of self-warming or mechanical-chemical activation at intensive dispersion , it is possible to get a preparation of high dissolving ability in relation to metals and showing growth-stimulating activity that allows to recommend it as a leaching agent in extracting rare and nonferrous metals, and also for phyto-extraction purposes to remove heavy metals from polluted territories.

О. Г. Красноберская, Г. А. Соколов, Л. Ю. Цвирко**ИЗМЕНЕНИЕ ГРУППОВОГО СОСТАВА ВТОРИЧНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ ПРИ ЕГО БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ**

Приведены данные по групповому составу, агрохимическим и общетехническим параметрам субстратов на основе вторичного органического сырья до и после вермипереработки. Выявлено существенное положительное преобразование структуры органического вещества субстратов в сторону активизации образования гуминовых веществ, в том числе – гуминовых кислот. Это возрастание происходит в значительной мере за счет водорастворимых соединений, легкогидролизуемых и, в меньшей степени, – трудногидролизуемых веществ. Содержание последних групп соединений снижается на 1–6 % в сравнении с исходным уровнем.

В Беларуси, как и во всех странах мира, существует проблема утилизации бытовых и промышленных отходов. В нашей стране ежегодно накапливается около 2,4 млн т только твердых бытовых отходов. Существующие технологии их переработки в большинстве случаев не являются безотходными и экологически чистыми и требуют больших затрат энергоресурсов.

Альтернативой имеющимся методам сложит развивающееся направление – переработка органических отходов с помощью дождевых называемых червей. Преимущество этой технологии перед другими заключается в том, что она позволяет в едином технологическом процессе при сравнительно малых затратах перерабатывать в больших количествах практически любые органические отходы, с получением в качестве конечных продуктов ценного органического удобрения – биогумуса и полноценного животного белка, используемого в качестве белковой добавки в животноводстве.

В приоритетном порядке в качестве исходного сырья для вермикультурирования применяют навоз конский, овечий, козий, кроличий, навоз крупного рогатого скота (КРС) на соломистой подстилке, твердую фракцию жидкого навоза КРС или свиней, птичий помет, активный ил животноводческих комплексов, потребительские свойства которых соответствуют требованиям безопасности, охраны здоровья и окружающей среды. Из органических отходов используют отходы пищевой промышленности, растениеводства, овощеводства, плодоводства, из природных ископаемых – торф, сапропель [2–6].

При интенсивных процессах компостирования исходные вещества полностью преобразуются. Высвобождающийся при этом азот снова связывается белковой плазмой червя и фиксируется микроорганизмами. Поэтому в компостах содержится более 95 % органически связанного

азота. Данный азот, чтобы стать доступным растениям, должен сначала минерализоваться.

В данной работе изучались агрохимические, некоторые общетехнические свойства и групповой состав субстратов на основе пивной дробины, птичьего помета, осадка сточных вод (ОСВ), навоза конского и КРС до и после биологической переработки красным калифорнийским червем. Исследуемые образцы представляли собой смесь вторичного органического сырья различного генезиса с почвой.

Для группового анализа образцов использовали метод по выделению всех необходимых компонентов из одной навески, модифицированный Н. Н. Бамбаловым [1]. Так как наши образцы не относятся к торфу, то выделение некоторых компонентов было опущено. Последовательно выделялись водорастворимые вещества (ВР), гумусовые вещества (ГВ), в том числе гуминовые кислоты (ГК), легкогидролизуемые вещества (ЛГ), трудногидролизуемые вещества (ТГ) и негидролизуемый остаток (НГО).

В табл.1 приведены некоторые общетехнические и агрохимические показатели исходных субстратов и готового вермигумуса.

В исходных субстратах реакция среды была слабощелочной (рН 7,3–8,0), зольность колебалась в пределах 72–83 %, лишь в образце с навозом КРС она составляла 47 %.

Содержание общего азота было минимальным в образце с пивной дробиной (0,4 %), максимальным – в образце с навозом КРС (2,09 %). Содержание общего фосфора в образцах с конским навозом, птичьим пометом и ОСВ достигало 0,6–0,7 %. Образец с пивной дробиной – обеднен фосфором (0,24 %), а образец с навозом КРС, наоборот, – обогащен (1,5 %). Содержание общего калия в образцах отличалось незначительно (0,32–0,46 %), лишь в образце с навозом КРС оно составляло 1,73 %.

