

ISSN 2079-3928

Природо- пользование

ВЫПУСК 31



2017

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ»

Природо- пользование

Сборник научных трудов

Основан в 1996 г.

Выпуск 31



МИНСК

2017

УДК 504.(476)(082)

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

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

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

Редколлегия:

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

I. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Какарека С. В.	К вопросу о совершенствовании нормативной и методической базы оценки воздействия на окружающую среду Антарктики.....	5
Дворецкая И. В., Савенец М. В.	Особенности сезонной изменчивости высотного распределения температуры над территорией Украины.....	12
Круковская О. Ю., Кокош Ю. Г.	Повторяемость сильных и слабых ветров как характеристика способности атмосферы к самоочищению в Беларуси.....	18
Какарека С. В.	Тренды содержания диоксида серы в атмосферном воздухе на территории Беларуси.....	24
Янин Е. П., Хомич В. С.	Минералогическое творчество И. И. Домейко в трудах и оценках В. И. Вернадского.....	35
Бровка А. Г., Бровка Г. П., Дедюля И. В., Агутин К. А	Зависимость теплофизических и прочностных характеристик мерзлых грунтов от температуры.....	45
Гертман Л. Н., Рутковский П. П.	Расчет норм допустимых рекреационных нагрузок на водоемы Беларуси.....	50
Музыкин В. П., Антипович Ю. Ф.	Оптимизация сети наблюдательных скважин при проведении локального мониторинга подземных вод в зонах техногенного воздействия.....	59
Струк М. И., Живнач С. Г.	Территориальная организация земель пригородной зоны Минска.....	65
Яковлев А. П., Белый П. Н., Булавко Г. И., Сидорович Е. А., Николайчук А. М., Козырь О. С., Жданец С. Ф., Вашкевич М. Н.	Оценка состояния сосновых насаждений в зоне влияния выбросов цементного производства.....	73
Углянец А. В., Гарбарук Д. К., Кудин М. В.	Динамика загрязнения ^{137}Cs древесины и коры сосны в сосновых вересковых и мшистых зонах отчуждения Чернобыльской АЭС.....	79
Козел Н. В., Ракович В. А., Аверина Н. Г.	Содержание веществ растительного происхождения в торфе естественных и восстанавливаемых болотных экосистем Беларуси.....	86
Тановицкая Н. И., Ратникова О. Н.	Методика оценки нарушенности торфяных месторождений...	94
Яновский А. А.	Дистанционное разделение осущененных торфяных и деградированных торфяных почв Полесья пороговой обработкой спектральных данных.....	105

II. БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Лиштван И. И., Бровка Г. П., Нашкевич И. С.,	Газогенератор на фрезерном торфе и других сыпучих горючих материалах.....	113
Данилевич С. Н., Тановицкий В. И., Дедюля И. В., Андреенко Н. В.		
Кунцевич В. Б., Лис Л. С., Макаренко Т. И.,	Обоснование перечня перспективных видов продукции торфопредприятия на основе показателей качества сырьевой базы.....	120
Калилец Л. П., Кашинская Т. Я., Агейчик И. В., Мультан С. Т.		
Томсон А. Э., Сосновская Н. Е., Слепченкова Н. О.,	Кинетика капиллярной пропитки торфоминеральных композиционных материалов при очистке нефтесодержащих сточных вод.....	125
Соколова Т. В., Пехтерева В. С.		
Цвирко Л. Ю., Бамбалов Н. Н., Соколов Г. А.	Динамика экстракции гуминовых веществ из торфа до и после кавитационной обработки в водной среде.....	131

Соколов Г. А., Цвирко Л. Ю., Красноберская О. Г.	Влияние гидродинамической кавитационной обработки сапропеля и торфа на изменение структуры и выход водорасстворимых органических веществ.....	136
Бамбалов Н. Н.	Изменение группового состава органического вещества торфяной почвы в условиях песчано-смешанной культуры..	142
Коврик С. И., Бамбалов Н. Н., Соколов Г. А.	Жидкое концентрированное гуматсодержащее удобрение с цинком и бором.....	146
Картыжкова Л. Е., Алещенкова З. М., Короленок Н. В., Томсон А. Э., Соколова Т. В., Навоша Ю. Ю., Пехтерева В. С., Сосновская Н. Е., Лапа В. В., Лопух М. С.	Эффективность применения биоудобрения ПолифунКур при возделывании картофеля, кукурузы и сахарной свеклы..	153
Наумова Г. В., Володько И. К., Шпитальная Т. В., Овчинникова Т. Ф., Жмакова Н. А., Макарова Н. Л.	Регулятор роста растений Оксигумат и эффективность его применения при выращивании древесных декоративных растений.....	163
Лицкевич А. Н., Гулькович М. В., Черничко О. А., Хинич А. И., Дашкевич М. М.	Осадки сточных вод перерабатывающих предприятий как компоненты производства органических удобрений.....	166
Наумова Г. В., Томсон А. Э., Жмакова Н. А., Макарова Н. Л., Овчинникова Т. Ф., Козинец А. И.	Влияние гумат- и пектинсодержащих препаратов на биохимические показатели крови и резистентность организма животных.....	173
Кашинская Т. Я., Агейчик И. В., Журко М. А., Калилец Л. П., Кляуззе И. В.	Биологическая активность экстрактов из торфа и сапропеля....	180

ДИСКУССИИ

Айзберг Р. Е.	Системное геологическое картирование в Беларуси: объекты, методология, базовая инфраструктура.....	191
----------------------	--	-----

ХРОНИКА

К 215-летию со дня рождения И. И. Домейко.....	193
О Международной научной конференции «Современные проблемы геохимии, геологии и поисков месторождений полезных ископаемых», посвященной 110-летию со дня рождения академика К. И. Лукашёва».....	198
К 85-летию академика И. И. Лиштвана.....	200
Юбилей профессора Г. В. Наумовой.....	203

I. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 550.4:551.3

С. В. Какарека

К ВОПРОСУ О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ НОРМАТИВНОЙ И МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ АНТАРКТИКИ¹

Приведены результаты анализа нормативного и методического обеспечения оценки воздействия в рамках Договора об Антарктике, а также Всесторонних оценок воздействия на окружающую среду при строительстве научных станций в Антарктике. Показана настоятельная необходимость определения подходов к выработке критерииев, которые позволили бы нормировать воздействия на экосистемы Антарктики, в первую очередь в отношении поступления химических веществ, и целесообразность более широкого использования моделей переноса и рассеивания выбросов загрязняющих веществ.

Введение. Антарктика является крупнейшим природным заповедником, находящимся под охраной мирового сообщества. Уникальные экосистемы Антарктики особо чувствительны к антропогенному воздействию. Хотя уровень антропогенного воздействия на континенте существенно ниже, чем в других частях Земли, нагрузки весьма высоки в местах размещения научных станций, особенно в оазисах с большим количеством станций и интенсивной научной деятельностью на протяжении нескольких десятилетий. Воздействие оказывается на все компоненты природной среды: растительность, животный мир, почвы, воды, ледовый покров.

Значительные усилия предпринимаются для регулирования воздействий на природную среду Антарктики в рамках Протокола по охране окружающей среды.

Выбросы в атмосферу являются одним из наиболее важных факторов воздействия на окружающую среду Антарктики с учетом экстремально низких уровней загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и чувствительности растительности, которая состоит в основном из лишайников. Протокол по охране окружающей среды к Договору об Антарктике требует оценки последствий для всех запланированных мероприятий, в том числе воздействия на биоту и другие компоненты окружающей среды, непрямого и кумулятивного воздействия. Таким образом,

применение моделирования рассеивания может быть эффективным инструментом оценки качественного воздействия и прогноза. Применение современных численных методов оценки воздействия будет наиболее эффективным при установлении количественных критериев, которые позволили бы нормировать воздействия на экосистемы Антарктики.

В статье приведены результаты анализа методической базы оценки воздействия в рамках Договора об Антарктике и Всесторонних оценок воздействия на окружающую среду (ВООС) при строительстве / эксплуатации объектов в Антарктиде в части использования критериев допустимых воздействий и применения моделей переноса и рассеяния загрязняющих веществ.

Требования к ОВОС планируемой деятельности в Антарктике и ее методическое обеспечение. Согласно Договору об Антарктике, правительства, организации и граждане всех стран могут проводить научные работы в Антарктике на равных основаниях. Любая страна независимо от ее участия в заключенном Договоре может вести исследования при условии соблюдения его положений. Договор создает необходимые условия для беспрепятственного осуществления принципа свободы научных исследований. С учетом исключительной важности Антарктики как природной нетронутой территории в 1991 г. подписан Протокол по охране окружаю-

¹ Статья подготовлена по материалам работ, полученным в ходе выполнения задания М-5 подпрограммы 3 «Мониторинг полярных районов Земли, создание Белорусской антарктической станции и обеспечение деятельности полярных экспедиций на 2016–2020 годы».

щей среды к Договору об Антарктике (для Республики Беларусь вступил в силу 15 августа 2008 г.) [3]. Этим протоколом детально регулируются различные природоохранные аспекты деятельности в Антарктике, в том числе научной.

Согласно статье 3 Протокола, деятельность в районе действия Договора об Антарктике должна планироваться и осуществляться таким образом, чтобы избегать отрицательных влияний на характер климата и погоды, значительных отрицательных влияний на качество воздуха и воды, значительных изменений в атмосферной, наземной (включая водную), ледовой или морской средах, вредных изменений во флоре и фауне и других эффектах.

В соответствии с Протоколом важнейшим элементом обеспечения охраны окружающей среды в Антарктике является оценка воздействия на окружающую среду осуществляющей или планируемой деятельности. Этому элементу посвящены статья 8 и Приложение I к Протоколу «Оценка воздействия на окружающую среду».

Согласно статье 8 «Оценка воздействия на окружающую среду» Протокола, каждая Сторона обеспечивает применение установленных в Приложении I процедур оценки воздействия в процессе планирования, предшествующего принятию решений относительно любой деятельности в районе действия Договора об Антарктике в соответствии с научно-исследовательскими программами, туризмом и всеми другими видами правительственной и неправительственной деятельности в районе действия Договора об Антарктике, в отношении которых требуется заблаговременное уведомление в соответствии со статьей VII (5) Договора об Антарктике, включая связанную с ними вспомогательную логистическую деятельность. Протоколом предусмотрены Предварительная стадия оценки, Первоначальная (ПООС) и Всесторонняя (ВООС) оценка окружающей среды.

Согласно статье 1 Приложения 1 «Предварительная стадия», воздействие на окружающую среду предлагаемой деятельности должно подвергаться рассмотрению до начала такой деятельности в соответствии с надлежащими национальными процедурами. Если деятельность определяется как имеющая менее чем незначительное или ограниченное по времени воздействие, она может осуществляться. Если не определено, что деятельность будет иметь менее чем незначительное или ограниченное по времени воздействие, или если не готовится ВООС, подготавливается Первоначальная оценка окружающей среды (статья 2). Она должна быть достаточно подробной, для того чтобы определить, какое воздействие может оказывать предлагаемая деятельность.

Если ПООС показывает, что предлагаемая деятельность, вероятно, будет иметь не более чем незначительное или ограниченное по времени воздействие, эта деятельность может осуществляться при условии наличия соответствующих процедур, которые могут включать мониторинг, для оценки и проверки воздействия этой деятельности. Если ПООС показывает или если иным образом определено, что предлагаемая деятельность, вероятно, будет иметь более чем незначительное или ограниченное по времени воздействие, подготавливается ВООС, которая должна отражать много аспектов, включая:

- описание предлагаемой деятельности, в том числе ее цель, место проведения, продолжительность и интенсивность, возможные альтернативы этой деятельности;
- описание исходного эталонного состояния окружающей среды, с которым сравниваются прогнозируемые изменения, и прогноз будущего эталонного состояния окружающей среды в случае непроведения предлагаемой деятельности;
- описание методов и данных, используемых для прогноза воздействия предлагаемой деятельности;
- оценку природы, величины, продолжительности и интенсивности вероятного прямого воздействия предлагаемой деятельности;
- рассмотрение возможного косвенного или второстепенного воздействия предлагаемой деятельности;
- рассмотрение кумулятивного воздействия предлагаемой деятельности в свете существующей деятельности или иных известных планируемых видов деятельности;
- определение мер, включая программы мониторинга, которые могут быть приняты для уменьшения или ослабления воздействия предлагаемой деятельности и выявления непредвиденного воздействия, которые могут обеспечить заблаговременное оповещение о любых отрицательных влияниях этой деятельности, а также незамедлительное и эффективное реагирование на аварии;
- определение неизбежного воздействия предлагаемой деятельности; рассмотрение влияния предлагаемой деятельности на проведение научных исследований и на другие существующие виды использования и ценности;
- определение пробелов в знаниях и неопределенностей, выявленных при подготовке информации, требуемой в рамках настоящего пункта.

В соответствии с Протоколом, любой вид деятельности в Антарктике (научные исследования, строительные и монтажные работы, утилизация отходов и т. д.) должен сопровождаться оценкой воздействия на стадии

планирования. Подлежат оценке воздействия на окружающую среду также планируемые изменения в деятельности (включая изменения в программах научных исследований).

Процедуры подготовки оценок воздействий деятельности на окружающую среду описаны в Руководстве по оценке воздействий на окружающую среду Антарктики, пересмотренная версия которого была принята на XXXIX Консультативном совещании по Договору об Антарктике (КСДА) в 2016 г. [5]. Основная цель данного документа – достижение прозрачности и эффективности процесса оценки воздействий на окружающую среду Антарктики на этапах планирования возможной деятельности, а также стандартизация подхода к выполнению обязательств, налагаемых Протоколом.

В Руководстве ОВОС определяется как процесс, состоящий из нескольких этапов, конечная цель которого заключается в том, чтобы предоставить лицам, принимающим решения, указания на вероятные последствия предлагаемой деятельности для окружающей среды.

Проект ВООС «Строительство и функционирование Белорусской антарктической станции на горе Вечерняя, Земля Эндербери» [13] был подготовлен в соответствии с требованиями Протокола по охране окружающей среды к Договору об Антарктике в 2013 г. в рамках Государственной программы «Мониторинг полярных районов Земли и обеспечение деятельности арктических и антарктических экспедиций на 2011–2015 годы» Институтом природопользования, Центром по биоресурсам и Республиканским центром полярных исследований НАН Беларусь и представлен на XXXVII Консультативном совещании в Бразилии (28.04-07.05.2015 г.). На XXXVIII Консультативном совещании по Договору об Антарктике, проходившем в г. София, Болгария (31.05–10.06.2015 г.), была представлена и одобрена Окончательная ВООС. Опыт подготовки ВООС показал, что в целом процедура ОВОС в Руководстве изложена ясно и последовательно. Однако выявилось, что Руководство не содержит описания процедур количественной оценки воздействия применительно к конкретным средам и источникам, и в целом носит весьма общий характер. Ниже описаны два аспекта ОВОС, требующие совершенствования.

Критические уровни и пороги нагрузок на экосистемы. Важное значение при изучении чувствительности / устойчивости экосистем имеет определение пороговых значений воздействий, выше которых происходят необратимые изменения в экосистемах. Знание таких значений необходимо для прогнозирования изменения экосистем под влиянием деятельности в Антарктике, нормирования воздействий, установления режимов охраны. В пересмотренном Руководстве по оценке воздействия на окружающую среду Антарктики [5] указывается (п. 3.6), что при проведении мониторинга «...рекомендуется установить пороговые значения или нормативы воздей-

ствия на окружающую среду, относительно которых будет производиться оценка результатов мониторинга. В случае превышения пороговых значений может потребоваться пересмотр или повторный анализ допущений, принятых в отношении воздействия деятельности на окружающую среду или системы организации и управления осуществлением деятельности...».

В ряде документов отмечается необходимость определения пороговых значений (thresholds) применительно к туристической деятельности (например, в рабочем документе РД6 КСДА XXX [6]).

В информационном документе ИД66 КСДА XXXVI [9] указывается, что нагрузка питательных веществ в составе очищенных сточных вод судов в настоящее время не регулируется, кроме Приложения IV – Специальные районы, и только Балтийское море пока выделено как Специальный район для целей приложения IV MARPOL. В результате этого сточные воды судов приводят к росту нагрузок питательных веществ на морскую среду.

Однако проведенный анализ показал, что термины «нагрузка», «порог», «уровень» и близкие к ним в документах КООС и ВООС встречаются весьма редко, они практически не используются в сочетании с количественными критериями их допустимого (критического) уровня / порогов.

В целом можно сделать вывод, что пока отсутствует база для использования количественных показателей норм воздействия и устойчивости экосистем (ландшафтов, почв, экосистем, фитоценозов, биотопов и др.) Антарктики, в частности химического воздействия.

Осознавая необходимость всестороннего понимания биоразнообразия Антарктиды и окружающего океана, Научный комитет по антарктическим исследованиям (СКАР) утвердил две новые научные программы – Состояние антарктических экосистем (AnTEco) и Антарктические пороги – устойчивость (упругость) и адаптация экосистем (AnT-ERA) [8], которые призваны углубить текущее понимание биоразнообразия антарктических экосистем и их отклика на текущие и будущие воздействия, включая воздействия человеческой деятельности [7].

В рамках AnT-ERA предполагается определить границы допустимого воздействия, так же, как и пороги, устойчивость и упругость по отношению к изменениям окружающей среды. Согласно AnT-ERA [8], экологический порог – это ситуация, при которой внешние условия вызывают быстрое нелинейное изменение экосистемы и ее жизнеспособности.

Однако, учитывая масштабность и сложность решения поставленных задач, представляется, что при выработке подходов к нормированию нагрузок на экосистемы Антарктики и установлению порогов воздействий значительный интерес представляют использование концепции критических нагрузок / уровней и опыт его реали-

зации в рамках Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния в Европе. Стороны данной Конвенции согласились, что концепция критических нагрузок и подход, основанный на оценке эффектов (effect-based approach), создают основу регулирования воздействий на экосистемы, разработки стратегий и мер по их снижению [1, 2]. Критическая нагрузка определяется исходя из соотношения воздействие–отклик как воздействие в форме поступления какого-либо загрязняющего вещества, при котором преодолевается порог вредного изменения экосистемы.

В практическом плане наиболее отработана данная концепция применительно к поступлениям закисляющих и эвтрофирующих веществ, в меньше степени – тяжелых металлов и стойких органических загрязнителей или загрязнений (СОЗ). За почти двадцатилетний период развития данной концепции, в которой участвовали многие научные центры Европы, разработаны методология оценки критических нагрузок и информационно-методическая база для ее практической реализации, включая руководства, модели, базы данных и другой инструментарий. Имеется опыт использования данной концепции применительно к экосистемам Беларуси [4, 11, 21].

Оценка критических нагрузок предусматривает как проведение натурных исследований почв / экосистем, так и работы по моделированию и картированию. Установленные уровни критических нагрузок в сочетании с прогнозными показателями активности (выбросов) и используемых методов их снижения позволяют выполнить прогноз изменения экосистем для различных сценариев и выбрать оптимальные затратоэффективные стратегии снижения воздействий.

Учитывая олиготрофность экосистем Антарктики, представленных преимущественно лишайниками и мхами, представляется, что наиболее

актуальным будет регулирование поступления пытательных веществ, в первую очередь азота, с атмосферными выпадениями и другими потоками и, соответственно, разработка подходов к оценке критических нагрузок данного вещества.

Выполненные странами – Сторонами Договора об Антарктике исследования почв и экосистем (в том числе при подготовке ВООС [9, 27]), позволили накопить сведения о свойствах почв и фитоценозов, которые могут быть использованы в моделировании критических нагрузок. Данные мониторинга атмосферных осадков и атмосферного воздуха, а также данные анализов кернов снега ITASE [25] могут служить исходной базой оценки уровней атмосферных выпадений загрязняющих веществ и сопоставления их с пороговыми значениями.

Применение моделирования рассеивания выбросов для оценки воздействия при строительстве/эксплуатации объектов в Антарктиде. Установление количественных порогов воздействия на окружающую среду малоэффективно без использования численных методов оценки воздействия, в том числе прогнозирования.

Результаты анализа Всесторонних оценок окружающей среды (ВООС), доступных на сайте Договора об Антарктике, приведены в таблице. Как видно, из 12 доступных ВООС модели рассеивания не использовались в шести случаях; в двух случаях был применен ICS3; SYMOS97, ОНД-86 и AERMOD были задействованы в других четырех случаях. Среди результатов как краткосрочные, так и долгосрочные прогнозные концентрации были получены только для двух станций: Чан Бого, Южная Корея (оксиды азота) и станции на горе Вечерняя, Беларусь (NO_2 , SO_2 , PM10, CO, HC).

Перечень дисперсионных моделей, использованных Сторонами Договора об Антарктике для оценки воздействия на воздушную среду при строительстве/эксплуатации объектов в Антарктиде

Станция	Страна	Цель	Выбросы, кг/год	Модель рассеивания	Моделируемые параметры и вещества	Публикация
Мендель	Чешская Республика	Строительство и эксплуатация станции	NO_x – 128 CO – 90	SYMOS' 97	Максимальные краткосрочные концентрации NO_x	[15]
Тролл	Норвегия	Модернизация летней станции до постоянной станции	$\text{VCh}10$ – 70 NO_x – 2750 CO – 200	Не использовалась	–	[16]
Хэли	Великобритания	Строительство и эксплуатация исследовательской станции Halley VI, демонтаж станции Halley V	$\text{VCh}10$ – 16 SO_2 – 0,0008 NO_x – 669,6	То же	–	[22, 23]

Окончание таблицы

Станция	Страна	Цель	Выбросы, кг/год	Модель рассеивания	Моделируемые параметры и вещества	Публикация
Ноймайер III	Германия	Строительство и эксплуатация станции Neumayer III, демонтаж станции Neumayer II	ВЧ10 – 53 SO ₂ – 84 NO _x – 75 CO – 17	– » –	–	[18]
Принцессы Элизабеты	Бельгия	Строительство и эксплуатация станции	SO ₂ – 10 NO _x – 48 CO – 3	– » –	–	[14]
Куньлунь	Китай	То же	ВЧ10 – 35–62 SO ₂ – 50,8–89 NO _x – 65–113 CO – 27–47	– » –	–	[24]
Жонгшань (Сунь Ят-Сен)	Китай	Строительство нового здания энергоблока	SO ₂ – 700 NO _x – 2000 CO – 70	– » –	–	[19]
Бхарати	Индия	Строительство и эксплуатация станции	ВЧ10 – 264,4 SO ₂ – 192 NO _x – 3025 CO – 208	ISCST 3	Максимальные 24-часовые концентрации SPM, SO ₂ , NO _x	[17]
Чан Бого	Республика Корея	То же	ВЧ10 – 450 SO ₂ – 260 NO _x – 9650 CO – 810	ISCST 3	Максимальные 1-часовые, 24-часовые и годовые концентрации NO _x	[12]
Тайшань	Китай	Строительство летнего лагеря	ВЧ10 – 10–20 SO ₂ – 10 NO _x – 150–220 CO – 10–20	Не использовалась	–	[20]
имени Вернадского	Украина	Строительство нового топливного резервуара	NO _x , SO ₂ , ВЧ, углеводороды и др.	ОНД-86	Максимальные концентрации углеводородов, NO, CO, сажи и др.	[26]
Гора Вечерняя	Беларусь	Строительство и эксплуатация станции	Эксплуатация: ВЧ10 – 12–47 SO ₂ – 16–64 NO _x – 128–512 CO – 649–2597	AERMOD	Максимальные и средние 1-часовые, 24-часовые и месячные концентрации NO ₂ , SO ₂ , PM10, CO, углеводородов	[4, 13]

Можно сказать, что применение модели рассеивания выбросов для оценки воздействия в Антарктике пока ограничено. Существует целый ряд причин такой ограниченности, в первую очередь из-за необходимых больших затрат времени и ресурсов, а также отсутствия исходных данных для моделирования. В таких условиях анализ возможных результатов моделирования с учетом их точности и чувствительности к входным данным имеет важное значение и может позволить расширить области применения моделей.

Еще реже используются модели при оценке других видов воздействия: сточных вод, отходов. Представляется, что совершенствование методической основы оценки воздействия на окружающую среду, создание методических основ подготовки информационной базы для оценки критических нагрузок и уровней необходимо

рассматривать как важные задачи в рамках совершенствования методического обеспечения подготовки ВООС планируемой деятельности и мониторинга ее последствий.

При оценке воздействия в Антарктике более широкое применение моделирования рассеивания загрязняющих веществ очень важно, поскольку это позволяет использовать гораздо больше возможностей для процедур оценки. Гармонизация методик моделирования рассеяния позволит получить более сопоставимые результаты.

При широком применении моделей рассеивания на стадии интерпретации результатов моделирования можно столкнуться с ограничениями, наиболее важным из которых является недостаточная полнота исходных данных, характеризующих как воздействие, так и условия рассеивания примесей.

Литература

1. **Протокол** о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном 1999 года к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния с поправками, внесенными в него 4 мая 2012 года / ECE/EB.AIR/114.
2. **Протокол** об ограничении выбросов окислов азота или их трансграничных потоков к Конвенции 1979 года о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния. – Женева, 1988.
3. **Протокол** по охране окружающей среды к Договору об Антарктике. Мадрид, 4 октября 1991 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.ats.aq/r/ats_keydocs.htm/vol1_4_AT_Protocol_on_EP_r.pdf. – Дата доступа: 12.04.2017.
4. **Какарека, С. В.** Опыт применения модели AERMOD для расчета рассеяния выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников / С. В. Какарека, С. В. Саливончик // География и природные ресурсы. – 2015. – № 1. – С. 175–184.
5. **КСДА XXXIX.** Резолюция 1. Приложение. Пересмотренное Руководство по оценке воздействий на окружающую среду Антарктики. – 2016.
6. **КСДА XXX РД6.** Подходы к политике в области туризма: дальнейшие шаги. – 2007.
7. **КСДА XXXVI РД39.** Следы человеческой деятельности в Антарктике и долгосрочное сохранение наземной среды обитания микроорганизмов. – 2013.
8. **Antarctic Thresholds – Ecosystem Resilience and Adaptation (AnT-ERA)** [Electronic resource]. – Mode of access: <http://scar.org/antera/antera-about>. – Date of access: 14.03.2017.
9. **ATCM XXXVI IP66** Discharge of sewage and grey water from vessels in Antarctic Treaty waters. – 2013.
10. **Bargagli, R.** Antarctic ecosystems: environmental contamination, climate change and human impact // Ecological Studies/ R. Bargagli. – Springer, 2005. – Vol. 175. – 407 p.
11. **CLRTAR Manual on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads and Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends.** Umweltbundesamt. – Berlin, 2004.
12. **Comprehensive** environmental evaluation; Construction and operation of the Jang Bogo Antarctic Research Station, Terra Nova Bay, Antarctica. – April, 2012.
13. **Construction and Operation of Belarusian Antarctic Research Station at Mount Vechernyaya, Enderby Land.** Draft Comprehensive Environmental Evaluation. – Minsk, 2013. – 164 p.
14. **Construction and Operation of the new Belgian Research Station, Dronning Maud Land, Antarctica.** Final Comprehensive Environmental Evaluation (CEE). – March, 2007.
15. **Draft** Comprehensive Environmental Evaluation for Czech Scientific Station in Antarctica. Construction and Operation. Ministry of the Environment of the Czech Republic. – April, 2003.
16. **Final** Comprehensive Environmental Evaluation (CEE) for the upgrading of the Norwegian summer station Troll in Dronning Maud Land, Antarctica, to permanent station / Norwegian Polar Institute. – 2004.
17. **Final** Comprehensive Environmental Evaluation of New Indian Research Station at Larsemann Hills, Antarctica National Centre for Antarctic and Ocean Research (Ministry of Earth Sciences, Government of India) Headland Sada, Vasco Da Gama, Goa, 403 804, India. – September, 2010. – 220 p.
18. **Final** Comprehensive Environmental Evaluation of the proposed activities «Construction of the Neumayer III Station», «Operation of the Neumayer III Station» and «Dismantling of the Existing Neumayer II Station and Removal of Materials from Antarctica» / Umweltbundesamt I 2.4 – 94003-2/43. – Dessau, August, 2005.
19. **Initial** Environmental Evaluation for a new Power Generating Building at Chinese Zhongshan Station, Antarctica. – October, 2010. – 22 p.
20. **Initial** Environmental Evaluation for the Construction of Inland Summer Camp, Princess Elizabeth Land, Antarctica. – 2013. – 30 p.
21. **Manual** on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads and Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends. – April, 2015.
22. **Proposed** Construction and Operation of Halley VI Research Station, Brunt Ice Shelf, Antarctica. Draft Comprehensive Environmental Evaluation (CEE). – February, 2005.
23. **Proposed** Construction and Operation of Halley VI Research Station and Demolition and Removal of Halley V, Brunt Ice Shelf, Antarctica Final Comprehensive Environmental Evaluation. – March, 2007.
24. **Proposed** Construction and Operation of the New Chinese Dome A Station Dome A, Antarctica. Final Comprehensive Environmental Evaluation. Chinese Arctic and Antarctic Administration. – August, 2008.
25. **Snow** Chemistry Across Antarctica [Electronic resource] / N. Bertler [et al.] // Annals of Glaciology. – 2005. – Vol. 41. – P. 167–179. – Mode of access: <http://www2.umaine.edu/itase/content/syngroups/snowchem.html>. – Date of access: 21.09.2016.
26. **Technological** Binding of a Tank With Capacity V=200 Cubic Meters for Fuel Storage At Vernadsky Station. Comprehensive Environmental Evolution. – Kiev, 2006.
27. **The soil of Antarctica** [Electronic resource] / J. G. Bockheim (ed.). – 2015. – Vol. XV. – 322 p. – Mode of access: <http://www.springer.com/978-3-319-05496-4>. – Date of access: 11.10.2016.

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Поступила 02.05.2017 г.

C. V. Kakareka***К ВОПРОСУ О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ НОРМАТИВНОЙ И МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ
ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ АНТАРКТИКИ***

Приведены результаты анализа нормативного и методического обеспечения оценки воздействия в рамках Договора об Антарктике, а также Всесторонних оценок воздействия на окружающую среду при строительстве научных станций в Антарктике.

Показана настоятельная необходимость определения подходов к выработке критерииев, которые позволили бы нормировать воздействия на экосистемы Антарктики, в первую очередь в отношении поступления химических веществ. Учитывая олиготрофность экосистем Антарктики, представленных преимущественно лишайниками и мхами, представляется, что наиболее актуальным будет регулирование поступления питательных веществ, в первую очередь азота, с атмосферными выпадениями и другими потоками и, соответственно, разработка подходов к оценке критических нагрузок данного вещества. При выработке подходов к нормированию нагрузок на экосистемы Антарктики и установлению порогов воздействий значительный интерес представляет использование концепции критических нагрузок / уровней и опыт его реализации в рамках Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния в Европе.

Показано, что применение моделей переноса и рассеивания выбросов для оценки воздействия в Антарктике пока ограничено; существует необходимость более широкого использования таких моделей. При этом необходимо учитывать сложности, связанные с недостаточной полнотой исходных данных, характеризующих как воздействие, так и условия рассеивания примесей.

S. V. Kakareka***TOWARDS THE IMPROVEMENT OF THE REGULATORY AND METHODOLOGICAL FRAMEWORK
FOR THE ASSESSMENT OF IMPACTS ON THE ANTARCTIC ENVIRONMENT***

In the paper the results of the analysis of the regulatory and methodological basis for impact assessment under the Antarctic Treaty, as well as Comprehensive environmental evaluations for the construction of scientific stations in the Antarctic are presented.

It is shown that there is an urgent need to define approaches to the development of criteria that would allow the regulation of impacts on Antarctic ecosystems, primarily with regard to the input of chemicals. Considering the oligotrophic nature of Antarctic ecosystems, which are mainly represented by lichens and mosses, it seems that the most relevant is the regulation of the intake of nutrients, primarily nitrogen, with atmospheric deposition and other fluxes and, accordingly, the development of approaches to the assessment of critical loads of this substance. In developing approaches to regulate loads on Antarctic ecosystems and establishing exposure thresholds, it is of considerable interest to use the concept of critical loads / levels and experience in its implementation it under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution in Europe.

It is shown that the application of models of transport and dispersion of emissions for the assessment of the impact in the Antarctic is so far limited. There is a need for a wider use of such models. At the same time, it is necessary to take into account the difficulties associated with the insufficiently complete initial data characterizing both the impact and the conditions for the dispersion of pollutants.

УДК: 551.587

ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЫСОТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ УКРАИНЫ

И. В. Дворецкая, М. В. Савенец

Проанализированы сезонные колебания температуры воздуха в тропосфере – нижней стратосфере для территории Украины с использованием данных станций соседних государств. Получены количественные характеристики колебаний и сезонно-широтного распределения температуры на высотах, а также их вертикальные профили. Рассчитаны широтные и долготные градиенты температуры.

Проблема потепления климата является одной из самых обсуждаемых в мире. В то же время, большое количество исследований, утверждающих наличие антропогенных причин потепления [6, 18, 19, 21], основывается только на данных наземных наблюдений. Однако сделать правильные выводы о генезисе современного потепления невозможно без учета долговременной динамики температуры по всей высоте тропосферы. Для территории Украины последние исследования сезонной изменчивости в тропосфере и нижней стратосфере проводились около 30 лет назад [1, 8]. В последующих работах [3, 5, 11, 12, 14, 15] исследования температуры на высотах носили эпизодический характер. В то же время имеется значительное количество научных работ по приземной температуре воздуха [2, 4, 9, 10, 13, 16, 20].

Целью работы – представить обновленную информацию о климатических нормах, а также исследовать сезонные (кратковременные) колебания температуры воздуха в тропосфере и нижней стратосфере, включая вертикальное распределение количественных показателей колебаний, что особо актуально в условиях меняющегося климата.

Материалы и методы исследования. Исходными данными стали ряды температуры за период с 1979 по 2010 г., полученные в результате аэрологического зондирования атмосферы. Данные представлены в электронных базах университета Вайоминга [24], информация в которых содержится и за более ранний период. Однако выборка формировалась с возможностью использовать данные радиозондирования в будущих исследованиях совместно со спутниковыми измерениями, в частности с данными прибора TOMS, запущенного в конце 1978 г. [23]. Всего было задействовано тридцать аэрологических станций [22]. Из девяти станций на территории Украины было отобрано шесть, поскольку пропуски и ошибки в данных на станциях Шепетовка, Львов и Кривой Рог не позволили провести качественное многолетнее осреднение. Данные семи станций на территории соседних государств были взяты во избежание негативных краевых эффектов и возможность полностью покрыть территорию Украины. Таким образом, выбраны

станции Киев, Ужгород, Черновцы, Харьков, Одесса, Симферополь, Гомель (Беларусь), Курск, Воронеж, Ростов-на-Дону, Туапсе (Россия), Бухарест (Румыния) и Легионово (Польша). Ряды температуры отобраны на 13 стандартных изобарических уровнях с 1000 по 30 гПа, благодаря чему удалось охватить всю тропосферу и нижнюю стратосферу до 23 км.

Каждый ряд был проверен на наличие ошибок при помощи критического анализа путем сравнения аномалий температуры на соседних станциях. Во избежание грубого отсеивания и с целью сохранения реальных значительных отклонений, аномалией считалось не отклонение от нормы на $2,5\sigma$, а отклонение на 3σ , согласно правилу «трёх сигм» [7]. В случае обнаружения неподтвержденной на соседних станциях аномалии, значение отбрасывалось и после расчета климатических норм, снова проверялось. Если в итоге такое отклонение наблюдалось только на одной станции, оно считалось «неподтвержденным выбросом». После каждого этапа отсеивания «неподтвержденных выбросов» климатические нормы температуры уточнялись уже без учета ошибок.

Расчет сезонных колебаний и средних многолетних значений температуры производили с помощью гармонического анализа. Статистическую значимость гармоник проверяли при помощи критерия Стьюдента на 95 %-ном уровне надежности. В результате анализа были получены амплитуды колебаний температуры; фазы колебаний, переведенные из угловых единиц в юлианские дни, что стало соответствовать датам наступления максимумов; коэффициенты детерминации (R^2) сезонного хода; и сами осредненные значения температуры на всех отобранных уровнях.

Согласно рекомендациям ВМО [17], климатические нормы могут уточняться каждые 10 лет, и климатической нормой можно называть не только осредненное значение за стандартный период поэтому авторы данной статьи считают возможным называть полученные осредненные значения температуры как климатические нормы, так и среднее многолетнее.

Результаты и их обсуждение. Расчет показал статистическую значимость колебаний

температуры на всех изобарических уровнях, однако не по всему вертикальному профилю сезонная изменчивость температуры одинакова. Хорошо прослеживается известное разделение нижних слоев атмосферы на тропосферу, тропопаузу и стратосферу при анализе количественных показателей сезонных колебаний (рис. 1). Всего выделяются четыре слоя: пограничный слой (изобарический уровень 1000 гПа) с наибольшим влиянием подстилающей поверхности; уровни 850–250 гПа, охватывающие весь слой свободной тропосферы; уровни 200–70 гПа, охватывающие верхние слои тропосферы, тропопаузу и нижние слои стратосферы; уровни ниже 50 гПа. В то же время для вертикального профиля среднего многолетнего значения не характерна такая дифференциация (рис. 1, Г). До 10 км температура понижается с примерно одинаковым градиентом, выше 10 км характерна изотермия.

Наиболее четко годовой ход температуры наблюдается в пограничном слое. На изобарическом уровне 1000 гПа (≈ 130 – 150 м) по всей рассматриваемой территории коэффициенты детерминации сезонного хода равны $R^2 = 0,8$, и только на станции Черновцы значение немножко меньше и составляет $R^2 = 0,7$. Первая гармоника является наиболее значимой: ее амплитуда в-

арьируется от 10 °С до 17 °С. Максимумы температуры на большей части рассматриваемой территории наступают на 196–199-й день года (16–19 июля) (рис. 2). В направлении на юг фазы смещаются до 205-го дня на Крымском полуострове. Пространственное распределение климатически норм температуры воздуха на уровне 1000 гПа характеризуется чётким широтным изменением показателей в холодный сезон года. Именно тогда и наблюдается наибольшая разница между северными и южными территориями. Уже начиная с марта, поле температуры становится более однородным и над территорией Украины выделяется не больше трех изотерм.

На изобарических уровнях 850–250 гПа ($\approx 1,5$ – $10,0$ км) сезонный ход выражен слабее, чем на уровне 1000 гПа. Коэффициенты детерминации варьируются от 0,6 до 0,7 по всей территории и ближе к уровню 250 гПа начинают убывать. Быстрее коэффициенты детерминации уменьшаются в западной и центральной части Украины, а также в северной части рассматриваемой территории, слабее уменьшение – на юге. И если на станциях Симферополь и Туапсе R^2 все еще остается на уровне 0,6–0,7, то на станциях Киев, Ужгород, Черновцы, Гомель и Легионово R^2 уже равен 0,4.

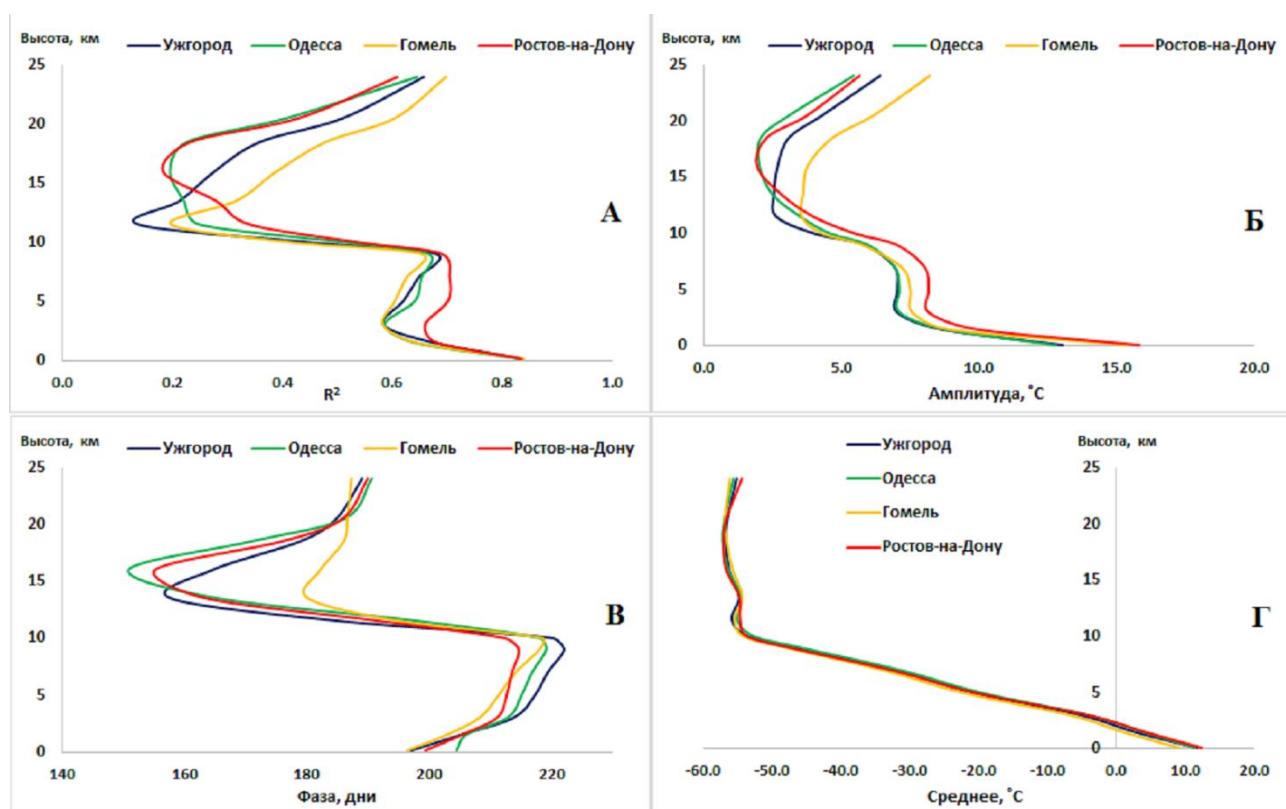


Рис. 1. Характерные вертикальные профили коэффициентов детерминации (А), амплитуд (Б), фаз (В) сезонных колебаний и среднего многолетнего значения (Г) температуры

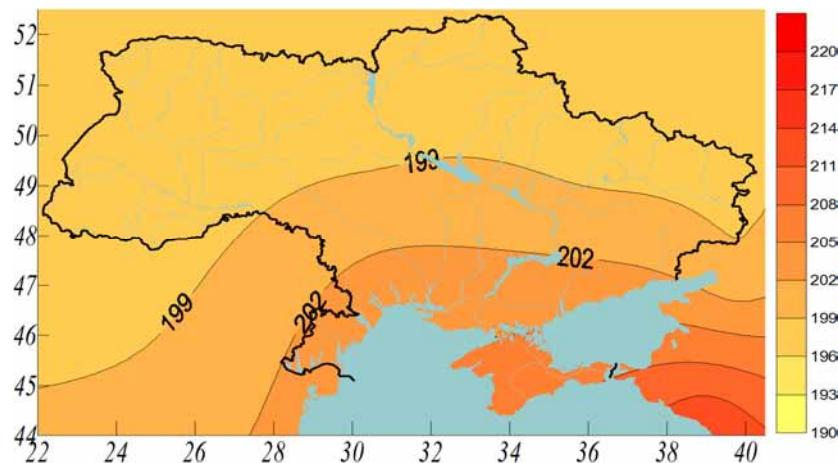


Рис. 2. Фаза (юлианские дни) первой гармоники сезонных колебаний температуры на изобарическом уровне 1000 гПа

Амплитуды первой гармоники уменьшаются с высотой от 8–10 °С до 4–6 °С. Наступление максимумов температуры с увеличением высоты смещается на более поздний период (рис. 1, В). Разница в фазах между уровнем 850 и 250 гПа составляет 15 дней. На изобарическом уровне 250 гПа фазы соответствуют 210–220-му дню года.