Таблица 1. Общетехнические и агрохимические характеристики вторичного органического сырья и вермигумуса, полученного после его биологической переработки

Образец	рН	W, %	A ^c (900 °C), %	Общие формы, % на а.с.м.			Подвижные формы, мг/100 г а.с.м.			
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	N-NH ₄
Исходный субстрат										
Пивная дробина	8,0	42,4	83,2	0,40	0,24	0,32	170	316	0	0
Конский навоз	7,4	48,4	80,2	0,80	0,63	0,35	340	252	0	0
Птичий помет	7,7	52,6	78,6	0,73	0,60	0,37	441	361	34,18	0
ОСВ	7,3	55,8	71,8	1,06	0,70	0,46	371	381	16,70	0
Навоз КРС	7,9	75,7	46,8	2,09	1,48	1,73	762	1716	0	0
Вермигумус										
Пивная дробина	7,6	49,8	77,6	0,70	0,61	0,20	215	107	11,16	0
Конский навоз	6,4	42,3	81,6	0,55	0,56	0,23	306	112	12,24	0
Птичий помет	8,0	48,9	79,4	0,75	0,84	0,28	459	216	12,50	0
ОСВ	7,3	47,9	77,8	0,67	0,55	0,25	286	151	12,70	0
Навоз КРС	7,6	44,2	54,1	2,04	1,53	4,55	837	4521	263,00	0

Примечание: субстраты, по возможности, отобраны на начальной стадии ферментации перед вермипереработкой; а.с.м. – абсолютно сухая масса

Содержание подвижного фосфора коррелировало с содержанием общего – максимум в образце с навозом КРС, минимум – в образце с пивной дробиной, остальные образцы различались между собой незначительно. Аналогичная зависимость наблюдалась и в содержании общего и подвижного калия – небольшая разбежка величин для всех образцов, кроме образца с навозом КРС. В нем подвижного калия было в 4,5–6,8 раза больше. Нитратный азот зафиксирован только в образцах с птичьим пометом и ОСВ, а аммонийный – отсутствовал везде.

В вермигумусе реакция среды была нейтральной (образец с конским навозом) или слабощелочной (все остальные образцы), зольность составляла 78–82 % и лишь в образце с навозом КРС – 54 %.

Содержание общего азота колебалось в пределах 0,55–0,75 %, в образце с навозом КРС – 2 %; общего фосфора – на уровне 0,55–0,84 %, в образце с навозом КРС – 1,53 %; общего калия – также различалось незначительно (0,25–0,28 %) во всех образцах, кроме вермигумуса с навозом КРС (4,55 %).

Содержание подвижного фосфора в образце с навозом КРС было выше, чем в остальных, в 1,8–3,8 раза, а содержание подвижного калия в нем на порядок превышало этот показатель в остальных образцах. Аммонийный азот отсутствовал во всех образцах, нитратный – содержался в количестве 11–13 мг/100 г и только в образце вермигумуса КРС его было 263 мг/100 г.

Уменьшение показателя рН в процессе биологической переработки в пределах 0,3–0,4, лишь в вермигумусе с конским навозом рН снизился на единицу.

Зольность увеличилась во всех образцах на 1–15 %, кроме вермигумуса с пивной дробиной, где было отмечено ее снижение на 7 %.

Содержание общего азота почти не изменилось в образцах с навозом КРС и птичьим пометом, но в вермигумусе с конским навозом и ОСВ снизилось примерно в 1,5 раза, а в вермигумусе с пивной дробиной, наоборот, – повысились в 1,75 раза. Содержание общего фосфора снизилось в вермигумусе с конским навозом и ОСВ на 13–27 %, в остальных образцах повышение составило от 3 % в вермигумусе на навозе КРС до 154 % в вермигумусе на пивной дробине. Содержание общего калия снизилось во всех образцах, кроме вермигумуса на навозе КРС, где отмечено повышение в 2,6 раза.

Динамика содержания подвижных форм фосфора и калия коррелировала с динамикой содержания их общих форм. Отмечено снижение содержания подвижного фосфора в вермигумусе с конским навозом и ОСВ на 11–30 % и повышение на 4–30 % – в остальных образцах. Содержание подвижного калия снизилось во всех образцах, кроме вермигумуса с навозом КРС, где отмечено повышение в 2,6 раза. Нитратный азот появился в образцах с пивной дробиной, конским навозом и навозом КРС, а в вермигумусе с птичьим пометом и ОСВ его содержание снизилось в 1,3–2,7 раза.

Таким образом, в образцах с конским навозом и ОСВ после их биологической переработки отмечено снижение содержания общих и подвижных форм NPK. В образце с навозом КРС произошло значительное повышение содержания общего и подвижного калия, а также нитратного азота, что, по-видимому, связано со специфическими свойствами органического вещества разного происхождения и особенностями их биопереработки.

Изменение группового состава образцов в процессе биологической переработки отходов представлено в табл. 2.

Таблица 2. Изменение группового состава исходных субстратов и вермигумуса, % на а.с.м.

Образец	ВР	ГВ	Из них ГК	ЛГ	ТГ	НГО
Исходный субстрат						
Пивная дробина	3,4	5,4	2,0	12,6	5,8	72,8
Конский навоз	4,1	14,7	3,4	14,3	4,0	62,9
Птичий помет	3,9	10,2	3,1	12,7	3,8	69,4
Осадок сточных вод	6,1	10,5	3,5	10,8	2,9	69,7
Навоз КРС	17,2	14,9	6,2	15,4	4,2	48,3
Вермигумус						
Пивная дробина	1,8	12,6	3,1	8,3	2,3	75,0
Конский навоз	2,1	25,3	11,5	8,2	2,5	61,9
Птичий помет	0,1	15,4	7,1	6,2	2,5	75,8
Осадок сточных вод	0,1	18,9	12,0	7,6	2,8	70,6
Навоз КРС	5,9	26,5	13,4	10,0	3,5	54,1
Изменение, ± к исходному						
Пивная дробина	-1,6	+7,2	+1,1	-4,3	-3,5	+2,2
Конский навоз	-2,0	+10,6	+8,1	-6,1	-1,5	-1,0
Птичий помет	-3,8	+5,2	+4,0	-6,5	-1,3	+6,4
Осадок сточных вод	-6,0	+8,4	+8,5	-3,2	-0,1	+0,9
Навоз КРС	-11,3	+11,6	+7,2	-5,4	-0,7	+5,8

В исходных субстратах максимальное содержание ВР отмечено в образце с навозом КРС – более 17 %, а в остальных образцах оно варьировало в пределах 3,4–6 % на а.с.м. Содержание ГВ колебалось от 5,4 % в пивной дробине до почти 15 % в навозе конском и КРС. Количество ЛГ составляло 10,8–15,4%, а ТГ – 2,9–5,8 %. Основную долю среди групп соединений составил НГО – 48,3–72,8 %.

В процессе биопереработки изучаемых органических отходов красным калифорнийским червем их групповой состав претерпел существенные изменения. При этом весьма заметно во всех видах переработанных отходов, т.е. в готовом вермигумусе, снизилось содержание водорастворимой фракции. Снижение в абсолютных процентах составило от 1,6 % в варианте с пивной дробиной до 11,3 % – с навозом КРС, что, возможно, связано с иммобилизацией наиболее доступной фракции органического вещества биотой и ее постепенной трансформацией в гуминоподобные соединения.

Содержание гуминовых веществ в вермигумусе возросло по сравнению с исходным суб-

стратом в среднем более, чем на 40 % относительных, т.е. на 5–13 %, в зависимости от вида субстрата. При этом содержание ГК в вермигумусе увеличилось на 1–8,5 %. Это возрастание происходило, как следует из полученных данных, в значительной мере за счет водорастворимых соединений, ЛГ и ТГ веществ. Содержание последних снизилось на 3–6 % и 0,7–3,5 % соответственно.

Таким образом, при рассмотрении изменений группового состава вторичного органического сырья разного генезиса в результате его биологической переработки методом вермикомпостирования можно сделать заключение о существенном положительном преобразовании структуры органического вещества навоза конского и КРС, птичьего помета, пивной дробины и ОСВ в сторону активизации образования ГВ и в том числе – ГК. Это возрастание происходит в значительной мере за счет снижения доли водорастворимых соединений, легкогидролизуемых и, в меньшей степени, трудногидролизуемых веществ. Содержание последних групп соединений снижается на 1–6 %.

Л и т е р а т у р а

1. Бамбалов Н. Н. Современное состояние и проблемы методики группового анализа органического вещества торфяных почв // Физико-химические, геохимические и микробиологические процессы мелиорированных почв Полесья. Минск., 1974. С. 166–209.
2. Максимова С. Л., Босак В. Н. Вермикомпостирование и вермикульттивирование: состояние, проблемы и перспективы // Бел. сел. хоз.-во. 2007. № 9. С. 65–66.
3. Максимова С. Л., Шаванова Т. М., Мухин Ю. Ф. Развитие технологий вермикомпостирования и вермикульттивирования в Беларуси // Вестн. Полесского гос. ун-та. Сер. природ. наук. 2008. № 1. С. 44–48.
4. Максимова С. Л., Васько А. С. Почвенные грунты и биогумус // Бел. сел. хоз.-во. 2009. № 8. С. 34–36.

5. Максимова С. Л., Потылкин В. А. Использование различных видов субстрата при вермикультурировании // Вермикомпостирование и вермикультурирование как основа экологического земледелия в XXI веке: проблемы, перспективы, достижения. Минск., 2007. С. 101–102.
6. Максимова С. Л. , Туболец А. А. Вермитехнологии в Беларуси // Современное состояние и перспективы развития микробиологии и биотехнологии. Минск., 2008. С. 126–127.

Институт природопользования НАН Беларуси

О. Г. Красноберская, Г. А. Соколов, Л. Ю. Цвирко

**ИЗМЕНЕНИЕ ГРУППОВОГО СОСТАВА ВТОРИЧНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ
ПРИ ЕГО БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ**

Перспективным направлением утилизации промышленных и бытовых органических отходов является вермикомпостирование – их переработка дождевым навозным червем с получением в качестве конечного продукта ценного органического удобрения – биогумуса.