На изобарическом уровне 850 гПа направление изменения температуры трансформируется при переходе от холодного сезона к теплому. Если в теплый период года наивысшие значения наблюдаются на юго-западе, то в холодный – на юго-востоке. В целом размах климатических норм температуры равен 28 °С: от –10 °С зимой до +18 °С летом. Для изобарических уровней 700 и 500 гПа характерно широтное изменение изотерм в переходные сезоны, тогда как в июне–августе и декабре–феврале направление изменения показателей варьируется. Климатические нормы на уровне 700 гПа изменяются от –16 °С в холодное время года до +6 °С в теплое, а на уровне 500 гПа – от –31 °С до –10 °С. На уровне 400 гПа начинают происходить изменения температурного поля в теплое время года. Направление изотерм совпадает с направлением в переходные сезоны с максимумами на юге и постепенным уменьшением в северном направлении. Нормы достигают значения –22 °С летом и –42 °С в зимний период. С увеличением высоты до уровня 300 гПа начинает наблюдаться трансформация изотерм в переходные сезоны. Нарушается четкая широтная зависимость, температурные поля становятся более однородными. На уровне 300 гПа нормы температуры лежат в пределах от –55 °С до –35 °С.

Наибольшие отличия температурного режима наблюдаются на уровнях 200–70 гПа, охватывающие верхние слои тропосферы, тропопаузу и нижние слои стратосферы. Сезонные вариации здесь выражены слабо, и коэффициенты

детерминации не достигают даже $R^2 = 0.5$. Соответственно, и амплитуды наиболее значимой первой гармоники на уровнях 200–70 гПа (≈ 11.5 – 18.5 км) малы и варьируются в среднем от 1,5 °С до 4,0 °С. Ключевой особенностью температурного распределения на данных уровнях является сильнейший скачок фаз, где наименьший составляет около 15–20 дней, а наибольший превышает 70 дней (рис. 1, В) по отношению к нижележащим изобарическим уровням. В результате в северной части Украины наступление максимумов наблюдается на 175–180-й день года (25–30 июня), а в южной – на 130–140-й день года (11–21 мая). Более того, если в нижней тропосфере более раннее наступление максимумов наблюдается на севере и с продвижением на юг все позже, то на границе тропосферы и стратосферы наоборот.

На границе тропосферы и стратосферы размах средних многолетних значений температуры составляет 20 °С: показатели варьируются в пределах от –40 °С до –60 °С. На данных высотах происходит перестройка температурного поля к стратосферному режиму.

В нижней стратосфере на изобарических уровнях 50–30 гПа (≈ 20.5 – 24.0 км) сезонные колебания снова выделяются более четко. Коэффициенты детерминации увеличиваются до $R^2 = 0.6$. В северной части Украины амплитуды первой гармоники достигают 6,5–8,0 °С, к югу значения уменьшаются до 4,5–5,5 °С. В нижней стратосфере пространственное распределение температуры зависит в первую очередь от радиационного фактора. Температура колеблется в пределах от –50 °С до –65 °С.

В нижних слоях тропосферы с увеличением высоты начинают резко уменьшаться зимние градиенты температуры между северными и южными регионами. Так, на изобарическом уровне 1000 гПа широтные градиенты температуры приближаются к 0,8 °С на 100 км, а уже на уровне

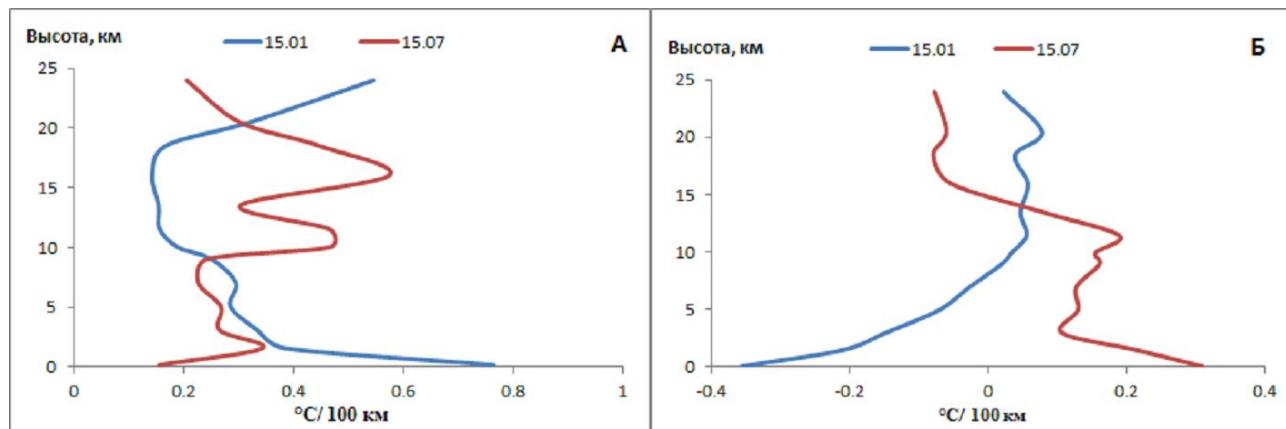


Рис. 3. Характерные зимние (15.01) и летние (15.07) вертикальные профили широтных (А) и долготных (Б) градиентов температуры

850 гПа этот градиент становится вдвое меньше (рис. 3, А). В то же время широтные разницы температур в июле увеличиваются. Широтные градиенты температуры от 850 гПа (≈ 3 км) до уровня 300 гПа (≈ 9 км) практически не изменяются с высотой и равны около $0,35$ $^{\circ}\text{C}/100$ км. В теплый период года градиенты меньше на $0,05$ $^{\circ}\text{C}/100$ км. Таким образом, средняя и верхняя тропосфера характеризуются наиболее однородным полем температуры воздуха.

Выше изобарического уровня 250 гПа (≈ 10 км) наблюдается резкое увеличение широтных градиентов температуры в теплое время года. Градиенты тут максимальные и во всем слое достигают $0,6$ $^{\circ}\text{C}/100$ км. В то же время температурные разницы в холодный период года выравниваются и на этих же высотах разница в распределении температуры между севером и югом Украины не превышает 2 $^{\circ}\text{C}$.

Долготные градиенты температуры воздуха (рис. 3, Б) дают представление о степени изменения температуры в связи с усилением континентальности климата в направлении с запада на восток. Очевидно, что наибольшие долготные разницы наблюдаются в пограничном слое атмосферы. В холодный период года градиенты достигают $-0,4$ $^{\circ}\text{C}/100$ км (уменьшение температуры из запада на восток), в теплый период года – около $0,3$ $^{\circ}\text{C}/100$ км. Начиная с изобарического уровня 700 гПа градиенты по абсолютному значению не превышают $0,2$ $^{\circ}\text{C}/100$ км.

Полученные результаты дают возможность в последующих исследованиях перейти к

анализу долговременной изменчивости температуры на высотах и получить точный ответ о роли природных факторов в глобальных климатических изменениях. Обновленные климатические показатели температуры могут являться основой для решения ряда прикладных задач, использующих данные высотного распределения температуры.

Выводы. Исследования кратковременных колебаний температуры в тропосфере–нижней стратосфере показали наличие хорошо выраженной сезонности в нижних слоях тропосферы и слабо выраженной – на границе тропосферы и стратосферы. Первая гармоника наиболее значимее амплитуды наибольшей в пограничном слое. Фазы первой гармоники характеризуются скачком приблизительно на уровне тропопаузы и, в зависимости от территории, наступление максимумов наблюдается раньше на 15–70 дней по отношению к остальным высотам. Перестройка температурных полей на характерные для стрatosферы начинается с уровня 300 гПа.

Широтные градиенты температур в теплое время года наибольшие на изобарическом уровне 1000 гПа, где они достигают $0,8$ $^{\circ}\text{C}/100$ км. Выше изобарического уровня 250 гПа наблюдается резкое увеличение широтных градиентов температуры в теплое время года до $0,6$ $^{\circ}\text{C}/100$ км. Долготные градиенты температуры наибольшие в пограничном слое: $0,3$ $^{\circ}\text{C}/100$ км – в теплое время года и $0,4$ $^{\circ}\text{C}/100$ км – в холодное время года.

Литература

1. Атлас климатических характеристик температуры, плотности и давления воздуха, ветра и геопотенциала в тропосфере и нижней стратосфере северного полушария / под ред. Д. И. Степановского и Б. С. Чучкалова. – М. : Гидрометеоиздат, 1974.
2. Балабух, В. О. Особливості термічного режиму 2013 року в Україні / В. Балабух, О. Лавриненко, Л. Малицька // Український гідрометеорологічний журнал. – 2014. – № 14. – С. 79–94.

3. **Волошина, О. В.** Хвильовий характер і енергетика процесів коливання геопотенціальної висоти і температури ізобаричних поверхонь / О. Волошина // Український гідрометеорологічний журнал. – 2006. – № 1. – С. 55–62.
4. **Дати** переходу температури повітря в Україні за сучасних умов клімату / за ред. В. І. Осадчого, В. М. Бабіченко. – К. : Ніка-Центр, 2010. – 304 с.
5. **Ивус, Г. П.** Влияние адвекции тепла на образование струйных течений нижних уровней / Г. Ивус [и др.] – Український гідрометеорологічний журнал, 2011, № 9. – С. 66–72.
6. **Изменение** климата: Обзор состояния научных знаний об антропогенном изменении климата / А. О. Кокорин. – РРЭЦ, GOF, WWF России, 2005. – 20 с.
7. **Исаев, А. А.** Статистика в метеорологии и климатологии / А. А. Исаев. – М. : Изд-во МГУ, 1988. – 248 с.
8. **Климат** свободной атмосферы и пограничного слоя над территорией СССР : сб. тр. / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т гидрометеорологической информ. Мирового центра данных. – Вып. 60. – М. : Гидрометеоиздат, 1979.
9. **Климат** Києва / за ред. В. І. Осадчого, О. О. Косовця, В. М. Бабіченко. – К. : Ніка-Центр, 2010. – 320 с.
10. **Климат** України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. – К. : Вид-во Раєвського, 2003. – 344 с.
11. **Кривобок, А. А.** К вопросу о точности определения балла облачности и температуры на верхней границе облака по спутниковым данным / А. Кривобок // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2006. – Вип. 255. – С. 81–96.
12. **Мартазинова, В. Ф.** Взаимозависимость процессов циркуляции в тропосфере и стратосфере при кратковременных и длительных потеплениях и похолоданиях в Украине / В. Ф. Мартазинова, В. В. Остапчук // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2004. – Вип. 253. – С. 27–36.
13. **Мартазинова, В. Ф.** Состояние средней суточной температуры воздуха и суточного количества осадков зимнего сезона в XX столетии по Киеву / В. Ф. Мартазинова, С. В. Савчук, И. В. Витвицкая // Наук. праці УкрНДГМІ, 2007. – Вип. 256. – С. 7–18.
14. **Семенова, И.** Использование термического фронтального параметра для моделирования бароклинических зон в процессах цикlogenеза / И. Семенова, Г. Ивус. // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2011. – Вип. 261. – С. 56–71.
15. **Семергей-Чумаченко, А. Б.** Характеристика термобаричної та гідродинамічної структури нижньої тропосфери в період виникнення смерчів над півднем України / А. Семергей-Чумаченко // Український гідрометеорологічний журнал. – 2009. – № 5. – С. 96–106.
16. **Шевченко, О. Г.** Особливості термічного режиму граничного шару атмосфери над Києвом / О. Шевченко, Є. Самчук, С. Сніжко // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. – 2012. – № 3–4. – С. 7–13.
17. **Commission for Climatology.** 16th session, Heidelberg, 3–8 July 2014. Abridged final report with resolutions and recommendations / WMO. – Heidelberg, 2014. – № 1137.
18. **Global Warming.** NASA Facts [Electronic resource]. – Mode of access : http://www.klimatupplysningen.se/wp-content/uploads/2010/04/global_warming.pdf. – Date of access : 00.00.2017.
19. **Houghton, J. T.** Climate change / J. Houghton, B. Callander. – Cambridge : Cambridge University Press, 1992.
20. **Krakovska, S.** Climate change projections for Ukraine in the 21st century based on the best RCM ensembles / S. Krakovska [et al.] // EGU General Assembly Conference Abstracts. – 2013. – Vol. 15. – P. 889.
21. **Montzka, S. A.** Non-CO₂ greenhouse gases and climate change / S. Montzka, E. Dlugokencky, J. Butler. – Nature. – 2011. – Vol. 476. – P. 43–50.
22. **Savenets, M. V.** Vertical distribution and seasonal variability of wind over Ukraine and adjacent territories / M. Savenets, I. Dvoretska, G. Kruchenitsky // Proceeding of the 13th International Conference of Young Scientists on Energy Issues, Kaunas, Lithuania, May 26–27, 2016. – Kaunas, 2016. – P. 64–70.
23. **Total Ozone Meter Spectrometer (TOMS).** Data overview [Electronic resource]. – Mode of access : https://disc.gsfc.nasa.gov/acdisc/TOMS/toms13_dataset.gd.html. – Date of access : 00.00.2017.
24. **Wyoming** University. Upper air soundings [Electronic resource]. – Mode of access : <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>. – Date of access : 00.00.2017.

Украинский гидрометеорологический институт, Киев, Украина

Поступила в редакцию 12.05.2017 г.

И. В. Дворецкая, М. В. Савенец

**ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЫСОТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ УКРАИНЫ**

Проведен анализ сезонных колебаний температуры воздуха в тропосфере – нижней стратосфере, который показал хорошо выраженную сезонность в нижних слоях тропосферы, тогда как в районе тропопаузы сезонность выражена слабо. Рассчитаны гармоники сезонного хода. Наиболее значимой является первая с максимальными амплитудами в пограничном слое. Обнаружены скачки фаз первой гармоники приблизительно на уровне тропопаузы.

Проанализированы широтные и долготные градиенты температуры. Наибольшие широтные градиенты в холодное время года наблюдаются в нижних слоях тропосферы, в теплое время года – выше изобарического уровня 250 гПа. Долготные градиенты в пограничном слое вдвое превышают значения в свободной тропосфере и нижней стратосфере.

I. V. Dvoretska, M. V. Savenets

**THE FEATURES OF THE SEASONAL VARIABILITY OF ALTITUDINAL
TEMPERATURE DISTRIBUTION ABOVE UKRAINE**

The analysis of air temperature seasonal variations in troposphere – lower stratosphere are performed. It shows the strong seasonality in the lower troposphere layers and whereas weak seasonality near tropopause. The harmonics of seasonal variations were calculated. The most significant is the first harmonic with the highest amplitudes in the boundary layer. The first harmonic phase leaps approximately at tropopause level was discovered.

Latitudinal and longitudinal temperature gradients were analyzed. The highest latitudinal gradients in cold period observed in lower troposphere, in warm period – on the levels above 250 hPa. Longitudinal gradients in the boundary layer double free tropospheric and lower stratospheric values.

О. Ю. Круковская, Ю. Г. Кокош

ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБНОСТИ АТМОСФЕРЫ К САМООЧИЩЕНИЮ НА ОСНОВАНИИ ПОВТОРЯЕМОСТИ СИЛЬНЫХ И СЛАБЫХ ВЕТРОВ В БЕЛАРУСИ

Проанализирована повторяемость сильных и слабых ветров по данным 44 станций на территории Беларуси. Установлено статистически достоверное увеличение годовой повторяемости слабых ветров и штилей и сокращение повторяемости сильных ветров, как для всей территории Беларуси, так и для большей части отдельных станций. Показан рост отношения повторяемости слабых ветров к повторяемости сильных ветров, что свидетельствует об ухудшении условий самоочищения атмосферы.

Введение. Загрязнение воздуха для каждой конкретной точки в пространстве и времени является частным случаем решения уравнения баланса поступления и удаления загрязняющих веществ. При этом удаление загрязняющих веществ из приземного слоя может происходить за счет осаждения, переноса в толще атмосферы по вертикали (вынос в более высокие слои атмосферы) и горизонтали. Перемещение загрязнения по горизонтали происходит за счет существующих воздушных потоков, поэтому степень благоприятности метеоусловий к горизонтальному перемещению может характеризоваться силой ветра.

Комплексные показатели условий рассеивания определяются интенсивностью и повторяемостью ряда метеопараметров.

Одной из первых работ по оценке влияния климатических условий на загрязнение атмосферного воздуха является исследование В. В. Крючкова [7], в котором предложено оценивать способность территорий к самоочищению по средней за год скорости ветра, повторяемости штилей и годовому количеству выпадающих осадков. Этот метод отличается простотой и может применяться для оценки метеорологического потенциала атмосферы на качественном уровне. Недостатком данной методики является произвольность выбранных граничных условий, а также неполнота учета метеорологических факторов, влияющих на процессы рассеивания и накопления примесей в атмосфере. Кроме того, возникает неясность: как оценивать способность атмосферы к самоочищению, если по отдельным параметрам она попадает в различные классы самоочищения.

В практике гидрометеорологической деятельности распространенным показателем является потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА), который был разработан в Главной геофизической обсерватории [1, 2]. При расчете ПЗА учитываются повторяемость приземных инверсий температуры, скорости ветра 0–1 м/с, застоев воздуха, туманов. Значение ПЗА показывает, во сколько раз средний уровень загрязнения воздуха в конкретном районе, определяемый фактиче-

ской повторяемостью неблагоприятных метеорологических условий рассеяния, будет выше, чем в условном.

В 1980-х годах были выполнены расчет и районирование характерных показателей ПЗА для территории СССР с преобладанием низких источников загрязнения, характерных для городских условий. Согласно работе [5], территория Беларуси располагается в пределах зон низкого (центральная и северная часть) и умеренного (южная часть) ПЗА. Зона низкого ПЗА характеризуется повторяемостью приземных инверсий температуры 20–30 % в целом за год, повторяемостью ветров со скоростью менее 1 м/с – менее 20 %. Зона умеренного ПЗА, в свою очередь, характеризуется повторяемостью приземных инверсий 30–40 % и слабых ветров (0–1 м/с) 20–30 %. В настоящее время ПЗА в городах Беларуси, согласно данным Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС), остается низким.

В Беларуси за период с 1999 по 2010 г. фактические значения ПЗА менялись в пределах от 1,4 до 3,6. Наименьшее значение ПЗА наблюдалось в г. Новогрудке в 2010 г., наибольшее – в г. Минске в 2009 г. и г. Мозыре в 1999 г. [3]. Применение ПЗА ограничивается необходимостью аэрологических наблюдений. В оперативной работе его использование затруднено из-за сложности расчета. При помощи данного показателя можно оценить общий фон климатической обстановки региона без детализации для конкретной местности и без учета межгодовой изменчивости метеорологических параметров. К недостаткам ПЗА следует отнести и то обстоятельство, что он учитывает лишь условия, способствующие накапливанию вредных примесей в атмосфере, и не рассматривает условия, способствующие их рассеиванию [10].

В работе [10] предложено в качестве альтернативного показателя самоочищения атмосферы использовать метеорологический потенциал рассеивающей способности атмосферы, для расчета которого могут быть использованы данные синоптических наблюдений. Метеорологический потенциал рассеивания атмосферы

(МПА) определяется как отношение повторяемости сильных ветров (p_5), интенсивных осадков (p_p), слабых ветров (p_0) и туманов (p_f) по формуле [6, 10]

$$\text{МПА} = (p_0 p_f) / (p_5 p_p).$$

В качестве сильных рассматриваются ветры скоростью 5 м/с и более, слабых – 1 м/с и менее. Аналогично показателю ПЗА, более высокие значения МПА свидетельствуют о более неблагоприятных условиях рассеивания примесей в атмосфере.

Исходные данные для расчета МПА входят в состав метеорологических сводок и могут быть получены для большого числа точек наблюдений. В некоторых исследованиях используется величина, обратная МПА, которую принято называть коэффициентом самоочищения атмосферы, тогда как МПА – коэффициент загрязнения атмосферного воздуха.

Цель исследования – изучить динамику ветровой составляющей способности атмосферы к самоочищению на территории Беларуси.

Исходные данные и методы. На основании суточного макета данных наблюдений рассмотрена повторяемость слабых ветров и штилей, а также сильных ветров. Для этого использованы данные для 44 (16 рядов с 1967 г. и 28 рядов с 1977 г.) станций на территории Беларуси. Таким образом, повторяемость отражает долю дней со средними значениями скоростей ветра искомой величины. Проанализированы ряды продолжительностью до 48 лет (с 1967 по 2014 г.). В качестве интегрального показателя влияния ветровой составляющей на способность атмосферы к самоочищению принято рассматривать отношение повторяемости слабых ветров к повторяемости сильных (p_0/p_5).

Обработка и анализ данных выполнены с использованием языка R в среде RStudio.

Результаты и их обсуждение. Средняя скорость ветра на всех рассматриваемых постах уменьшилась с 3,85 м/с в 1967–1971 гг. до 2,30 м/с в 2010–2014 гг. и имеет устойчивое увеличивающееся отрицательное отклонение от климатической нормы в последние годы. Причем уменьшение отмечено для всех станций, включая станции на оси Волковыск–Полесская, где для более ранних периодов (до 1993 г.) отмечались стабильность, и даже рост [8]. Снижение средней скорости ветра принято объяснять изменением циркуляционных процессов в общем, которое в умеренных широтах проявляется в увеличении повторяемости восточных форм циркуляции атмосферы. В противовес этому, для метеорологических постов Воложин, Гродно, Мозырь, Октябрь, Чечерск, в последние годы наметилась тенденция к росту средней скорости ветра. Расположение станции и ее высота над уровнем моря не влияют на наличие общей тенденции к уменьшению скорости ветра.

Уменьшение средней скорости ветра и повторяемости сильных ветров отмечается на большей части территории России. Эта тенденция согласуется с уменьшением скорости приземного ветра на всех континентах земного шара, исключая высокие широты обоих полушарий ($\phi \geq 75^\circ$), где скорость приземного ветра увеличивается. Увеличивается скорость ветра и над океанами [4]. При потеплении климата создаются условия усиления циклональности над океанами и антициклональности над материками, что может обеспечивать ослабление скорости ветра над материками и ее усиление над океанами [9].

Повторяемость слабых ветров и штилей в Беларуси, согласно полученным результатам, в среднем составила в 1966–1980 гг. 0,046, в 1981–2000 – 0,056, в 2001–2014 гг. – 0,12. В последний 25-летний период наблюдается положительный тренд к росту повторяемости слабых ветров на протяжении всего доступного периода в целом с отклонениями в отдельные годы (рис. 1).

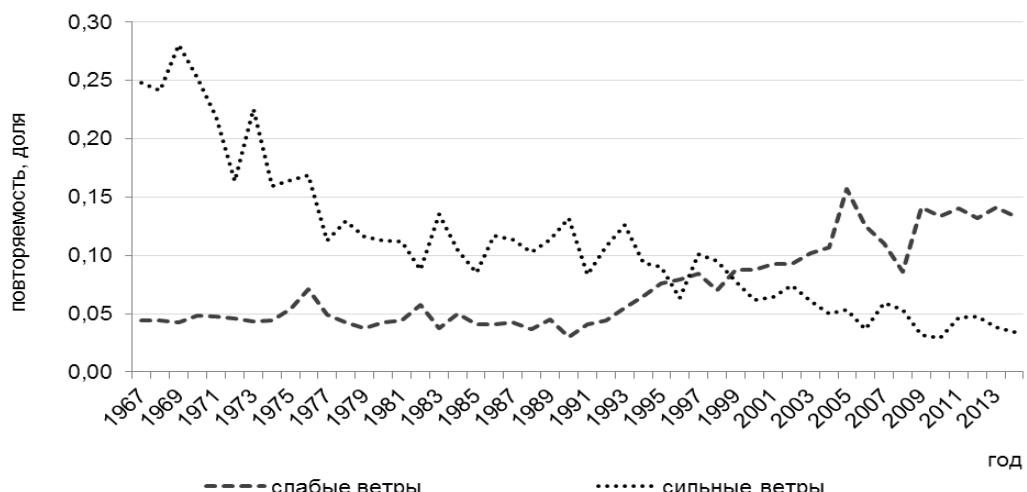


Рис. 1. Динамика повторяемостей слабых и сильных ветров в Беларуси за период 1967–2014 гг.

Средний годовой прирост повторяемости слабых ветров в Беларуси за рассматриваемый период составил 0,21 % в год. При сохранении такой динамики можно ожидать увеличения повторяемости слабых ветров и штилей до 0,2 к 2050 г. Аналогично, наблюдается отрицательный тренд в повторяемости сильных ветров (см. рис. 1). В частности, сильные ветры наблюдались в Беларуси в 1966–1980 гг. в 18,6 % дней, в 1981–2000 гг. – 10,2, в 2001–2014 гг. – 5,2 % дней. Средняя скорость уменьшения повторяемости сильных ветров составляет 0,4 % в год. В соответствии с такой динамикой, в ближайшие годы повторяемость сильных ветров к 2050 г. составит 0,01.

Несмотря на общую стационарность рассматриваемых рядов, в них наблюдаются коле-

бания. В частности, минимум повторяемости слабых ветров и штилей пришелся на 1990 г. (2,98 %), максимум – на 2005 г. (15,7 %).

Статистически значимо различаются рассматриваемые показатели в период до и во время современного потепления климата. В среднем по всем рассматриваемым постам в период 1967–1988 гг. повторяемость слабых ветров составляла 0,06, в 1989–2014 гг. – 0,10, а повторяемость сильных ветров в 1967–1988 гг. достигала 0,09, в последующие годы – 0,04. Такая тенденция наблюдается для большей части рассматриваемых постов. Исключение составляют метеорологические посты Бобруйск, Волковысск, Докшицы, Лепель, Полесская, Пружаны и Ганцевичи (см. таблицу).

**Повторяемость сильных и слабых ветров в периоды до и во время современного потепления климата
в разрезе метеорологических постов, доли**

Пост наименование	номер ВМО*	Слабые ветры		Сильные ветры	
		1967–1988 гг.	1989–2014 гг.	1967–1988 гг.	1989–2014 гг.
Барановичи	26941	0,08	0,19	0,02	0,01
Березино	26853	0,01	0,01	0,09	0,06
Березинский заповедник	26959	0,02	0,07	0,10	0,04
Бобруйск	26961	0,10	0,07	0,07	0,02
Борисов	26759	0,04	0,05	0,05	0,00
Брагин	33124	0,07	0,15	0,17	0,07
Брест	33008	0,02	0,04	0,07	0,03
Василевичи	33038	0,01	0,06	0,20	0,07
Верхнедвинск	26554	0,05	0,10	0,04	0,04
Вилейка	26745	0,02	0,03	0,24	0,01
Витебск	26666	0,03	0,18	0,14	0,07
Волковысск	26923	0,10	0,06	0,04	0,01
Воложин	26748	0,04	0,11	0,08	0,02
Высокое	33001	0,02	0,06	0,06	0,02
Ганцевичи	26947	0,02	0,03	0,06	0,08
Гомель	33041	0,02	0,15	0,13	0,05
Гродно	26825	0,16	0,22	0,05	0,04
Докшицы	26657	0,14	0,11	0,05	0,06
Езерище	26566	0,06	0,09	0,03	0,02
Житковичи	33027	0,01	0,01	0,14	0,04
Жлобин	26966	0,01	0,02	0,13	0,02
Ивацевичи	26938	0,01	0,02	0,14	0,05
Кличев	26864	0,08	0,09	0,08	0,05
Костюковичи	26887	0,16	0,17	0,03	0,03
Лепель	26659	0,02	0,01	0,09	0,05
Лида	26832	0,03	0,10	0,07	0,02
Лынтупы	26645	0,02	0,02	0,14	0,08
Марьина Горка	26855	0,06	0,15	0,04	0,02
Минск	26850	0,01	0,06	0,15	0,03
Могилев	26863	0,19	0,24	0,05	0,04
Мозырь	33036	0,01	0,07	0,16	0,08
Нарочь (озерная)	26649	0,00	0,01	0,42	0,21

Окончание таблицы

Пост		Слабые ветры		Сильные ветры	
наименование	номер ВМО*	1967–1988 гг.	1989–2014 гг.	1967–1988 гг.	1989–2014 гг.
Октябрь	26950	0,05	0,09	0,04	0,02
Орша	26763	0,08	0,15	0,07	0,04
Ошмяны	26736	0,15	0,15	0,02	0,03
Пинск	33019	0,01	0,22	0,06	0,05
Полесская болотная	33015	0,16	0,16	0,01	0,03
Полоцк	26653	0,03	0,07	0,13	0,05
Пружаны	26929	0,11	0,01	0,02	0,05
Сенно	26668	0,02	0,08	0,10	0,03
Славгород	26878	0,06	0,08	0,12	0,02
Слуцк	26951	0,14	0,16	0,05	0,01
Столбцы	26846	0,01	0,03	0,18	0,05
Шарковищина	26643	0,04	0,15	0,09	0,04
Среднее значение:		0,06	0,10	0,09	0,04

*Всемирная метеорологическая организация.

Для каждой из станций, по которым выполнялся анализ, составлены модели линейной регрессии (полином второй степени), описывающие межгодовую динамику повторяемости слабых и сильных ветров. Статистически значимые коэффициенты получены для 30 из 44 рассмотренных станций, что указывает на возможности прогнозирования тенденций в изменении этих показателей.

В разрезе отдельных метеостанций, повторяемость слабых ветров и штилей в настоящее время находится в диапазоне от 0,02 до 0,34, сильных ветров – от 0,003 до 0,116.

В конце последнего десятилетия XX в. произошло качественное изменение соотношения слабых и сильных ветров в Беларуси. Вплоть до 1996 г. повторяемость сильных ветров была выше, чем повторяемость слабых ветров и штилей, хотя соотношение между ними год от года сокращалось. После 1999 г. наблюдается посто-

янное превышение годовой повторяемости слабых ветров над сильными.

Отношение повторяемости слабых ветров к повторяемости сильных, входящее в состав показателя МГА, за рассматриваемый период характеризуется устойчивым ростом с 0,18 в 1967 г. до 3,89 в 2014 г., который с высокой долей правдоподобия ($R^2 = 0,8471$) описан экспоненциальной зависимостью (рис. 2).

При уменьшении средней скорости ветра на 64,0 % соотношение повторяемости слабых ветров к повторяемости сильных ветров возросло в 21 раз.

Все выявленные тенденции проявляются на большей части постов вне зависимости от места их размещения. В частности, для метеостанции в Березинском биосферном заповеднике повторяемость слабых ветров возросла с 0,04 до 0,07, сильных – уменьшилась с 0,10 до 0,02. А для станции в Минске с 0,03 до 0,06 и с 0,15 до 0,01 (рис. 3).

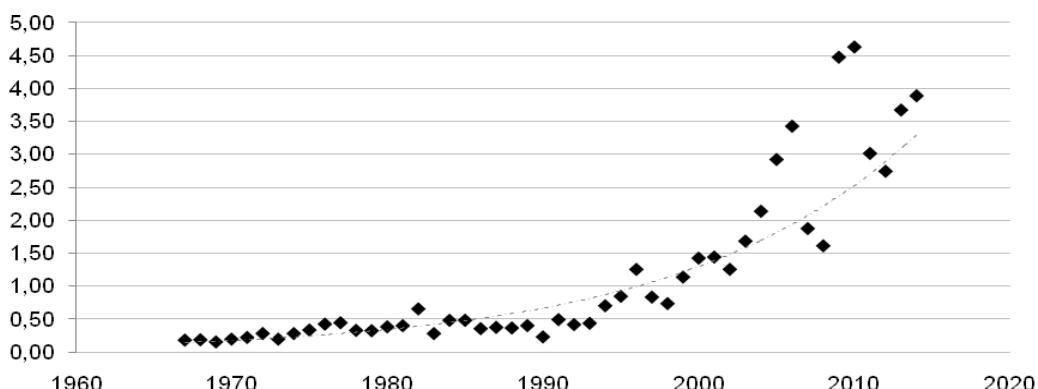


Рис. 2. Динамика отношения повторяемости слабых ветров и штилей к повторяемости сильных ветров на территории Беларуси за период 1967–2014 гг.

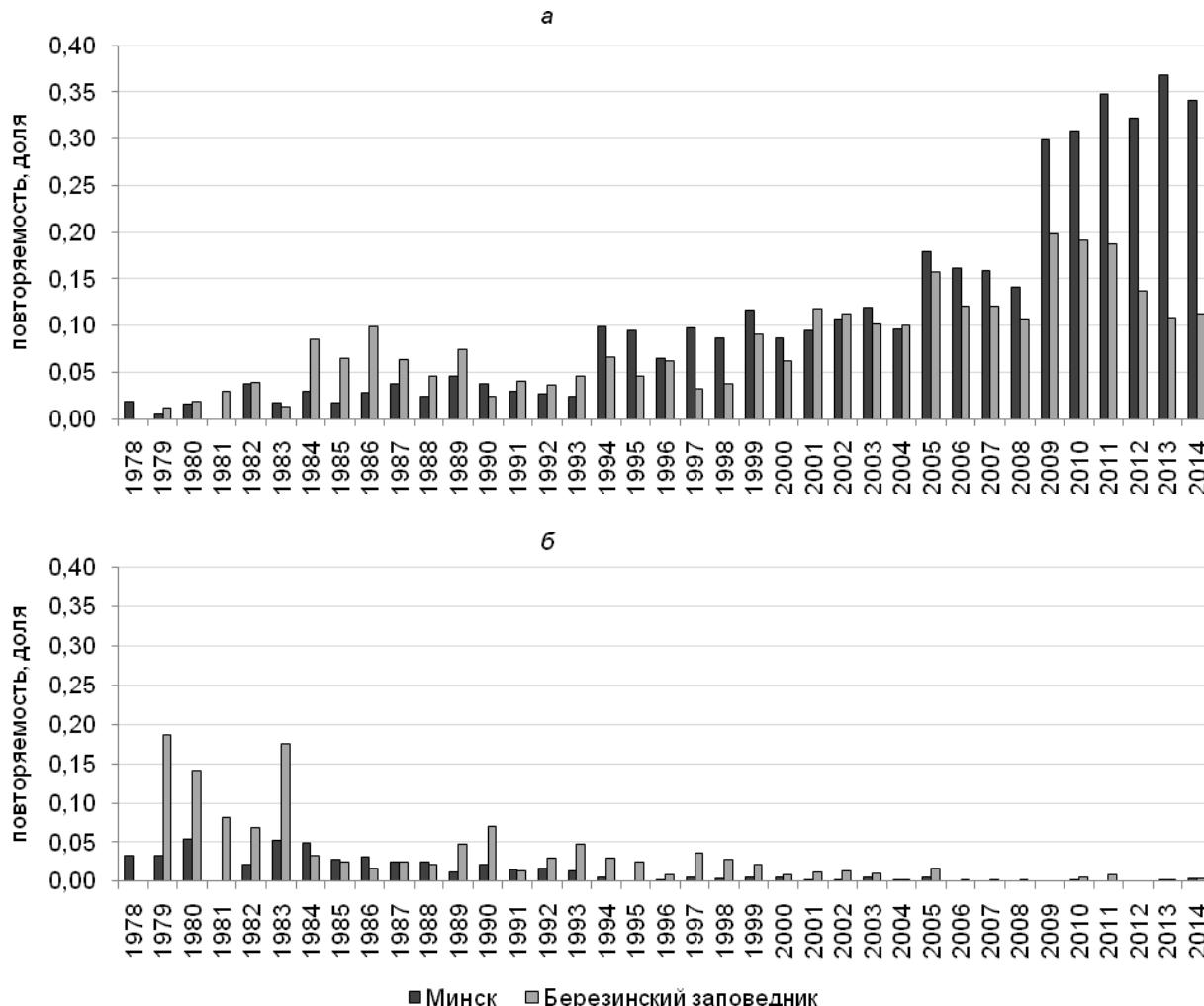


Рис. 3 Динамика повторяемости слабых (а) и сильных (б) ветров на метеостанциях г. Минске и Березинском биосферном заповеднике за период 1978–2014 гг.

Выводы. За период 1967–2014 гг. на территории Беларуси отмечено снижение средней скорости ветра, повторяемости сильных ветров и рост повторяемости слабых ветров и штилей, что свидетельствует об ухудшении способности

атмосферы к самоочищению. Выявленная тенденция отмечена для большей части метеостанций Беларуси и согласуется с тенденциями для других территорий земного шара.

Литература

1. Безуглая, Э. Ю. Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов / Э. Ю. Безуглая. – Л. : Гидрометеоиздат, 1980. – 184 с.
2. Безуглая, Э. Ю. Чем дышит промышленный город / Э. Ю. Безуглая, Г. П. Растворгueva, И. В. Смирнова – Л., 1991. – 255 с.
3. Ежегодник состояния атмосферного воздуха. 2010 год [Электронный ресурс] // Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга окружающей среды. – 2011. – Режим доступа : <http://rad.org.by/articles/vozduh/ezhegodnik-sostoyaniya-atmosfernogo-vozduha.-2010-god.> – Дата доступа : 12.03.2012.
4. Кижнер, Л. И. Изменение режима ветра в начале XXI века / Л. И. Кижнер, Н. Ю. Серая // Тр. гл. геофиз. обсерватории им. А. И. Войкова. – 2015. – № 576. – С. 102–115.
5. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере : справ. пос. – Л. : Гидрометеоиздат, 1983.

6. Круковская, О. Ю. Показатели способности атмосферы к самоочищению в Беларуси / О. Ю. Круковская // Молодежь в науке – 2015 : материалы Междунар. науч. конф., Минск, 1–4 дек. 2015 г. – Минск, 2015. – С. 231.
7. Крючков, В. В. Природа и человек / В. В. Крючков. – М. : Наука, 1979.
8. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск : Тетрасистемс, 2008. – 496 с.
9. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата и их доказательная база / В. Ф. Логинов // Глобальные и региональные изменения климата. – Киев : Ника-центр, 2011. – С. 23–37.
10. Селегей, Т. С. Потенциал рассеивающей способности атмосферы / Т. С. Селегей, И. П. Юрченко // География и природные ресурсы. – 1990. – № 2. – С. 132–137.

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 12.05.2017 г.

O. Ю. Круковская, Ю. Г. Кокош

ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБНОСТИ АТМОСФЕРЫ К САМООЧИЩЕНИЮ НА ОСНОВАНИИ ПОВТОРЯЕМОСТИ СИЛЬНЫХ И СЛАБЫХ ВЕТРОВ В БЕЛАРУСИ

Статья посвящена анализу и оценке повторяемости сильных и слабых ветров по данным 44 станций на территории Беларуси за период с 1967 по 2014 г. Отмечено, что средняя скорость ветра на всех рассматриваемых постах уменьшилась с 3,85 м/с в 1967–1971 гг. до 2,30 м/с в 2010–2014 гг. и в последние годы имеет устойчивое увеличивающееся отрицательное отклонение от климатической нормы. Установлено статистически достоверное увеличение годовой повторяемости слабых ветров и штилей и сокращение повторяемости сильных ветров, как для всей территории Беларуси, так и для большей части отдельных метеорологических постов. Показан рост отношения повторяемости слабых ветров к повторяемости сильных ветров с 0,18 в 1967 г. до 3,89 в 2014 г., что свидетельствует об ухудшении условий самоочищения атмосферы.

O. Krukowskaya, Y. Kokosh

THE CHARACTERISTICS OF A SELF-PURIFICATION ABILITY OF THE ATMOSPHERE IN BELARUS ON THE BASIC OF FREQUENCY OF STRONG AND CALM WINDS

The article is dedicated to the analysis of strong and calm winds frequency according to data from 44 stations on the territory of Belarus for the period from 1967 till 2014. It is notified that an average wind speed at all the stations included in analysis decreased from 3.85 m/s in 1967–1971 to 2.30 m/s in 2010–2014 and has a strong tendency to decline from climatic norm in the latest years. It was found for the whole territory of Belarus and the waste majority of individual stations that in the annual frequency of calms statistically significant increase and the frequency of strong winds reduced. The growth of frequency correlation of calm winds to strong winds repetition from 0.18 in 1967 to 3.89 in 2014 and it indicates the deterioration of self-purification conditions of the atmosphere.

С. В. Какарека

ТRENДЫ СОДЕРЖАНИЯ ДИОКСИДА СЕРЫ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ БЕЛАРУСИ

Анализируются тренды содержания окисленной серы в атмосферном воздухе городов и фоновых территорий Беларуси по данным НСМОС и модельных расчетов Программы ЕМЕП. Показано, что за период 1991–2012 гг. уровни среднего содержания диоксида серы в атмосферном воздухе городов и фоновых территорий существенно снизились. Тренды содержания диоксида серы в атмосферном воздухе Беларуси коррелируют с трендами в воздухе стран Европы. Показано, что снижение содержания окисленной серы в атмосферном воздухе привело к существенному уменьшению ее вклада в потенциал закисления природной среды.

Введение. Диоксид серы в течение многих лет являлся одним из основных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городов, входя в состав городского смога [1, 3]. В 1960–70-е годы было обнаружено, что помимо локальных эффектов диоксид серы и продукты его трансформации оказывают значительное воздействие и на региональном уровне, обусловливая кислотные дожди и закисление природных сред в целом. Это привело к принятию на международном уровне в 1985 г. специального протокола к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния 1979 г. [7], установившего целевые показатели сокращения ее выбросов. В развитие данного протокола в 1999 г. был принят Протокол о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном [8], конкретизировавший меры по снижению выбросов оксидов серы.

Основные локальные воздействия диоксида серы оказывает на здоровье (как острое ингаляционное при высоких пиковых концентрациях, так и хроническое), урожайность сельскохозяйственных культур, естественную растительность [11, 18]. Региональные эффекты, связанные с выпадением окисленной серы: закисление, а также формирование вторичных аэрозолей.

Во всех странах нормативы содержания серы в атмосферном воздухе были установлены одними из первых. Директива ЕС 2008/50/ЕС о качестве атмосферного воздуха [15] установила предельно допустимые значения содержания диоксида серы для защиты здоровья человека и растений (табл. 1, 2).

Установленные в Беларуси ПДК диоксида серы близки рекомендованным ВОЗ (табл. 3). В то же время критические уровни для защиты растений пока не определены.

Таблица 1. Предельно допустимые значения содержания диоксида серы в атмосферном воздухе для защиты здоровья человека, принятые в странах Европейского Союза [15]

Соединение	Усредненный период	Предельно допустимое значение	Граница допустимого отклонения	Дата достижения предельно допустимого значения
Диоксид серы	1 ч	350 мкг/м ³ , не должно быть превышено более 24 раз за календарный год	150 мкг/м ³ (43 %)	–
	1 ч	150 мкг/м ³ , не должно быть превышено более 24 раз за календарный год	Нет	–

Таблица 2. Критические уровни содержания диоксида серы в атмосферном воздухе для защиты растений, принятые в странах Европейского Союза [15]

Соединение	Период осреднения	Критический уровень	Допустимые границы
Диоксид серы	Календарный год и зимний период (с 1 октября по 1 марта)	20 мкг/м ³	Нет

Таблица 3. Стандарты содержания диоксида серы в атмосферном воздухе, рекомендованные ВОЗ и принятые в Республике Беларусь, мкг/м³ [6, 11]

Вещество	Стандарт ВОЗ			ПДК, Республика Беларусь		
	1 год	24 ч	1 ч	максимальная разовая	среднесуточная	среднедневовая
Диоксид серы	50	125	500 (10 мин)	500	200	50

Статья посвящена анализу трендов содержания диоксида серы в атмосферном воздухе городов Беларуси за 1991–2012 гг. и их связи с выбросами данного вещества в Беларуси и Европе. Анализируются также соотношения наблюдаемых в городах Беларуси трендов.

Исходные данные и методика анализа.

Исходными данными для анализа явились:

- данные НСМОС за период с 1990 по 2012 г. [2, 4, 9 и др.]:
- данные о выбросах диоксида серы, предоставленные в Программу ЕМЕП [20];
- данные модельных расчетов по Программе ЕМЕП [16];
- данные AIRBASE [13].

Основной использованный методический подход оценки трендов – расчет общего и приведенного (на год) изменения содержания диоксида серы в атмосферном воздухе за весь рассматриваемый период и отдельно для каждого из двух полупериодов: 1991–2001 и 2002–2012 гг. Такой

подход использован в последнем обобщении по трендам загрязнения в регионе Программы ЕМЕП, подготовленным в 2016 г. [12].

Диоксид серы в атмосферном воздухе измеряется или измерялся в то или иное время с 1990 по 1991 г. на 58 станциях в 14 городах Беларуси в соответствии с РД90 [5]. Для 40 станций длина ряда позволяет сопоставить концентрации по периодам и оценить тренды.

Необходимо отметить, что с 2006 г. на нескольких станциях в городах Беларуси выполняются измерения содержания диоксида серы с автоматическим пробоотбором, однако ряды пока слишком короткие для анализа трендов.

Динамика содержания диоксида серы в атмосферном воздухе городов Беларуси. Динамика среднегодовых концентраций диоксида серы в атмосферном воздухе по городам Беларуси, в которых проводятся измерения, показаны на рис. 1. Для всех городов, кроме Гомеля, четко выражен нисходящий тренд концентраций.

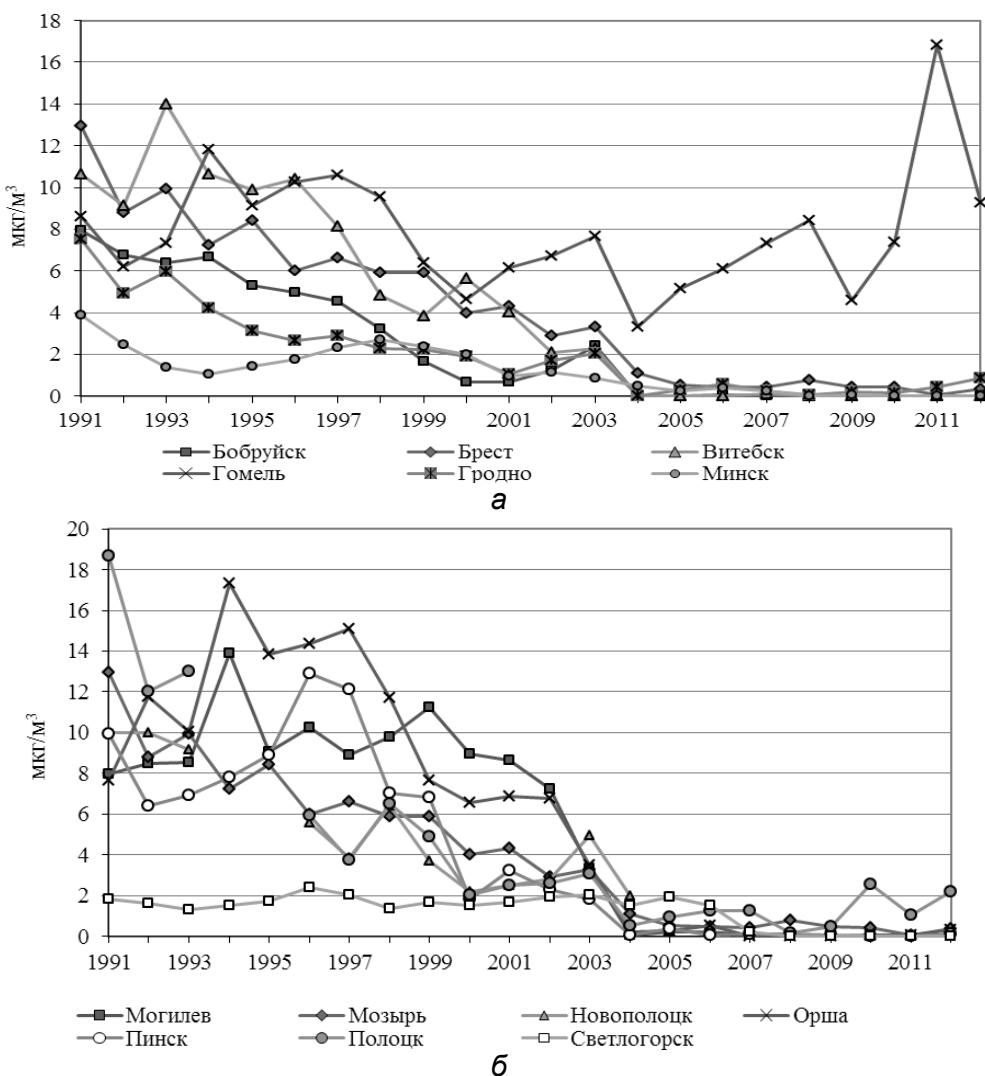


Рис. 1. Динамика среднегодовых концентраций диоксида серы в атмосферном воздухе в городах Беларуси (а, б) за период 1991–2012 гг.

В Бобруйске, Светлогорске, Пинске, Витебске, Мозыре, Могилеве, Минске концентрации диоксида серы практически достигли предела обнаружения; их уменьшение за весь рассматриваемый период (1991–2012 гг.) существенно превышает 90 %, градиент концентрации – $-4,7\%$ в год. В Гродно уменьшение составило 92 %, Полоцке – 87 %.

Наибольшие значения градиента снижения концентраций в большинстве городов происходили в первый полупериод; в Светлогорске, Орше и Мозыре более быстрым было снижение содержания диоксида серы во второй полупериод.

На общем фоне выделяется Гомель: снижение концентраций в первый полупериод (с $8,5 \text{ мкг}/\text{м}^3$ в 1991 г. до $6,4 \text{ мкг}/\text{м}^3$ в 2001 г.) сменилось их ростом практически на всех станциях и в 2012 г. средние концентрации диоксида серы составили $9,3 \text{ мкг}/\text{м}^3$ – на 45 % выше, чем в 2001 г.

Динамика среднегодовых концентраций диоксида серы в атмосферном воздухе Белару-

си, осредненных по всем городам Беларуси, приведена на рис. 2.

Среднегодовые концентрации диоксида серы, осредненные по всем городам Беларуси, снизились с $8,6 \text{ мкг}/\text{м}^3$ в 1991 г. до $3,7 \text{ мкг}/\text{м}^3$ в 2001 г. и $1,2 \text{ мкг}/\text{м}^3$ в 2012 г. Общее за весь период снижение составило 86 %, градиент – $-3,9\%$ в год.

За период с 1991 по 2001 г. градиент снижения составил $-0,49 \text{ мкг}/\text{м}^3$ в год, за 2002–2012 гг. – $-0,23 \text{ мкг}/\text{м}^3$ в год.

Средняя для всех городов концентрация диоксида серы в атмосферном воздухе за период с 1991 по 2001 г. составила $6,0 \text{ мкг}/\text{м}^3$, за период с 2002 по 2012 г. – $1,4 \text{ мкг}/\text{м}^3$. Снижение достигло 78 %, градиент – $-4,1\%$ в год.

Диоксид серы в атмосферном воздухе фоновых территорий. Динамика содержания диоксида серы в атмосферном воздухе по данным измерений на станции комплексного фонового мониторинга Березинский биосферный заповедник (СКФМ ББЗ) приведена на рис. 3.

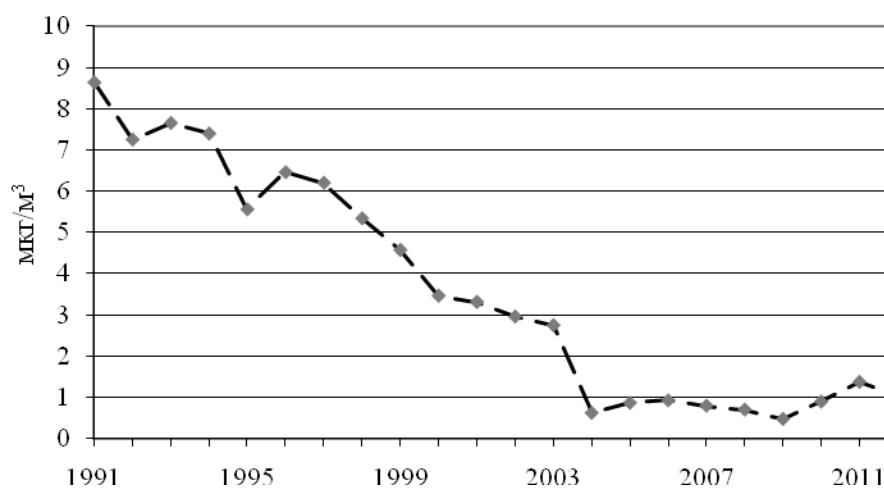


Рис. 2. Динамика средних значений среднегодовых концентраций диоксида серы в атмосферном воздухе городов Беларуси за период 1991–2012 гг.

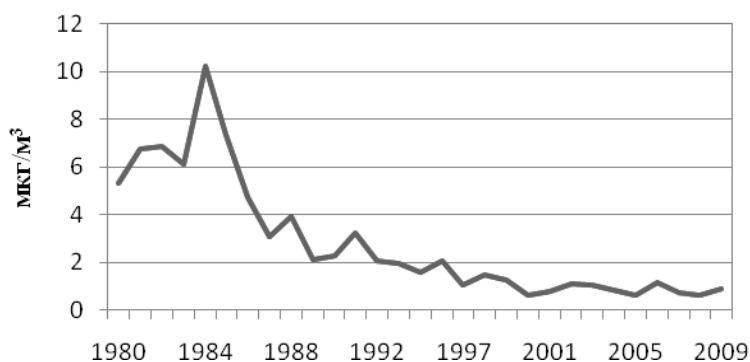


Рис. 3. Динамика среднегодового содержания диоксида серы в атмосферном воздухе фоновой территории Беларуси (по данным СКФМ Березинский биосферный заповедник) за период 1980–2009 гг.

Среднегодовые концентрации диоксида серы в атмосферном воздухе Березинского биосферного заповедника уменьшились с 5,6 мкг/м³ в 1980 г. до 2,3 мкг/м³ в 1990 г., 0,8 мкг/м³ в 2001 г. и 0,9 мкг/м³ в 2009 г. Уменьшение за период с 1980 по 2009 г. составило 88 %, градиент – 3,0 % в год.

За период с 1991 по 2009 г. концентрации снизились с 3,3 до 0,9 мкг/м³, снижение составило 72 % по отношению к 1991 г. и 60,5 % – по отношению к 1990 г.

За период с 1990 по 2001 г. снижение составило 65,4 %, градиент – 0,25 мкг/м³ в год, (по отношению к 1991 г. – 75,6 % или –0,14 мкг/м³ год). За период с 2002 по 2009 г. снижение составило 17,4 %, градиент сокращения – –0,02 мкг/м³ в год. Однако в 2011–2012 гг. концентрации резко выросли и превысили уровень 1991 г.; в 2012 г. они были почти вдвое выше, чем в 1991 г.

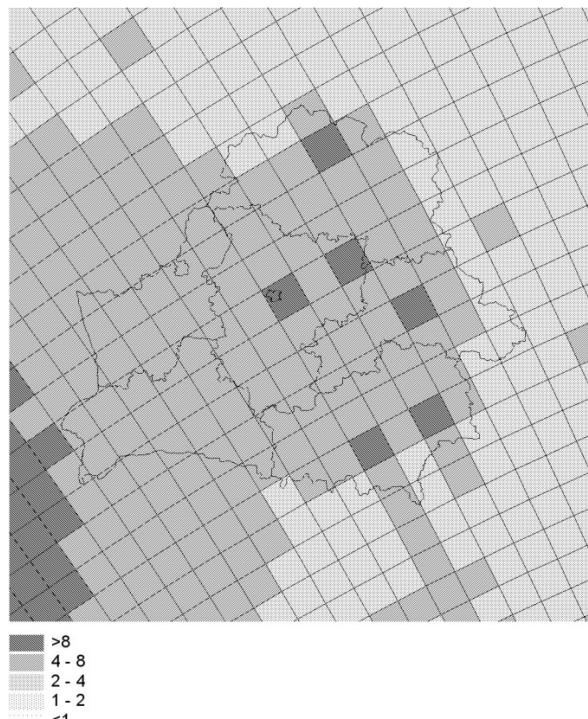
Таким образом, четко выражен нисходящий тренд концентраций диоксида серы лишь в период до 2001–2002 гг.

Диоксид серы в атмосферном воздухе фоновых территорий Европы. Изменение фоновых концентраций диоксида серы в 1980–2012 гг. по данным модельных расчетов по Про-

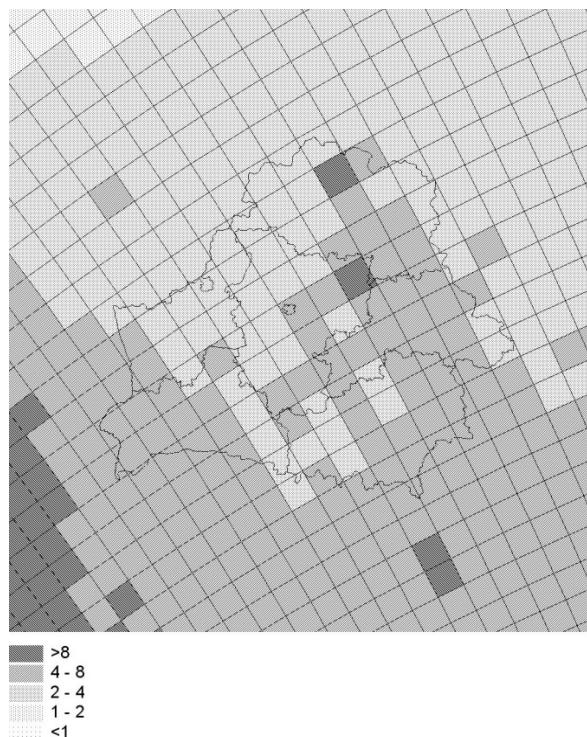
грамме ЕМЕП приведено на рис. 4. В 1980 г. преобладающие уровни содержания диоксида серы в атмосферном воздухе на территории Беларуси составляли 4–6 мкг S/m³ (в отдельных ячейках – до 16 мкг S/m³) с выраженным трендом концентраций с востока на запад. К 1990 г. уровни содержания диоксида серы в атмосферном воздухе на большей части территории страны уменьшились в среднем на 10–20 %, а на востоке республики практически не изменились (см. рис. 4).

В последующие годы расчетные уровни содержания диоксида серы снижались; основное снижение происходило с 1990 по 2000 г. В последние годы пространственная структура содержания диоксида серы была относительно однородной с преобладающими значениями 0,4–0,8 мкг S/m³ (в отдельных ячейках – до 1,8–2,0 мкг S/m³) и с пространственным трендом с юго-востока на юго-запад (рис. 5).

Общее снижение среднего содержания диоксида серы в атмосферном воздухе за 1980–2009 гг. составило в среднем 85–90 %, в некоторых ячейках (северо-восток Минской области, северо-запад Могилевской области) – 95 % и более (рис. 6).



а



б

Рис. 4. Пространственная структура содержания диоксида серы в атмосферном воздухе на территории Беларуси в 1980 г. (а) и 1990 г. (б), мкг S/m³ [16]

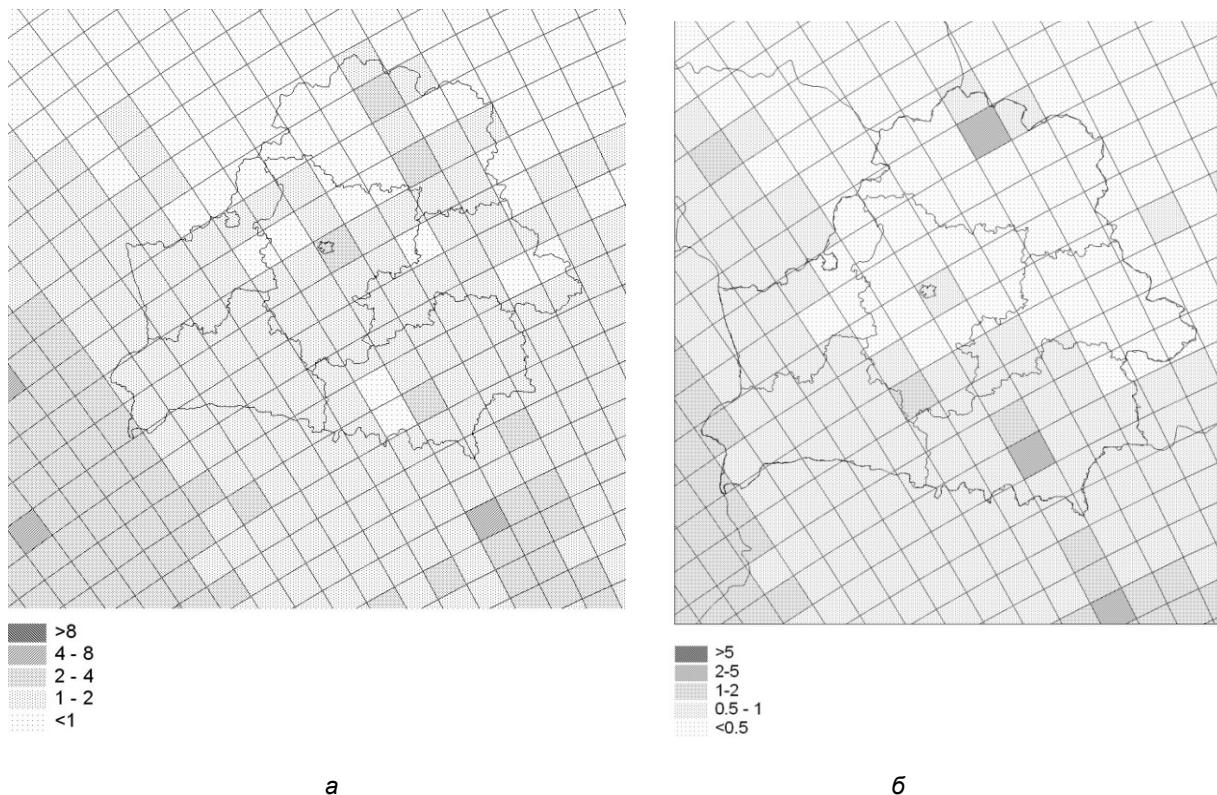


Рис. 5. Пространственная структура содержания диоксида серы в атмосферном воздухе на территории Беларуси в 2000 г. (а) и 2012 г. (б), мкг S/m^3 [16]

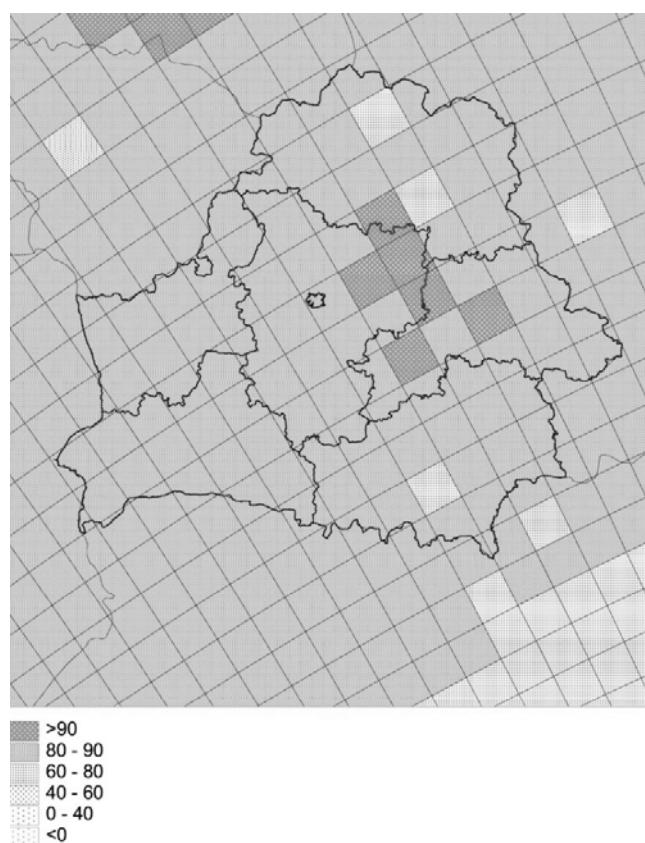


Рис. 6. Снижение фоновых концентраций диоксида серы в атмосферном воздухе на территории Беларуси за период с 1980 по 2009 г., в % по отношению к 1980 г. (по данным модельных расчетов по Программе ЕМЕП)

Таким образом, содержание диоксида серы в атмосферном воздухе как городов, так и фоновых территорий Беларуси, изменяется единообразно. Основная черта изменений – сокращение концентраций, достигающее 90 % и более в последние 20–25 лет. Это сокращение подтверждается как данными мониторинга атмосферного воздуха, так и результатами модельных расчетов. В городах концентрации практически достигли измерительных пределов при использовании 20-минутного пробоотбора.

Тренды выбросов диоксида серы в Беларуси. В отношении выбросов диоксида серы в Беларуси прослеживается весьма четкий нисходящий тренд (рис. 7). За период с 1990 по 2012 г. выбросы диоксида серы снизились на 89,4 % (с 637,0 до 67,6 тыс. т). Снижение с 1990 по 2001 г. составило 76,3 %, с 2002 по 2012 г. – 13,1 % (по отношению к 1990 г.).

Основные источники выбросов серы: сжигание мазута и каменного угля в энергетике и других секторах, нефтепереработка, автомобили с дизельными установками. В перечне причин, обуславивших снижение выбросов диоксида серы, основными являются снижение объемов сжигания топлива; уменьшение в структуре топливного баланса доли твердых и жидкого видов топлива, в первую очередь топочного мазута, а также снижение содержания серы в дизельном топливе. Колебания уровней выбросов соединений серы в последние годы обусловлены изменениями структуры топливного баланса: так, в 2009 г. выбросы SO_2 составили 155,0 тыс. т, или на 91 % больше, чем в 2008 г., что объясняется значительным увеличением потребления топочного мазута в этот год.

Сопоставление рядов концентраций диоксида серы в атмосферном воздухе и выбросов диоксида серы показывает их сходство в общей тенденции (уменьшение в течение большей части периода), однако имеются определенные различия. Снижение объемов выбросов наибо-

лее интенсивно проходило в 1992–1996 гг., после 2004 г. периоды снижения чередовались с повышениями уровня выбросов (в 2009 г. – почти в 2,0 раза по сравнению с 2008 г.). Пик выбросов в 2009 г. можно связать с определенным ростом концентраций диоксида серы в этом году в воздухе ряда городов, в первую очередь Гомеля, Новополоцка и Полоцка.

Тренды диоксида серы в атмосферном воздухе фоновых территорий Европы. Отмечается [12], что значительный нисходящий тренд окисленной серы в атмосферном воздухе в 1990-е годы в Европе отмечен более чем на 70 % станций ЕМЕП, и на более чем 50 % станций в 2002–2012 гг. В целом оно более интенсивное в первой половине 1990-х годов.

Для всех станций ЕМЕП общей численностью 31, прошедших тест на полноту данных, выявлен значимый нисходящий тренд содержания SO_2 в атмосферном воздухе с медианной скоростью для всей сети $0,066 \text{ мкгS/m}^3$ в год с 95 %-ным доверительным интервалом $-0,13, -0,055 \text{ мкгS/m}^3$ в год, что соответствует медианному снижению содержания SO_2 на 92 % ($-97, -86$) с 1990 г. [12]. Если данные этого отрезка рассматривать в виде двух периодов: 1990–2001 и 2002–2012 гг., средние наклоны составят $-0,13$ и $-0,027 \text{ мкгS/m}^3$ в год соответственно, что эквивалентно 80 %-му снижению в первый период и 48 %-му снижению во второй период. Снижение имеет экспоненциальную форму, что отражено в ряде публикаций [17]. Отмечено также существенное снижение содержания взвешенных сульфатов в атмосферном воздухе и сульфатов в атмосферных осадках, составившее 65 и 73 % соответственно. Однако оно меньше, чем снижение содержания диоксида серы, что объясняется нелинейностью связей между образованием сульфатных частиц и содержанием диоксида серы в воздухе [12].

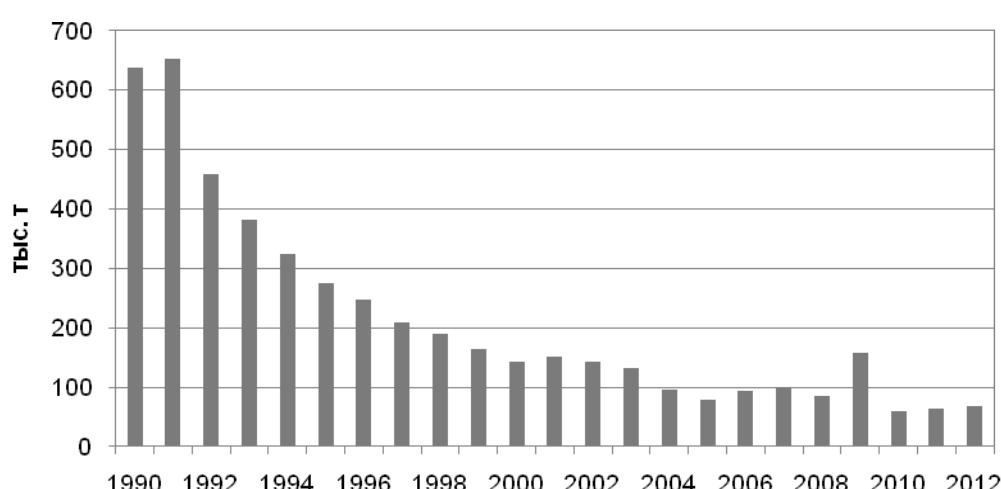


Рис. 7. Динамика выбросов диоксида серы на территории Беларуси за период 1990–2012 гг. [20]

Диоксид серы в атмосферном воздухе городов Европы. Прямое сопоставление осредненных значений концентраций диоксида серы в атмосферном воздухе городов Европы за определенные годы по данным AIRBASE [13] затруднено, поскольку количество станций, выполняющих измерения в начале 1990-х годов было существенно меньше, чем в конце 1990-х или в 2000-е. Однако нисходящий тренд выявляется при использовании различных подходов.

Так, среднее содержание диоксида серы в атмосферном воздухе на фоновых станциях в Европе, рассчитанное по двум периодам 1990–2001 и 2002–2012 гг. снизилось с 12,5 до 5,0 мкг/м³, промышленных – с 14,1 до 7,7 мкг/м³, транспортных – с 14,0 до 6,3 мкг/м³.

На фоновых городских станциях Австрии средние концентрации с 13,8 мкг/м³ в 1990 г. сни-

зились до 4,8 мкг/м³ в 2001 г. и 2,5 мкг/м³ в 2012 г. (рис. 8); относительное снижение за 1990–2001 гг. составило 0,7 мкг/м³ в год, за 2002–2012 гг. – 0,2 мкг/м³ в год (табл. 4). В Бельгии значения снижения составили 1,2 и 0,6 мкг/м³ в год, Германии – 2,2 и 0,2 мкг/м³ в год соответственно. В большинстве стран снижение содержания диоксида серы в воздухе более быстрыми темпами проходило в первый период. Так, максимальные уровни снижения в период 1990–2001 гг. характерны для Испании (–3,3 мкг/м³ в год) и Великобритании (–2,9 мкг/м³ в год). Для периода 2002–2012 гг. наибольшие темпы снижения характерны для Греции (–1,0 мкг/м³ в год) и Польши (–0,7 мкг/м³ в год). При этом в целом градиент снижения содержания диоксида серы на фоновых городских станциях выше, чем на пригородных и сельских.

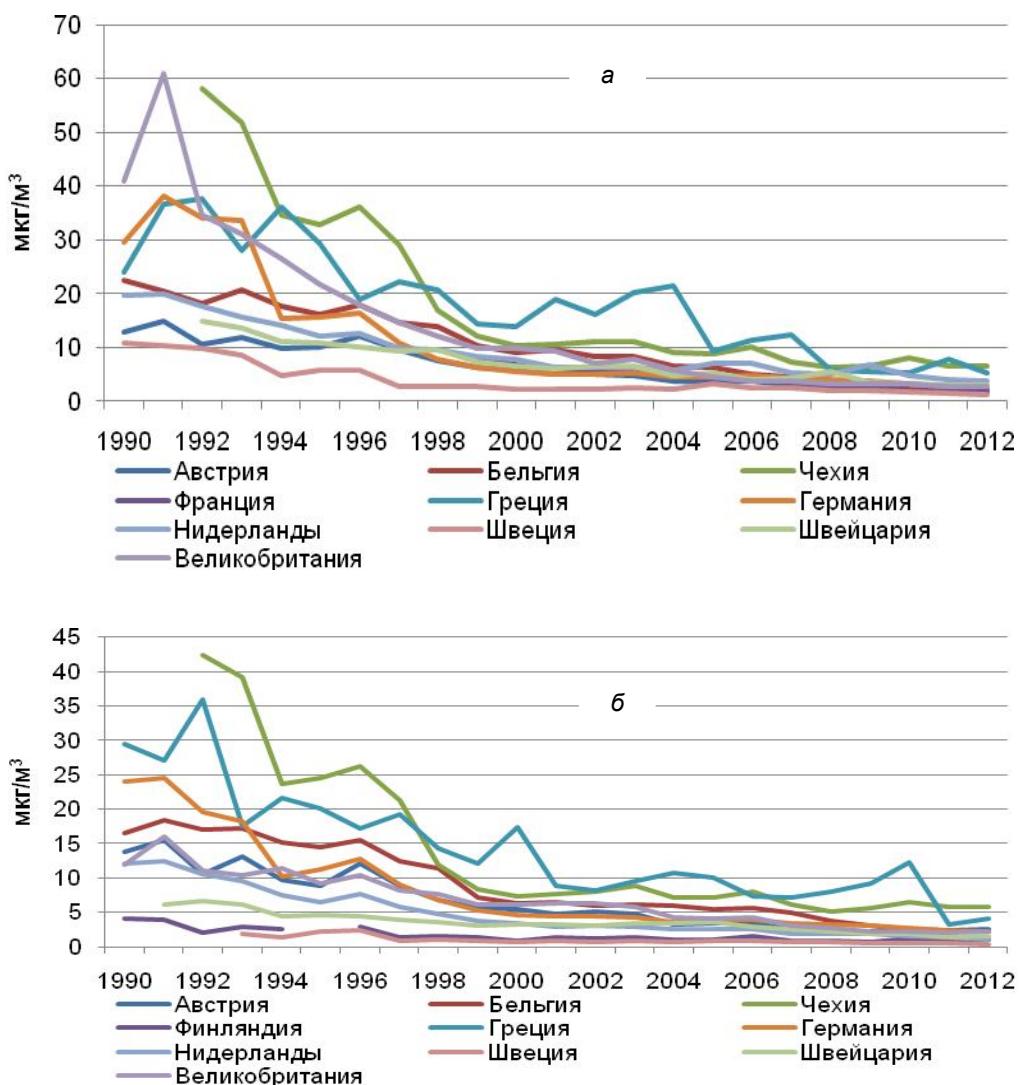


Рис. 8. Тренды содержания диоксида серы в атмосферном воздухе городов Европы в 1990–2012 гг.: а – городские фоновые станции; б – сельские и пригородные фоновые станции (по данным AIRBASE) [13]

Таблица 4. Относительное изменение среднего содержания диоксида серы в атмосферном воздухе городов Европы за 1990–2001 и 2002–2012 гг., мкг/м³ в год [13]

Страна	Городские фоновые станции		Сельские и пригородные фоновые станции	
	1990–2001	2002–2012	1990–2001	2002–2012
Австрия	-0,7	-0,2	-0,8	-0,2
Бельгия	-1,2	-0,6	-0,9	-0,3
Чешская Республика	-	-0,4	-	-0,2
Финляндия	0,0	0,0	-0,2	0,0
Франция	-	-0,3	-	-0,3
Германия	-2,2	-0,2	-1,8	-0,2
Греция	-0,5	-1,0	-1,9	-0,4
Венгрия	-	-0,4	-	0,3
Италия	-	-0,4	-	-0,1
Латвия	-	-0,2	-	-0,1
Нидерланды	-1,2	-0,2	-0,8	-0,2
Польша	-	-0,7	-	-0,5
Португалия	-	-0,3	-	-0,5
Испания	-3,3	-0,2	-	-0,4
Швеция	-0,8	-0,1	-	0,0
Швейцария	-1,0	-0,3	-0,3	-0,1
Великобритания	-2,9	-0,4	-0,5	-0,4

Тренды выбросов диоксида серы в Европе. Предпринятые меры позволили существенно уменьшить поступление диоксидов серы в атмосферный воздух в Европе. Значительную роль в этом сыграло законодательство, направленное на интегральный контроль и предотвращение выбросов [14]. За период с 1990 по 2012 г. объемы выбросов диоксида серы в Европе (EC28), по данным Программы ЕМЕП [20], уменьшились на 84,2 % (с 25,38 до 4,02 млн т) (рис. 9).

Снижение объемов выбросов диоксида серы в период с 1990 по 2001 г. составило 61,8 %, с 2002 по 2012 г. – 22,4 % (58,6 % по отношению к 2001 г.). Градиент снижения составил за 1990–2001 гг. –5,6 %, 2002–2012 гг. – –5,3 % (–2,4 % по отношению к 1990 г.), за 1990–2012 гг. – –3,8 %. Тем самым многолетний ход содержания диоксида серы в атмосферном воздухе городов

весьма близок многолетнему ходу выбросов данного соединения.

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать вывод о сходстве трендов содержания диоксида серы в атмосферном воздухе Беларуси и Европы в основных чертах:

- тренды концентраций диоксида серы в атмосферном воздухе практически во всех городах Беларуси нисходящие в 1990–2012 гг., и с более быстрым снижением в первый период;

- на общем фоне изменения содержания диоксида серы в атмосферном воздухе выделяется г. Гомель, в котором после снижения концентраций к 2004 г. в 2,0–3,0 раза по отношению к началу 1990-х годов, произошел рост к 2010–2012 гг. примерно во столько же раз. Для выявления причины данного явления требуется проведение дополнительных исследований;

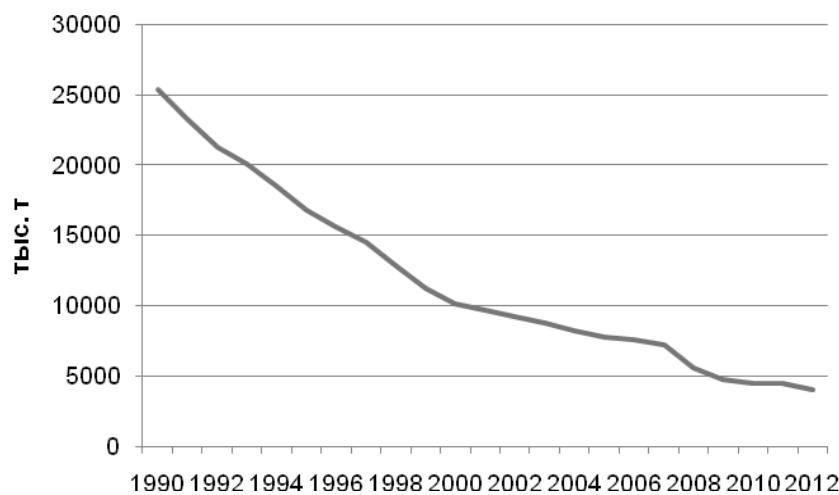


Рис. 9. Динамика выбросов диоксида серы в Европе за период 1990–2012 гг. [20]

– снижение содержания диоксида серы в атмосферном воздухе фоновых территорий Беларуси выражено лишь до начала 2000-х годов, что отличается от трендов на станциях ЕМЕП в Европе, где снижение содержания диоксида серы характерно и для периода 2002–2012 гг.;

– сопоставление рядов концентраций диоксида серы в атмосферном воздухе и выбросов диоксида серы показывает их сходство в общей тенденции (сокращение в течение большей части периода), однако имеются определенные различия;

– тренды выбросов диоксида серы в Беларуси весьма близки трендам выбросов в Европе; при этом для Беларуси характерно более интенсивное снижение объемов выбросов в первый полупериод, и более низкие темпы – во второй;

– флюктуации локальных выбросов находят свое отражение в колебаниях уровней концентраций диоксида серы в городах Беларуси;

– сходство трендов выбросов диоксида серы в атмосферный воздух в Европе и Беларуси

делает тренды концентраций более выраженным;

– кривые среднегодового содержания имеют экспоненциальный вид; следует ожидать стабилизации среднего содержания диоксида серы в атмосферном воздухе.

Связанный с поступлением диоксида серы в атмосферный воздух потенциал загрязнения окружающей среды, характеризуемый через соотношение содержания основных закисляющих соединений (серы и азота) и физиологически активных основных катионов (кальция, магния и калия) в атмосферных осадках, на СКФМ Березинский биосферный заповедник после быстрого снижения в первой половине 1990-х годов, в последующие годы не имел выраженного тренда [9], достаточно сильно изменяясь от года к году. Так, в 2010 г. потенциал закисления впервые за период наблюдения на СКФМ Березинский биосферный заповедник принял отрицательное значение.