В данной работе изучались агрохимические, некоторые общетехнические свойства и групповой состав субстратов на основе пивной дробины, птичьего помета, осадка сточных вод, навоза конского и КРС до и после биологической переработки красным калифорнийским червем. Исследуемые образцы представляли собой смесь вторичного органического сырья различного генезиса с почвой.

В процессе биопереработки изучаемых органических отходов произошло существенное положительное преобразование структуры их органического вещества в сторону активизации образования гуминовых веществ и гуминовых кислот в том числе. Это возрастание происходит в значительной мере за счет снижения доли водорастворимых соединений, легкоидролизуемых и, в меньшей степени, трудноидролизуемых веществ. Содержание последних групп соединений снижается на 1–6 %.

Содержание гуминовых веществ в вермигумусе возросло по сравнению с исходным субстратом в среднем более чем на 40 % относительных, то есть на 5–13 % в зависимости от вида субстрата. При этом содержание гуминовых кислот в вермигумусе увеличилось на 1–8,5 %.

O. G. Krasnoberskaya, G. A. Sokolov, L. Y. Tsvirko

**CHANGE OF GROUP STRUCTURE OF SECONDARY ORGANIC RAW MATERIALS
DURING ITS BIOLOGICAL PROCESSING**

A perspective direction of recycling industrial and household organic waste is a worm composting – their processing by a rain muckworm with outcome of a finish product of valuable organic fertilizer – biohumus.

In the work presented agrochemical, some common-technical properties and group structure of substrata on the basis of a beer pellet, the bird's dung, a deposit of sewage, manure horse and cattle prior to and after the biological processing by a red Californian worm were studied. Investigated samples represented a mix of secondary organic raw materials of various genesis with soil.

In the course of bio-processing a studied organic waste there was an essential positive transformation of structure of their organic substance towards formation of activation of humic substances and humic acids including. This increase occurs appreciably due to the decrease in a share of water-soluble connections, easy hydrolyzed and, to a lesser degree, hard hydrolyzed substances. The contents of last groups of compounds decreases by 1–6 %.

The humic substances contents in worm humus has increased in comparison to initial substratum on the average more than by 40 % relative, that is by 5–13 % depending on a substratum kind. Thus the acids content in a worm humus has increased by 1–8,5 %.

III. НАУЧНЫЕ ДИСКУССИИ

УДК 553.97 + 631.4

Н. Н. Бамбалов

ДИСКУССИОННЫЕ ВОПРОСЫ ТРАКТОВКИ ТЕРМИНА «ТОРФ»

Обсуждаются различные формулировки понятия «торф», опубликованные в государственном стандарте, учебных пособиях, справочной и научной литературе. Обоснована следующая формулировка: торф – осадочная органогенная порода, состоящая из скопления контактирующих между собой остатков не полностью разложившихся болотных растений в условиях затрудненного доступа воздуха, продуктов их разложения, минеральных веществ растений-торфообразователей и той части привнесенных минеральных веществ, которая вступила в физико-химическое взаимодействие с органическим веществом. Обоснована целесообразность разработки нового государственного стандарта на торфяную терминологию.

Правильная трактовка терминов имеет принципиальное значение для развития науки и практического осуществления ее результатов. Особенно четкими должны быть определения в государственных стандартах и учебной литературе. В первом случае это важно для исключения многозначности и неточности толкования терминов в государственных, ведомственных, юридических, производственных и иных документах, во втором – для подготовки высококвалифицированных специалистов, которые обязаны хорошо владеть терминологией, принятой в каждой отрасли знаний и производства.

В государственном стандарте [5] термин «торф» трактуется как «органическая горная порода, образующаяся в результате отмирания и неполного распада болотных растений в условиях повышенного увлажнения при недостатке кислорода и содержании не более 50 % минеральных компонентов на сухое вещество». В этом определении сказано, из чего и в каких условиях образуется торф, но не сказано, что он собой представляет, т. е. не определено, из чего или из каких основных компонентов он состоит. Из-за неудачного построения фразы не поддается осмыслению утверждение о том, что в условиях разложения болотных растений должно содержаться не более 50 % минеральных компонентов. Фраза была бы правильной, если бы вместо слова «содержании», было использовано слово «содержащая». С этой точки зрения формулировка понятия «торф», данная в государственном стандарте, является абсурдной, потому что минеральные компоненты могут содержаться в каком-либо веществе, в данном случае – в торфе, а не в условиях его образования.