Литература

1. Безуглая, Э. Ю. Воздух городов и его изменения / Э. Ю. Безуглая, Н. В. Смирнова. – СПб. : Астерион, 2008. – 254 с.
2. Ежегодник состояния атмосферного воздуха // Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга окружающей среды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rad.org.by/articles/vozduh/> – Дата доступа: 16.05.2017.
3. Какарека, С. В. Трансграничное загрязнение атмосферного воздуха и его регулирование / С. В. Какарека. – Минск : Беларусь навука, 2009. – 320 с.
4. Национальная система мониторинга окружающей среды: результаты наблюдений. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь // [Электронный ресурс]. – Минск, Бел НИЦ «Экология», 2013. – 343 с.
5. Руководство по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186–89 / Госкомгидромет СССР. – М., 1991. – 695 с.
6. Об утверждении нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и ориентировочно безопасных уровнях воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест массового отдыха населения : постановление Мин-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 30 декабря 2010 г. № 186.
7. Протокол о сокращении выбросов серы или их трансграничных потоков по меньшей мере на 30 процентов к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния. – Хельсинки, 1985.
8. Протокол о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном 1999 года к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния с поправками, внесенными в него 4 мая 2012 г. – ECE/EB.AIR/114. – Женева, 2013 – 117 с.
9. Состояние природной среды Беларусь : эколог. бюл., 2013 г. / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2014. – 364 с.
10. Стратегия устойчивого развития Беларуси: экологический аспект. – Минск : Фуаинформ, 2014. – 336 с.
11. Air Quality Guidelines for Europe Second Edition. – WHO, 2000.
12. Air pollution trends in the EMEP region between 1990 and 2012. Joint Report of the EMEP Task Force on Measurements and Modelling (TFMM), Chemical Co-ordinating Centre (CCC), Meteorological Synthesizing Centre-East (MSC-E), Meteorological Synthesizing Centre-West (MSC-W). EMEP/CCC-Report 1/2016.
13. AirBase – The European air quality database [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/airbase-the-european-air-quality-database-7>
14. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control) / Official Journal of the European Union L 334. – 17.12.2010.

15. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe.
16. EMEP/MSC-Wmodelldata [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.emep.int/mscw/mscw_data.html. – Date of access: 26.04.2017.
17. Long term trends in sulphur and nitrogen deposition in Europe and the cause of non-linearities / D. Fowler [et al.] // Water Air Soil Pollut. Focus. – 2007. – № 7. – P. 41–47. – doi:10.1007/s11267-006-9102-x
18. Toxicological profile for sulfur dioxide. U. S. Department of Health and Human Services. Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry. – Atlanta, 1998. – 223 p.
19. Transboundary air pollution by main pollutants (S, N, O₃) and PM. Belarus. Data note. MSC-W 1/2013. – 23 p.
20. WebDab – EMEP database [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/webdab_emepdatabase/

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 19.05.2017 г.

C. B. Kakareka

TRENDS OF SODERJANIJA DIOKSIDA SERY V ATMOSFERNOM VOZDUXE BELARUSI

Статья посвящена анализу трендов содержания диоксида серы в атмосферном воздухе городов и фоновых территорий Беларуси по данным НСМОС и модельных расчетов Программы ЕМЕП. Показано, что за период с 1991 по 2012 г. уровни среднегодового содержания диоксида серы в атмосферном воздухе городов снизились в среднем на 86 %; темпы сокращения за период с 1991 по 2001 г. были вдвое выше, чем в период с 2002 по 2012 г. Для фоновых территорий (СКФМ Березинский биосферный заповедник) при выраженному нисходящем тренде за весь период не выражен четкий тренд концентраций диоксида серы во вторую половину периода.

Тренды содержания диоксида серы в атмосферном воздухе Беларуси коррелируют с трендами в воздухе стран Европы. Для станций ЕМЕП выявлен значимый нисходящий тренд содержания SO₂ в атмосферном воздухе с медианной скоростью для всей сети 0,066 мкгS/m³ в год, что соответствует медианному снижению содержания SO₂ на 92 % с 1990 г. Среднее содержание диоксида серы в атмосферном воздухе на фоновых городских, пригородных и сельских станциях в Европе по данным AIRBASE, рассчитанное по двум периодам (1990–2001 и 2002–2012 гг.), сократилось в 2,5 раза.

Тренды выбросов диоксида серы в Беларуси весьма близки трендам выбросов в Европе; при этом для Беларуси характерно более интенсивное сокращение выбросов в первый полупериод и более низкие их темпы – во второй период.

Сопоставление рядов концентраций диоксида серы в атмосферном воздухе и выбросов диоксида серы в Беларуси и Европе показывает их сходство в общей тенденции (сокращение в течение большей части периода), однако имеются определенные различия.

Сокращение содержания окисленной серы в атмосферном воздухе привело к существенному сокращению ее вклада в потенциал закисления природной среды.

S. Kakareka

TRENDS OF SULFUR DIOXIDE CONTENT IN THE ATMOSPHERIC AIR ON THE TERRITORY OF BELARUS

The article is devoted to the analysis of trends of the content of sulfur dioxide in the atmospheric air of cities and the background territories of Belarus according to the data of national monitoring and model calculations of the EMEP Program. It is shown that for the period 1991–2012 average annual level of sulfur dioxide in the atmospheric air of cities decreased by an average of 86 %. For the period from 1991 to 2001 the gradient of reduction was two times higher, than for 2002–2012. For background areas (Berezinsky Reserve station), with a pronounced downward trend for the whole period, there is no clear trend of sulfur dioxide concentrations in the second half of the period.

Trends in the content of sulfur dioxide in the atmospheric air of Belarus correlate with trends in the air in Europe. For EMEP stations, a significant downward trend in SO₂ content in atmospheric air with a median

velocity for the whole network was found to be $0.066 \mu\text{g S/m}^3/\text{year}$, which corresponds to a median 92 % reduction in SO_2 content since 1990. Average content of sulfur dioxide in atmospheric air on background city, suburban and rural stations in Europe according to AIRBASE, calculated for two periods: 1990–2001 and 2002–2012 decreased 2.5 times.

Trends in emissions of sulfur dioxide in Belarus are very close to emission trends in Europe; but Belarus is characterized by more intensive emission reduction in the first half-cycle, and lower rates in the second half.

A comparison of the raws of sulfur dioxide concentrations in the ambient air and emissions of sulfur dioxide in Belarus and Europe shows their similarity in the overall trend (reduction for most of the period), but there are some differences.

Reduction of the content of oxidized sulfur in atmospheric air has led to a substantial reduction in its contribution to the potential for acidification of the natural environment.

УДК 549+930.85+001.95

Е. П. Янин¹, В. С. Хомич²

МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ ТВОРЧЕСТВО И. И. ДОМЕЙКО В ТРУДАХ И ОЦЕНКАХ В. И. ВЕРНАДСКОГО

В статье систематизированы взгляды и высказывания В. И. Вернадского о минералогическом творчестве И. И. Домейко. Показано, что Вернадский был хорошо знаком с научными работами Домейко с первых лет своей научной деятельности, называл их «замечательными» и относил к «главнейшим» трудам мировой минералогической науки, а их автора считал «крупным и талантливым исследователем минералов», внесшим значимый вклад в развитие разных направлений минералогии и научного понимания геохимических процессов.

Имя белоруса и национального героя Чили Игната Ипполитовича Домейко (1802–1889) навсегда вошло в мировую минералогическую науку. Свидетельством этого является его многолетняя исследовательская, преподавательская и организаторская деятельность в области минералогии, минералогического образования и практического использования минеральных ресурсов, отдельные аспекты которой в той или иной мере рассмотрены в ряде публикаций [15, 17, 19, 21, 22, 29, 31, 47–52, 56–58]. Игнат Домейко создал Горную школу в чилийском городе Кокимбо и преподавал в ней в 1838–1846 гг. химию и минералогию; с 1846 г. являлся профессором химии и минералогии, заведующим кафедрой химии, членом Совета в университете г. Сантьяго и его ректором в 1866–1883 гг. Домейко – организатор и участник нескольких пионерных научно-исследовательских и изыскательских экспедиций по изучению и разведке минерально-сырьевых ресурсов и рудных месторождений Чили, Боливии, Перу и западных провинций Аргентины. Он совершил первое восхождение (в 1848 г.) на вершину Невадос-де-Чильян (3212 м) в чилийских Андах, обнаружил и впервые описал многие минералы чилийских Анд и сопредельных территорий, открыл ряд новых минералов, в том числе минерал, в 1845 г. названный австрийским минералогом и геологом, иностранным членом-корреспондентом Российской академии наук В. Гайдингером (1795–1871) его именем, – *domeykite* (*Cu₃As*; известна также разновидность, содержащая сурьму, – *стибиодомейкит*). Домейко впервые нашел (в пустыне Атакама) и описал метеориты (образцы их хранятся в музеях Чили и других стран), исследовал некоторые чилийские месторождения серебра, меди, каменного угля, а также организовал добычу золота и селитры (первым указал на хозяйственную значимость последней, добыча и продажа которой принесли Чили «чрезмерную прибыль»). Особую известность получила собранная им уникальная минералогическая коллекция, которая

ныне составляет основу Музея минералогии (носящего имя Домейко) в чилийском городе Лас-Серена (здесь хранится 2160 образцов из личной коллекции Домейко). В минералогических музеях Англии, Германии, Польши, США, Франции (и, судя по всему, некоторых других стран) также имеются минералы из его коллекции. Не меньшей известностью пользовались петрографическая и палеонтологическая коллекции Домейко. Именно Игнат Ипполитович открыл в Кордильерах надежные источники горной воды, спроектировал трубопровод и городскую систему водопровода, лично руководил строительством последнего, что позволило решить для столицы Чили – г. Сантьяго – проблему питьевого водоснабжения.

Игнат Домейко – автор многочисленных статей, книг и учебников минералогической тематики (см., напр., [33, 34, 36, 37, 39, 41, 42]), наиболее полная библиография которых систематизирована (и литература о нем) в работе [53]. В своих трудах он научно касался вопросов описательной и топографической (региональной) минералогии Южной Америки (прежде всего, Чили и сопредельных стран), поисковой минералогии, диагностики минералов, включая определение их химического состава, условий нахождения минералов, в том числе на разных месторождениях, преобразования минералов гипергенными процессами и др. На этих работах выросло не одно поколение минералогов Чили, Перу, Мексики, других стран Центральной и Южной Америки. Его геологические и минералогические труды были хорошо известны многим современным ему геологам и минералогам не только Нового, но и Старого Света, поскольку оригинальные геологоминералогические статьи Домейко, а также рефераты его работ, подготовленные ведущими минералогами и геологами Европы, регулярно помещались в известных европейских журналах и других изданиях. Более того, сведения Домейко по минералогии и рудным месторождениям Южной Америки использовали специалисты разных стран на протяжении всего XX в. и продол-

жают их использовать до сих пор. В частности, современные авторы при рассмотрении многих рудных минералов, амальгам (особенно серебряных), сульфосолей, некоторых других минералов, метеоритов неизменно обращаются к работам Домейко и его химико-аналитическим данным. Особо отметим, что Домейко, будучи классным химиком-аналитиком, опубликовал в своих работах результаты изучения химического состава различных минералов (особенно рудных, а также амальгам и метеоритов), внес заметный вклад в становление и развитие химической минералогии и аналитической химии минералов. Важное прикладное значение имели его работы (включая учебники и учебные пособия) по пробирному делу [38, 43].

Известно, что еще во время обучения в Виленском университете (в 1816–1822 гг.) он увлекался лекциями выдающегося химика (и биолога) Е. Снядецкого (1768–1838), одну из книг которого («Teorja jestestw organicznych», «Теория органических существ») очень высоко оценивал В. И. Вернадский: «это замечательное произведение по глубине и последовательности. Оно сохраняет интерес до наших дней» [11, с. 188]. Химические анализы минералов, содержащиеся в работах Домейко, широко приводятся в известном справочнике «Hadbuch der Mineralchemie», первый том которого (изд-во «Verlag») вышел в Лейпциге в 1860 г. (второе издание – 1875 г.); последующие три тома (каждый в нескольких частях) были выпущены (изд-во «Springer-Verlag») в 1914–1931 гг.; эти сведения присутствуют также в целом ряде других справочников по минералогии, прикладной, неорганической и теоретической химии конца XIX – первой половины XX в. Согласно работе [21], Домейко является автором анализов более чем 170 различных минералов, включая минералы метеоритов, а также более 50 данных химических анализов чилийских природных и особенно минеральных вод (см., например, [40]), что для XIX в. было большим новшеством.

Известно, что один из сыновей Игната Домейко – Казимир Домейко Сотомайор (Casimiro Domeyko Sotomayor, 1863–1922) – учился в Париже, затем окончил Горную школу во Фрайберге. Вернувшись в Чили, работал профессором минералогии и химии в инженерной школе; был организатором крупного горнорудного предприятия по добыче серебра амальгамным способом близ Антофагасты. Затем переехал в Боливию, где участвовал в создании горнорудной компании. В 1899 г. он вернулся в Чили, был назначен директором Практической школы горного дела в Копьяпо и стал достойным продолжателем дела своего отца.

С минералогическими и геологическими работами и химическими анализами минералов

Игната Домейко был хорошо знаком и очень высоко их оценивал В. И. Вернадский, начинавший свою научную деятельность, прежде всего, как минералог, создавший новую минералогию с генетическими основами и целую серию выдающихся трудов в этой области знания, разработавший новаторскую методику преподавания минералогии и воспитавший не одно поколение минералогов, обладавший в этой науке выдающейся эрудицией, хорошо ориентирующийся в минералогической литературе прошлого и своего времени и способный адекватно оценивать ее научную, познавательную и практическую значимость. Не исключено, что с работами Домейко Вернадский познакомился уже в студенческие времена. В частности, известно, что Домейко, находясь в далеком Чили, поддерживал научные связи не только с европейскими странами, но и с Россией. Так, в библиотеке Российской академии наук в Санкт-Петербурге хранятся две его книги с авторскими надписями: «Para la Academia de Ciencias de San-Peterburgo el autor» (надпись на книге [39]) и «Para la Academia de Ciencias de San-Peterburgo de para del autor. Domeyko. Santiago. 1867» (на книге [38]) [12]. Более близкое знакомство с геологическими и минералогическими трудами Домейко Вернадский мог продолжить во время своей первой научной командировки в Западную Европу в 1888–1889 гг.

Отметим, что к этому времени имя Домейко было хорошо известно многим его просвещенным современникам в разных странах, в том числе и в России. Так, Чарльз Дарвин в VIII главе своей работы «Геологические наблюдения в Южной Америке» [32] ссылается на минералогогеологические исследования Домейко горнорудных районов в Кокимбо (в частности, в районе серебряного рудника Аркерос), используя изложение отчета последнего видными французскими геологами Э. де Бомоном (1798–1874) и П. Бертье (1782–1861), которое было опубликовано в известном издании Французской академии наук [34]. Дарвин также был знаком с описанием коллекции окаменелостей, которую Домейко отправил во Францию и которая, как считает Дарвин, была собрана последним в окрестностях рудника Аркерос [32, с. 215–216]. Домейко как исследователь геологии и этнографии Южной Америки упомянут в трудах выдающегося французского ученого-географа и мыслителя Э. Реклю (1830–1905), в конце XIX в. переведенных на русский язык (см., например, [23, 24]). К геологическим работам Домейко обращается в своем «Космосе» Александр Гумбольдт (1742–1806). Минералогические и геологические работы Домейко упомянуты в справочниках и монографических изданиях многих европейских геологов и минералогов. Российский историк географических открытий К. Ф. Свенске (1797–1871) подчер-

кивал, что уже к середине XIX в. орография и геология Чили и Боливии «хорошо изображены Домейко» [25]. Немецкий географ и путешественник В. Сиверс (1860–1921) назвал Домейко «отличным минералогом», а немецкий историк землеведения З. Гюнтер (1848–1923) несколько позже написал, что исследования Домейко «минеральных богатств, источников, вулканов и землетрясений Чили имеют непреходящее значение» [18, с. 401]. Показательно, что современники Домейко воспринимали его, прежде всего, как крупного минералога. Так, капитан знаменитого корвета «Витязь» П. Н. Назимов (1829–1902), совершившего в 1870–1874 гг. кругосветное плавание и доставившего Н. Н. Миклухо-Маклая (1846–1888) на Новую Гвинею, вспоминал, что при посещении Чили Миклухо-Маклай познакомился с Домейко. «Этот весьма ученый и полезный деятель в Чили обратил внимание на Миклуху и всеми средствами старался познакомить его со всевозможными музеями, а преимущественно с минералогическим, так как Чили – страна минералов, а сам Домейко – известный минералог. Этот же Домейко опубликовал в газетах о пребывании в Вальпараисо русского корвета, на котором натуралист Миклуха-Маклай направлялся к берегам Новой Гвинеи с целью остаться там для изучения страны. В бытность мою в Сантьяго Миклуха-Маклай познакомил меня с почтенным ректором Домейко, так что и я мог воспользоваться его гостеприимством и его поучительной и приятной беседой» [20, с. 77]. Общение с Домейко и знакомство с его минералогической коллекцией настолько произвели большое впечатление на Миклуху-Маклая, что он в письме своей матери вскоре после отплытия из Вальпараисо советует своему младшему брату Михаилу (тогда гимназисту) всерьез заняться геологией и минералогией. Действительно, М. Н. Миклуха (1856–1927) поступил в Горный институт и выбрал профессию геолога [26]. В знаменитом «Энциклопедическом словаре» Брокгауза и Ефроня [28] в статье «Араукос или Арауканы» (арауканы – индейский народ в Чили и Аргентине. – Авт.) имеется ссылка на известную и во многом уникальную книгу Домейко, принесшей ему мировую «этнографическую» славу [35]. В популярном в свое время в России «Всеобщем календаре» (издание 1890 г.) помещен небольшой некролог И. И. Домейко, в котором он назван «известным натуралистом» [14, с. 489].

В 1889 г. в продолжающемся издании [55] профессор минералогии Горной академии во Фрайберге А. В. Штельцнер (1840–1895) опубликовал обширную статью (некролог), посвященную памяти Домейко. С указанным изданием (*«Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie»*), в котором Домейко опубликовал несколько своих научных заметок (в том числе о химиче-

ском составе минералов), Вернадский, как следует из его публикаций, регулярно знакомился. Кроме того, Штельцнер в 1871–1875 гг. работал профессором в университете аргентинской Кордовы, путешествовал по Аргентине и был лично знаком с Домейко, о чем свидетельствует текст указанного выше некролога, в котором Штельцнер прямо указывает, что при его составлении пользовался «личными воспоминаниями». В предисловии к своей (в свое очень время известной) книге, посвященной геологии и палеонтологии Аргентины, Штельцнер сообщает, что в январе 1874 г. «имел счастье в Сантьяго де Чили видеть господина Игнасио Домейко, провести в его доме максимально приятные поучительные часы и ознакомиться с его “красивыми” минералогической и палеонтологической коллекциями» [54, с. XII]. В этой же книге Штельцнер ссылается на работы Домейко, в том числе на его «Минералогию» (1879 г. издания) и на приложения к ней [54]. Вернадский был хорошо знаком как с работами Штельцнера, так и с ним лично. В архиве Вернадского сохранились его «Заметки о почвах на французской Всемирной выставке 1889 года», состоявшейся в Париже. Как известно, Вернадский, находившийся в это время в своей первой научной зарубежной командировке, согласился, по просьбе В. В. Докучаева, быть официальным поверенным последнего и взять на себя организацию коллекции русских почв, отосланых его учителем в Париж. (Напомним, что составленная Докучаевым и его учениками «Коллекция русских почв» получила золотую медаль, а Докучаев был награжден медалью «За заслуги по земледелию».) В указанных «Заметках о почвах...» Вернадский особенно подробно рассказывает об Аргентинском почвенном отделе Выставки, ссылаясь при этом на работы некоторых авторов, которые используют труды Домейко, в том числе и на упомянутый выше труд Штельцнера [1]. Можно также с уверенностью предположить, что на этой выставке Вернадский ознакомился и с представленной на ней коллекцией минералов Чили, каталог которой, как сказано в предисловии к нему, был составлен при активном участии Домейко (и написавшего к нему введение), только что вернувшегося из Европы в «свою приемную страну» [30, с. 5].

Несколько позже Вернадский вспоминал, что в 1894 г. «сделал огромную минералогическую поездку по Западной Европе, взяв за центр Фрайберг в Саксонии – в составлении плана помог Штельцнер, который мне по своим работам нравился и с которым я сошелся» [13, с. 389]. Отметим, что у Вернадского особый интерес вызывала минералогическая коллекция (рудных месторождений) Штельцнера, которая располагалась не по минералам, а по химическим элементам, и которую Вернадский очень высоко

оценивал [12, с. 131]. Публикации же Домейко, как мы уже знаем, были насыщены данными о химическом составе минералов, что, очевидно, во многом и привлекало в них будущего создателя геохимии. Летом 1894 г. Вернадский посетил Krakow и ознакомился с минералогической коллекцией Физиографического кабинета (при Физиографической комиссии Академии наук), в которой, как пишет он в своих неопубликованных заметках, «имеются 2 больших метеорита, пожертвованных Домейко (от него имеются немногие образчики минералов, которые он привез во время своего приезда сюда). Данные метеориты из Sierra de Chaco (один почти цельный) описаны Домейко в его минералогии и Ann[ales] de Ch[imie] et de Phys[sique]» [2]. Эти заметки свидетельствуют о том, что Вернадский не только хорошо знал Домейко как минералога, но и был знаком с основными этапами его биографии: знал, например, о посещении Домейко Европы в 1884–1888 гг.

Факты свидетельствуют о том, что к работам и минералогическим коллекциям Домейко Вернадский обращался, особенно в конце XIX – начале XX в., достаточно регулярно. Так, в Архиве РАН сохранились письма российского минералога и петрографа польского происхождения И. А. Морозевича (1865–1941) к Вернадскому. Морозевич – сотрудник Геологического комитета в Санкт-Петербурге, занимался геологическими исследованиями на Урале, в Мариупольском, Бердянском и Таганрогском уездах, на Новой Земле, с 1893 г. состоял хранителем Минералогического кабинета Варшавского университета, с 1904 г. занимал кафедру минералогии в Ягеллонском университете в Krakowе. В одном из писем к Вернадскому (от 17 февраля 1898 г.) он пишет: «Что касается Домейки, то я пересмотрел всю его коллекцию, но минерала, о котором Вы пишите, не нашел. Есть только: arseniuro de cobre (арсенид меди. – Авт.), polyseleniuro de plomo (полиселенид свинца. – Авт.) и т. п. – оба анализированы» [4]. В картотеке (хранится в Кабинете-музее В. И. Вернадского в Институте геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского РАН) личной библиотеки Вернадского сохранилась библиографическая карточка, на которой указана книга Домейко «Mineraložija» (издание 1879 г. [41]). Этой книги в библиотеке Кабинета-музея сейчас нет, но известно, что Вернадский несколько раз за свою жизнь передавал большие партии книг Академии наук (в 1911 г. при переезде из Москвы в Петербург и в 1931 г. уже в Ленинграде) [27], а в апреле 1934 г. передал в библиотеку Геологической ассоциации 38 книг [3]. Не исключено, что труд Домейко находился среди этих книг, поскольку в это время Вернадский отошел от научных занятий минералогией, практиче-

ски полностью погрузившись в проблемы геохимии, биогеохимии, радиогеологии.

Минералогические данные, содержащиеся в основных трудах Домейко, Вернадский использовал уже в лекциях, которые он систематически читал в Московском университете (на физико-математическом и медицинском факультетах) с января 1891 г. вплоть до весны 1911 г. Так, в изданных в 1890-х годах литографическим способом лекциях («Краткий курс минералогии», 1891, 1895, «Лекции по минералогии», 1898, 1900 и др.), которые Вернадский называл «студенческими изданиями» (они, как правило, не содержали библиографических ссылок, а при их изданиях нередко использовались конспекты лекций) приводятся сведения о минералах Южной Америки, явно почерпнутые им из работ Домейко. В более известных и капитальных «Лекциях описательной минералогии» (1899 г.), которые, как подчеркивал Вернадский, «выросли на почве научного преподавания минералогии» [5, с. 5], имеется 16 ссылок на «Основы минералогии» Домейко (Вернадский пользуется 3-м изданием этой книги – 1879 г., которая, как указано выше, явно имелась в его личной библиотеке). Для Вернадского данная работа Домейко является авторитетом, а сведения, приводимые в ней, используются для надежного подкрепления собственных выводов и для иллюстрации примеров. Наиболее часто он обращается к книге Домейко при рассмотрении рудных минералов, в том числе самородных металлов, амальгам и сульфосолей.

Так, при описании самородного серебра Вернадский отмечает «любопытные данные», собранные у Домейко [5, с. 89]. Парагенезис ртути и амальгам, – пишет Вернадский, – «находится в теснейшей связи с условиями выделения киновари, блеклой руды или селенистых соединений ртути в природе. Амальгамы встречаются... в жильных местностях» [5, с. 92]. (Здесь, пожалуй, следует особо отметить, что вклад Домейко в изучение жильных месторождений и связанных с ними жильных минералов до сих пор не оценен должным образом и, безусловно, ждет своего исследователя). Вернадский, ссылаясь на «Минералогию» Домейко, отмечает, что «среди таких месторождений любопытно нахождение аркверита в Аркверо в Чили в баритовых жилах с серебряным блеском, эритритом...» [5, с. 92]. При характеристике селеновисмутового блеска Вернадский приводит результаты химических анализов Домейко. К его же данным он обращается при описании медного и серебряного блесков и штромейрита (блеск медно-серебряный, купроаргирит, CuAsS. – Авт.), отмечая на примере образцов из Южной Америки, что они «почти всегда находятся в верхних частях месторождений сульфосолей меди и серебра»

[5, с. 122], причем, как показал Домейко, – подчеркивает Вернадский, – «все эти сернистые соединения встречаются... иногда в таком количестве, что могут служить рудой... в некоторых рудниках Чили», где «серебряная чернь тесно смешена с металлическим серебром» [5, с. 123]. Селенистые и теллуристые соединения, отмечает Вернадский (со ссылкой на Домейко), встречаются в некоторых районах Мексики в количествах, заслуживающих разработки. «Домейко указывает, что... марматит (железосодержащая разновидность сфалерита. – Авт.) в Чили содержит (и сопровождает) золото» [5, с. 128]. «Арсенопирит, богатый кобальтом (до 3 % Co), называется данаитом и нередко встречается в значительных количествах, являясь рудой на кобальт». По данным Домейко, «такие данаиты очень распространены в Чили, где они встречаются в жилах со смальтином (скуттерудит, или колчедан мышьяково-кобальтовый. – Авт.)» [5, с. 181]. Домейкит, который (по данным Домейко) очень распространен в медных жилах Чили, «тесно смешан с продуктами своего разложения – кислородными солями меди, самородной меди и т. п. Иногда скапливается значительными массами» [5, с. 145]. Гораздо менее распространенным является борнит (Cu_5FeS_4), однако в некоторых районах Чили, как показал Домейко, он «встречается в огромных массах (в середине 1870-х годов добывали до 500 тысяч килограммов борнита) в жилах среди диоритовых пород. Это, вероятно, величайшие скопления борнита, содержащего Ag и Au, в мире» [5, с. 152]. Как видим, Вернадского (по понятным причинам) особенно интересуют сведения Домейко о вторичных (гипергенных) преобразованиях минералов, о продуктах их разложения, о совместном нахождении (парагенезисе) определенных минералов в одной породе, в руде или в одном месторождении (аналогичный интерес подобные сведения Домейко будут вызвать у Вернадского и во многих его последующих работах). Данные Домейко Вернадский широко использует также при описании и характеристике мест распространения (нахождения) таких сульфосолей, как буланжит, полибазит и пирсит (два последних «являются в настоящее время обычной серебряной рудой в некоторых местностях Чили, Боливии» [5, с. 391]), массикотита – природного окисла свинца, который «в некоторых местах... Чили... скопился в значительных массах» [5, с. 188], углесита («находится в огромных количествах в некоторых местностях Андов» [5, с. 195], «богатых титаном титаномагнитов Южной Америки [5, с. 102–103]»).

В 1-м томе своего классического фундаментального труда «Опыт описательной минералогии» (1-е издание – 1914 г.) Вернадский использует несколько работ Домейко, среди кото-

рых «Mineralogia» (1879 г.) с тремя приложениями к ней («Apendice a la mineralogía», изданы в 1881, 1883 и 1884 г.); перепечатку указанных работ 1897–1900 гг., а также две большие статьи, опубликованных Домейко в 1841 и 1846 г. в известном европейском журнале (последняя статья по объему является, по сути, монографией) [33, 37]. Данные Домейко указываются Вернадским при описании самородного свинца и самородной меди, которая «находится в тесной связи с гипсом, образует псевдоморфозы по арагониту... Эти “псевдоморфозы” меди по псевдогексагональным двойниковым образованиям арагонита требуют исследования. Описания и анализы Домейко делают весьма вероятным для них пойкилитовое строение» [8, с. 259]. Отметим, что изучению псевдоморфоз Вернадский уделял особое внимание, прежде всего, с точки их значимости в генезисе минералов, находя в работах Домейко много интересных соображений и фактических данных для своих рассуждений. Достаточно часто Вернадский ссылается на работы Домейко при характеристике природных амальгам (особенно серебряных), самородного серебра, включая аркверит (отмечает, что, по данным Домейко, в Чили самородное серебро встречается огромными пластинами, «например, одна из них в Ханарсильо весила 1420 кг» [8, с. 172]). «Мелкое рассеянное самородное, смешанное с серебряной чернью, эболитом, керарагритом и т. д., составляло и составляет заметную часть серебра Южной Америки, так называемых руд “pasos”, “colorados”» и т. д. ... Об этих рудах см. любопытные указания в Dumeiko, 1879» [8, с. 192]. Вернадский приводит данные Домейко о химическом составе чилеита, в котором присутствуют висмут и серебро и который «находится в жилах, богатых самородным висмутом, самородным серебром, домейкитом, халькозином и т. д., связанных с массивными породами, по-видимому, контактового характера» [8, с. 241]. Ртуть, отмечает Вернадский, иногда входит в состав самородного серебра. «По пробам Домейко (Dumeiko, 1900, стр. 268) в чилийском серебре и керарагrite небольшая примесь ртути обычна» [8, с. 242]. При минералогическом описании серебряных амальгам Домейко является для Вернадского признанным авторитетом. Так, основываясь на данных Домейко, Вернадский отмечает, что «серебряные амальгамы распространены больше, чем золотые. По большей части это вторичный минерал, который находится во многих месторождениях киновари и серебряных руд... Однако генезис их менее ясен в тех случаях, когда они отложились в жилах в значительных количествах. Таково, например, месторождение Аркверо в Чили, тесно связанное с выходами туфов авгитового порфириита. Жильным минералом является здесь кальцит, частью

барит (в боковых прожилках), а аркверит находится в тесной смеси сargentитом, кераргиритом, эритрином и т. д. Другое известное месторождение – Родакто; оно представляет порфиритовую брекцию, в которой амальгама выделилась из водных растворов вместе с баритом, пренитом и цеолитами» [8, с. 247–248]. «Кое-где встречались богатые месторождения амальгамы. Таковы некоторые месторождения в Чили. Так, например, в первые 15 лет разработки рудников в Аркверо в Кокимбо добыто 45 т серебра из амальгамы (аркверита) и, кроме того, амальгама служила и рудой на ртуть. Точно также амальгама служила рудой на серебро и в руднике Росилья в Атакаме» [8, с. 250]. Ввиду неясности химического состава амальгам, – пишет Вернадский, – «я буду называть природные разности, более богатые ртутью, аркверитом (т. е., в сущности, вслед за Домейко. – Авт.), а разности, более богатые серебром, конгсбергитом. Очевидно, что такое деление имеет исключительно формальный характер. Может быть, аркверит следовало бы выделить как определенное соединение, так как, по указаниям Домейко (Domeyko, 1900, стр. 236), состав руды в Аркверо постоянен: 86,5 % Ag и 13,5% Hg. Но от него, судя по другим местностям, есть все переходы до бордоизита (Ag_2Hg_5)... Во всяком случае, уже теперь ясно, что было бы ошибочным соединять все природные серебряные амальгамы в один минерал, как это часто делают. Ибо уже Домейко заметил, что в некоторых случаях (в рудниках Лос-Бордос) в одном куске природной амальгамы можно различить три разных по химическому составу тела. Домейко считал, что среди амальгам надо различать по крайней мере семь минералов: $AgHg_2$ (из Pella de Mejiao), Ag_6Hg – аркверит, Ag_3Hg_4 , $AgHg$ – тальталин, Ag_5Hg , Ag_7Hg_2 , Ag_2Hg_5 – бордоизит» [8, с. 243].

Во 2-м томе «Опыта описательной минералогии» (1-е издание – 1918 г.) Вернадский использует «Elementos de Mineralojia» (1860 г.) и «Mineralogia» Домейко (1879 г.) с тремя приложениями к ней, а также перепечатки указанных работ, вышедших в 1897–1900 гг. Данные Домейко приводятся Вернадским при характеристике различных соединений висмута: висмутового блеска, или висмутина («висмутовый блеск в окрестностях Тасна и Чоролке в Боливии» [9, с. 209]), особо Вернадский отмечает «анализы измененных висмутинов из Тасны в Боливии», выполненные Домейко («Любопытно, что висмутины из Тасны не дают легко реакции с $KJ + S$ ») [9, с. 211], селено-висмутовых тел (которые наблюдались Домейко «в Гуанахуто в Мексике, в Сиerra-де-Санта-Роза, где они встречены в верхних частях жил в галлуазите» [9, с. 211], а также сернистых соединений серебра (сообщает данные Домейко, согласно которым в Южной

Америке достаточно широко известна серебряная чернь), халькозина (который найден во многих рудниках Чили), селенистого соединения – эвкайрита (есть месторождение в Чили), сульфида меди – ковеллина («наблюдаются его значительные массы в некоторых рудниках Чили» [6, с. 304]). Основываясь на сведениях Домейко, Вернадский также характеризует уже упомянутый выше редкий жильный минерал штромейерит, который встречается в жильных месторождениях (вместе с баритом), одновременно богатых серебром и медью, что наблюдалось в различных рудниках «около Кокимбо (Santa Rosa de Arqueros) и Копиапо» [9, с. 268], «богатые кадмием разности так называемых пшибрамитов..., а также ратиты..., богатые медью. Их неоднородность подвергается сомнению; см. о них... Domeyko, 1979, стр. 285–288» [9, с. 285]. Вернадский также приводит данные Домейко о том, что в сфалеритах наблюдается золото и, кроме того, «Домейко (Domeyko, 1879, с. 280) указывает на связь с золотом марматитов Чили» [9, с. 287]. В списке сернистых соединений свинца Вернадский указывает описанный Домейко гуасколит.

В 1-м выпуске 1-го тома «Истории минералов земной коры» (впервые издан в 1923 г.) в разделе «Общие обзоры и большие руководства по минералогии» Вернадским в хронологическом порядке приведены, говоря его словами, «лишь главнейшие труды по минералогии». Этот список – из 49 работ – включает и «Elementos de mineralojia» (1879 г.) Домейко [10, с. 320], причем Вернадский указывает, что первое издание этой книги вышло в 1845 г.; затем были изданы указанные выше три приложения, подчеркивает, что все это было «перепечатано без изменений» в 1897–1898 гг. Таким образом, данную работу (вернее, данные работы) Домейко по минералогии Вернадский относит к «главнейшим» трудам мировой минералогической науки, созданным к 1923 г. Во 2-м выпуске 1-го тома (вышел в 1927 г.) в разделе «Самородные металлы» Вернадский подчеркивает, что, «несомненно, существует довольно много разных природных амальгам, особенно серебряных. И. Домейко, крупный и талантливый исследователь минералов Южной Америки различал шесть разных серебряных амальгам. Он указывал, например, что в некоторых самородках (например, в Лос-Бордос в Чили) можно различить по крайней мере срастания трех разных тел, их составляющих» [10, с. 537]. Далее Вернадский отмечает, что «сейчас нельзя основываться на этих старинных работах, когда методы различения непрозрачных тел были очень несовершенны». Он предлагает «временно выделить две группы серебряных амальгам: более бедные серебром арквериты и более им богатые конгсбергиты». Тем не менее, в сущности, соглашаясь с Домейко, Вернадский указыва-

ет, что «между ними есть переходы, может быть связанные с их тонкими срастаниями, а может быть, с действительным непрерывным смешением атомов серебра и ртути» [10, с. 537].

В знаменитых «Очерках геохимии» Вернадского, первое издание которых вышло в 1924 г., есть ссылки на «Mineraloja» Домейко (1897 г.). В частности, рассматривая геохимию йода, Вернадский, обращаясь к данным Домейко, полагает, что существует иодно-свинцовая руда, а «существование йодистой ртути (HgJ_2) в природе мне представляется установленным» [7, с. 307]. Между прочим, результаты изучения Домейко «йодных» минералов вызывали большой интерес у целого ряда последующих специалистов.

Очень интересным (с исторической точки зрения) и важным является замечание Вернадского о вкладе Домейко в развитие представлений о зональности геохимических процессов или, говоря современным языком, о широтной зональности процессов выветривания и типов кор выветривания. Так, в замечательной статье, посвященной памяти своего великого учителя – В. В. Докучаева, Вернадский отметил, что во времена А. Гумбольдта представления последнего «об отсутствии зависимости твердых продуктов (выветривания. – Авт.) нашей земной коры от географических факторов... вполне господствовали до самого последнего времени... Лишь иногда, не обобщая явления, он (Гумбольдт. – Авт.), как точный наблюдатель, не мог не констатировать влияния климатических факторов на характер горных пород» [6, с. 11]. В то же время «в минералогии уже современники Гумбольдта обратили внимание на связь явлений выветривания и продуктов, происходящих от разложения организмов, с географическими факторами... В замечательных работах Домейки географический принцип был распространен и на процессы вы-

ветривания и даже заполнения минеральных жил, причем Домейко указывал на своеобразный характер жильных выделений Южной Америки по сравнению с такими же минералами Старого Света» [6, с. 11]. В подстрочных примечаниях Вернадский отмечает: «см. сводку его (т. е. Домейко. – Авт.) идей (высказывались в 1840-х годах). – Domeyko Mineraloja. Sant[ago]. 1879–1883» [6, с. 11]. Безусловно, эти соображения Вернадского позволяют считать Домейко одним из пионеров, стоявших у истоков научного понимания сущности гипергенных процессов, имеющих в своей основе геохимический характер.

Таким образом, В. И. Вернадский уже с первых лет своей научной и преподавательской деятельности был хорошо знаком с основными минералогическими работами Игната Домейко, называл их «замечательными» и относил к «главнейшим» трудам мировой минералогической науки, при подготовке своих фундаментальных трудов по минералогии и геохимии обращался к его творческому наследию, а самого Домейко, научное творчество которого не потеряло своего значения и в наше время, считал «крупным и талантливым исследователем минералов Южной Америки», внесшим большой вклад в развитие разных направлений теоретической и прикладной минералогии и, по сути, стоявшим у истоков генетической и химической минералогии и научного понимания геохимических процессов.

В заключение отметим, что И. И. Домейко всю жизнь вел дневники [44–46], а его архив всегда находился в безукоризненном состоянии [16], что, между прочим, очень сближает его с В. И. Вернадским, который, как хорошо известно, оставил нам замечательное дневниковое наследство и не менее замечательный и обширнейший архив, в котором, как мы уже знаем, имеются сведения и об «Grande Educador» («Великом Просветителе») Игнате Домейко.

Литература

1. Архив Российской академии наук (РАН). – Ф. 518. Оп. 1. Д. 329. Л. 3.
2. Архив Российской академии наук (РАН). – Ф. 518. Оп. 2. Д. 75. Л. 7.
3. Архив Российской академии наук (РАН). – Ф. 518. Оп. 2. Д. 156^а. Л. 2.
4. Архив Российской академии наук (РАН). – Ф. 518. Оп. 3. Д. 1103. Л. 3 об.
5. Вернадский, В. И. Лекции описательной минералогии / В. И. Вернадский. – М., 1899. – 288 с.
6. Вернадский, В. И. Страница из истории почвоведения: (Памяти В. В. Докучаева) / В. И. Вернадский // Научное слово. – 1904. – Кн. 6. – С. 5–26.
7. Вернадский, В. И. Избранные сочинения. / В. И. Вернадский. – М. : Изд-во АН СССР, 1954. – Т. I. – 696 с.
8. Вернадский, В. И. Избранные сочинения. / В. И. Вернадский. – М. : Изд-во АН СССР, 1955. – Т. II. – 615 с.
9. Вернадский, В. И. Избранные сочинения. / В. И. Вернадский. – М. : Изд-во АН СССР, 1959. – Т. III. – 508 с.
10. Вернадский, В. И. Избранные сочинения. / В. И. Вернадский. – М. : Изд-во АН СССР, 1959. – Т. IV, кн. 1 – 624 с.