В учебных пособиях [18, 19], опубликованных значительно раньше упомянутого государств-

венного стандарта, сказано, что торф – это органическая горная порода, содержащая не более 50 % минеральных веществ, образовавшаяся в результате отмирания и неполного распада болотных растений в условиях повышенной влажности при недостатке кислорода. Из этого определения следует, что именно торф содержит не более 50 % минеральных веществ, а не условия его образования, поэтому определения [18, 19] точнее определения [5]. К данной формулировке вполне корректно сделана оговорка [19], что цифра 50 % принята условно Всесоюзной конференцией по болотному кадастру в 1934 г. Следует добавить, что в западноевропейских странах к торфу относят болотные органогенные отложения с содержанием минеральных веществ до 70 %, органических – более 30 % [6, 20], что так же условно.

Тот факт, что цифра 50 % принята условно, доказывает, что она не обоснована научными данными, а это, в свою очередь, означает, что рассматриваемые выше определения понятия «торф» [5, 18, 19] не являются научными, поскольку они содержат в себе научно не обоснованную информацию. Возможно, данная цифра удобна в каких-то практических целях, например при разведке торфяных месторождений, составлении кадастра и так далее, но из-за необоснованности она не может быть введена в формулировку научного определения термина «торф».

Следует отметить, что научно не обоснованное определение, будучи введенным государственным стандартом в ранг термина, обязательного к применению, сдерживает развитие науки о торфе и порождает новые, научно не обоснованные терминологические формулировки. В качестве примера можно привести понятие термина «деградированные торфяные почвы»

[11], сформулированное на основе вышеизложенной трактовки понятия «торф», в котором также необоснованно к категории деградированных отнесены торфяные почвы, содержащие менее 50 % массы органического вещества и подстилаемые ниже пахотного слоя минеральной породой. В свою очередь, научно не обоснованное отнесение сотен тысяч гектаров почв к деградированным торфяным неизбежно повлекло за собой ошибочные решения в масштабе отрасли. Прежде всего, были необоснованно завышены площади деградированных торфяных почв в республике и далее по всему циклу, начиная от необоснованных затрат на картографирование таких почв до рекомендаций по изменению структуры посевных площадей и агротехнологий, применяемых при возделывании сельскохозяйственных культур. Такой ошибки можно было бы избежать, если бы при формулировке понятия деградированных торфяных почв была использована трактовка термина «торф», данная в Толковом словаре по почвоведению [14]. Этот пример показывает, насколько важно в нормативно-правовых документах использовать научно обоснованные термины.

Научное определение термина «торф» должно кратко, но достаточно полно характеризовать суть его состава, морфологии и происхождения, чтобы однозначно, без каких-либо количественных характеристик, отличить торф от других природных образований. Научное определение любого термина должно оперировать только качественными критериями, принципиально отличающими характеризуемый предмет от всех других. Исключение могут составлять только те термины, в определения которых включены общепринятые и признанные во всем мире константы, например постоянная Планка, число π , ускорение силы тяжести и т. п. Жесткие количественные параметры метафизичны, так как они не позволяют отступать даже на сотые доли процента от заданных в определении термина количеств. Например, если считать, что в торфе минеральных компонентов должно быть не более 50 % от сухой массы, то материал с содержанием минеральных компонентов 50,1 % уже не является торфом, хотя другие свойства данного материала (ботанический состав, степень разложения, химический состав органического вещества и т. д.) соответствуют понятию «торф». Это связано с тем, что переход количественных показателей в качественные не бывает резким, и невозможно точно и жестко очертить ту границу по величине зольности, после которой торф перестает быть торфом. Любая «точно» указанная граница данного показателя будет необоснованной. Таким образом, важнейшим требованием к научному определению термина «торф» должно быть отсутствие каких-либо количественных показателей, аналогично научному

определению термина «болото» [1]. Именно качественные, а не количественные определения понятия «торф» даются в словаре-справочнике, изданном в 1928 г. [13], в Толковом словаре по почвоведению [14] и учебном пособии [10].

В научном определении термина необходимо также рассмотреть вопрос об отнесении торфа к определенной группе горных пород с учетом особенностей его происхождения и способа образования. В формулировках [5, 9, 12, 13, 18, 19] торф назван органической горной породой, что является ошибкой и принципиально неверно, так как, во-первых, в классификации горных пород [2–4] группы органических пород не существует; во-вторых, торф по составу является органоминеральным образованием, а не органическим. В отличие от государственного стандарта [5] и [9, 18, 19], в энциклопедических и других справочных источниках [12, 15–17] торф отнесен к органогенным горным породам, что само по себе верно, но не достаточно полно. На основе существующей классификации горных пород наиболее правильно относить торф по происхождению к группе осадочных, а по способу образования – к группе органогенных горных пород, что в достаточной мере будет отражать его генезис.