11. **Вернадский, В. И.** Химическое строение биосфера Земли и ее окружения / В. И. Вернадский. – М. : Наука, 1987. – 339 с.
12. **Вернадский, В. И.** Письма Н. Е. Вернадской (1893–1900) / В. И. Вернадский. – М. : Техносфера, 1994. – 368 с.
13. **Вернадский, В. И.** Дневники: 1926–1934 / В. И. Вернадский. – М. : Наука, 2001. – 456 с.
14. **Всеобщий календарь на 1890 год.** – СПб. : Книгоизд-во Герман Гоппе, 1889. – 579 с.
15. **Грицкевич, В. П.** Геолог, минералог и этнограф Игнатий Домейко / В. П. Грицкевич // Изв. Все-союз. географ. об-ва. – 1981. – № 5. – С. 447–451.
16. **Домейко, П.** Игнатий Домейко – Адам Мицкевич: дружба на всю жизнь / П. Домейко // Неман. – 2012. – № 7. – С. 167–180.
17. **Ігнат** Дамейка – светач сусветнай цывілізацыі : матэрыялы VI Карэліцкіх чытанняў. – Мінск : Энцыклапедыя, 2002. – 133 с.
18. **Магидович, И. П.** История открытия и исследования Центральной и Южной Америки / И. П. Магидович. – М. : Мысль, 1965. – 455 с.
19. **Михеева, И. Б.** «Гранде Эдукадор» Игнатий Домейко: Белорусский вклад в латиноамериканскую культуру / И. Б. Михеева // Сотрудничество и интеграция в многополярном мире: опыт Беларуси и государств Латинской Америки : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 12 мая 2015 г. – Минск : Право и экономика, 2015. – С. 189–194.
20. **Назимов, П. Н.** Записка о пребывании натуралиста Миклухо-Маклая на корвете «Витязь» и о доставлении его на остров Новая Гвинея в заливе Астролябия / П. Н. Назимов // Советская этнография. – 1986. – № 1. – С. 74–81.
21. **Нарембски, В.** Игнатий Домейко (1802–1889) – к 200-летию со дня рождения / В. Нарембски, 3. Вуйчик // Зап. Всерос. минералог. об-ва. – 2003. – №. 3. – С. 84–87.
22. **Пиловец, Г. И.** Игнатий Домейко – геолог, этнограф, педагог и гражданин мира / Г. И. Пиловец // Весн. Віцебск. дзярж. ун-та. – 2002. – № 2 (24). – С. 129–132.
23. **Реклю, Э.** Земля и люди. Всеобщая география / Э. Реклю. – СПб., 1896. – Т. XVIII : Южная Америка. Область Андов : пер. с фр. – 709 с.
24. **Реклю, Э.** Земля и люди. Всеобщая география / Э. Реклю. – СПб., 1896. – Т. XIX : Бассейны рек Амазонки и Лаплаты : пер с фр. – 667 с.
25. **Свенске, К. Ф.** Обзор главнейших путешествий и географических открытий в пятилетие с 1848 по 1853 год / К. Ф. Свенске. – СПб., 1857. – 579 с.
26. **Тумаркин, Д. Д.** Миклухо-Маклай. Две жизни «белого папуаса» / Д. Д. Тумаркин. – М. : Молодая гвардия, 2012. – 464 с.
27. **Шаховская А.Д.** Кабинет-музей В. И. Вернадского / А. Д. Шаховская. – М. : Изд-во АН СССР, 1959. – 50 с.
28. **Энциклопедический словарь** / изд.: Ф. А. Брокгауз и И. А. Ефрон.– СПб., 1890. – Т. 2 (3) : Араго–Аутка. – 478 с.
29. **Amunategui, M. L.** Ignacio Domeyko / M. L. Amunategui. – Santiago : Imprenta de la «República», 1867. – 144 p.
30. Catalogue de la collection mineralogique du Chili envoyée a l'Exposition Universelle de Paris de 1889 par la Section de Minéralogie de la Commission de l'Exposition Chilienne. – Satiago : Imprenta Gutenberg, 1889. – 84 p.
31. **Cucurella, J.** Condoriaco silver deposit: a geological, mineralogical and genetic reconstitution from I. Domeyko collection of the university La Serena, Chile / J. Cucurella, I. Flores // Mineralogia Polonica. – 1994. – Vol. 25, № 1. – P. 59–68.
32. **Darwin, C.** Geological observations on South America / C. Darwin. – London, 1846. – 279 p.
33. **Domeyko, I.** Memore sur les mines d'amalgame natif d'argent d'Arqueros, au Chili. Description d'une nouvelle espèce minéralogique, et du traitement par la méthode américaine / I. Domeyko // Annales des Mines. – 1841. – Série 3. – Т. 20. – P. 255–307.
34. **Domeyko, I.** Notice sur les minerais d'argent du Chili et les procédés qui sont employés pour leur traitement. Sur les mines d'amalgame natif d'argent d'Arqueros an Chili. Description d'une nouvelle espèce minéralogique et du traitement par la méthode américaine / I. Domeyko // Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences. – 1842. – Т. 14. – P. 560–568.
35. **Domeyko, I.** Araucanía y sus habitantes: Recuerdos de un viaje hecho en las provincias meridionales de Chile en los meses de enero y febrero de 1843 / I. Domeyko. – Santiago : Imprenta Chilena, 1845. – 121 p.
36. **Domeyko, I.** Elementos de Mineralojia / I. Domeyko. – Serena : Imprenta del Colegio, 1845. – I–VI + 383 p.
37. **Domeyko, I.** Mémoire sur la constitution géologique de Chili / I. Domeyko // Annales des Mines. – Quatrième série. – 1846. – Т. 9. – P. 365–540.
38. **Domeyko, I.** Tratado de ensayos / I. Domeyko. – Valparaiso, 1858. – I–VIII + 458 p.
39. **Domeyko, I.** Elementos de Mineralojia, o del conocimiento de las especies minerales en jeneral, i en particular de las de Chile. Segunda Edicion / I. Domeyko. – Santiago : Imprenta del Ferrocarril, 1860. – I–XI + 432 p. (В 1860–1878 гг. к этому изданию вышло шесть небольших приложений.)
40. **Domeyko I.** Estudio sobre las aguas minerales de Chili / I. Domeyko. – Santiago : Imprenta Nacional, 1871. – 62 p.

41. **Domeyko, I.** Mineralojia. Tercera edicion. Que Comprende Principalmente Las Especies Mineralójicas de Chili, Bolivia, Peru i Provicias Arjentinas / I. Domeyko. – Santiago : Libreria Central De Servat i Ca., 1879. – I–XVIII + 760 p. (В 1881–1884 гг. к этому изданию вышло три небольших приложения.)
42. **Domeyko, I.** Mineralojia. Edition Oficial Comprende Principalmente Lás Especies Mineralójicas de Chili, Bolivia, Peru i Provicias Arjentinas / I. Domeyko. – Santiago : Imprento Cervantes, 1897–1903. – Vol. 1–5.
43. **Domeyko, I.** Tratado de ensayes tanto por la via seca como por la húmeda, de toda clase de minerales i pastas de cobre, plomo, plata, oro, mercurio, etc.; con descripción de los caractéres de los principales minerales i productos de las artes en América I en particular de Chile. Edition oficial. Primer tomo / I. Domeyko. – Santiago : Imprento Cervantes, 1898. – 701 p.
44. **Domeyko, I.** Moje podróże (pamiętniki wygnańca) / I. Domeyko. – Wrocław, 1962. – T. 1 : 1831–1839 – 254 s.
45. **Domeyko, I.** Moje podróże (pamiętniki wygnańca) / I. Domeyko. – Wrocław, 1963. – T. 2 : 1839–1845 – 560 s.
46. **Domeyko, I.** Moje podróże (pamiętniki wygnańca) / I. Domeyko. – Wrocław, 1963. – T. 3 : 1846–1888 – 338 s.
47. **Grigelis, A.** Ignacy Domeyko – an early investigator of Andean geology / A. Grigelis // Episodes. – 2005. – Vol. 28, № 4. – P. 279–285.
48. **Ignacy** Domeyko 1802–1889: his life, works and contribution to geological and social science. Proc. of the Internat. Scientific Conf., Vilnius, Lithuania, September 10–12, 2002. – Vilnius, 2002. – 354 p.
49. **Ignacio** Domeyko: un naturalista romántico en Chile // La ruta de los natur alistas. Las huellas de Gay, Domeyko y Philippi. – Santiago : Max Donoso Saint, 2012. – P. 41–65.
50. **Koszowska, E.** Mineralogical collection of Ignacy Domeyko in geological museum of the Jagellonian University in Cracow / E. Koszowska, A. Wolska // Mineralogia Polonica. – 1988. – Vol. 19, № 2. – P. 11–17.
51. **Narębski, W.** Homage to Ignacy Domeyko (1802–1889). At the 200th anniversary of his birth / W. Narębski, Z. Wójcik // Annales Societatis Geologorium Poloniae. – 2003. – Vol. 73. – P. 1–26.
52. **Ryn, Z. J.** Historia científica de Los Andes. Don Ignacio Domeyko (1802–1889) / Z. J. Ryn // Revista del Cesla. – 2000. – № 1. – P. 151–169.
53. **Ryn, Z. J.** Ignacy Domeyko. Bibliografia / Z. J. Ryn. – Kraków, 2008. – 716 s.
54. **Stelzner, A.** Beiträge zur Geologie und Palaeontologie der Argentinischen Republik / A. Stelzner. – Cassel und Berlin : Verlag von Theodore Fischer, 1885. – I : Geologischer Theil. – I–XXIX + 329 s.
55. **Stelzner, A. W.** Ignaz Domeyko / A. W. Stelzner // Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie. Jahrgang 1889.– Stuttgart, 1889. – II Band. – S. 1–12.
56. **Turley, T. J.** Ignacy Domeyko: Mineralogist and Geologist / T. J. Turley // Polish American Studies. – 1952. – Vol. 9, № 3/4. – P. 96–98.
57. **Ward, H. A.** Three new chilian meteorites / H. A. Ward // Proceedings of the Rochester Academy of Science. – 1906. – Vol. 4, June. – P. 226–231.
58. **Wojcik, Z.** Ignacy Domeyko (1802–1889) / Z. Wojcik // Mineralogia Polonica. – 1899. – Vol. 19, № 2. – P. 5–10.

¹ Институт геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского РАН, Москва, Россия,

² Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 26.05.2017 г.

Е. П. Янин, В. С. Хомич

МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ ТВОРЧЕСТВО И. И. ДОМЕЙКО В ТРУДАХ И ОЦЕНКАХ В. И. ВЕРНАДСКОГО

В статье систематизированы взгляды и высказывания В. И. Вернадского о минералогическом творчестве И. И. Домейко. Показано, что Вернадский уже с первых лет своей научной и преподавательской деятельности был хорошо знаком с основными минералогическими работами Домейко, постоянно обращался к ним и широко использовал их в своей научной и преподавательской деятельности. Во многих минералогических и геохимических трудах Вернадского, ставших классическими, содержатся ссылки на работы Домейко. Эти работы Вернадский называет «замечательными» и относит к «главнейшим» трудам мировой минералогической науки, а самого Домейко, научные труды которого не потеряли своего значения и в наше время, считает «крупным и талантливым исследователем минералов Южной Америки», внесшим большой вклад в развитие разных направлений теоретической и прикладной минералогии, стоявшим у истоков генетической и химической минералогии, научного понимания геохимических процессов. При подготовке статьи использованы ранее не публиковавшиеся сведения из архива Вернадского.

E. P. Yanin, V. S. Khomich

**THE MINERALOGICAL ART OF I. I. DOMEYKO
IN THE WORKS AND EVALUATIONS OF V. I. VERNADSKY**

The views and statements of V. I. Vernadsky on the mineralogical works of I. I. Domeyko are systematized in the article. It is shown that since the first years of his scientific and teaching activity, Vernadsky was well acquainted with the basic mineralogical works of Domeyko, he constantly appealed to them and widely used them in his scientific and teaching activities. Many mineralogical and geochemical works of Vernadsky, which became classical, contain references to Domeyko's works. Vernadsky called these works as «remarkable» and refers to the «most important works of the world mineralogical science, and Domeyko himself, whose scientific works have not lost their value in our time, considers «a large and talented researcher of the minerals of South America», who made a great contribution to the development of the different directions of ore-typical and applied mineralogy and standing at the origins of genetic and chemical mineralogy and the scientific understanding of geochemical processes. During the preparation of the article, previously unpublished information from the Vernadsky archive was used.

А. Г. Бровка, Г. П. Бровка, И. В. Дедюля, К. А. Агутин

ЗАВИСИМОСТЬ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Рассмотрено влияние температуры в диапазоне до –38 °C, соответствующем области изменения температуры при создании ледопородного ограждения, на теплофизические и прочностные свойства различных образцов грунтов. Приведены результаты определения теплоемкости, теплопроводности и временного сопротивления сжатию при различных температурах в указанном диапазоне.

Проектирование различных объектов строительной и горнодобывающей областей промышленности требует наличия данных о теплофизических и прочностно-деформационных характеристиках грунтов, на которых эти объекты возводятся. В горнодобывающей промышленности вопрос особо актуален в связи с необходимостью бурения или проходки шахтных стволов в сложных гидрологических условиях. В таких случаях используются технологии с применением искусственного замораживания грунтов. При проведении обосновывающих расчетов требуется знания о том, насколько меняются физические свойства грунтов в диапазоне температур от начала фазовых переходов до температуры на замораживающих устройствах, которая может понижаться до –40 °C. Следует отметить, что в литературе имеется ограниченное число данных о теплофизических и деформационно-прочностных характеристиках мерзлых грунтов в широком диапазоне температур, включая низкие температуры (до –40 °C), так как это связано с техническими сложностями поддержания этих температур и адаптации стандартных методов испытания для таких условий.

Цель работы – определить фазовый состав воды и теплофизические характеристики экспериментальными методами; оценить на основе экспериментальных и расчетных методов деформационно-прочностные характеристики основных разновидностей горных пород при температуре –5 °C...–38 °C.

Определение фазового состава воды и теплофизических характеристик. Для проведения исследований использованы разработанные ранее калориметрическая установка и устройство для определения коэффициентов теплопроводности грунтов [1]. Для решения поставленной задачи они были модернизированы, что позволило использовать их для проведения

опытов при температурах до –40 °C, сохранив точность определения количества незамерзшей воды, теплоемкости (–2 %) и теплопроводности (–6 %).

На рисунке приведены результаты исследования фазового состава воды для различных грунтов естественного влагосодержания и с разной глубины залегания в диапазоне температур от 0 °C до –38 °C. Опыты проведены в основном в режиме замораживания. Из представленных данных видно, что количество незамерзшей воды в диапазоне температур от –20 °C до –38 °C изменяется несущественно. Наибольшее изменение характерно для глинистых пород и составляет не более 0,015 кг/кг.

С помощью статистической обработки экспериментальных данных получены эмпирические зависимости количества незамерзшей воды в грунтах от температуры в широком диапазоне в виде

$$W_h = a_1(-t)^n + a_2, \quad (1)$$

где t – температура грунта (°C), a_1 , a_2 , n – эмпирические параметры, значения которых для исследованных образцов приведены в табл. 1.

С помощью стандартных формул для расчета аддитивной и эффективной теплоемкостей мерзлых горных пород и эмпирических параметров a_1 , a_2 и n , аппроксимирующих зависимость (1), можно рассчитать производную количества незамерзшей воды от температуры $\frac{dW_h}{dt}$, объемную теплоемкость за счет фазовых переходов $C_{\text{фоб}}$, аддитивную объемную теплоемкость $C_{\text{аоб}}$ и эффективную объемную теплоемкость $C_{\text{эфоб}}$ в диапазоне от температуры начала замерзания поровой влаги до –38 °C.

$$\frac{dW_h}{dt} = -a_1 n (-t)^{n-1}, \quad (2)$$

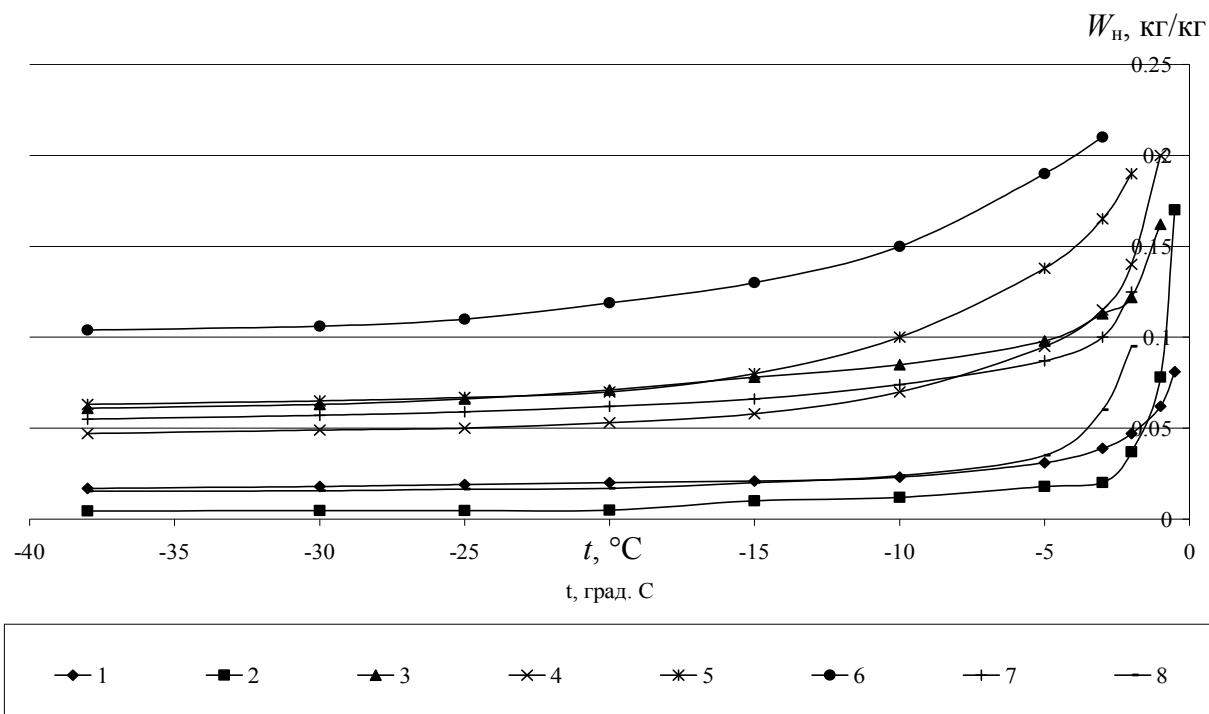
$$C_{\phi\text{об}} = L \frac{dW_h}{dt} \rho_{\text{ск}} = -La_1 n(-t)^{n-1} \rho_{\text{ск}}, \quad (3)$$

$$C_{\phi\text{об}} = [(W - a_1(-t)^n - a_2) C_{\text{л}} + (a_1(-t)^n - a_2) C_{\text{в}} + C_{\text{ск}} - n(-t)^{n-1} a_1 L] \rho_{\text{ск}}, \quad (4)$$

где W – влагосодержание, кг/кг; $C_{\text{л}}$ – удельная теплоемкость льда, Дж/(кг К); $C_{\text{в}}$ – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг К); $C_{\text{ск}}$ – удельная теплоемкость скелета грунта, Дж/(кг К); L – теплота фазового перехода вода–лед, Дж/кг; $\rho_{\text{ск}}$ – плотность скелета грунта, кг/м³.

В табл. 2 представлены значения эффективной объемной теплоемкости при температуре +10 °С и при трех отрицательных температурах, которые рассчитаны на основе экспериментальных данных по содержанию незамерзшей воды

непосредственно по формуле (4). Из приведенных в табл. 2 данных видно, что теплоемкость достигает максимальных значений при температуре –5 °С для всех типов грунтов. Объясняется это наибольшим вкладом, который вносит объемная теплоемкость за счет фазовых переходов $C_{\phi\text{об}}$ (последнее слагаемое в скобках в формуле (4)). После –10 °С вода замерзает и теплоемкость изменяется уже не так быстро, как в диапазоне температур, соответствующих фазовым переходам.



Зависимость количества незамерзшей воды в грунтах от температуры (глубина отбора проб исследованных грунтов, м): 1 – суглинок моренный (54); 2 – песок (368); 3 – алевролит (401); 4 – алеврит (424); 5 – глина алевритистая (482); 6 – глина (496); 7 – глина (668); 8 – песок (717)

Таблица 1. Параметры аппроксимации кривых зависимости незамерзшей воды от температуры

№ п/п	Порода	Глубина, м	Параметры аппроксимации		
			a_1	n	a_2
1	Суглинок моренный	54	0,045	-0,530	0,0110
2	Песок	368	0,075	-1,16	0,0034
3	Алевролит	401	0,141	-0,597	0,0460
4	Алеврит	424	0,166	-0,722	0,0350
5	Глина алевритистая	482	0,236	-0,708	0,0450
6	Глина	496	0,280	-0,573	0,0690
7		668	0,170	-0,780	0,0450
8	Песок	717	0,285	-1,486	0,0140

Таблица 2. Эффективная объемная теплоемкость исследованных грунтов

№	Порода	Глубина, м	Эффективная объемная теплоемкость, кДж/м ³			
			10 °C	-5 °C	-10 °C	-38 °C
1	Суглинок моренный	54	2662	3704	2636	2123
2	Песок	368	3385	4205	2 761	2358
3	Алевролит	401	3371	6237	3397	2113
4	Алеврит	424	3583	7254	3747	2326
5	Глина алевритистая	482	3490	9696	4 437	2280
6	Глина	496	3386	10 836	4876	2123
7		668	2937	7648	3471	1861
8	Песок	717	3029	7221	2963	2052

В табл. 3 представлены результаты определения коэффициентов теплопроводности исследованных грунтов. С понижением температуры от -10 °C до -38 °C теплопроводность грунтов возрастает в пределах 4–8 %, что объясняется увеличением льдосодержания и уменьшением количества незамерзшей воды с понижением температуры. При этом указанные изменения близки к вариации соответствующих характеристик за счет неоднородности соответствующих горных пород.

Оценка деформационно-прочностных характеристик. Физической величиной характеризующей деформационно-прочностные характеристики грунтов, исследованной в предлагаемой работе, являлось временное сопротивление сжатию (или прочность при одноосном сжатии σ). Измерения проводили на устройстве одноосного сжатия автоматизированного испытательного комплекса АИК «АСИС» производства ООО «НПП «ГЕОТЕК» (Россия), которое позволяло задавать скорость линейной деформации образца исследуемого грунта в диапазоне от 0,0001 мм/мин до 10 мм/мин и регистрировать зависимость силы воздействия на исследуемый образец от времени до разрушения образца. Точность определения силы, разрушающей образец, согласно техническим характеристикам комплекса «АСИС», составила 0,5 %. Нагрузоч-

ное устройство комплекса с образцом размещали в морозильной камере НКР 1, температура которой соответствовала заданной температуре испытаний. Следует отметить, для испытания образцов при температуре -38 °C камеру терmostатировали при температуре -20 °C, а образцы замораживали в специальной терmostатируемой оболочке в низкотемпературной камере малого объема при -38 °C. Потом образцы переносили в камеру испытания, где испытывали в терmostатируемой оболочке. Такой порядок проведения испытаний позволил эксплуатировать в щадящем температурном режиме нагрузочное устройство испытательного комплекса АИК «АСИС», сохранив при этом температуру образца в соответствии с температурой его замораживания в низкотемпературной камере.

Прочность для всех испытанных грунтов была определена при трех температурах: -5 °C, -12 °C и -38 °C. Результаты этих испытаний представлены в табл. 4. Все грунты исследованы при естественном влагосодержании. Из приведенных данных видно, что с понижением температуры от -12 °C до -38 °C прочность всех образцов при одноосном сжатии увеличивалась от 1,5 (образец № 4) до 3,0 раз. Это в целом соглашается с имеющимися в литературных источниках аналогичными данными [2, 5].

Таблица 3. Коэффициенты теплопроводности исследованных грунтов

№ п/п	Порода	Глубина, м	Плотность, кг/м ³	W, кг/кг	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)		
					t = 10 °C	t = -10 °C	t = -38 °C
1	Суглинок моренный	54	2340	0,095	2,49	3,11	3,33
2	Песок	368	2030	0,229	2,42	3,76	3,91
3	Алевролит	401	1920	0,225	1,38	2,14	2,29
4	Алеврит	424	1960	0,242	1,39	1,97	2,07
5	Глина алевритистая	482	2070	0,210	1,23	1,51	1,62
6	Глина	496	2050	0,202	1,15	1,29	1,39
7		668	2280	0,130	1,74	2,03	2,19
8	Песок	717	1970	0,197	2,22	3,59	3,73

Таблица 4. Прочность грунтов при одноосном сжатии

№ п/п	Горизонт, м	Вид грунта	Значение предельной нагрузки разрушения образца, МПа		
			$t = -5^{\circ}\text{C}$	$t = -12^{\circ}\text{C}$	$t = -38^{\circ}\text{C}$
1	77	Суглинок моренный	6,18	7,61	12,01
2	202	Алевролит с прослойками алеврита	6,03	8,36	13,81
3	311		5,06	6,81	11,56
4	352		5,48	7,65	11,46
5	403	Алеврит	5,82	7,60	11,50
6	455		3,95	4,60	11,25
7	478	Глина алевритистая	4,79	5,88	11,03
8	493		3,93	4,06	10,01
9	533		3,17	3,40	9,30
10	585		3,15	4,30	9,86
11	600	Песок	3,01	3,72	10,10
12	668		2,22	2,95	6,87
13	679	Глина	2,36	3,12	7,56
14	725	Песок	3,24	4,23	9,76

Необходимо учитывать, что при замораживании горных пород в процессе создания одноконтурного ледопородного ограждения (ЛПО) только сравнительно небольшая область ЛПО будет находиться в зоне значительных низких температур, близких к значениям температуры замораживающего рассола. Согласно нормативным и литературным источникам [3, 4], принимается, что средняя температура ЛПО составляет 35–40 % от температуры рассола, циркулирующего в замораживающих скважинах, именно к этой температуре привязываются теплофизиче-

ские и прочностные характеристики. Например, при температуре замораживающего рассола – 38 °С средняя температура ЛПО составляет порядка –15 °С. Это факт принимается во внимание при оценке деформационно-прочностных характеристик замороженных горных пород. Для более точной оценки эффективной прочности ЛПО необходимо учитывать распределение температуры в замораживаемом массиве и полученные зависимости прочностных характеристик от температуры.

Литература

1. **Бровка, А. Г.** Приборы и методы исследования теплофизических характеристик и фазового состава воды горных пород при отрицательных температурах / А. Г. Бровка, И. И. Романенко // Горная механика. – Солигорск, 2009. – № 1. – С. 71–79.
2. **Грунтоведение** / В. Т. Трофимов [и др.] ; под ред. В. Т. Трофимова. – 6-е изд. – М. : Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с.
3. **Инструкция** по проектированию и производству работ по искусственному замораживанию грунтов при строительстве метрополитенов и тоннелей / ВСН 189–78 ; Минтрансстрой. – М., 1978.
4. **Трупак, Н. Г.** Замораживание грунтов при строительстве подземных сооружений / Н. Г. Трупак. – М. : Изд-во «Недра», 1979.– 374 с.
5. **Цытович, Н. А.** Механика мерзлых грунтов / Н. А. Цытович. – М. : Высш. шк., 1973. – 448 с.

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 02.05.2017 г.

А. Г. Бровка, Г. П. Бровка, И. В. Дедюля, К. А. Агутин

**ЗАВИСИМОСТЬ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ**

Представлены результаты определения теплофизических и прочностных характеристик мерзлых грунтов естественной влажности с различных глубин залегания в диапазоне температуры до -38°C , соответствующем области изменения температуры при создании ледопородного ограждения. Показано, что в диапазоне температуры $-20\ldots-38^{\circ}\text{C}$ количество незамерзшей воды понижается на 3–12 % от соответствующих значений при -20°C , а коэффициент теплопроводности возрастает на 4–8 %. Показатели прочности на одноосное сжатие при понижении температуры от -12°C до -38°C увеличивались от 1,5 до 3,0 раз в зависимости от типа грунта и глубины его залегания.

A. G. Brovka. G. P. Brovka, I. V. Dedulya, K. A. Agytin

**THE DEPENDENCE OF THE THERMOPHYSICAL AND STRONG CHARACTERISTICS
OF FROZEN SOILS FROM TEMPERATURE**

The results of the determination of the thermophysical and strength characteristics of the frozen soils of natural moisture from various depths in temperature range up to -38°C corresponding to temperature range during the formation of the ice-shelter enclosure are presented. It is shown that in the temperature range of $-20\ldots-38^{\circ}\text{C}$ the amount of unfrozen water is reduced by 3–12 % from corresponding values at -20°C , and the coefficient of thermal conductivity increases by 4–8 %. The strength parameters for uniaxial compression as the temperature was lowered from -12°C to -38°C increased from 1.5 to 3.0 times, depending on the type of soil and the depth of its occurrence.

УДК 502.55

Л. Н. Гертман, П. П. Рутковский

РАСЧЕТ НОРМ ДОПУСТИМЫХ РЕКРЕАЦИОННЫХ НАГРУЗОК НА ВОДОЕМЫ БЕЛАРУСИ

В статье приведены разработанные методические подходы к комплексной оценке экологического риска и расчета норм допустимых рекреационных нагрузок на водоемы Беларусь. На основе предложенной методики проведен расчет норм допустимых рекреационных нагрузок на озеро Нарочь.

Рекреационное использование водоемов как один из видов хозяйственной деятельности может привести к неблагоприятным последствиям для водного объекта – экологическому риску и ухудшению экологического состояния (статуса) водоема.

Нормирование рекреационных нагрузок на водоемы является актуальной темой современных исследований и представляет практическое значение для организации рекреационной деятельности. Превышение рекреационных нагрузок негативно сказывается на экологическом состоянии водных экосистем, что влияет на комфортность отдыха и снижает рекреационный потенциал территории.

По оценкам Всемирной организации здравоохранения, использование водных объектов (морских и пресноводных) для рекреации может вызвать негативные последствия, связанные с воздействием ряда факторов, к которым относятся: физические (холод, тепло и солнечная радиация); качество воды (особенно воздействие воды, загрязненной сточными водами, а также воздействие патогенных микроорганизмов, свободно живущих в рекреационных водных объектах), загрязнение пляжа, водоросли и их токсичные продукты, опасные водные организмы [1]. В этой связи хороший экологический статус водного объекта является важным для безопасного его использования в целях рекреации.

Допустимые рекреационные нагрузки на водный объект (водоем) могут определяться по отдельным видам отдыха как допустимая нагрузка загрязнения вод.

Точность расчета рекреационной нагрузки напрямую зависит от выбора методического подхода, применяемого при расчетах. В настоящее время существует ряд методик оценки рекреационных нагрузок, в каждой из которой применяют определенные методические подходы. Расчет по разным методикам норм рекреационных нагрузок на один и тот же водоем зачастую дает различный результат, что не позволяет дать объективную оценку возможной степени воздействия на водный объект. В связи с этим возникает проблема выбора наиболее

оптимальных моделей расчета для определенных условий. Для решения данной проблемы необходим детальный анализ действующих методик и методических подходов, который даст возможность определить круг проблем, возникающих при нормировании рекреационных нагрузок и найти пути их решения.

Вопросами рекреации занимался ряд исследователей: В. С. Преображенский, Ю. А. Веденин, Н. С. Казанская, В. П. Чижова, М. Я. Лемешев, О. А. Щербина, А. И. Игнатенко, Г. А. Потаев, И. И. Пирожник и др. [2–8]. Вопросам, связанным с рекреационным водопользованием, посвящены работы А. Б. Авакяна, Ю. С. Васильева, В. А. Кукушкина, И. Д. Родичкина, Н. С. Шевцовой, И. В. Ланцовой, Н. Н. Блага, Н. А. Юргенсон и др. [9–15].

Для расчетов предельной рекреационной нагрузки на водные объекты в настоящее время используются подходы, разработанные в конце 1980-х годов [13]. Исследования, проводимые в РУП «ЦНИИКИВР», позволяют сделать вывод о том, что для расчетов допустимой рекреационной нагрузки, в том числе при проектировании, существующий подход не учитывает в полной мере всего комплекса факторов, действующих на водный объект. Так, не учитываются морфометрические параметры (объем, глубина), особенности гидрологического режима, в том числе проточность, водообмен, стратификация, водный и водохозяйственный баланс, существующий экологический статус водного объекта.

В Республике Беларусь использование водных объектов в рекреационных целях в настоящее время на законодательном уровне ограничивается соответствием гигиеническим нормативам безопасности воды, к которым относятся:

- предельно допустимые концентрации химических веществ в воде водных объектов;
- ориентировочные допустимые уровни химических веществ в воде водных объектов;
- органолептические показатели;
- микробиологические показатели;
- показатели радиационной безопасности.

Исходя из требований Водного кодекса, местные органы самоуправления в пределах своих полномочий определяют места пользования поверхностными водными объектами для рекреации, спорта и туризма, принимают меры по благоустройству этих мест и содержанию их в надлежащем состоянии.

Санитарные правила и нормы, в частности СНиП 10-7-2003 «Санитарные правила содержания территорий», определяют требования к состоянию рекреационных зон: условия их содержания, необходимые элементы благоустройства, а ТКП 45-3.01-116-2008 «Нормы планировки и застройки» – нормативы проектирования пляжных зон.

Однако нормативно-правовые документы не устанавливают размер или возможную степень воздействия самой рекреационной деятельности на водные объекты.

Для условий Республики Беларусь основными видами рекреационного использования водных объектов и прилегающей территории являются: купание, пеший и водный туризм, рыболовство различного типа (с берега, с лодок, зимняя рыбалка), использование парусных судов и устройств, весельных лодок и маломерного флота, охота на водоплавающую дичь.

Точность определения степени рекреационной нагрузки напрямую зависит от используемого методического подхода. Расчет возможных рекреационных нагрузок по разным методикам зачастую дает различные результаты, что не позволяет дать объективную оценку возможной степени воздействия на водный объект. В связи с этим возникает проблема выбора наиболее оптимальных моделей расчета для определенных условий.

С целью разработки методики комплексной оценки экологического риска и расчета норм допустимых рекреационных нагрузок в зонах отдыха на водоемах Беларуси в 2016 г. в рамках выполнения задания 1.18 подпрограммы 1 «Природные ресурсы и экологическая безопасность» ГПНИ «Природопользование и экология» проведен анализ современных подходов к оценке рекреационного использования водных объектов. Выполненные исследования показали, что при расчете допустимых рекреационных нагрузок необходимо учитывать следующее:

- нормы нагрузок не должны превышать допустимых объемов рекреационного использования, поэтому их следует определять не отдельно по различным критериям, а путем их соотношения и нахождения оптимальной величины с точки зрения особенностей отдельных видов рекреации, психофизиологической комфортности отдыха и устойчивости водного объекта (водоема) к антропогенным нагрузкам;

- ключевое значение имеют нормы допустимой единовременной рекреационной нагрузки: сезонные, годовые и установленные на более длительный период;

- допустимые объемы рекреационного использования водоемов должны определяться с учетом влияния других (нерекреационных) видов деятельности.

Предлагается проводить оценку степени возможной рекреационной нагрузки на водный объект на основе алгоритма, который учитывает исходное состояние водоема, источники воздействия на него и его ассимилирующую способность (см. рисунок).

При использовании данного алгоритма проводится комплекс исследований, включающих следующие основные элементы:

- сбор исходной информации о водном объекте (водоеме), который включает оценку природных условий и существующего антропогенного воздействия;

- определение существующих источников антропогенного воздействия и фоновые характеристики водоема;

- расчет нагрузки по планируемым видам рекреационного использования;

- комплексный анализ степени воздействия предлагаемых видов рекреационного использования на общее экологическое состояние водного объекта;

- определение и анализ ассимилирующей способности водоема;

- в случае, если ассимилирующая способность исчерпана, использование данного водоема в качестве рекреационного объекта невозможно без дополнительных исследований и проведения мероприятий по его реабилитации;

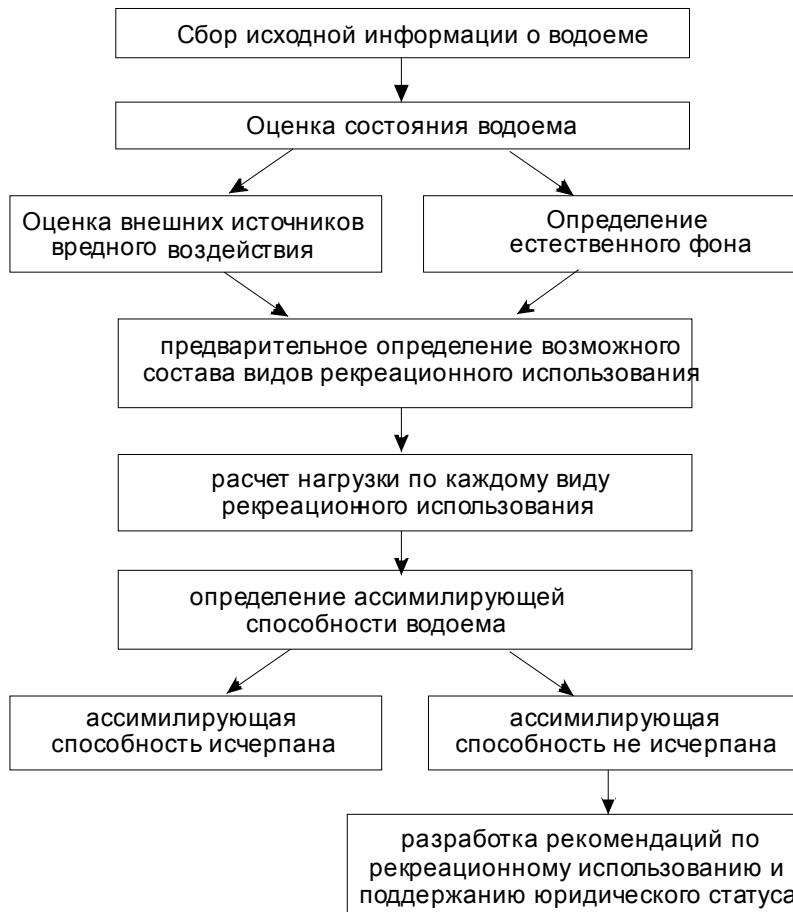
- в случае, если ассимилирующая способность не исчерпана, производится выбор возможных видов рекреационного использования данного водного объекта;

- составление регламента рекреационного использования водного объекта и состава мероприятий, обеспечивающих сохранение водного объекта и улучшение его экологического состояния.

Сбор исходной информации включает формирование основных данных по следующим критериям: морфометрическому, климатическому, гидрохимическому, гидрологическому, гидравлическому, биологическому, органолептическому.

Источником исходной информации служат фондовые материалы, топографическая основа, данные Государственного водного кадастра (далее – ГВК), результаты полевых рекогносцировочных обследований водного объекта.

При анализе существующего антропогенного воздействия определяется состав водопользователей, степень их воздействия на количественные и качественные характеристики водного объекта.



Алгоритм оценки степени возможной рекреационной нагрузки на водоем

Определение и анализ ассимилирующей способности водоема позволяет установить способность водного объекта принимать определенную массу веществ в единицу времени без нарушения нормативов качества воды в контролируемом створе или пункте водопользования.

Выбор возможных видов рекреационного использования водного объекта проводится с учетом рекреационных критериев, которые могут быть рекомендованы для конкретного водного объекта.

Расчет допустимой рекреационной нагрузки проводится в соответствии с требованиями относительно данного вида рекреационного использования и возможностей водного объекта по представленным в данной методике зависимостям и на основе экспертных оценок.

На стадии комплексной оценки влияния рекреационного использования водного объекта проводится определение суммарного воздействия предлагаемого состава рекреационных видов на гидрологические, гидрохимические, гидробиологические, санитарно-гигиенические показатели водных ресурсов и определение пределов их применения при недопустимости превышения предельно допустимых концентраций

(далее – ПДК) загрязняющих веществ (далее – ЗВ) и плотности заполнения акватории и прибрежной территории.

В соответствии с полученной информацией дается общая экспертная оценка состояния водоема по морфометрическому, климатическому, гидрохимическому, гидрологическому, гидравлическому, биологическому, органолептическому критериям в целях возможности его рекреационного использования.

Расчет нагрузки по каждому виду рекреационного использования водного объекта (водоема) осуществляется на основании допустимого норматива и соответствующей характеристики водного объекта.

Оценка допустимой нагрузки по отдельным видам рекреационного использования водного объекта (водоема) проводится в соответствии с его характеристиками и с учетом рекомендуемых рекреационных нагрузок.

Расчет влияния нагрузки по отдельным видам рекреационного использования предлагается проводить по следующим зависимостям.

При расчете нагрузки от купания (L_k) используется количество отдыхающих, продолжительность рекреационного сезона, площадь водо-

ема, норматив поступления загрязняющего вещества от одного отдыхающего во время купания.

Для определения поступления ЗВ применима зависимость

$$L_k = \frac{L_{k_1} T_c K}{F}, \quad (1)$$

где L_k – общее поступление ЗВ от отдыхающих за рекреационный сезон, г; L_{k_1} – поступление ЗВ от одного отдыхающего во время купания г/сут; T_c – продолжительность сезона, сут.; K – число отдыхающих за сезон, чел.; F – площадь водоема, га.

Ориентировочное количество отдельных ЗВ, поступающих от одного отдыхающего в водный объект, приведено в табл. 1 по данным работы [13].

Расчет допустимого числа рыбаков проводится по формуле

$$H = \frac{1}{k} \cdot \frac{FV}{Tm}, \quad (2)$$

где H – ежедневная допустимая норма количества рыбаков-любителей на водоем, чел.; k – правочный коэффициент «на удачу» равный 0,33; F – площадь водоема, га; V – оптимальный вылов рыбы с 1 га (11,8 кг/га); T – количество дней продуктивного отлова рыбы (240 дней); m – норма вылова рыбы на одного любителя рыболова равная 5 кг.

Расчет поступления загрязняющих веществ от любительского рыболовства определяется ориентировочно по суточным поступлениям загрязняющих веществ (табл. 2).

Масса загрязняющих веществ определяется по формуле

$$M_{\text{зв}} = m_2 HT, \quad (3)$$

где m_2 – поступление (масса) данного ЗВ от одного рыболова, г; H – количество рыболовов на акватории, чел.; T – период продуктивного отлова рыбы, дн.

Основной характеристикой оценки рекреационной нагрузки при использовании маломерных моторных судов является допустимое их количество, которое рассчитывается из условия предотвращения отрицательного воздействия на водный объект, в основном нефтепродуктов.

Влияние **моторного флота с подвесными лодочными моторами** (далее – ПЛМ) на санитарное состояние водоемов определяется с учетом поступления горюче-смазочных материалов (далее – ГСМ) от двигателей. За час работы мотора типа «Вихрь» в воду выделяется около 142 мл ГСМ. За период навигации с одного судна возможно поступление 10 кг нефтепродуктов.

Расчет поступления количества ЗВ_c от использования моторных маломерных судов для озер и водохранилищ осуществляют по формуле

$$ZB_c = 10n, \quad (4)$$

где 10 – количество нефтепродуктов, поступающих за период навигации, кг; n – допустимое количество моторных маломерных судов, ед.

Использование маломерного флота регламентируется решениями местных органов самоуправления.

С учетом выше изложенного производится расчет общего поступления ЗВ в водный объект от контактных видов рекреации.

Анализ возможности использования водного объекта для различных видов рекреации проводится на основании соотношения данных о состоянии водного объекта (водоема) и нормативов качества (ПДК), исходя из требований действующих нормативных правовых актов в области использования и охраны водных ресурсов (Водного кодекса, Постановления Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь № 13 от 30.03.2015 г., ТКП 17.13-11-2013 (02120)).