Далее, в определении термина «торф» следует указать основные компоненты, из которых он состоит. В определении [5] об этом вообще ничего не сказано, а в [9, 12–19] сказано недостаточно. В научном определении целесообразно показать, что в состав торфа входят не только остатки не полностью разложившихся болотных растений, но и продукты их разложения. Это важно, потому что в составе торфа доля продуктов разложения нередко превышает долю растительных остатков, сохранивших клеточное строение. Такими продуктами являются гуминовые вещества и промежуточные продукты гумификации, которые могут находиться в свободной либо связанной с ионами металлов форме, т. е. они могут быть как в органической, так и в органоминеральной форме.

Кроме этого, в научном определении необходимо отразить наличие минеральных веществ в торфе, но не всех, как дается в формулировках [5, 18, 19], а только связанных с процессом образования торфа. Сюда следует отнести, во-первых, те минеральные вещества, которые были в составе торфообразующих организмов и сохранились в торфе после их разложения. Во-вторых, некоторую часть минеральных веществ, привнесенных в торф с окружающих территорий, а именно, часть, вступившую во взаимодействие с органическим веществом, например, по реакциям ионного обмена, комплексообразования или за счет процессов сорбции. В результате физико-химических взаимодействий с органическим веществом данная часть привнесенных ми-

неральных веществ вошла в состав торфа и стала его неотъемлемой частью.

Вместе с тем в торфе нередко содержатся значительные количества примесей минеральных веществ, привнесенных с окружающих территорий, но не взаимодействующих с торфом, и поэтому не являющихся его частью. Такие вещества в торфе являются балластными примесями, или включениями. Например, в торфяных отложениях речных и озерных пойм нередко в качестве включений встречаются песчаные прослои, хрящевые и даже гравийные включения, а также нетипичные для болот раковины речных и озерных моллюсков, попавших в торф во время половодий, и поэтому никак не связанные с процессом торфообразования. В торфяных отложениях межхолменных понижений присутствует большое количество балластных минеральных частиц разного гранулометрического состава, смытых с прилегающих к торфяным месторождениям склонов. Нередко делювиальные наносы даже перекрывают краевые зоны торфяных месторождений, примыкающие к подножиям холмов [7, 8], но чаще всего перекрытия не наблюдается, и привнесенный с холмов делювий смешивается с торфом, сформированным еще до поступления на поверхность торфяной залежи этих наносов.

Приведенных примеров достаточно, чтобы понять, что такие минеральные вещества никак не связаны с процессом торфообразования. При смешивании торфа с привнесёнными и не взаимодействующими с ним минеральными веществами в разных соотношениях, он не перестает оставаться торфом, а лишь разбавляется ими. Даже если приготовить смесь торфа с песком, в которой масса песка составит, например, 55–60 %, все равно торф от этого не перестанет быть торфом, он будет лишь разбавлен песком. Разумеется, если неограниченно добавлять к торфу минеральные вещества, то наступит момент, когда визуально торф утратит свои морфологические признаки, и полученную смесь уже будет невозможно считать торфом. Возникает вопрос: каково должно быть соотношение между торфом и включенными в него минеральными веществами, при котором торф утрачивает свои морфологические признаки?

Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо прежде всего определить требования к формулировке морфологических признаков торфа. Главными морфологическими признаками торфа являются скопление неполностью разложившихся гумифицированных болотных растений и продуктов их разложения [12, 14–17], находящихся в контакте, т.е. они не должны быть разобщенными, например из-за присутствия большого количества минеральных веществ. Конечно, торф формируется не только из растительных остатков, но и из других отмерших болотных организмов, главным образом микроорганизмов и беспо-

звоночных животных, но в нем видны только растительные остатки. Другие торфообразующие организмы разлагаются столь сильно, что их остатки в торфе не видны, а продукты их разложения смешаны с продуктами разложения болотных растений.