При оценке ассимилирующей способности оценивается возможность водного объекта принимать определенную массу веществ в единицу времени без нарушения нормативов качества воды в контролируемом створе или пункте водопользования без ухудшения его экологического

Таблица 1. Поступление загрязняющих веществ в водный объект от одного отдыхающего, г/сут [13]

Вид отдыха	Фосфор	Азот	Хлориды	Натрий	Кальций	Магний	Калий
Отдых на берегу	1,4	14	–	–	–	–	–
Купание	0,1	3,1	1,34	0,78	0,04	0,04	0,74

Таблица 2. Поступление загрязняющих веществ в водный объект от одного рыболова, г/сут

Вид отдыха	Взвешенные вещества	Азот	Фосфор	Хлориды	Прочие вещества
Любительское рыболовство	25	3	1,4	4	280

состояния (статуса), т. е. ассимилирующая способность водоема по зависимости

$$\sum \frac{\Pi ZB_i}{W_{об}} + 3ZP_{i_{ест}} < PDK_i, \quad (5)$$

где ΠZB_i – поступление ЗВ от рекреационной деятельности за сезон, г; $W_{об}$ – объем воды с учетом водообмена в водоеме за рекреационный период; $ZP_{i_{ест}}$ – естественное содержание загрязняющего вещества, мг/дм³; PDK_i – предельно допустимая концентрация ЗВ.

В свою очередь, $W_{об}$ определяют по зависимости

$$W_{об} = W_{вод} + Q_{50\%об} T, \quad (6)$$

где $W_{вод}$ – объем водоема, м³; $Q_{50\%об}$ – расход водообмена 50 % обеспеченности, м³/с; T – продолжительность рекреационного сезона, с.

Оценка ассимилирующей способности водоема производится по значению концентрации ЗВ по сравнению с допустимыми (ПДК).

В случае если имеется превышение ПДК веществ по определенным видам рекреационного использования или по их суммарному воздействию – ассимилирующая способность исчерпана, использование данного водоема в качестве рекреационного объекта невозможно без дополнительных исследований и проведения мероприятий по его реабилитации.

Ассимилирующая способность не исчерпана, если отсутствует превышение ПДК веществ.

При существенной антропогенной нагрузке необходимо учитывать влияние различных источников загрязнения. Выявление доли загрязнений рекреационного происхождения может быть проведено на основе суммарного поступления веществ из таких источников, как сброс сточных вод от промышленных предприятий и животноводческих комплексов, поступление рассредоточенного стока с сельскохозяйственных, селитебных территорий, с речным стоком и из атмосферы и др.

Составление регламента рекреационного использования водного объекта и состава мероприятий, обеспечивающих сохранение водного объекта и улучшение его экологического состояния, производится с учетом степени возможной рекреационной нагрузки и ассимилирующей способности водоема с учетом состояния водоема (экологического статуса). Регламент рекреационного использования водного объекта (водоема) составляется при разработке проекта рекреационного использования водоема в соответствии с действующими нормативными правовыми документами.

Требования к расположению и обустройству рекреационных зон на водных объектах разрабатываются согласно действующим техническим нормативным правовым актам.

Соблюдение допустимых рекреационных нагрузок позволяет снизить негативное воздействие на качество окружающей среды и, наоборот, их превышение приводит к выводу системы из равновесного состояния и, в конечном счете, процессы дегрессии береговых и аквальных комплексов могут стать необратимыми. В случае проявления признаков нарушения системы следует снизить нагрузку по виду рекреационного использования, вызвавшему нарушение, или, по возможности, заменить данный вид природопользования более безопасным. Наряду с этим необходимо разрабатывать и внедрять комплекс мероприятий, снижающих ущерб качества среды по данному виду рекреационных занятий.

Предлагаемая методика позволяет оценить экологический риск для водоема с точки зрения расчета превышения ассимилирующей способности водоема от воздействия на него различных видов рекреационного использования. На ее основе проведена оценка рекреационного потенциала озера Нарочь (табл. 3). Ниже помещены результаты оценки состояния этого водоема и степени возможной рекреационной нагрузки, в том числе с использованием данных работ [16–20].

Наиболее часто встречающимися типами погоды являются комфортный и прохладный дискомфортный. Реже наблюдается жаркий дискомфортный период. Количество дней с незначительными осадками в каждом месяце колеблется в среднем от 5 до 15 дней.

Таблица 3. Исходная информация по гидрологическим, гидравлическим и морфометрическим характеристикам озера Нарочь

Показатель	Значение
Площадь зеркала водного объекта F , км ²	79,60
Средняя глубина $H_{ср}$, м	8,90
Максимальная глубина H_{max} , м	24,80
Колебания уровня воды в весенне-летний период, м	0,08
Объем воды W , млн м ³	710,00
Площадь водосбора $F_{вод}$, км ²	199,00
Длина береговой линии $L_{бер}$, км	41,00
Длина водоема L , км	12,80
Ширина водоема S , км	9,80
Площадь акватории до глубины, %:	
0,7 м	4,47
1,5 м	12,20
2,0 м	14,25
Коэффициент изрезанности береговой линии	1,27
Показатель открытости	8,80
Показатель удельного водосбора	3,50
Удельный водообмен, раз в год	0,09
Поверхностный сток, млн м ³	30,70
Подземный сток, млн м ³	52,00

В теплый период года (с температурой воды и воздуха выше 17 °С) протяженность комфортных условий на рассматриваемой территории для различных видов отдыха составляет:

- для купания и подводного плавания при скорости ветра 0–2 м/с – 62–67 дней;
- для гребли на лодках и байдарках при скорости ветра 0–3 м/с – 109–115 дней;
- для катания на парусных судах при скорости ветра 4–8 м/с – 40–45 дней.

Исходя из этого, рассматриваемая территория для целей рекреации по климатическим условиям может быть оценена как благоприятная.

В гидрологическом отношении озеро Нарочь относится к числу слабопроточных водоемов и благоприятно для использования для широкого спектра рекреационного использования. Водообмен осуществляется через короткую протоку Схема из озера Мястро, которое соединено Баторинским ручьем с озером Баторино. Кроме того, Нарочь принимает воды 17 ручьев, главным образом, со стороны высоких склонов (Пронько, Антонинсберг, Урлики, Симоны и др.). Из озера вытекает река Нарочь, которая впадает в реку Вилию – правый приток Немана. Таким образом, озера Баторин и Мястро служат как бы буферной зоной, задерживая поступление в озеро Нарочь загрязняющих веществ.

При рекреационном использовании особую избирательность к качеству водной среды

предъявляют контактные (купание, подводное плавание, катание на водных лыжах) и промышленные (любительское рыболовство, подводная охота) виды отдыха.

Сводные сведения об органолептических, гидрохимических, биологических показателях озера Нарочь приведены в табл. 4–6, из которых видно, что они соответствуют существующим нормам, причем по гидрохимическим показателям нет ограничений по использованию рассматриваемого водоема для целей рекреации.

Сопоставление среднегодовых значений содержания в воде фосфора PO_4^{3-} , оксида азота NO_2 и аммонийного азота NH_4 с количеством организованных отдыхающих на побережье озера Нарочь показывает, что химическое загрязнение, напрямую зависящее от количества отдыхающих на побережье озера, не превышает допустимые к настоящему времени допустимые нормы.

На данный момент на территории озера располагается 10 стационарных учреждений и 3 туристических стоянки для организации отдыха. Общая единовременная вместимость стационарных учреждений составляет более 4 тыс. мест в осенне-зимне-весенний период и около 5 тыс. мест – в летний сезон, туристских стоянок (в летний сезон) – 720 мест.

Таблица 4. Органолептические показатели воды озера Нарочь

Показатель	Осенне-зимний период	Весенне-летний период
Взвешенные вещества, mg/dm^3	1,17	1,09
Плавающие примеси	На поверхности воды не обнаруживаются пленки нефтепродуктов, масел жиров и скопление других примесей	
Температура воды, °C	7,80	16,10
Прозрачность, м	7,70	6,75
Цветность, град.	5–7	
Окраска	Не обнаруживается	Не обнаруживается
Запах		1 балл

Таблица 5. Гидрохимические показатели озера Нарочь

Показатель	Осенне-зимний период	Весенне-летний период
Перманганатная окисляемость, mgO/dm^3		5–7
Биохимическое потребление кислорода, $\text{mg O}/\text{dm}^3$	1,38	0,9
Содержание кислорода, %	95	70
PO_4^{3-} , gP/dm^3		0,39
NH_4 , gN/dm^3		0,066
Водородный показатель (pH), ед.	7,76	8,37
Растворенный кислород, mg/dm^3	13,5	9,5
Химическое потребление кислорода, $\text{mg O}/\text{dm}^3$	25	21

Таблица 6. Биологические показатели озера Нарочь

Показатель	Осенне-зимний период	Весенне-летний период
Покрытие макрофитами зоны купания, %	49,8	52,4
Биомасса фитопланктона, g/m^2	2,92	1,45
Соотношение биомассы фито- и зоопланктона	1 : 2	1 : 3

По данным дирекции Национального парка «Нарочанский», количество организованных отдыхающих в 2014 г. в стационарах на побережье озера Нарочь составило 86 032 человека (в сезон массового отдыха, с мая по сентябрь, – 41 372 человека), рекреационная нагрузка – 1 054 022 человека·дня (с мая по сентябрь – 505 070 человеко·дней).

При проведении анализа допустимой и фактической нагрузки были использованы Нормативы допустимой рекреационной нагрузки на природные комплексы и экосистемы Национального парка «Нарочанский». Сравнение показало, что на северо-западном побережье озера Нарочь нагрузка превышает предельно допустимую.

Необходимо отметить, что применение методики расчетов соотношения допустимой и фактической рекреационной нагрузки несколько затруднительно, что связано с существующей практикой учета посещаемости курортных зон рекреантами. В Республике Беларусь статистическая отчетность ведется в годовом разрезе. Наличие информации в помесячном разрезе фрагментарное. В этой связи необходимо разработать дополнительные критерии расчета возможной рекреационной нагрузки на прибрежную зону с учетом наличия исходной информации и возможности ее сбора и применения.

В настоящее время в рекреационной зоне озера Нарочь актуальным остается вопрос распространения церкариоза, несмотря на ряд предпринимаемых мер: выкашивание прибрежной растительности, сбор легочных моллюсков, лечение водоплавающих птиц, оборудование пляжей душами, проведение разъяснительной работы по проблеме (устройство информационных щитов, издание буклетов и памяток), обустройство пляжей пирсами, которые позволяют миновать мелководную зону наиболее опасную в отношении распространения церкариоза. Пирсы можно рекомендовать для расширения использования акватории озера в местах произрастания высшей водной растительности.

Проведенные расчеты по зависимостям 1–9, сопоставление возможного объема поступления ЗВ в результате рекреационной деятельности и гидрологических, гидрохимических, климатиче-

ских и гидробиологических характеристик озера Нарочь, позволяют сделать вывод о возможности использования водоема для таких видов рекреации: как купание, катание на водных лыжах, катание на яхтах, гребля на лодках и байдарках, парусный спорт, любительское рыболовство с берега, с лодки, со льда.

Местными законодательными актами запрещено использование катеров, моторных лодок с двигателями внутреннего сгорания мощностью более 15 л. с., статус озера не предусматривает использование его как охотничьего хозяйства (охота на водоплавающих птиц), вследствие этого данные виды рекреации развивать на озере Нарочь не рекомендуется.

Допустимая рекреационная нагрузка по видам рекреационного использования акватории озера Нарочь в соответствии с полученными результатами приведена в табл. 7.

Как показали расчеты, в настоящее время на озере Нарочь не достигнута предельная рекреационная нагрузка. Данный вывод подтверждается и большой прозрачностью этого водоема, которая по данным биологической лаборатории Белгосуниверситета составляет более 6 м.

Перспективными видами рекреационного использования являются увеличение оборудованных пляжей, внедрение подводного плавания и подводной охоты, буерного спорта, расширение сети туристических маршрутов.

Для оценки достоверности предлагаемого алгоритма предполагается провести его апробацию для комплексной оценки экологического риска и расчета норм допустимых рекреационных нагрузок в зонах отдыха других водных объектов: озер Лукомльское, Нещердо, Выгонощанско и водохранилища Заславльское. Они также используются для различных видов рекреации, однако в отличие от озера Нарочь испытывают и другие виды антропогенной нагрузки. Это позволит провести апробацию методики в условиях значительного антропогенного воздействия, когда определяется состав водопользователей, степень их воздействия на количественные и качественные характеристики водного объекта в сочетании с комплексной оценкой влияния рекреационного использования водного объекта.

Таблица 7. Допустимая рекреационная нагрузка по видам рекреационного использования акватории озера Нарочь

Вид рекреационного использования	Допустимый норматив	Допустимая нагрузка
Купание	126 чел/га	120 тыс. чел.
Катание на водных лыжах	0,35 чел/км	240 чел.
Катание на яхтах / Парусный спорт	0,01 судно/га	70 судов
Гребля на лодках и байдарках	0,35 лодки/га	1400 судов
Любительское рыболовство: с берега с лодки / со льда	300 м/чел. 4 чел/га	140 чел. 2800 чел.

Литература

1. **Addendum to Guidelines for Safe Recreational Water Environments / World Health Organization.** – Geneva, Switzerland, 2009. – Vol 1 : Coastal and fresh waters. – 36 p.
2. **География** рекреационных систем СССР / под ред. В. С. Преображенского, В. Н. Кривошеева. – М. : Наука, 1980. – С.17.
3. **Методические** указания по характеристике природных условий рекреационного района / В.С. Преображенский [и др.] ; под общ. ред. В. С. Преображенского // Географические проблемы организации туризма и отдыха. – М.: Центр. реклам.-информ. бюро «Турист», 1975. – Вып. 1. – С. 50–112.
4. **Казанская, Н. С.** Изменения экосистем под воздействием рекреации / Н. С. Казанская // Социально-экономические и географические исследования территориальных рекреационных систем. – М. : Наука, 1980. – С. 94–105.
5. **Чижова, В. П.** Рекреационные нагрузки в зонах отдыха / В. П. Чижова. – М. : Знамя, 1977. – 49 с.
6. **Игнатенко, А. И.** Рекреационные территориальные системы: научные основы развития и функционирования / А. И. Игнатенко. – Киев : УМК при Минвuze УССР, 1989. – 87 с.
7. **Потаев, Г. А.** Рекреационные ландшафты Белоруссии / Г. А. Потаев. – Минск : Университетское, 1996. – 112 с.
8. **Потаев, Г. А.** Рекреационные ландшафты: охрана и формирование / Г. А. Потаев. – Минск : Універсітєцка, 1996. – 160 с.
9. **Авакян, А. Б.** Рекреационное использование водохранилищ / А. Б. Авакян. – М. : Мысль, 1990. – 151 с.
10. **Рекреационное** использование водохранилищ: проблемы и решения / А. Б. Авакян [и др.]. – М. : Наука, 1990. – 152 с.
11. **Блага, Н. Н.** Географические различия и пути оптимизации использования рекреационно-ресурсного потенциала горно-приморских территорий Крыма : дис. ... канд. геогр. наук / Н. Н. Блага. – Симферополь, 2000. – 134 с.
12. **Васильев, В. И.** К вопросу методологии исследования влияния рекреационной деятельности на водные объекты / В. И. Васильев, Ю. Д. Коваль // Проблемы охраны вод. – Харьков, 1975. – Вып. 6. – С. 36–40.
13. **Васильев, Ю. С.** Использование водоемов и рек в целях рекреации / Ю. С. Васильев, В. А. Кукушин. – Л. : Гидрометеоиздат, 1988. – 229 с.
14. **Ланцова, И. В.** Геоэкологическая оценка и рациональное использование рекреационного потенциала береговых зон водохранилищ : дис. ... д-ра геогр. наук / И. В. Ланцова. – М., 2009 – 371 с.
15. **Шевцова, Н. С.** Рекреационное использование и оценка водных объектов (на примере озер Беларуси) : дис. ... канд. геогр. наук / Н. С. Шевцова. – Минск, 2001. – 162 с.
16. **Разработка** схемы перераспределения рекреационной нагрузки по территории Национального парка «Нарочанский» : отчет о НИР (заключительный) / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т зоологии ; науч. рук. Н. А. Юргенсон. – Минск, 2005. – 86 с. – № ГР 20052764.
17. **Бюллетень** экологического состояния озер Нарочь, Миштра, Баторино (2000–2015). – Минск : БГУ, 2000–2015.
18. **Михан, О. Н.** Рекреационные нагрузки на озера Минской области / О. Н. Михан, М. Ю. Калинин. – Минск : ООО «Белсэнс», 2010. – 144 с.
19. **Батиметрия** озер Белоруссии : справочник. – Минск : Минсктиппроект, 2004. – 284 с.
20. **Справочник** по климату Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://pogoda.by/climat-directory/>. – Дата доступа : 30.07.2016.

**Центральный научно-исследовательский институт
комплексного использования водных ресурсов, Минск, Беларусь**

Поступила в редакцию 03.01.2017 г.

Л. Н. Герман, П. П. Рутковский

РАСЧЕТ НОРМ ДОПУСТИМЫХ РЕКРЕАЦИОННЫХ НАГРУЗОК НА ВОДОЕМЫ БЕЛАРУСИ

Рекреационное использование водоемов как один из видов хозяйственной деятельности может привести к неблагоприятным последствиям для водного объекта – экологическому риску и ухудшению экологического состояния (статуса) водоема. В статье приведены методические под-

ходы к комплексной оценке экологического риска и расчета норм допустимых рекреационных нагрузок на водоемы Беларусь. Данная методика позволяет оценить экологический риск для водоема с точки зрения расчета превышения ассимилирующей способности водоема от воздействия на него различных видов рекреационного использования. На основе предложенной методики проведен расчет норм допустимых рекреационных нагрузок на озеро Нарочь.

L. N. Hertman, P. P. Rutkovsky

**THE CALCULATION OF THE NORMS OF PERMISSIBLE RECREATIONAL LOADS
ON BELARUS WATER RESERVOIRS**

The recreational use of water reservoirs as one of the types of economic activity can lead to adverse consequences in relation to a water object – environmental risk and the degradation of the ecological condition (status) of the reservoir. The article represents methodological approaches to the integrated assessment of environmental risk and the calculation of the norms of permissible recreational loads on water reservoirs of Belarus. This method allows to evaluate an environmental risk for the reservoir from the point of view of the calculation of the excess of the assimilative capacity of the reservoir from the exposure of the different types of recreational use. On the basis of the method proposed the norms of permissible recreational loads on the Naroch Lake were calculated.

В. П. Музыкин, Ю. Ф. Антипович**ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТИ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИН
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛОКАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ПОДЗЕМНЫХ ВОД
В ЗОНАХ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

Рассмотрен опыт создания в Беларуси сетей пунктов наблюдений и проведения локального мониторинга подземных вод в районах объектов, осуществляющих экологически опасную деятельность. Дан анализ основных недостатков и ошибок при планировании размещения пунктов наблюдений.

Локальный мониторинг проводится с целью наблюдений за состоянием окружающей среды в районах расположения объектов хозяйственной и иной деятельности, являющихся источниками вредного воздействия на окружающую среду, в том числе экологически опасной деятельности. Сеть пунктов локального мониторинга, объектом наблюдения которого являются подземные воды, в Беларуси уже начала формироваться, а результаты целенаправленно обрабатываются с 2005 г. В настоящее время наблюдения за состоянием подземных вод ведутся на 291 объекте, осуществляющем экологически опасную деятельность, где суммарно оборудовано более 1300 наблюдательных скважин. Все объекты наблюдений локального мониторинга подземных вод могут быть объединены в группы: захоронений пестицидов, полигоны твердых коммунальных и промышленных отходов, поля орошения животноводческими стоками, поля фильтрации, иловые площадки очистных сооружений, объекты энергетики, металлургии, машиностроения, химической и нефтехимической промышленности.

Для проведения локального мониторинга подземных вод в Беларуси создана соответствующая нормативная база: в настоящее время постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь (Минприроды Республики Беларусь) от 11 января 2017 г. № 5 определен перечень юридических лиц, осуществляющих экологически опасную деятельность, для которых проведение локального мониторинга подземных вод является обязательным, установлен порядок проведения мониторинга подземных вод Инструкцией о порядке проведения локального мониторинга окружающей среды юридическими лицами, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность, которая оказывает вредное воздействие на окружающую среду, в том числе экологически опасную деятельность (в редакции постановления Минприроды Республики Беларусь от 11 января 2017 г. № 4) и разработан ТКП 17.06-01-2007 «Охрана окружающей

среды и природопользование. Гидросфера. Правила размещения пунктов наблюдений за состоянием подземных вод для проведения локального мониторинга окружающей среды».

В общем случае, при проведении хозяйственной и иной деятельности воздействие на подземные воды связано [1]:

а) с ухудшением потребительских свойств подземных вод по количественным и качественным показателям, вследствие чего затрудняется или исключается возможность использовать подземные воды в районе источника по целевому водопользованию;

б) с негативными изменениями параметров других компонентов природной среды, взаимосвязанных с подземными водами (поверхностные водные объекты, лесные насаждения, ландшафтные условия и др.).

Ухудшение количественных и качественных показателей подземных вод может происходить с изменением и без изменения гидродинамической структуры водоносного пласта. Воздействие с изменением структуры, прежде всего, выражается в истощении водоносных горизонтов. Воздействие без изменения структуры водоносного пласта не вызывает существенных изменений в режиме подземных вод, ограничиваясь, как правило, формированием ореолов загрязнения подземных вод по одному (нескольким) компонентам.

Загрязнение подземных вод в условиях Беларуси является основным видом воздействия на подземные воды объектов, осуществляющих экологически опасную деятельность, образуя на прилегающих территориях в горизонтах подземных вод специфические ореолы. Как правило, ореолы загрязнения имеют овальную форму, вытянутую в направлении потока грунтовых вод. Размеры ореолов загрязнения определяются мощностью источника техногенного воздействия и местными гидролого-гидрогеологическими условиями. Например, исследования РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов» (ЦНИИКИВР) по оценке влияния на подземные

воды полей фильтрации как источников установленного сброса сточных вод в подземные воды, выполненные в 2006–2007 гг. в рамках исследовательских работ Республиканского фонда охраны природы, показали:

а) удаление границ ореолов загрязнения по изолиниям относительной концентрации $C/C_{ПДК} = 1$ от контуров полей фильтрации составляет от 175 до 375 м;

б) максимальное расстояние рассеивания загрязняющих веществ по потоку подземных вод до значений, соответствующим фоновым значениям показателей загрязнения, составляет от 342 до 440 м;

в) величина бокового рассеивания загрязняющих веществ в направлении перпендикулярному потоку подземных вод составляет 200–250 м.

Изложенные выше результаты исследований по установленному сбросу загрязняющих веществ в подземные воды, приняты в качестве исходных для обоснования местоположения пунктов наблюдений локального мониторинга подземных вод на участках объектов, осуществляющих экологически опасную деятельность. Для создания сети пунктов наблюдений и проведения локального мониторинга подземных вод в качестве основных принципов определены такие, как:

1) **целевой** – ориентация на получение необходимой и точной информации о формировании ореола загрязнения подземных вод в районе источника воздействия и его пространственно-временном развитии;

2) **причинности** – ориентация на предварительное изучение происхождения и масштабов загрязнения подземных вод в районах действующих источников либо его прогнозирование для проектируемых объектов – потенциальных источников загрязнения подземных вод;

3) **оптимальности** – ориентация на минимальные затраты для достижения заданной цели.

Получение достоверной информации о формировании ореолов загрязнения в районе источника воздействия, прежде всего, необходимо для контроля состояния подземных вод. Установление причинности образования ореолов загрязнения важно для обоснования мероприятий по предотвращению и ликвидации загрязнения. В районах объектов воздействия, имеющих смежные границы земельных участков, формируемые ореолы могут перекрываться, образуя общие области загрязнения. Интенсивность вклада каждого объекта в формирование таких областей может быть установлена только постановкой специальных гидрогеологических исследований. Итогом таких исследований и последующего мониторинга должна быть информация,

позволяющая разграничить ответственность субъектов хозяйствования.

В ТКП 17.06-01-2007 установлена трехстадийная последовательность создания сети локального мониторинга подземных вод. На первой стадии выполняются специальные гидрогеологические исследования, целью которых является оценка масштабов загрязнения подземных вод либо изучение условий миграции загрязняющих веществ в подземных водах для проектируемых объектов, которые потенциально могут оказывать вредное воздействие на подземные воды. На второй стадии по результатам гидрогеологических исследований разрабатывается проект строительства пунктов наблюдений для проведения локального мониторинга подземных вод. На третьей стадии осуществляется строительство этих пунктов.

В качестве критического показателя для оценки масштабов загрязнения подземных вод определено следующее положение: источники вредного воздействия не должны вызывать загрязнение поверхностных и подземных вод свыше норм ПДК за пределами границ их санитарно-защитных зон (СЗЗ), где они используются или могут быть использованы для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения. Превышение гигиенических нормативов качества компонентов окружающей среды на границе СЗЗ (в том числе и для поверхностных и подземных вод) является, в соответствии с законодательством, критерием необходимости разработки и применения мероприятий по снижению воздействия, а также возникновения ответственности за данное нарушение.

Основанием для установления такого критического показателя допустимого воздействия на природные воды также явились исследования ЦНИИКИВР 2006–2007 гг. по оценке влияния на подземные воды полей фильтрации, в результате которых получены опытные данные о естественной локализации ореолов загрязнения от установленных сбросов до фоновых значений в пределах зоны, ширина которой не превышает удвоенную ширину СЗЗ этих объектов. Локализацию ореолов подземных вод обеспечивают разбавление и фильтрационная дисперсия загрязнения в их потоке. Эффект разбавления обусловливается наличием внешних дополнительных резервов в потоках подземных вод – естественных ресурсов, которые служат показателем ежегодного (сезонного) пополнения подземных вод водой с качественным составом, соответствующим качеству атмосферных осадков. Атмосферные осадки на территории Республики Беларусь по своему качеству всегда менее минерализованы, чем подземные воды и повсеместно служат для них в качестве разбавляющего фактора [2]. При фильтрационной дисперсии

происходит рассеивание загрязняющих веществ в потоке подземных вод благодаря тому, что загрязняющее вещество распределяется в большем сечении, чем начальное в направлении данного потока. Основные свойства фильтрационной дисперсии состоят в том, что:

- она формирует объем рассеяния, который в изотропной неограниченной и равномерно проницаемой среде имеет форму конуса; пространственная закономерность распределения вещества в конусе рассеяния соответствует уравнению нормального распределения;

- при ней распределение концентраций внутри ореола стационарно при постоянном поступлении загрязняющих веществ [3].

Пункты наблюдений должны размещаться по профилям, особенности расположения которых, установлены ТКП 17.06-01-2007. Обязательным условием является размещение фонового пункта относительно источника воздействия вверх по потоку подземных вод либо вверх по рельефу местности в области незагрязненных вод, а контрольных пунктов – непосредственно у источника загрязнения и за пределами его прогнозируемой границы воздействия, вниз по потоку подземных вод.

На практике, при создании сети пунктов наблюдений и проведении локального мониторинга подземных вод, далеко не всегда следуют изложенным выше принципам. Часто при обследовании авторами статьи сетей пунктов наблюдений оказывалось, что они не соответствуют нормативным требованиям, а перед их собственниками стоят вопросы ответственности за загрязнение. Анализ результатов таких обследований показал, что существуют три основные проблемы, которые зачастую сводят на нет всю информативность сетей:

- 1) отсутствие или недостаточно обоснованное размещение фоновых пунктов наблюдений, т. е. пунктов, расположенных от источников воздействия вверх по потоку подземных вод;

- 2) несоблюдение требований размещения контрольных пунктов наблюдений относительно прогнозного развития зоны воздействия;

- 3) размещение в сети «лишних», дублирующих друг друга пунктов наблюдений.

Типичные ошибки в создании сети локального мониторинга подземных вод и методы их устранения можно рассмотреть на примере сети шламонакопителя Лидских тепловых сетей. Шламонакопитель расположен на северной окраине города, на берегу водохранилища, и для контроля состояния грунтовых вод пункты наблюдений локального мониторинга подземных вод были просто размещены по контуру шламонакопителя, т. е. без обоснования фоновых и контрольных пунктов (см. рисунок, а). В результате со стороны надзорных органов к Лидским

тепловым сетям постоянно возникали вопросы, поскольку такое расположение пунктов наблюдений не позволяло осуществлять контроль развития загрязнения и, прежде всего, оценку степени воздействия шламонакопителя на грунтовые воды как источника водоснабжения прилегающей малоэтажной жилой застройки.

Для устранения данных недостатков было рекомендовано провести оптимизацию сети пунктов наблюдений у шламонакопителя с учетом нормативных требований и принципов оптимизации, предложенных в работе [4]. Для этого было проведено изучение условий миграции загрязнения от шламонакопителя в порядке, определенном п. 6.5 ТКП 17.06-01-2007. Анализ полученной информации показал, что на площадке шламонакопителя образован купол растекания загрязненных грунтовых вод, схемы формирования которого, построенная по данным единовременных замеров уровней грунтовых вод, а также границ расчетной прогнозной зоны воздействия (растекания), приведены на рисунке, б.

Анализ качества грунтовых вод у шламонакопителя показал (см. таблицу), что:

- на площадке шламонакопителя в границах прогнозной зоны воздействия прослеживается зона техногенного загрязнения грунтовых вод по содержанию хлоридов (по гигиеническим нормативам – до 2,02 ПДК), сухому остатку (до 2,0 ПДК), нефтепродуктам (до 1,2 ПДК), азоту аммонийному (до 5,0 ПДК), общему железу (до 43,3 ПДК);

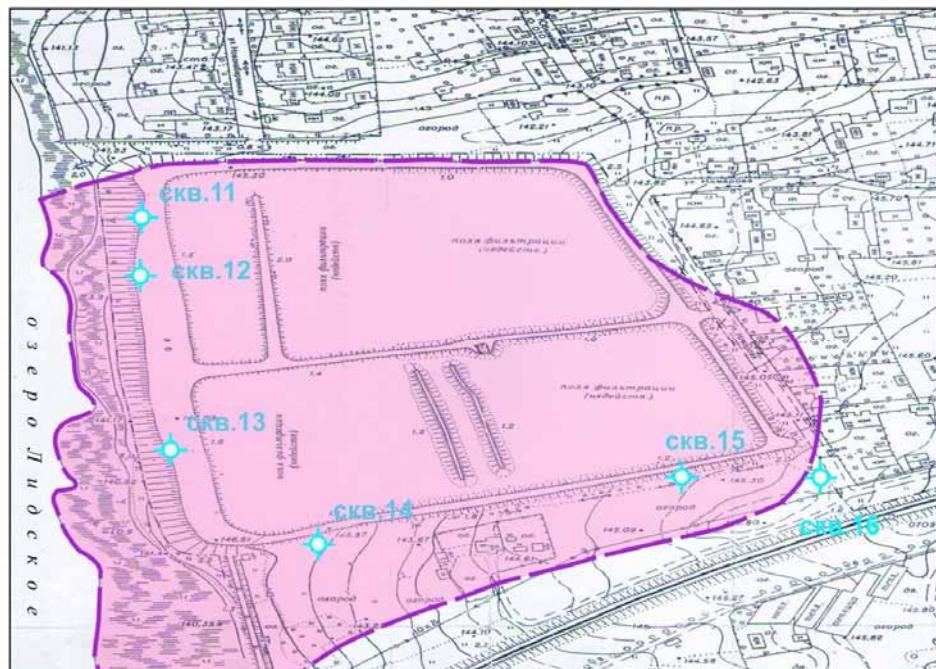
- на прилегающей территории малоэтажной жилой застройки прослеживается типичное бытовое загрязнение грунтовых вод по содержанию нитратов (до 2,6 ПДК) и повышенному содержанию сухого остатка (до 1,0 ПДК).

С учетом данной информации оптимизация сети локального мониторинга подземных вод проведена следующим образом:

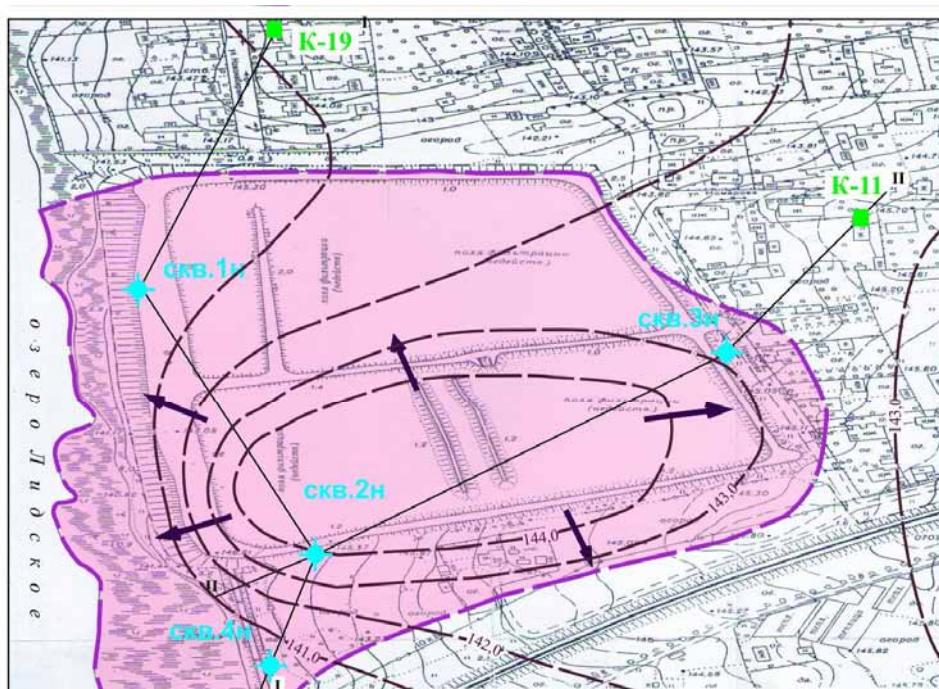
- качество грунтовых вод, формируемых в пределах малоэтажной жилой застройки, является фоновым по отношению к водам купола растекания; фоновыми пунктами наблюдений определены шахтные колодцы домов № 11 и 19, расположенные относительно шламонакопителя вверх по рельефу и потоку подземных вод;

- в системе локального мониторинга шахтные колодцы и наблюдательные скважины с учетом их технического состояния группируются по двум профилям, наблюдательная скважина № 4н оборудована как контрольный пункт наблюдений у границы прогнозируемой зоны воздействия;

- «лишними», дублирующими пунктами наблюдений являются скважины № 11, 13, 15, которые могут быть исключены из системы мониторинга без ущерба по отношению к требуемой информативности.



а



б

- | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|
| | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 |
|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|

Карта-схема размещения пунктов наблюдения локального мониторинга подземных вод в районе шламонакопителя Лидских тепловых сетей до (а) и после (б) ее оптимизации: 1 – граница прогнозной зоны воздействия; 2 – местоположение наблюдательных скважин; 3 – местоположение фонового пункта наблюдений; 4 – гидроизогипса уровня грунтовых вод и ее абсолютная отметка, м БС; 5 – направление движения загрязненных грунтовых вод от купола растекания; 6 – линия наблюдательного профиля в системе локального мониторинга подземных вод

**Состояние грунтовых вод в зоне прогнозного воздействия шламохранилища
Лидских тепловых сетей и за ее пределами, мг/дм³**

Номер пункта наблюдений	pH, ед	Сухой остаток	Азот аммонийный	Нитраты	Хлориды	Общее железо	Нефтепродукты
а) До оптимизации							
Скв. 11	8,15	1306	7,490	<0,37	577	0,63	0,042
Скв. 12	6,74	1425	0,980	<0,37	566	24,20	0,027
Скв. 13	8,25	430	5,930	<0,37	102	3,35	0,030
Скв. 14	11,43	407	0,860	<0,37	46,6	0,40	0,020
Скв. 15	8,39	1223	9,980	<0,37	433	2,52	0,040
Скв. 16	7,00	1983	0,780	<0,37	709	8,62	0,067
б) После оптимизации							
Колодец дома № 11	7,46	1011	0,078	53,60	52,3	0,06	0,012
Скв. 1н	7,39	1231	0,870	0,57	501	3,12	0,120
Скв. 2н	10,43	1168	0,660	0,95	496	1,24	0,020
Скв. 3н	6,84	1646	2,030	1,17	190	13,00	0,046
Скв. 4н	7,20	1068	0,090	2,39	341	4,35	0,048
Колодец дома № 19	7,30	913	0,078	118,60	55,0	0,03	0,013
ПДК, гигиенические нормативы	6–9	1000	2,0	45,0	350	0,3 (1,0)	0,1

Примечание. Полужирным шрифтом выделено содержание компонента больше ПДК.

По аналогичной схеме авторами проводилась оптимизация сетей локального мониторинга подземных вод и для других объектов хозяйствования. Например, до обследования сеть пунктов наблюдений в районах шламонакопителей Белорусского металлургического завода насчитывала 20 скважин. После выполнения оптимизации сети с учетом нормативных требований, рекомендовано использовать только 11, в том числе 2 новые скважины дооборудовать как фоновые.

Наличие обращений в ЦНИИКИВР как специализированное предприятие в области использования и охраны водных ресурсов позволя-

ет считать, что указанные недостатки в создании сетей локального мониторинга подземных вод имеют системный характер. Данная статья дает конкретные рекомендации по их устраниению уже на стадиях обоснования и создания сетей мониторинга, а также для учета предприятиями и организациями, осуществляющими их эксплуатацию. Весьма полезной в этом отношении может быть работа по обобщению данных локального мониторинга подземных вод в целом по республике и разработке рекомендаций по повышению эффективности его проведения.

Литература

1. Гольдберг, В. М. Методические рекомендации по выявлению и оценке загрязнения подземных вод : метод. рекомендации / сост.: В. М. Гольдберг, С. Г. Мелькановицкая, В. М. Лукьянчиков. – М. : ВСЕГИНГЕО, 1990. – 75 с.
2. Какарека, С. В. Химический состав атмосферных осадков / С. В. Какарека // Состояние природной среды Беларуси : экологич. бюл. 2011 г. / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2011 г. – С. 92–99.
3. Ковалевский, В. С. Принципы оптимизации мониторинга подземных вод / В. С. Ковалевский, С. М. Семенов // Геоэкология. – 1998. – № 6 – С. 21–32.
4. Фильтрационная дисперсия вещества // Формирование и строение ореолов рассеяния вещества в подземных водах / В. А. Грабовников [и др.] – М. : Изд. «Недра», 1977. – Гл. 3. – С. 43–62.

Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 28.04.2017 г.

В. П. Музыкин, Ю. Ф. Антипиович

**ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТИ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИН
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛОКАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ПОДЗЕМНЫХ ВОД
В ЗОНАХ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

В статье рассмотрен опыт создания в Беларуси сетей пунктов наблюдений и проведения локального мониторинга подземных вод в районах объектов, осуществляющих экологически опасную деятельность. Указано, что в республике имеется соответствующая нормативно-правовая база для проведения локального мониторинга подземных вод. Дан анализ основных недостатков и ошибок при планировании размещения пунктов наблюдений. Приведены примеры и методы их устранения.

V. P. Muzykin, Yu. F. Antipirovich

**THE OPTIMIZATION OF OBSERVATION WELLS' NETWORK
DURING THE REALIZATION OF LOCAL GROUNDWATER MONITORING
IN THE AREA OF TECHNOGENIC IMPACT**

The article touches upon the issue of the organizing of an observation points network in Belarus and carrying out local groundwater monitoring in area nearby dangerous for environment objects. It has been shown that there is an appropriate legislative and regulatory framework for carrying out the local groundwater monitoring in Belarus. An analysis of the main weaknesses and mistakes in the planning of an observation points placement is given. An examples of mistakes and methods of its correction are provided.

М. И. Струк, С. Г. Живнач

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ МИНСКА

Представлена оценка влияния городского развития на использование пригородных земель. Определены особенности распределения их основных видов: сельскохозяйственных, лесов, рекреационных, особо охраняемых природных территорий, водоемов по поясам пригородной зоны шириною 10 км, расположенным на различном удалении от города. Установлены территориальные различия в использовании земель и вытекающие из них оптимизационные меры.

Пригородная зона крупного города, в силу ее территориальной близости с ним, отличается особенно высокой интенсивностью природопользования. При этом со временем, по мере роста города, эта интенсивность увеличивается.

Кроме того, для указанной зоны характерно также сочетание различных по характеру взаимодействия с окружающей средой видов природопользования и объектов, как тех из них, которые предъявляют повышенные требования к ее качеству (водозаборы, места отдыха и оздоровления населения), так и видов и объектов, выступающих источниками воздействий на окружающую среду (сельскохозяйственные, энергетические, промышленные предприятия, свалки, дороги и др.). Здесь же размещаются лесные массивы, которые не только обеспечивают экологическую стабилизацию самой пригородной зоны, но и способствуют оздоровлению городской среды.

С учетом отмеченной высокой интенсивности и характера пригородного природопользования первостепенное значение для рассматриваемой зоны имеет оптимальное пространственное распределение составляющих его видов и объектов. Основным управленческим механизмом, обеспечивающим такое распределение, выступает территориальное планирование. По отношению к пригородной зоне применение данного механизма предусмотрено нормативной градостроительной документацией; она выступает самостоятельным объектом районной планировки [2].

Важнейшим условием обеспечения эффективности территориального планирования выступает учет объективных процессов и факторов развития природопользования и его пространственного распределения, без чего принимаемые решения могут оказаться нереализуемыми [4]. Отсюда важность их изучения.

Исследование выполнено применительно к пригородной зоне Минска. Она прилегает к границам крупнейшего в Беларуси города с численностью населения около двух миллионов человек, в силу чего обеспечение оптимальной территориальной организации природопользова-

ния в ее пределах имеют особенно высокую значимость.