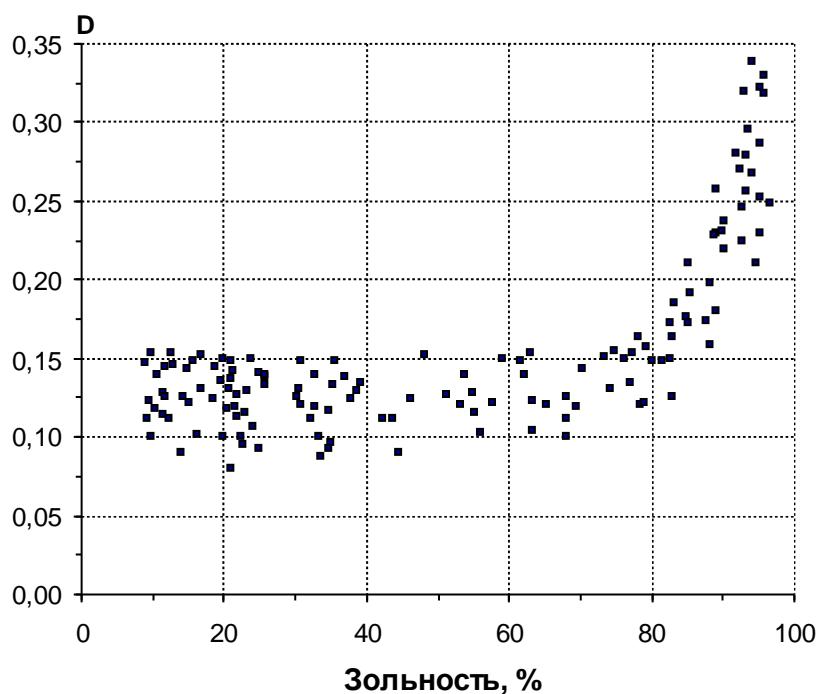
При таких морфологических признаках до тех пор, пока в смеси торфа с минеральными веществами будет наблюдаться скопление контактирующих между собой гумифицированных растительных остатков и продуктов разложения, это будет еще торф, а если в смеси будут наблюдаваться лишь разрозненные остатки гумифицированных болотных растений между преобладающими минеральными частицами, то такую смесь к торфу относить не следует, даже не смотря на то, что химический состав органического вещества не изменился. Таким образом, важнейшим морфологическим признаком торфа, который должен быть отражен в формулировке научного понятия, следует считать скопление контактирующих между собой неполностью разложившихся остатков болотных растений и продуктов их разложения.

Для решения вопроса о граничном соотношении между торфом и включёнными в него минеральными веществами, после которого такая смесь перестает быть торфом, необходимо учесть разницу в плотности органических и минеральных компонентов. В зависимости от степени разложения торфа соотношение плотности органических и минеральных образований находится в пределах 1 : 10–1 : 15. Это означает, что в смеси, содержащей по 50 % органических и минеральных частиц в расчете на сухую массу, объем минеральных частиц будет в 4–6 раз меньше объема сухого органического вещества, а с учетом того, что в торфе всегда содержится значительное количество влаги, большая часть его органических компонентов находится в наихудшем состоянии и фактически занимает еще больший объем. В таком материале минеральных частиц видно мало, потому что большинство их окружено частицами торфа и поэтому замаскировано ими. В смеси еще сохраняется главный морфологический признак торфа – скопление неполностью разложившихся остатков болотных растений и продуктов их разложения, и она визуально определяется как торф. Лишь при содержании минеральных примесей больше 70 % смесь утрачивает морфологические признаки торфа. Это подтверждается представленными на рисунке результатами измерения отражения света от поверхности смесей торфа с минеральными веществами в лабораторных условиях. Для осоково-гипнового торфа со степенью разложения 25–30 %, несмотря на определенный разброс результатов измерений, перегиб на графике спектральной отражательной способности наблюдается лишь в зоне, соответствующей около

30 % содержания органических и 70 % минеральных веществ. Это в целом совпадает с западноевропейскими характеристиками содержания в торфе органических (более 30 %) и минеральных (менее 70 %) веществ [6, 20]. Однако следует особенно подчеркнуть хорошо заметную на рисунке размытость и неопределенность места перегиба, что еще раз свидетельствует о нецелесообразности введения жестких количественных показателей в научное определение понятия «торф».

Наконец, в научном определении понятия «торф» следует отразить причину его образования. Определения [5, 18, 19] в данной части не точны, потому что торф не может образоваться в

результате отмирания болотных растений. На суходольных лугах, в лесах и степях ежегодное отмирание растений не приводит к образованию торфа. На болотах отмирание растений так же не является причиной образования торфа, оно лишь предшествует процессу превращения отмерших растений в торф. Торф образуется не потому, что болотные растения отмирают, а потому, что количество биомассы отмерших растений, поступающее на поверхность переувлажненной территории в течение годового биоцикла, больше ее минерализуемого количества, а главной причиной этого в болотной среде является затрудненность доступа воздуха к разлагающемуся материалу.



Зависимость величины спектральной отражательной способности D осоково-гипнового торфа от зольности

Таким образом, в научном определении термина «торф» без указания каких-либо количественных параметров должны присутствовать сведения об отнесении торфа к определенной группе горных пород, о его морфологии, главных компонентах, из которых он образовался и из которых состоит, а также о причинах его образования.

С учетом этих требований для обсуждения предлагается следующая формулировка определения термина: торф – осадочная органогенная порода, состоящая из скопления контактирующих между собой остатков неполностью разложившихся болотных растений в условиях за-

трудненного доступа воздуха, продуктов их разложения, минеральных веществ растений-торфообразователей и той части привнесенных минеральных веществ, которая вступила в физико-химическое взаимодействие с органическим веществом.

Вышеизложенное позволяет ставить вопрос о целесообразности разработки нового государственного стандарта «Торф. Термины и определения», особенно, если учесть что в существующем Государственном стандарте [5] имеется несколько десятков терминов, требующих уточнения либо полной переработки.

Л и т е р а т у р а

1. Бамбалов Н. Н. Об отличиях болот от заболоченных земель // Природные ресурсы. 2009. № 2.. С. 20–25.
2. Борголов И. Б. Курс геологии. М. 1987.
2. Горные породы // БСЭ. 1952. Т. 12. С. 161–162.
3. Горные породы // БСЭ. 1972. Т. 7. С. 104–105.
4. Горные породы // Горная энциклопедия. М. 1986. Т. 2. С. 141–142.
5. ГОСТ 21123–85. Торф. Термины и определения. Издание официальное. Госкомитет СССР по стандартам. М. 1985.
6. Дюшофф Ф. Основы почвоведения. М. 1970.
7. Лукашев К. И., Ковалев В. А., Жуховицкая А. Л., Хомич А. А., Генералова В. А. Геохимия озёрно-болотного литогенеза. Минск, 1974.
8. Ковалев В. А. Болотные минерально-геохимические системы. Минск, 1985.
9. Косов В. И., Беляков А. С., Белозеров О. ВА., Гогин Д. Ю. Торф. Ресурсы, технология, геоэкология. М. 2007.
10. Лиштван И. И., Базин Е. Т., Гамаюнов Н. И., Терентьев А. А. Физика и химия торфа. М., 1989.
11. Методические указания по диагностике и классификации почв, образовавшихся после сработки торфа (для целей крупномасштабного картографирования). Минск. 1981.
12. Словарь-справочник по торфяному делу. М., 1928.
13. Справочник по торфу. М., 1982.
14. Толковый словарь по почвоведению. М., 1975.
15. Торф // БСЭ. 1956. Т. 43. С. 47–52.
16. Торф // БСЭ. 1977. Т. 26. С. 117–120.
17. Торф // Горная энциклопедия. 1991. Т. 5. С. 166–171.
18. Торфяные месторождения и их разведка / Под общей ред. И. Ф. Ларгина. М. 1977.
19. Тюреминов С. Н. Торфяные месторождения. М. 1976.
20. Illner K., Lehrkamp H. Die Bodenformen der landwirtschaftlich genutzten Niedermooren in der DDR und ihre Standorteigenschaften. Berlin. 1980.

Институт природопользования НАН Беларуси

Н. Н. Бамбалов

ДИСКУССИОННЫЕ ВОПРОСЫ ТРАКТОВКИ ТЕРМИНА «ТОРФ»

Обсуждаются различные формулировки понятия «торф», опубликованные в Государственном стандарте, учебных пособиях, справочной и научной литературе.

Показана ошибочность и неприемлемость использования количественных критериев для определения термина «торф». В научном определении термина «торф» без указания каких-либо количественных параметров должны присутствовать сведения об отнесении его к определенной группе горных пород, о его морфологии, главных компонентах, из которых торф образовался и из которых состоит, а также о причинах его образования.

Обоснована следующая формулировка: торф – осадочная органогенная порода, состоящая из скопления остатков контактирующих между собой неполностью разложившихся болотных растений в условиях затрудненного доступа воздуха, продуктов их разложения, минеральных веществ растений-торфообразователей и той части привнесенных минеральных веществ, которая вступила в физико-химическое взаимодействие с органическим веществом. Обоснована целесообразность разработки нового государственного стандарта на торфяную терминологию.

N. N. Bambalov

DISCUSSION QUESTIONS OF THE INTERPRETATION OF THE TERM “PEAT”

Different interpretations of the term «Peat» published in the State standard, handbooks, textbooks and scientific literature are discussed.

It has been shown the falseness and inadmissibility of the use of quantitative parameters in interpretation of the term «Peat». Information about the attribution of peat to certain group of rocks, about peat morphology and main components forming peat as well as about the reasons of peat formation should be presence in scientific definition of the term «Peat» without any quantitative parameters. Definition of the term «Peat» must be only qualitative.

It was substantiated the following definition: Peat is the sedimentary organogenic rock, consisting of the gathering of the incompletely decomposed residues of marsh plants under the conditions of a labored air access, the products of their decomposition and introduced mineral substances, which have reacted physico-chemically with organic substance, contacting between them. An expediency of the work out of the new state standard for peat terminology was substantiated.

Научное издание
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Сборник научных трудов
Выпуск 17

Редактор *А. В. Новикова*
Компьютерная верстка *Н. В. Данькова, Т. Н. Козловская*

Подписано в печать 19.07.2010. Формат 60x90/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. 26,04. Уч.-изд. л. 28.
Тираж 150 экз. Заказ № Заказное.

Издатель А. Н. Вараксин
ЛИ № 02330/0131774 от 06.03.2006 г.

Отпечатано в типографии СООО «Эволайн».
ЛП № 02330/0552717 от 25.04.2009 г.
ул. Рыбалко, 9, 220033 г. Минск