Подобного рода вопросы находили отражение в проводившихся ранее исследованиях. Они имели отношение к пространственному распределению в пригородной зоне населения, мест отдыха и оздоровления городских жителей [5], ее геоэкологического районирования [7], организации экологической сети [9], эколого-географического обоснования формирования природного каркаса [8] и др. Вместе с тем территориальная организация пригородных земель, особенно в увязке с их удаленностью от города, изучена недостаточно.

Цель исследования – оценить территориальную организацию земельных угодий пригородной зоны Минска для устойчивого городского развития.

Задачи исследования:

- оценить влияние городского развития на использование пригородных земель и его специфику применительно к природно-ландшафтным условиям пригородной зоны Минска;
- выявить особенности современной территориальной организации земель пригородной зоны Минска и определить пути ее оптимизации для обеспечения устойчивого развития города.

Влияние городского развития на использование земель пригородной зоны Минска. Пригородная зона Минска, согласно проекту ее планировки, выделена вокруг города на удалении примерно 60 км от его границ [1]. В основу такого выделения положена теснота трудовых, производственных, рекреационных и иных связей города с окружающими территориями.

В состав рассматриваемой зоны входят 13 административных районов, из них 3 (Минский, Смолевичский, Дзержинский) полностью и 10 (Вилейский, Логойский, Борисовский, Червенский, Пуховичский, Узденский, Столбцовский, Воложинский, Молодечненский, Вилейский) – частично. Несовпадение планировочных границ зоны и границ административных районов осложняет ее управление.

Использование земельных угодий пригородной зоны, как и любой иной территории, определяется общественными потребностями, в которых сочетаются общегосударственные и местные интересы. Применительно к пригородной зоне к таковым добавляются интересы города; в ее пределах формируются виды землепользования, направленные на обеспечение его нужд. Кроме того, на данной территории прослеживается также роль города как фактора притяжения населения.

Влияние города на использование пригородных земель со временем усиливается и изменяется качественно. Так, для Минска до 1970-х годов приоритетное значение имела сельскохозяйственная функция пригородной зоны, ориентированная на снабжение города малотранспортабельной и скоропортящейся продукцией, что способствовало формированию здесь сельскохозяйственных угодий с пригородной специализацией. В 1970-е годы резко возросла роль рекреационной функции, в результате чего на прилегающей к городу территории были построены многочисленные дачные поселения, а также водохранилища, которые выступили ядрами создаваемых здесь зон отдыха и оздоровления городского населения. К 1980-м годам обострилась экологическая ситуация, что повысило значение пригородных лесов. С начала 1990-х годов произошла активизация процессов субурбанизации, которая сопровождалась повышением темпов застройки пригородной территории [5].

Субурбанизация как объективная стадия развития расселения предполагает создание предпосылок для перемещения на пригородную территорию жителей самого крупного города. В результате усиливаются стимулы роста ее заселения. Помимо имманентно присущего данному городу свойства притяжения в его окрестности населения извне добавляется также и фактор переселения туда непосредственно городских жителей.

Интенсивность субурбанизации, очевидно, должна снижаться по мере удаления от города. Чтобы определить особенности ее пространственного распределения, можно использовать такой показатель, как динамика численности или плотности населения. Исходя из направленности исследования на оценку земельных угодий, более приемлемым представляется применение

второго из этих показателей, поскольку плотность населения может выступать и в качестве своего рода индикатора интенсивности хозяйственного использования земель.

Для выявления пространственных различий в развитии субурбанизации вокруг Минска по мере удаления от города рассмотрены динамика плотности населения внутренней и внешней частей пригородной зоны за период с 1990 по 2015 г. (табл. 1). В качестве внутренней части принят Минский район, внешней – районы, которые полностью или более чем на половину входят в пригородную зону: Логойский, Смолевичский, Пуховичский, Дзержинский.

Приведенные в табл. 1 данные свидетельствуют о наличии очень больших различий в плотности населения рассматриваемых частей пригородной зоны Минска. Причем за 25 последних лет, на которые приходится развитие субурбанизации, эти различия существенно возросли. Если в 1990 г. во внутренней части данной территории показатель плотности населения был выше, нежели во внешней в 1,9 раза, то в 2015 г. подобный разрыв составил 3,5 раза.

Динамика указанного показателя оказалась противоположно направленной. Во внутренней части он увеличился почти в 1,4 раза, во внешней – уменьшился на четверть. На этом основании можно заключить, что пока субурбанизация в пригородной зоне Минска затронула главным образом ее внутреннюю часть, представленную Минским районом.

Указанная стадия продолжается и в настоящее время. Обычно в ее развитии прослеживаются два этапа. На первом из них происходит перемещение на пригородную территорию городского населения, но втором – формирование в ее пределах мест приложения труда. Сегодня в пригородной зоне Минска наблюдаются признаки, характеризующие как первый из названных этапов, так и переход ко второму. Об этом свидетельствуют, в частности, принимаемые меры по строительству городов – спутников Минска на базе ряда городских поселений, расположенных в пригородной зоне, а также созданию в ее пределах китайско-белорусского индустриального парка «Великий камень», площадью около 80 км². Кроме того, здесь же планируется разместить ряд промышленных предприятий, намеченных к выносу с городской территории.

Таблица 1. Динамика плотности населения внутренней и внешней частей пригородной зоны Минска за 1990–2015 гг.

Территория пригородной зоны	Плотность населения		
	чел./км ²		динамика, %
	1990 г.	2015 г.	
Внутренняя часть	71	99	+39
Внешняя часть	38	28	-26

Реализация приведенных мер будет способствовать расширению площади распространения субурбанизации, ее выходу за пределы Минского района. Так, пять из шести намеченных к развитию городов-спутников (Дзержинск, Фаниполь, Логойск, Руденск, Смолевичи) располагаются вне территории Минского района и только один (Заславль) внутри ее. За пределами данной территории находится и строящийся индустриальный парк, который размещается в Смолевичском районе.

Планируемое в связи с развитием городов-спутников увеличение численности населения, а также производственного потенциала в пригородной зоне приведет к интенсификации природопользования в ее пределах, в том числе во внешней части, чего не происходило ранее. В частности, возрастет площадь застройки территории, повысится спрос на места отдыха на природе, понадобятся новые водозаборы и т. п. В связи с этим для обеспечения здесь экологических интересов потребуется создать адекватную экологическую инфраструктуру. Оптимальной формой организации ее природной составляющей можно рассматривать формирование единого для города и пригородной зоны природного каркаса.

Меняющиеся потребности города выступают основной движущей силой, определяющей пригородное природопользование. В то же время его пространственная организация и территориальное распространение различных видов земель зависят от природно-ландшафтных условий территории.

Пригородная зона Минска размещается в пределах двух ландшафтных провинций – Белорусской (возвышенной холмисто-моренно-эрэзионных и вторичноморенных ландшафтов) и Предполесской (вторичных водоно-ледниковых и моренно-зандровых ландшафтов) [3]. Большая ее часть (примерно 2/3 площади, включая г. Минск и прилегающие к северу и западу от него территории) относится к первой из указанных ландшафтных провинций [6].

На ту часть Белорусской возвышенной ландшафтной провинции, которую захватывает пригородная зона, приходятся самые большие в стране абсолютные высоты местности. По ним проходит водораздельная линия бассейнов Балтийского и Черного морей. Данной особенностью территории объясняется практическое отсутствие здесь озер и малая величина рек, которые представлены лишь верховьями.

Наиболее крупные водохранилища, на базе которых созданы основные места пригородного отдыха и оздоровления населения, построены на малых реках, относящихся к бассейнам двух крупных рек, впадающих в Черное море: Березины (р. Свисочь, Вяча, Усяжа, Волма, Тростянка)

и Припяти (р. Птич). Большая часть бассейнов самих водохранилищ занимает сравнительно небольшие площади (до 214 км²), не выходящие за границы пригородной зоны, что облегчает планирование на них водоохранных мер.

Исключение составляют водоемы, построенные на р. Свисочи. Их водные ресурсы более чем на 2/3 пополняются за счет вод сооруженного в 1975 г. Вилейского водохранилища, бассейн которого составляет 4120 км² и приурочен к Балтийскому морю. Для этих водоемов решающее значение будут иметь водоохранные меры, направленные на обеспечение благоприятного экологического состояния данного водохранилища.

Ландшафтную структуру пригородной зоны образует набор возвышенных, равнинных и низинных ландшафтов, которые в целом удобны как для сельскохозяйственного освоения, так и рекреации [6]. Такая структура обеспечила выделение ее контуров по форме, близкой к окружности.

Для выявления различий в ландшафтном строении пригородной зоны по мере удаления от города выполнена ее дифференциация на пояса, шириной по 10 км. Всего выделено шесть таких поясов, охватывающих расстояние 60 км от городских границ.

Внутри каждого из выделенных поясов рассчитаны обобщенные по высотному положению показатели их ландшафтной структуры: возвышенные, равнинные, низинные. На всей территории преобладающими по площади распространения являются равнинные ландшафты, доля которых составляет 45,9 %. Далее следуют возвышенные ландшафты, которые занимают около трети ее (32,6 %) и примерно пятая часть (21,5 %) приходится на низинные ландшафты.

В распределении ландшафтной структуры по поясам отчетливо прослеживается последовательное уменьшение доли возвышенных и, наоборот, увеличение таковой равнинных и низинных ландшафтов по мере удаления от города. Так, в прилегающих к городу первых двух поясах возвышенные ландшафты занимают более половины площади, а в самых удаленных (пятом и шестом) – меньше 16 % (рис. 1). Доля же равнинных ландшафтов, наоборот, возрастает с 29–30 до 46–60 % и низинных – с 11–17 до 21–27 %.

Более высокое распространение возвышенных ландшафтов именно на близлежащей к городу территории является в целом благоприятным для организации пригородного природопользования. Данные ландшафты, с одной стороны, удобны для сельскохозяйственного освоения, а с другой – обладают повышенной по сравнению с равнинными и низинными ландшафтами рекреационной привлекательностью, что обеспечивает возможность формирования мест отдыха на природе вблизи города.

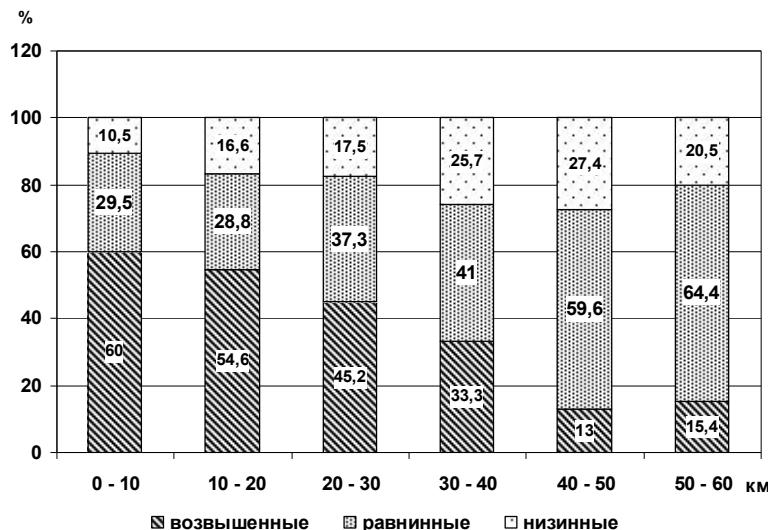


Рис. 1. Доля возвышенных, равнинных и низинных ландшафтов по поясам пригородной зоны Минска, расположенным на различном удалении от города

В составе возвышенных и равнинных ландшафтов выделяются таковые с лёссовыми отложениями, которые, благодаря высокому плодородию почв, представляют особую сельскохозяйственную ценность. Они занимают седьмую часть рассматриваемой территории (14,1 %). Причем концентрируются эти ландшафты в основном вблизи города. Их доля в первом и втором поясах составляет примерно 40 %, в третьем пояске она снижается до 24 %, а в четвертом – до 7 %. В пятом и шестом поясах они вообще отсутствуют. Тем самым создаются предпосылки высокого сельскохозяйственного освоения той части пригородной зоны, которая непосредственно примыкает к городу.

Особенности территориальной организации земельных угодий. Среди видов земельных угодий в пригородной зоне, как и в целом по стране, самые большие площади занимают сельскохозяйственные земли, а также леса. На их долю совместно приходится 83 % территории. При этом соответствующая доля сельскохозяйственных земель составляет 46 %, что на 4 % выше средней для Беларуси величины, лесов – 37 %, что на 3 % ниже средней.

Указанные виды земель определяют структуру земельных угодий пригородной зоны. Для выявления особенностей их пространственного распределения рассчитаны показатели, доли этих земель в общей площади поясов. Кроме того, по отношению к лесам выполнены расчеты значимых для оценки их экологической эффективности показателей фрагментации данных угодий, отражающие средние размеры участков, среднее расстояние между ними и результирующий индекс контурности.

Принимая во внимание повышенное значение на пригородной территории рекреационной функции, рассмотрено также размещение

земель, относящихся к выделяемым в районной планировке зонам отдыха. Они не образуют самостоятельного вида угодий, а размещаются на месте лесов и водоемов.

В распределении сельскохозяйственных земель и лесов пригородной зоны наблюдается противоположная направленность – по мере удаления от города доля первых из них уменьшается, вторых – увеличивается (рис. 2). Если в первом и втором поясах площадь сельскохозяйственных земель превышает таковую лесов более чем в 2 раза, то в пятом и шестом поясах большая площадь уже приходится на леса.

Приведенное изменение соотношений пригородных сельскохозяйственных земель и лесов в зависимости от расстояния до города, очевидно, является результатом взаимодействия двух факторов. Один из них связан с организующим влиянием города, которое выражается в стимулировании сельскохозяйственного использования непосредственно прилегающих к нему земель, второй – с природно-ландшафтным строением территории, в частности высокой долей ландшафтов с лёссовыми отложениями в близлежащих к городу поясах.

В пределах двух ближайших к городу поясов, которые характеризуются высоким сельскохозяйственным освоением, размещаются все расположенные вне городских границ водозаборы Минска. Половина из подземных водозаборов (Новинки, Боровляны, Зеленовка, Волма, Островы) относится к первому и половина (Зеленый Бор, Водопой Северный, Водопой Южный, Фелицианово, Вицковщина) – ко второму поясу. В последнем находится также поверхностный водозабор Крылово, который пополняется за счет водных ресурсов Вилейско-Минской водной системы.

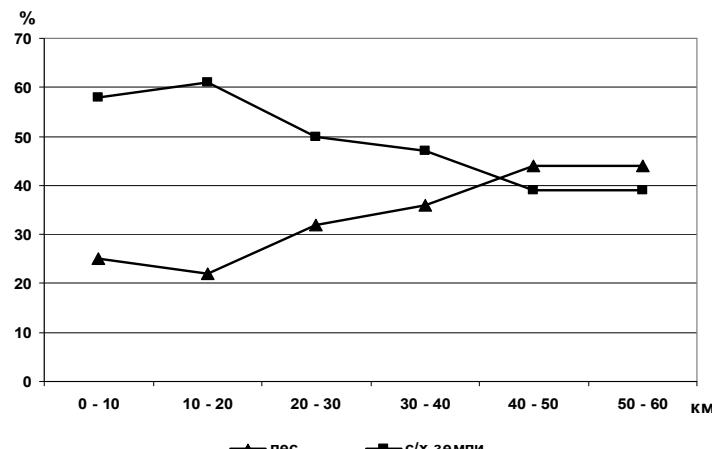


Рис. 2. Доля сельскохозяйственных земель и лесистость по поясам пригородной зоны Минска, расположенным на различном удалении от города

Повышенный рекреационный спрос со стороны жителей города на природные угодья пригородной территории определил планировочное решение по отведению под зоны отдыха сравнительно больших площадей расположенных здесь лесов. В распределении их доли по поясам не наблюдается зависимости от расстояния до города. Так, максимальные ее значения (23 и 22 %) фиксируются в первом и четвертом, минимальные (12 и 13 %) – во втором и третьем поясах.

В то же время интенсивность использования зон отдыха существенно различается по территории. Особенно высокой она является в местах сочетания лесов и водоемов, в данном случае водохранилищ, которые распределены по территории крайне неравномерно. Преобладающая их часть концентрируется в первом от города поясе, где они занимают 3 % его площади. Во втором поясе эта доля снижается до 1 %, а в остальных поясах составляет меньше 0,5 %. В связи с этим наиболее привлекательной в рекреационном отношении будет та часть пригородной зоны, которая находится на сравнительно небольшом удалении от города.

Отмеченная рекреационная привлекательность непосредственно прилегающей к городу территории находит свое отражение в количе-

стве находящихся здесь объектов отдыха и оздоровления населения. Так, число детских оздоровительных лагерей, санаторно-курортных организаций, агроусадеб в первом поясе является самым высоким (табл. 2). Оно составляет третью часть от их общего количества, а вместе с объектами второго пояса – более половины.

Пригородные леса наряду с выполнением рекреационной функции являются основным видом угодий, на базе которых созданы особо охраняемые природные территории (ООПТ). Доля последних в пригородной зоне составляет 7,8 %, что сопоставимо со средней для страны величиной – 8,2 %. Однако в их размещении по территории наблюдается очень большой контраст.

Половина площади указанных объектов приходится всего только на один самый удаленный от города пояс (60–70 км), где их доля достигает 12,7 % (рис. 3). По мере приближения к городским границам она последовательно снижается до 3,3 % во втором поясе и возрастает в 2 раза в первом поясе. В целом же на той части территории, которая расположена на расстоянии до 40 км от города, такая доля довольно низкая и составляет 4,2 %.

Таблица 2. Размещение объектов рекреации по поясам пригородной зоны Минска, расположенным на различном удалении от города

Пояс пригородной зоны с удалением от Минска, км	Объекты рекреации, ед.			
	детские оздоровительные лагеря	санаторно-курортные организации	агроусадьбы	Всего
0–10	18	21	52	91
10–20	13	7	31	51
20–30	17	9	23	49
30–40	4	4	19	27
40–50	4	4	11	19
50–60	5	8	19	32
<i>Итого:</i>	61	53	155	269

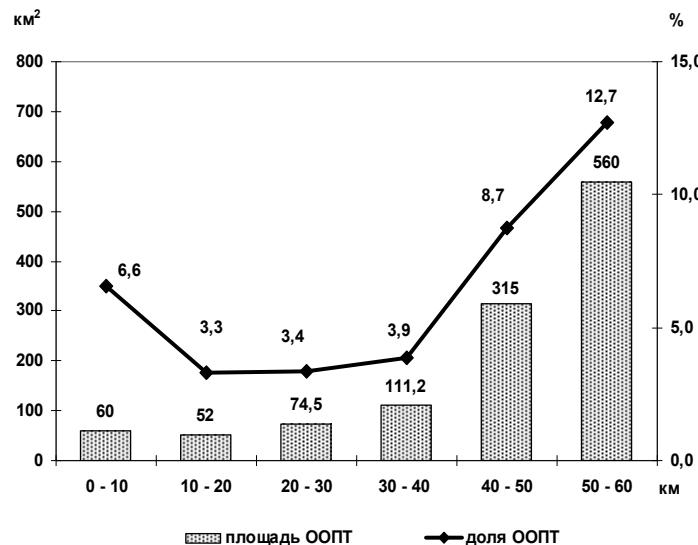


Рис. 3. Площадь и доля ООПТ по поясам пригородной зоны Минска, расположенным на различном удалении от города

На выполнение лесами экологических функций оказывает влияние не только площадь их распространения по территории, которая выражается показателем лесистости, но и размеры лесных массивов, степень их раздробленности. Основным техногенным объектом, оказывающим влияние на эти характеристики, является дорожная сеть.

В пригородной зоне Минска максимальные показатели плотности автомобильных дорог фиксируются в двух первых от города поясах – 541 и 618 км/1000 км² соответственно (рис. 4). Здесь они в 2 раза и более выше, нежели аналогичные показатели более удаленных территорий. Это свидетельствует о наличии в пределах ближних к городу поясов предпосылок повышения раздробленности лесов.

Для оценки фрагментации лесов по поясам пригородной зоны использована программа FRAGSTATS [10], с помощью которой рассчита-

ны такие показатели, как средний размер лесного участка, среднее ближайшее соседнее расстояние, средний индекс контурности (рис. 5).

Средний размер участка рассчитывается как среднее арифметическое из размеров всех участков, попадающих в пределы интервала. На рассматриваемой территории фиксируется его рост по мере удаления от города. Если в двух ближайших к городу поясах данный размер не достигает 400 га, то в двух самых удаленных он увеличивается в 4 раза, составляя 1600 га и более.

Среднее ближайшее соседнее расстояние характеризует меру изоляции лесного участка. Определяется оно как среднее из ближайших соседних расстояний индивидуальных участков. В пригородной зоне Минска отмечается его общее снижение при удалении от города, хотя различия в данном случае не столь велики и колеблются от 820 м (шестой пояс) до 1020 м (третий пояс).

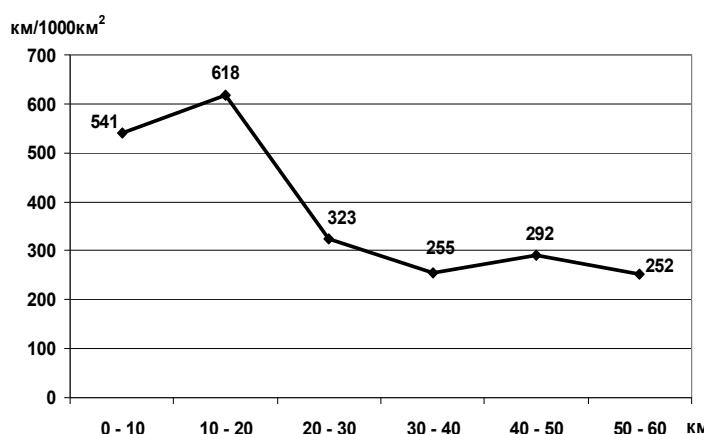


Рис. 4. Плотность автомобильных дорог по поясам пригородной зоны Минска, расположенным на различном удалении от города

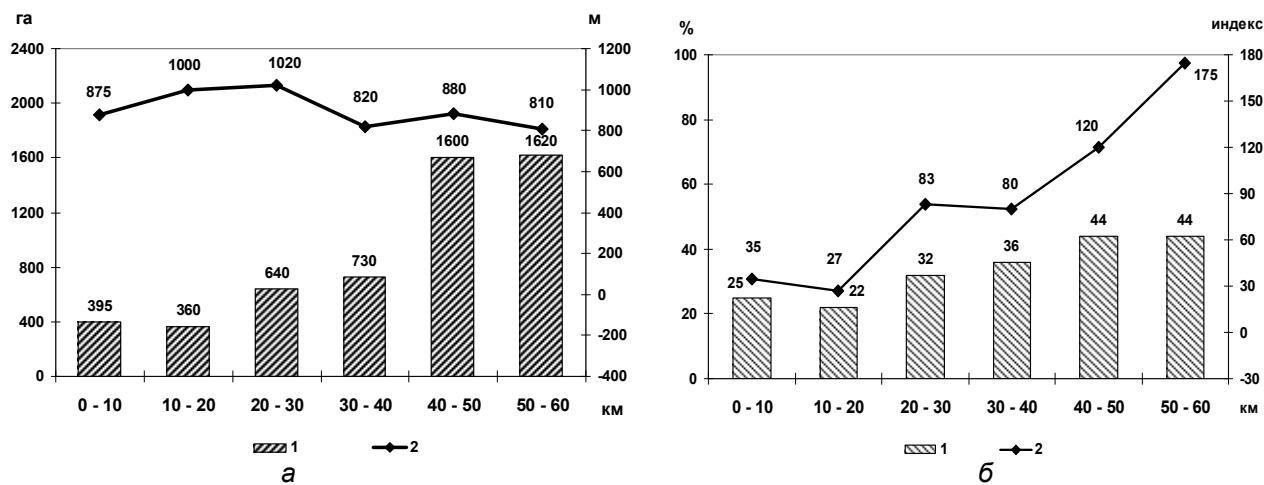


Рис. 5. Фрагментация лесов по поясам пригородной зоны Минска, расположенным на различном удалении от города: а – средний размер лесных участков (1) и среднее расстояние между ними (2); б – лесистость (1) и контурность (2) лесных участков

Средний индекс контурности (MPI – Mean Proximity Index) – мера степени изолированности и фрагментации лесных участков. Он рассчитывается по формуле

$$MPI = \sum_{s=1}^n \frac{a_{js}}{h_{js}^2},$$

где a_{js} – площадь участков внутри определенного класса участков, м^2 ; h_{js} – ближайшее соседнее расстояние между участками, рассчитанное от центра до центра участков, м.

Средний индекс контурности является безразмерным показателем. Увеличение его численного значения означает снижение степени изолированности и фрагментации лесных участков. В рассматриваемой пригородной зоне наблюдается рост данного индекса по мере удаления от города. Этот рост происходит параллельно с увеличением лесистости, что является признаком повышения в данном направлении способности лесов выполнять экологические функции. На прилегающей к городу территории эти способности уменьшаются вследствие не только ее низкой лесистости, но и пониженной контурности лесов.

Выводы. Основное влияние на современное использование земель пригородной зоны Минска оказывают процессы субурбанизации. За последние два с половиной десятилетия они затронули преимущественно ее внутреннюю часть (Минский район), что выразилось в повышении здесь плотности населения в 1,4 раза, в отличие от внешней части, где она снизилась на четверть, и разрыв между этими частями по данному показателю возрос до 3,5 раза. В то же время принимаемые меры по развитию в пригородной зоне городов-спутников и индустриального парка

будут способствовать расширению охвата субурбанизацией более удаленной от Минска территории.

Природно-ландшафтные условия пригородной зоны Минска, которые характеризуются преимущественным распространением на близлежащей к городу территории возвышенных ландшафтов в сочетании с построенным здесь водохранилищами создают благоприятные предпосылки как сельскохозяйственного, так и рекреационного ее освоения.

Совместное влияние города как фактора притяжения населения и природно-ландшафтных условий окружающей его территории на пригородное природопользование обусловливают прямую зависимость его интенсивности от расстояния до города. Непосредственно прилегающая к городу территория в радиусе до 20 км отличается повышенным уровнем сельскохозяйственного и рекреационного использования, более высокой густотой дорожной сети, размещением городских водозаборов.

В пространственном распределении лесов как ключевого для рекреации и стабилизации окружающей среды вида угодий, прослеживается обратная направленность. Вблизи города наблюдается минимальная лесистость в сочетании с наивысшей фрагментацией лесов, по мере удаления от него лесистость увеличивается, фрагментация уменьшается. Принимая во внимание повышенную эколого-рекреационную ценность именно близлежащих к городу лесов, особенно больших по площади, приоритетное значение в условиях роста интенсивности пригородного природопользования приобретает задача их сохранения и организации на базе этих лесов единого с городом природного каркаса.

Л и т е р а т у р а

1. **Бутримович, Т.** Схема планировки пригородной зоны города Минска / Т. Бутримович // Архитектура и строительство. – 2008. – № 11. – С. 12–20.
2. **Градостроительство.** Планировка и застройка населенных пунктов : СНБ 3.01.04-02. – Минск : Минстройархитектуры, 2003.
3. **Ландшафтная карта Белорусской ССР.** Масштаб 1 : 600 000 / Главное управление Геодезии и картографии при Совете Министров СССР. – М., 1984.
4. **Перцик, Е. Н.** География городов (геоурбанистика) / Е. Н. Перцик. – М. : Мысль, 1991. – 319 с.
5. **Струк, М. И.** Региональные особенности оптимизации окружающей среды Беларуси / М. И. Струк. – Минск : Беларусь навука, 2007. – 252 с.
6. **Струк, М. И.** Экологическое состояние ландшафтов пригородной территории Минска / М. И. Струк, С. Г. Живнач // Природопользование. – 2012. – Вып. 21. – С. 174–182.
7. **Струк, М. И.** Методические подходы и результаты геокомплексного районирования пригородной территории Минска / М. И. Струк, С. Г. Живнач // Природопользование. – 2013. – Вып. 23. – С. 115–124.
8. **Струк, М. И.** Методика эколого-географического обоснования организации внешнего природного каркаса города / М. И. Струк, С. Г. Живнач // Природопользование. – 2016. – Вып. 30. – С. 86–95.
9. **Территориальное планирование в Республике Беларусь** / под ред. Г. В. Дудко. – Минск : ФУ АИНФОРМ, 2007. – 312 с.
10. **McGarigal, K.** Fragstats: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure / K. McGarigal, B. J. Marks // General Technical Report PNW-GTR-351, USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station. – Portland, Oregon, USA, 1995. – 134 p.

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 12.05.2017 г.

M. I. Струк, С. Г. Живнач

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ МИНСКА

Приведена оценка влияния городского развития на использование земель пригородной зоны Минска. Определены особенности распределения их основных видов: сельскохозяйственных и рекреационных земель, лесов, особо охраняемых природных территорий, водоемов по поясам пригородной зоны шириной 10 км, расположенным на удалении до 60 км от города.

Установлено, что в наибольшей мере влияние города оказывается на территории, непосредственно прилегающей к нему в радиусе 20 км от городских границ. В ее пределах отмечается рост плотности населения, а также высокий уровень сельскохозяйственного, рекреационного, водохозяйственного использования земель, который снижается по мере удаления от города.

В пространственном распределении лесов выявлена обратная направленность. Вблизи города наблюдается минимальная лесистость и наивысшая фрагментация лесов. Принимая во внимание их повышенную эколого-рекреационную ценность, особое значение приобретает задача сохранения этих лесов и организации на их основе единого с городом природного каркаса.

M. I. Stryk, S. G. Zhivnach

THE TERRITORIAL ORGANIZATION OF MINSK SUBURBAN ZONE

The estimation of city development influence on Minsk suburban zone use is given. The peculiarities of their main types of agricultural and recreational lands, forests, specially protected natural areas, reservoirs along the belts of the suburban zone with the width of 10 km, located at a distance up to 60 km from the city are determined.

It was determined, that in the greatest measure the influence of the city affects the territory immediately adjacent to it within the radius of 20 km from the city borders. Growth of density of population and also a high level of agricultural, recreational and water management use of land which decreases with the distance from the city are highlighted in its framework.

A reverse orientation is revealed in the spatial distribution of forests. There is minimal forest cover and the highest fragmentation of forests near the city. Taking into account its high ecological and recreational value the task to preserve this forests and to organize on its basis a single natural framework with the city is of particular importance.

**А. П. Яковлев, П. Н. Белый, Г. И. Булавко, Е. А. Сидорович,
А. М. Николайчук, О. С. Козырь, С. Ф. Жданец, М. Н. Ващекевич**

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ВЫБРОСОВ ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Приведены результаты лесотаксационной и фитоиндикационной оценки состояния сосновых биогеоценозов, расположенных вокруг промышленного предприятия по производству цемента. Показано, что хроническое загрязнение лесных сообществ цементной пылью оказывает негативное влияние на рост, развитие и санитарное состояние деревьев сосны обыкновенной.

Одной из важнейших проблем в сохранении лесных экосистем является оценка состояния лесных биогеоценозов, подверженных антропогенному влиянию. Центральное место в ее решении должно занять создание информационных систем, описывающих динамику состояния лесов и выработку механизмов преодоления чрезвычайных ситуаций, служивших для обоснования режимов эксплуатации лесных экосистем в зонах промышленного влияния. Поэтому важной задачей является проведение исследований, включающих наблюдение, оценку и прогноз состояния лесных экосистем, подверженных воздействию промышленных поллютантов.

Необходимость познания закономерностей изменения структурно-функциональной организации лесных биогеоценозов под воздействием усиливающегося с каждым годом техногенного загрязнения окружающей среды, совершенствования методического обеспечения системы экологического мониторинга и научного обоснования хозяйственных мероприятий по снижению возможных негативных последствий вполне очевидна и не требует особых доказательств. Этой проблеме, которая является чрезвычайно важной в научном аспекте, посвящены многочисленные исследования, послужившие надежной теоретической основой практических рекомендаций по ведению лесного хозяйства в зоне воздействия крупных промышленных предприятий [1, 4–6, 8, 15–19]. Однако, несмотря на существенную научную проработку проблемы, многие вопросы остаются пока невыясненными.

В Беларуси довольно полно изучена техногенная трансформация лесных экосистем под воздействием газообразных загрязнений кислой природы [9, 10, 13]. Однако исследований, связанных с изучением влияния хронического воздействия пылевых загрязнений воздуха с выраженной щелочной реакцией, в Беларуси не проводилось. Отклик лесных экосистем на воздействие щелочных поллютантов является наименее изученным в теоретическом и практическом плане, из-за чего до настоящего времени не обоснован режим ведения хозяйства и особенности лесозащитных мероприятий в древостоях,

находящихся в зоне негативного воздействия выбросов промышленных предприятий по производству цемента.

Целью проведения наших исследований являлась комплексная оценка воздействия длительного загрязнения среды аэробиогенными выбросами цементных заводов на различные компоненты лесных биогеоценозов и выявление основных закономерностей изменения его структурной организации.

Ущерб, причиняемый промышленными выбросами, трудно поддается учету, поскольку он лишь в редких случаях является непосредственно ощутимым, а большей частью проявляется в виде медленной деградации лесных экосистем. Снижение продуктивности, замедление темпов роста, влияние на возобновление, упрощение породного состава в результате исчезновения неустойчивых видов лесного сообщества – неполный перечень возможных последствий воздействия выбросов. Загрязнения действуют на все компоненты лесного биогеоценоза, нарушая естественно сложившиеся вещественно-энергетические потоки между ними, что приводит к снижению устойчивости и продуктивности.

Исследования осуществлялись на территории Гродненской области, в которой расположено крупнейшее в республике промышленное предприятие по производству цемента – ОАО «Красносельскстройматериалы», или КСМ. Оно же является и самым старейшим в республике разменявшем в 2014 г. вековой юбилей. КСМ – самое большое предприятие цементной промышленности Беларуси по многим параметрам, но, в первую очередь, по объему производства цемента и ширине ассортимента выпускаемой продукции. В мае 2012 г. введены новые линии по производству цемента «сухим способом», поэтому в структуре производства цементов 90 % приходится на портландцемент и около 10 % на другие его виды.

С целью получения информации о влиянии хронического загрязнения воздуха цементной пылью на состояние компонентов сосновых биогеоценозов заложена сеть временных пробных площадей в насаждениях с преобладанием сосны обыкновенной III–IV класса возраста (см. рисунок).

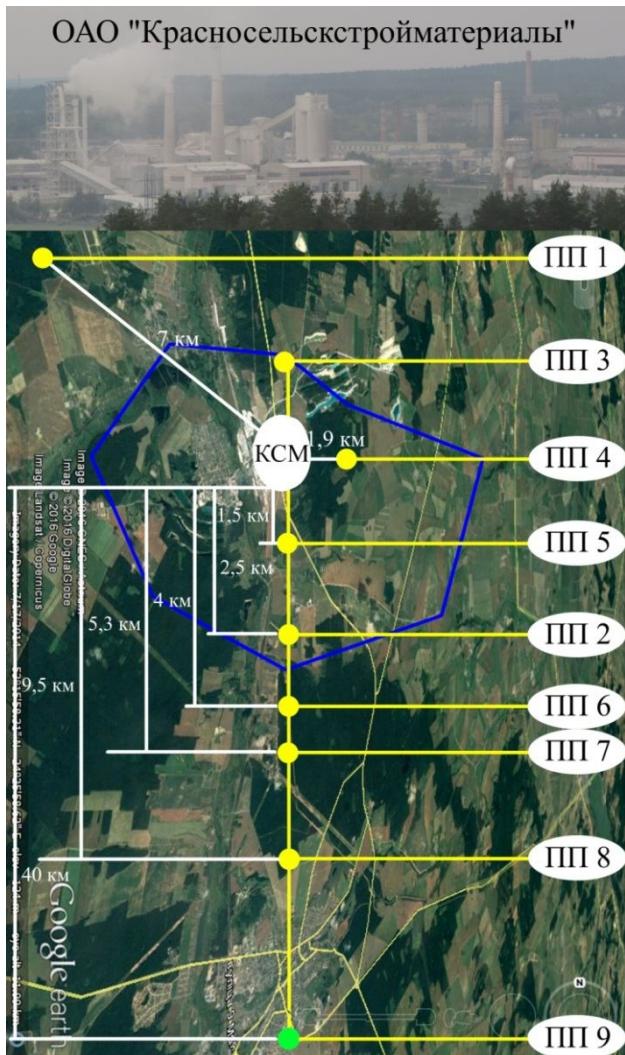


Схема расположения пробных площадей в зоне влияния ОАО «Красносельскстройматериалы»

Выбор места закладки пункта наблюдений определялся с учетом следующих критериев: во-первых, наличием полноценных сосновых древостоев соответствующего класса возраста; во-вторых, в зависимости от направления преобла дающих ветров в течение года (от направления и силы ветров зависит расстояние переноса загрязнений в горизонтальном направлении и их концентрация у поверхности, в кронах древостоев и подлоговом пространстве, время воздействия их на растительные организмы и конфигурация территорий с различной интенсивностью воздействия поллютантов на лесные экосистемы); в-третьих, удаленностью от промышленного предприятия.

Большая часть территории, непосредственно примыкающей к цементному заводу, к сожалению, находится в необлесенном состоянии и представлена, главным образом, сельскохозяйственными угодьями. Однако, осознавая важность и необходимость создания санитарно-защитных насаждений вокруг промышленного

предприятия по производству цемента, сотрудники ГЛХУ «Воложинский лесхоз» проводят активную работу по созданию лесных культур на землях сельхозпользования.

Площади приспевающих и спелых древостоев в радиусе до 10 км от завода на момент проведения исследований составляли всего 7 % от общего лесосечного фонда лесхоза, что также ограничивало наши возможности по закладке пробных площадей.

Перенос выбросов в атмосфере, как правило, относится к гауссову типу рассеяния [14]. При неустойчивом состоянии нижних слоев атмосферы и петлеобразной форме факела выброса концентрация загрязнения на близких расстояниях к источнику может достигать высоких значений, но быстро снижается при удалении. Фактом является обратная пропорциональность зависимости концентрации загрязнения и скорости ветра. По данным Белгидромета, в течение вегетационного периода средние скорости ветра составляют 2,9–4,3 м/с, что способствует рассеиванию загрязнений, относительной пропретиваемости насаждений и горизонтальной миграции поллютантов.

В течение вегетационного периода преобладали ветры в южном, юго-западном и юго-восточном направлениях, в связи с чем и количество заложенных пробных площадок (ПП) на разном удалении от источника загрязнения было наибольшим. Контрольный стационар (ПП-9) располагался на северо-восточной границе Национального парка «Беловежская пуща» при удаленности от завода около 40 км (52°54'38.63"N, 24°20'54.41"E).

Последствия действия цементной пыли на экосистемы довольно сложно оценить. Ущерб от ее действия в редких случаях является непосредственно ощутимым, а большей частью проявляется в медленной деградации лесных экосистем [12]. Повреждения носят типично хронический характер, поэтому наиболее приемлемой для регистрации повреждения экосистем является аккумулятивная биоиндикация. Устойчивость живых компонентов к воздействию промывбросов должна изучаться на популяционно-ценотическом уровне. Влияние экстремальных факторов антропогенного характера на организм и популяцию может быть лишь началом, первым этапом в цепи экологических событий, конечным итогом которых являются изменения в биологическом сообществе, исчезновение тех или иных видов или ценоэзов. Для решения поставленных задач использованы классические и современные биоиндикационные и лесотаксационные методы исследований. Характеристика древостоя и отдельных деревьев проведена согласно общепринятым методикам лесной таксации [2, 7].

Категория состояния определены с помощью шкалы по формуле, предложенной В. А. Алексеевым [2]:

$$I_n = \frac{n_1 + 0,7n_2 + 0,4n_3 + 0,1n_4}{n},$$

где I_n – индекс жизненного состояния древостоя по числу деревьев; n_1 – число здоровых, n_2 – поврежденных, n_3 – сильно поврежденных, n_4 – отмирающих деревьев на пробной площади; n – общее число деревьев на пробной площади, включая сухостой.

При индексе от 1,7 до 0,8 жизненное состояние древостоя оценивается как «здоровое», при индексе от 0,79 до 0,5 древостой считается «поврежденным», при индексе от 0,49 до 0,2 – «сильно поврежденным», при индексе от 0,19 и ниже – «разрушенным» или «полностью деградированным».

Обработку данных проводили методами вариационной статистики с использованием программы Excel. Повторность опытов – шестикратная. Достоверность разницы оценивали, применив критерий Стьюдента ($P < 0,5$).

Подробный анализ вредного воздействия процесса производства цемента показал, что наибольший объем загрязнения воздуха приходится на долю твердых пылевых частиц, эмиссии которых достигают 80 % в общем объеме загрязнений [18]. В целом пыль цементного производства имеет полидисперсный состав с диапазоном размеров частиц 0,3–300 мкм, максимальная гигроскопичность составляет 5,37 % и находится в экспоненциальной зависимости от относительной влажности воздуха [3].

По степени фитотоксичности О. Greis [20] поместил цементную пыль сразу за пылями цинкового и алюминиевого производств. Действие пылевых выбросов цементного производства на прилегающие к источнику лесные насаждения проявляется в основном в процессе седиментации ее из атмосферы. Цементные частицы имеют слаботоксичную реакцию. При взаимодей-

ствии с осадками на поверхности хвои образуется щелочь, нарушая биохимические процессы в хлоропластах, образуется цементная корка, резко нарушающая тепловой баланс органа и увеличивающая потери растения на дыхание [11].

Растительность является одним из основных компонентов лесных экосистем и, одновременно, индикатором загрязнения среды техногенными выбросами. Не случайно перед современной фитоценологией стоят задачи детально-го исследования особенностей ее реакции на аэроальное загрязнение различными поллютантами, познания механизмов саморегуляции и совершенствования методов биоиндикации [6, 8, 11, 16–18]. Решение этих задач в полной мере возможно лишь на основе длительных комплексных наблюдений, проводимых на стационарных объектах, организация которых часто сопряжена со многими трудностями.

Эдификатором лесных биогеоценозов является, как известно, древостой, который во многом определяет состояние всех остальных компонентов и принимает на себя основной «удар» техногенного загрязнения. С целью изучения влияния близости цементного завода как техногенного фактора на хвойные насаждения были изучены состояние древостоя, его возрастная структура и полнота, а также размеры и жизнеспособность деревьев.

Основные таксационные характеристики пробных площадей, заложенных вокруг предприятия ОАО «Красносельскстройматериалы», представлены в табл. 1. Анализ ее данных свидетельствует, что на территории, примыкающей к заводу по производству цемента, преобладают сосновые формации древостоя. Пробные площади заложены в насаждениях III–IV класса возраста и совсем незначительно различаются по данному показателю. Характеризуя среднюю высоту и средний диаметр изучаемых древостоев, был рассчитан класс их бонитета, свидетельствующий о потенциальной продуктивности насаждения и скорости роста деревьев. Показано,

Таблица 1. Таксационная характеристика лесных фитоценозов (сосняка мшистого) в зоне влияния ОАО «Красносельскстройматериалы», 2016 г.

Пробная площадка	Удаленность, км	Состав древостоя	Возраст, лет	Класс бонитета	Полнота	Средние		Сумма площадей сечения, м ² /га	Запас, м ³ /га	Количество деревьев, шт/га
						высота, м	диаметр, см			
1	7,0	10СБб (ед.)	65	II	0,6	19,3	33,5	20,3	176,0	479,2
2	2,5	10СДч (ед.)	75	II	0,7	20,2	28,2	24,0	218,0	447,0
4	1,9	10С (ЛК)	60	I	0,6	21,7	28,1	21,1	208,0	624,0
5	1,5	10С	70	I	0,5	22,5	29,7	17,8	174,0	500,0
6	4,0	10С	60	I	0,6	21,1	29,8	20,8	198,0	461,1
7	5,3	10С	50	I	0,6	20,0	25,8	20,6	187,0	463,9
8	9,5	10С (ЛК)	50	I	0,5	19,9	24,0	17,2	155,0	469,4
9 (контроль)	40,0	10С	75	I	0,6	23,8	29,2	21,6	230,0	650,0

что к I классу бонитета относятся деревья практически на всех объектах исследований. Только на ПП-1 и ПП-2 сосновые фитоценозы отнесены ко II классу, причем выраженной зависимости снижения величины данной характеристики по мере приближения в источнику загрязнения не установлено.

Вместе с тем выявлено отставание по степени накопления запасов стволовой древесины от уровня антропогенной нагрузки. Так на ПП-4–ПП-6, расположенных на наименьшем удалении от промышленного предприятия, изучаемый показатель в 1,1–1,3 раза уступает аналогичной характеристике в контрольном варианте. Относительно низкими запасами древесины (155–176 м³/га) характеризуются сосняки на ПП-7 и ПП-8, хотя они и находятся на большем удалении от источника загрязнения. Объясняется это, прежде всего, разницей в возрасте древостоя, составляющим почти 15 лет. Хотя это может также косвенно служить свидетельством того, что проявление негативных тенденций влияния цементной пыли на лесные сообщества обнаруживается не только в непосредственной близости к заводу, но и на достаточном удалении (до 10 км) от него.

Общая таксационная характеристика лесного фитоценоза не всегда является результатом при изучении степени негативного влияния антропогенной нагрузки на экосистемы. Для этого используются более информативные характеристики. Для рационального ведения лесного хозяйства и применения санкций к предприятиям, загрязняющим окружающую среду, необходимо количественно оценить изменение жизненного состояния древостоя. С этой целью разработана шкала оценки жизненного состояния

ния деревьев в условиях атмосферного промышленного загрязнения [2, 7]. В этой связи в полевом эксперименте мы провели количественный учет состояния деревьев первого яруса, расположенных по профилю от фоновых (незагрязненных) условий до источника промышленного загрязнения.

На основании данных, полученных в результате перечетов и оценки жизненного состояния деревьев на пробных площадях, нами были рассчитаны индексы жизненного состояния сосновых фитоценозов. Для этого деревьям той или иной категории жизненности был присвоен соответствующий балл: здоровым – 1,0; поврежденным – 0,7; сильно ослабленным – 0,4; отмирающим – 0,1; свежему и старому сухостою – 0.

В табл. 2 приведена информация о распределении деревьев сосны обыкновенной по категориям в соответствии со шкалой их жизненного состояния. Следует заметить, что использование данного методического приема позволило получить более объективную информацию о степени влияния промышленных выбросов цементного производства на лесные сообщества.

Нетрудно убедиться, что количество деревьев, отнесенных к категориям «поврежденные» и «сильно ослабленные», на пробных площадях № 4–6 значительно превосходят аналогичный показатель для участков, находящихся на относительном удалении от источника загрязнения. Так, если диапазон варьирования количества сосен в первом случае составлял от 413 до 630 шт/га, то во втором случае он был значительно уже – 361–450 шт/га. На контрольном участке всего 27,5 % от общего количества всех

Таблица 2. Распределение деревьев *P. sylvestris* по категориям состояния в зоне влияния ОАО «Красносельскстройматериалы», 2016 г.

№ ПП	Тип леса	Древесная порода	Кол-во деревьев, шт/га	Категория состояния деревьев									
				здоровые		поврежденные		сильно ослабленные		отмирающие		сухостой	
				шт/га	%	шт/га	%	шт/га	%	шт/га	%	шт/га	
1	С. мшистый	Сосна обыкновенная	479,0	4	0,9	383	80,0	67	13,9	18	3,8	7	1,4
2	С. мшистый	Сосна обыкновенная	447,0	8	1,8	356	79,5	33	7,5	31	6,9	19	4,3
4	С. мшистый	Сосна обыкновенная	624,0	—	—	564	90,4	56	9,0	4	0,6	—	—
5	С. мшистый	Сосна обыкновенная	500,0	25	5,0	283	56,7	147	29,4	37	7,4	7	1,5
6	С. мшистый	Сосна обыкновенная	461,0	25	5,4	228	49,4	189	49,0	13	2,8	6	1,4
7	С. мшистый	Сосна обыкновенная	464,0	81	17,3	258	55,7	103	22,2	14	3,0	8	1,8
8	С. мшистый	Сосна обыкновенная	469,0	69	14,8	331	70,4	56	11,8	9	1,9	5	1,1
9	С. мшистый	Сосна обыкновенная	650,0	463	71,2	167	25,6	13	1,9	5	0,8	3	0,5

деревьев на площади было отнесено к вышеперечисленным нарушенным категориям деревьев, что в 3,1–3,6 раза меньше, чем в зоне интенсивного загрязнения, и в 2,8–2,9 раза меньше, чем в зоне с умеренной степенью нагрузки.

Негативное влияние цементной пыли на состояние хвойных насаждений прослежено также по пробным площадям, заложенным по градиенту загрязнения. Преобладающими направлениями ветров в зоне эксперимента являются южное и юго-восточное. В этой связи в данном направлении было заложено шесть экспериментальных участков (ПП-5, -2, -6, -7, -8, -9 (контроль)). На расстоянии, не превышавшем 2,5 км от завода (ПП-5 и ПП-2), выявлены самые высокие доля отмирающих деревьев (7,4 и 6,9 % соответственно), а также количество сухостоя (4,3 %). С удалением от источника загрязнения на расстояния в 2,0 и 3,2 раза большие (ПП-7 и ПП-8 соответственно) пропорционально снижается и количество отмирающих деревьев на пробах. Эти величины составили 3,0 и 1,8 % от общего количества стволов на пробной площади соответственно.

Вместе с тем выявлена еще одна закономерность в характере повреждения сосновых фитоценозов, произрастающих вокруг цементного завода. На удалении до 5 км от источника промышленных выбросов наблюдается увеличение количества сильно ослабленных деревьев даже относительно пробных площадей, находящихся в непосредственной близости от производственных объектов, до 2,0–2,5 раза. Это является свидетельством того, что негативное воздействие цементной пыли на растительность не

только сказывается вблизи завода, но и несет потенциальную угрозу для древостоев на значительном удалении от него.

По мере удаления от источника выбросов увеличивается количество деревьев в категории «здоровые» и значительно уменьшается «сильно ослабленных» сосен, достигая на ПП-8 и ПП-9 показателей 15–17 и 12–22 % соответственно. Для общего числа деревьев II–IV категорий на всех пробных площадях рассчитаны коэффициенты парной корреляции, свидетельствующие о тесной связи состояния древостоя с возрастом (0,47–0,61), а также о значительной отрицательной связи данного показателя с расстоянием до источника выбросов с максимальным значением (−0,52) на ПП-2 и минимальным (−0,12) – на ПП-9.

Таким образом, аэротехногенные поллютанты цементного производства негативно влияют на все компоненты лесных экосистем, важнейшими из которых является древостой, приводя к замедлению процессов роста сосны и их ослаблению, что в конечном счете приведет к снижению эффективности использования лесных земель и значительным экономическим потерям для лесного хозяйства.

Установлено, что на пробных площадях, находящихся на удалении до 4 км от источника выбросов, количество деревьев категории « здоровые » составляет не более 1,8 %, а «сильно поврежденных» и «отмирающих» достигает почти 20 %. Общее состояние древостоев на ПП-2–ПП-6 оценивается как «поврежденное» и требует научно обоснованного режима ведения лесного хозяйства на данных территориях.

Литература

1. Алексеев, А. С. Особенности седиментации атмосферных загрязнений и их влияние на состояние древостоев ели / А. С. Алексеев, Ю. И. Леплинский // Экология и защита леса. – Л. : ЛТА им. С. М. Кирова, 1989. – С. 27–32.
2. Алексеев, В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев / В. А. Алексеев // Лесоведение. – № 4. – 1989. – С. 51–57.
3. Каменёк, А. И. Метод определения концентрации неорганической пыли цементного производства, учитывающий влияние влажности воздуха : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.11.13 / А. И. Каменёк ; ОрГТУ. – Орел, 2004. – 18 с.
4. Кулагин, А. А. Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей / А. А. Кулагин, Ю. А. Шагиева. – М. : Наука, 2005.
5. Кулагин, Ю. З. Древесные растения и промышленная среда / Ю. З. Кулагин. – М. : Наука, 1974.
6. Мартынюк, А. А. Сосновые экосистемы в условиях аэротехногенного загрязнения, их сохранение и реабилитация : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.03.03 / А. А. Мартынюк. – М. : МГУЛ, 2009. – 36 с.
7. Методы изучения лесных сообществ / Е. Н. Андреева [и др.]. – СПб. : НИИ химии СПбГУ, 2002.
8. Николаевский, В. С. Биологические основы газоустойчивости растений / В. С. Николаевский. – Новосибирск : Наука, 1979.
9. Промышленные загрязнения, оценка состояния и оптимизация природной среды городских экосистем / Е. А. Сидорович [и др.] ; под общ. ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Беларус. наука, 2007.
10. Сергейчик, С. А. Экологическая физиология хвойных пород Беларуси в техногенной среде / С. А. Сергейчик, Е. А. Сидорович, А. А. Сергейчик. – Минск : Беларус. наука, 1998.
11. Смит, У. Х. Поглощение загрязнений воздуха растениями / У. Х. Смит // Загрязнение воздуха и жизнь растений / под ред. М. Трешоу. – Л. : Гидрометеоиздат, 1988. – С. 460–486.

12. Соколов, Г. И. Усыхание лесов около г. Сатки Челябинской области от промышленных воздействий АО «Магнезит» / Г. И. Соколов // Влияние атмосферных загрязнений и других антропогенных и природных факторов на дестабилизацию состояния лесов Центральной и Восточной Европы : тез. докл. Междунар. науч. конф. : в 2 т. – М. : МГУЛ, 1996. – Т. 2. – С. 35–37.
13. Техногенное загрязнение лесных экосистем Беларуси / Е. Г. Бусько [и др.]; под общ. ред. Е. А. Сидоровича. – Минск : Наука и техника, 1995.
14. Уорк, К. Загрязнение воздуха: источники и контроль / К. Уорк, С. Уорнер. – М., 1980.
15. Фомин, В. В. Климатогенная и антропогенная динамика древесной растительности в экстремальных условиях ее произрастания (на примере Урала) : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 06.03.02, 03.02.08 / В. В. Фомин ; ГОУ ВПО «УрГЛУ». – Екатеринбург, 2011. – 40 с.
16. Цветков, В. Ф. Леса в условиях аэротехногенного загрязнения / В. Ф. Цветков, И. В. Цветков. – Архангельск, 2003.
17. Черненькова, Т. В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение / Т. В. Черненькова. – М. : Наука, 2002.
18. Шелухо, В. П. Изменение сосновых биогеоценозов зоны широколиственных лесов при хроническом воздействии веществ щелочного типа : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.03.03; 03.00.16 / В. П. Шелухо ; Брянская гос. инж.-техн. акад. – Брянск : БГИТА, 2003. – 34 с.
19. Ярмишко, В. Т. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) и ее сообщества в условиях атмосферного загрязнения на Европейском севере : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.05 / В. Т. Ярмишко ; Бот. ин-т им. Комарова. – СПб, 1994. – 36 с.
20. Griess, O. Nachweis zusätzlicher Immissionswirkungen durch das DKN-Zoltweg und ihre Quantifizierung in einem Talgebiet des Murwaldes. / O. Griess // Mitt. Forstl. Bundesversuchsanst. – Wien, 1980. – № 131. – S. 185–188.

Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 03.04.2017 г.

**А. П. Яковлев, П. Н. Белый, Г. И. Булавко, Е. А. Сидорович,
А. М. Николайчук, О. С. Козырь, С. Ф. Жданец, М. Н. Вашкевич**

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ
В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ВЫБРОСОВ ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Приведены результаты лесотаксационной и фитоиндикационной оценки состояния сосновых фитоценозов, расположенных вокруг промышленного предприятия по производству цемента. Показано, что хроническое загрязнение лесных сообществ цементной пылью оказывает негативное влияние на рост, развитие и санитарное состояние деревьев сосны обыкновенной. Установлено, что на пробных площадях, находящихся на удалении до 4 км от источника выбросов, количество деревьев категории «здоровые» составляют не более 1,8 %, а «сильно поврежденные» и «отмирающие» достигает почти 20,0 %. Общее состояние древостоя на ПП-2-6 оценивается как «поврежденное» и требует научно обоснованного режима ведения лесного хозяйства на данных территориях.

**A. P. Yakovlev, P. N. Bely, G. I. Bulavko, E. A. Sidorovich,
A. M. Nikolaichuk, O. S. Kozyr, S. F. Zhdanec, M. N. Vashkevich**

**THE EVALUATION OF THE STATE OF PINE STANDS
IN THE ZONE OF THE EMISSIONS INFLUENCE OF CEMENT PRODUCTION**

The estimation of a condition of pine phytocenosis located around the industrial enterprise on manufacture of cement is given on the basis of forest taxation and phytoindication methods. It is shown that the chronic pollution of forest communities with cement dust has a negative impact on the growth, development and sanitary condition of pine trees. On trial plots located at the distance of up to 4 km from the source of emissions, the number of trees in the category «healthy» is not more than 1,8 %; «severely damaged» and «dying» reaches almost 20,0 %. The general state of stands on TP-2-6 is assessed as «damaged» and requires scientifically based forest management in these areas.

А. В. Углянец, Д. К. Гарбарук, М. В. Кудин

ДИНАМИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ^{137}Cs ДРЕВЕСИНЫ И КОРЫ СОСНЫ В СОСНЯКАХ ВЕРЕСКОВЫХ И МШИСТЫХ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Приводится динамика накопления ^{137}Cs древесиной и корой сосны в насаждениях верескового и мшистого типов леса в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС за 30-летний период. Установлена тенденция медленного снижения содержания ^{137}Cs в этих тканях со второй половины 1990-х годов на фоне высоких годовых его колебаний. Показано влияние удаленности источника радиоактивных выбросов на уровень накопления ^{137}Cs тканями сосны.

Введение. Одним из научных направлений Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (далее – заповедник), расположенного в белорусском секторе зоны отчуждения Чернобыльской АЭС (далее – ЧАЭС), является ведение радиационно-экологического мониторинга лесных насаждений. После аварии на ЧАЭС в лесных экосистемах зоны отчуждения ЧАЭС, в разной степени загрязненных радионуклидами, сотрудниками ГНУ «Институт леса НАН Беларусь» была создана система стационаров, на которых в 1987–2002 гг. проводились систематические радиоэкологические исследования. Периодические наблюдения на них осуществлялись до 2010 г. Результаты исследований представлены в публикациях [2–4, 11, 13 и др.]. При этом основное внимание было уделено радиоэкологическому изучению сосновых лесов, имеющих наибольший удельный вес как в зоне отчуждения (43,2 %), так и в стране (50,3 %). Большая часть сосновок заповедника (73,7 % от площади формации) приходится на сосновки вересковые и мшистые, произрастающие на бедных песчаных автоморфных почвах. В Полесье эти типы леса характеризуются близкими эдафическими условиями, прежде всего водным режимом верхнего корнеобитаемого слоя почвы [19], который, как показали исследования [2, 4,

10, 13, 18], оказывает наибольшее влияние на накопление ^{137}Cs древесными растениями.

Цель исследований – проследить долговременную динамику содержания ^{137}Cs в древесине и коре сосны в сосновках вересковых и мшистых в зоне отчуждения ЧАЭС.

Материалы и методы исследований. В 2016 г. отделом экологии растительных комплексов заповедника в пределах стационаров ГНУ «Институт леса НАН Беларусь» были возобновлены радиоэкологические исследования на трех постоянных пунктах наблюдения (далее – ППН), расположенных в 11, 25 и 35 км от ЧАЭС соответственно, с сохранением присвоенных авторами работы [13] шифров ППН: Mc-1, Pg-1, Gn-1. Объектами исследований являлись чистые сосновки вересковые и мшистые 41–54-летнего возраста (табл. 1).

Исследования на ППН производили в соответствии с нормативными документами [15, 16]. На них в девяти контрольных точках (по углам и диагонали) отбирали пробы почвы стандартным пробоотборником диаметром 4 см на глубину 20 см с живым напочвенным покровом и лесной подстилкой не ближе 1 м от стволов деревьев, избегая небольших полян, прогалин и понижений.

Таблица 1. Таксационная характеристика насаждений на ППН

Шифр ППН	Тип леса	Возраст, лет	Средние		Бонитет	Густота, шт/га	Сумма площадей сечений, м ² /га	Полнота	Запас, м ³ /га
			высота, м	диаметр, см					
Mc-1	Сосновка вересковый	41	13,4	11,9	III	2912	32,3	1,07	221
Pg-1	Сосновка мшистый	54	18,2	16,9	I	2304	51,6	1,54	452
Gn-1	Сосновка мшистый	49	16,0	15,4	II	2316	46,4	1,46	356

П р и м е ч а н и е. Тип условий местопроизрастания – A₂; состав древостоя – 10C.

Отбор проб древесины без коры осуществляли в пределах ППН с 30 растущих деревьев I–II классов роста и развития по Крафту на высоте 1,3 м с помощью возрастного бурава (керны до середины ствола, по одному с каждого дерева). Отбор проб коры с лубом производили на этих же деревьях на высоте 1,3 м с помощью цилиндрического пробоотборника диаметром 40 мм.

Пробы почвы и измельченные до 2–3 см пробы древесины и коры высушивали до воздушно-сухого состояния. Удельная активность (далее – $A_{уд}$) ^{137}Cs в них определяли в лаборатории спектрометрии и радиохимии заповедника на сцинтилляционном гамма-бета-спектрометре МКС-АТ1315.

Для сопоставления уровней накопления ^{137}Cs древесиной и корой сосны определяли коэффициенты перехода (далее – K_p) данного радионуклида из почвы в эти ткани как частное от $A_{уд}$ (Бк/кг) к поверхностной плотности радиоактивного загрязнения почвы (далее – $A_{пов}$) ($\text{kБк}/\text{м}^2$).

При анализе динамики загрязнения ^{137}Cs древесины и коры сосны использовали литературные данные, научный отчет [8] и предоставленные И. М. Булавиком первичные полевые материалы за 1987–2010 гг.

Результаты и их обсуждение. В накоплении сосновой ^{137}Cs выделены три этапа: задержание радионуклида на поверхности элементов наземной фитомассы, в частности коры, и их очищение (1986–1987 гг.); интенсивное поступление (1987 г. – начало 1990-х годов) и стабилизация поступления (с середины 1990-х годов) радионуклида в наземную фитомассу [13].

В зоне отчуждения K_p ^{137}Cs в древесину сосны в начале 1990-х годов находились на уровне $1,28\text{--}1,54 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$, а их колебания были обусловлены изменениями количества осадков [17]. За период 1987 г. – начало 1990-х годов они выросли в 5–8 раз. Максимум $A_{уд}$ ^{137}Cs в древесине наблюдался в 1992–1995 гг., в определенных условиях местопроизрастания ее увеличение произошло до конца 1990-х годов, и даже по 2002 г. С середины 1990-х годов K_p ^{137}Cs в древесину сосны стабилизировались на уровне $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$, в кору – $7\text{--}8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ [13]. Максимальные величины K_p на свежих почвах в «дальней» зоне (более 30 км от ЧАЭС) наблюдались в 1990–1991 гг., в «ближней» – в 1994–1995 гг. [3]. В «дальней» зоне радиоактивных выпадений K_p ^{137}Cs в древесину сосны на автоморфных почвах в 1994–1997 гг. в среднем составляли $0,55 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$, в кору – $2,30 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ [2].

После прекращения роста K_p ^{137}Cs в элементы надземной фитомассы древесных растений прогнозировалось относительное их постоянство с тенденцией к снижению [4, 11, 13 и др.]. Исследования показали, что в начале 2000-х го-

дов K_p ^{137}Cs в окоренную древесину сосны в условиях $A_{уд}$ в заповеднике находились на уровне $2,87\pm0,45 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ [4]. В первой половине 2000-х годов средние его значения в сосновых вересковых в древесину составляли $1,45 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$, мшистых – $1,42 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$; в кору – $5,64 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ и $5,98 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ соответственно [18]. В 2010 г. K_p ^{137}Cs в древесину в сосновых вересковых колебались в пределах $1,91\text{--}1,95 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$, в мшистых – $1,75\text{--}2,04 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$; в кору – $6,38\text{--}7,13 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ и $6,32\text{--}6,37 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ соответственно [11]. Приведенные данные свидетельствуют о различиях K_p ^{137}Cs в древесину и кору сосны по данным разных авторов. Во временном аспекте прослеживается тенденция к снижению их величины. На уменьшение K_p ^{137}Cs в древесину сосны, на фоне годовых колебаний, обусловленных комплексом факторов, включая климатические, указывается в работе [13].

По исследованиям [7] в заповеднике средний K_p ^{137}Cs в древесину сосны ($n = 1637$) в диапазоне $A_{пов}$ 100–10000 $\text{kБк}/\text{кг}$ за 2003–2015 гг. составлял $2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ при варьировании от 0,03 до $23,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$. Средние годовые значения K_p ^{137}Cs с $2,20\text{--}2,05 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ в 2003–2004 гг. уменьшились до $1,60\text{--}1,65 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ в 2014–2015 гг. Тенденция снижения их со временем описывается линейным уравнением регрессии с низким (0,289) коэффициентом детерминации из-за высокого уровня флюктуации среднегодовых значений K_p ^{137}Cs .

По нашим данным [9], K_p ^{137}Cs в древесину сосны в вересковом типе леса в 2014 г. находились на уровне $0,39\text{--}1,27 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$, в мшистом – $0,38\text{--}1,42 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$; в кору – $1,02\text{--}2,50 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ и $3,37\text{--}6,01 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ соответственно. В 2016 г. радиоэкологическими исследованиями на ППН было установлено, что $A_{уд}$ ^{137}Cs в древесине составляла $646\text{--}3816 \text{ Бк}/\text{кг}$, в коре – $1503\text{--}7633 \text{ Бк}/\text{кг}$; K_p ^{137}Cs в древесину сосны в сосновых вересковых и мшистых на стационарах были равны $1,2\text{--}2,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$, в кору – $2,4\text{--}6,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ (табл. 2).

Проведенный анализ указывает на широкий диапазон колебаний K_p ^{137}Cs в древесину и кору сосны на автоморфных почвах при незначительной тенденции их снижения до середины 2010-х годов и на неодинаковое изменение загрязнения радионуклидом этих тканей на разном удалении от источника радиоактивных выбросов.

Выборочные данные многолетних наблюдений на ППН (см. табл. 2) показывают, что в сосновых вересковых и мшистых происходит снижение $A_{уд}$ и K_p ^{137}Cs в коре. Динамика этих показателей в древесине, не подвергавшейся внешнему загрязнению радионуклидами при осаждении радиоактивного облака, имеет более сложный характер. Характерной особенностью для всех насаждений сосны являлся рост $A_{уд}$ ^{137}Cs в древесине в первые годы после аварии за счет кор-

невого поступления [13]. При этом уровни $A_{уд}^{137}\text{Cs}$ и сроки достижения максимума на них были разными и зависели от расстояния до ЧАЭС (рис. 1, а). На ППН Mc-1 после пятилетнего роста и короткой (1990–1993 гг.) стадии стабилизации этого показателя произошло резкое его падение в 1994 г. Затем на протяжении 22 лет $A_{уд}^{137}\text{Cs}$ в древесине сосны колебалась в пределах 3150–4510 Бк/кг без выраженного снижения.

На ППН Pg-1 $A_{уд}^{137}\text{Cs}$ в древесине росла на протяжении первых девяти лет. С 1995 по 2004 г. она находилась в стадии стабилизации, изменяясь от 5100 до 6120 Бк/кг, потом на протяжении 12 лет (2005–2016 гг.) стала постепенно уменьшаться. Отметим, что в 1993–2006 гг. $A_{уд}^{137}\text{Cs}$ в древесине была выше, чем на ППН Mc-1, на которой $A_{поп}$ в эти годы в 2,0 раза (4515–3352 кБк/м²) превышала уровни $A_{поп}$ на ППН Pg-1 (2257–1676 кБк/м²).

На ППН Gn-1 $A_{уд}^{137}\text{Cs}$ увеличивалась в течение семи лет (до 1993 г.), а с 1994 г. началось медленное стабильное ее падение с относительно невысокими изменениями значений по годам.

По прогнозу [12] предполагалось повышение $A_{уд}^{137}\text{Cs}$ в древесине сосны к 2001–

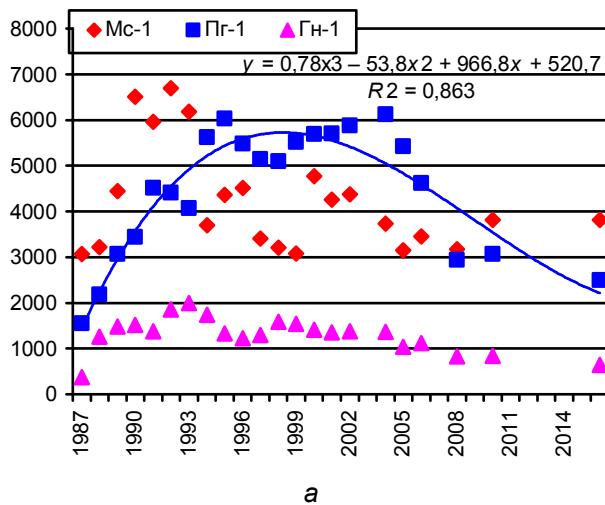
2003 гг. на 130–140 % по отношению к 1992 г., после которого ожидалось ее падение. К 2014 г. она должна была бы составлять 115–125 % от уровня 1992 г. Фактически в 2001–2002 гг. $A_{уд}^{137}\text{Cs}$ в древесине этой породы по сравнению с 1992 г. была на 130–133 % выше только на ППН Pg-1. На ППН Mc-1 и Gn-1 она оказалась ниже на 35–36 и 26–27 % соответственно. К 2016 г. $A_{уд}^{137}\text{Cs}$ на всех ППН снизилась в 1,8–2,9 раза (см. табл. 2).

По другому прогнозу [6] максимальное накопление ^{137}Cs в древесине сосны в сосновом мшистом ожидалось к 2000 г. – на 15 % выше уровней 1993 г. Реально же за этот период на ППН Pg-1 она оказалась выше на 40 %, на остальных – ниже в 1,3–1,4 раза (см. табл. 2).

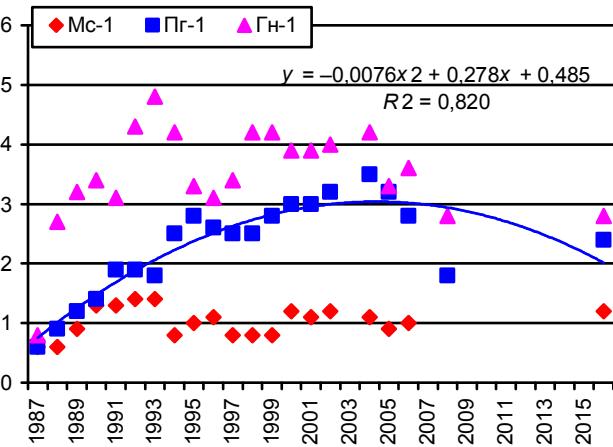
Эффективный период полуснижения концентрации ^{137}Cs в древесине сосны был определен в 22–25 лет [14]. На основании этого $A_{уд}$ в древесине в 2014–2017 гг. должна быть в 2,0 раза ниже по сравнению с 1992 г. Фактически с 1992 по 2016 г. на ППН Mc-1 и Gn-1 она снизилась в 1,8 раза, что довольно близко к расчетным данным, но на ППН Gn-1 – упала в 2,9 раза (см. табл. 2).

Таблица 2. Динамика $A_{уд}$ (Бк/кг) и K_p ^{137}Cs ($\cdot 10^{-3}$ м²/кг) в древесину и кору сосны

Год	$A_{уд}^{137}\text{Cs}$						$K_p^{137}\text{Cs}$					
	Mc-1		Pg-1		Gn-1		Mc-1		Pg-1		Gn-1	
	Древесина	Кора	Древесина	Кора	Древесина	Кора	Древесина	Кора	Древесина	Кора	Древесина	Кора
1987	3071	476560	1554	152551	370	39220	0,6	92,0	0,6	58,9	0,8	81,5
1992	6697	35224	4403	29600	1860	5140	1,4	7,6	1,9	12,8	4,3	12,0
1993	6179	34706	4070	27500	1998	3960	1,4	7,7	1,8	12,2	4,8	9,4
1996	4514	17908	5476	17610	1221	4329	1,1	4,2	2,6	8,4	3,1	11,1
2000	4771	18871	5694	16010	1410	3448	1,2	4,9	3,0	8,3	3,9	9,7
2001	4254	21542	5704	17984	1355	3450	1,1	5,7	3,0	9,6	3,9	9,9
2002	4368	15010	5874	15112	1380	3400	1,2	4,1	3,2	8,2	4,0	10,0
2006	3450	13013	4623	13743	1124	3084	1,0	3,9	2,8	8,2	3,6	9,9
2016	3816	7633	2491	5855	646	1503	1,2	2,4	2,4	5,6	2,8	6,5



а



б

Рис. 1. Динамика показателей загрязнения древесины сосны ^{137}Cs : а – $A_{уд}$, Бк/кг; б – K_p , $\cdot 10^{-3}$ м²/кг

По расчетам [13] $A_{уд}$ ¹³⁷Cs в окоренной древесине сосняка мшистого заповедника в 2016 г. ожидалась в пределах 5000–7000 Бк/кг. Экспериментальные данные оказались в несколько раз ниже (см. табл. 2).

K_n ¹³⁷Cs в древесину сосны увеличивались до 1992 г. на ППН Mc-1, до 1993 г. – на ППН Гн-1 и до 2004 г. – на ППН Pg-1. Затем последовала их стабилизация с тенденцией постепенного уменьшения. На этой стадии K_n составляли 0,8– $1,3 \cdot 10^{-3}$ м²/кг на ППН Mc-1, $1,8–3,5 \cdot 10^{-3}$ м²/кг на ППН Pg-1 и $2,8–4,8 \cdot 10^{-3}$ м²/кг на ППН Гн-1. Очевидно, что с увеличением расстояния до источника радиоактивных выбросов поступление ¹³⁷Cs в древесину сосны растет. Графики K_n ¹³⁷Cs в древесину сосны на ПНН (рис. 1, б) имеют обратное («зеркальное») взаиморасположение по сравнению с уровнями $A_{уд}$ в ней (см. рис. 1, а). Изменения $A_{уд}$ и K_n ¹³⁷Cs в древесине сосны за 30-летний период с 86,3 и 82,0 % уровнями достоверности аппроксимируются уравнением полиномиальной кривой третьей степени только на ППН Pg-1.

В первые годы после аварии на ЧАЭС кора являлась одним из наиболее загрязненных элементов фитомассы лесных экосистем за счет осаждения на ее поверхности части радиоактивных выпадений. Быстрое ее очищение на протяжении 5–10 лет происходило в результате распада короткоживущих радиоизотопов, поверхностного смыва радионуклидов осадками, ее шелушения и опада. В 1987 г. K_n ¹³⁷Cs в кору сосны в насаждениях «ближнего» следа выпадений находился на уровне $70 \cdot 10^{-3}$ м²/кг, «дальнего» –

$40 \cdot 10^{-3}$ м²/кг. С серединой 1990-х годов поверхностное очищение коры восполнялось корневым поступлением ¹³⁷Cs, а снижение ее $A_{уд}$ шло за счет распада радионуклида [13].

На протяжении всего периода наблюдений $A_{уд}$ и K_n ¹³⁷Cs в коре сосны уменьшались на всех ППН. Для данных показателей характерны этапы быстрого и медленного снижения со временем. Этот процесс достаточно надежно ($R^2 = 0,882–0,946$ для $A_{уд}$ и $0,814–0,907$ для K_n) аппроксимируется уравнением степенной функции (рис. 2).

С удалением от ЧАЭС $A_{уд}$ ¹³⁷Cs в коре снижается, а K_n ¹³⁷Cs в нее растут. Для коры сосны, как и для древесины, характерны зеркальность взаиморасположения графиков динамики $A_{уд}$ и K_n ¹³⁷Cs и колебание этих показателей по годам.

Диаметрально противоположные различия в динамике между $A_{уд}$ и K_n ¹³⁷Cs в древесине и коре сосны в зависимости от удаления от источника радиоактивных выбросов объясняется тем, что ближе к реактору выпали более тяжелые топливные частицы с большим количеством валового ¹³⁷Cs, обеспечивающие более высокую плотность загрязнения им почвы [13]. Со временем, по мере выщелачивания ¹³⁷Cs из агрегатированных топливных частиц и перехода в почвенный раствор, этот радионуклид не снижал доли присутствия подвижных форм в почве, где он вовлекался в биологический круговорот и постоянно поступал в органы и ткани сосны. И чем ближе к ЧАЭС, тем больше, вероятно, затягиваются процесс высвобождения ¹³⁷Cs из топливных частиц и переход его в почвенный раствор и в растения.

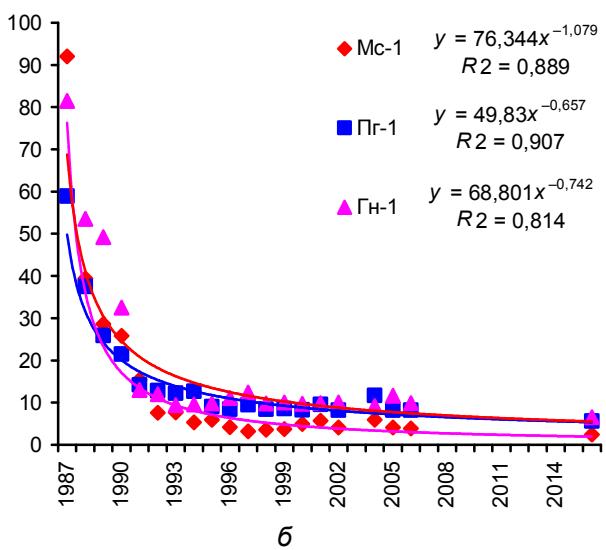
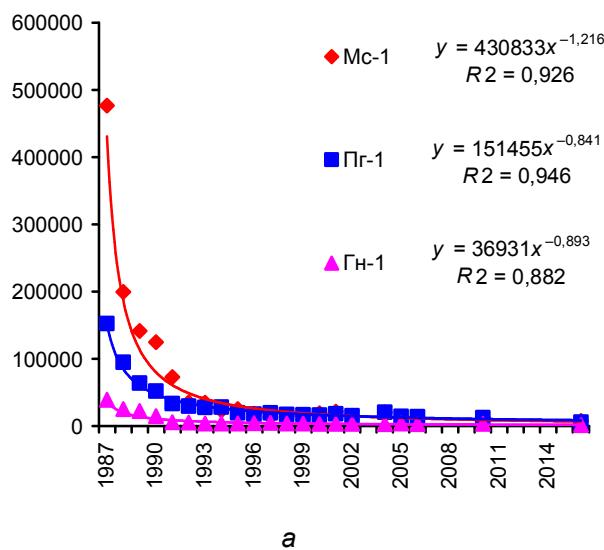


Рис. 2. Динамика показателей загрязнения коры сосны ¹³⁷Cs: а – $A_{уд}$, Бк/кг; б – K_n , 10^{-3} м²/кг

С учетом периода радиоактивного полураспада (30,1 года) к лету 2016 г. валовая активность ^{137}Cs в экосистемах уменьшилась в 2,0 раза. Этот процесс, по мнению автора работы [13], будет определять снижение ^{137}Cs в наземной фитомассе древесного яруса до 2035 г. Со временем доступность ^{137}Cs растениям уменьшится вследствие фиксации его почвой. Так, за 1987–1995 гг. доля фиксированной фракции этого радионуклида в почве увеличилась более чем в 2,0 раза [1]. Миграция ^{137}Cs вниз по профилю почвы [5, 13] и уменьшение его количества в верхнем корнеобитаемом ее слое также сказывается на снижении поступления этого радионуклида в ткани сосны.

Следует учесть, что основная часть подвижного ^{137}Cs вовлечена в биологический круговорот в системе почва–растения–лесная подстилка–почва. В результате непрерывного возврата его в подстилку и почву с опадом и отпадом способствует постоянному обогащению корнеобитаемого слоя и повышенному накоплению в органах и тканях растений.

В условиях автоморфных почв на накопление ^{137}Cs фитомассой сосны основное влияние оказывают радиоактивный распад, вид радиоактивных выпадений, изменяющийся с удалением от реактора, плотность загрязнения почв [13].

Заключение. Анализ $A_{\text{уд}}$ и K_p ^{137}Cs в древесине и коре сосны за период 1987–2016 гг. в сосновых зонах вересковых и мшистых зон отчуждения ЧАЭС на ППН позволил выявить особенности долговременной динамики его накопления тканями.

Поступление ^{137}Cs в древесину сосны происходило только корневым путем. В динамике ее загрязнения имели место рост, стабилизация и медленное снижение уровней радионуклида. Ко-

ра сосны характеризовалась высоким первоначальным поверхностным загрязнением ^{137}Cs , к которому затем добавилось корневое поступление. В результате поверхностного очищения и радиоактивного распада для коры характерны этапы быстрого и медленного снижения $A_{\text{уд}}$ и K_p ^{137}Cs со временем. Наиболее достоверно этот процесс описывается уравнениями степенной функции. С удалением от источника выбросов $A_{\text{уд}}$ ^{137}Cs в древесине и коре уменьшается, а K_p – увеличиваются. Удаленность исследуемых объектов от ЧАЭС обуславливает различия в наступлении и продолжительности стадий стабилизации и снижения ^{137}Cs в тканях сосны.

Основное влияние на аккумуляцию ^{137}Cs древесиной и корой сосны в условиях автоморфных почв оказывают вид радиоактивных выпадений, изменяющийся с удалением от ЧАЭС, радиоактивный распад, плотность загрязнения почв, количество выпавших осадков. Последнее определяет высокий уровень колебаний по годам K_p ^{137}Cs в древесине.

Накопление ^{137}Cs древесиной и корой сосны сосновых зон отчуждения ЧАЭС на ППН определяется радиоактивным распадом, миграцией части запаса ^{137}Cs по профилю почвы ниже корнедоступной зоны, связыванием водорастворимого ^{137}Cs почвой, что обуславливает снижение поступления радионуклида в эти ткани.

При разработке прогнозных моделей поведения ^{137}Cs в тканях сосны в условиях автоморфных почв зоны отчуждения наряду с рассмотренными выше факторами следует принимать во внимание удаленность сосновых насаждений от ЧАЭС, которая обуславливает количество его подвижных форм, доступных растениям.

Литература

1. Агеец, В. Ю. Система радиоэкологических контрмер в агросфере Беларуси / В. Ю. Агеец. – Минск : Инт-т радиологии, 2001. – 250 с.
2. Булавик, И. М. Влияние различных факторов на накопление ^{137}Cs древесными растениями / И. М. Булавик, А. Н. Переволоцкий, А. З. Гайдуль // 10 лет Полесскому гос.у радиационно-эколог. заповеднику : сб. ст. / Полесский гос. радиационно-эколог. заповедник ; сост.: Т. М. Одинцова, К. М. Киреенко. – Минск, 1998. – С. 59–70.
3. Булавик, И. М. Анализ многолетней динамики накопления радионуклидов в лесной продукции / И. М. Булавик, А. Н. Переволоцкий, А. З. Гайдуль // 10 лет Полесскому гос.у радиационно-эколог. заповеднику : сб. ст. / Полесский гос. радиационно-эколог. заповедник ; сост.: Т. М. Одинцова, К. М. Киреенко. – Минск, 1998. – С. 88–95.
4. Влияние типов условий местопроизрастания на уровень накопления ^{137}Cs в древесине основных лесообразующих пород Полесского государственного радиационно-экологического заповедника / А. Н. Переволоцкий [и др.]. // 20 лет после чернобыльской катастрофы : сб. науч. тр. / Полесский гос. радиационно-эколог. заповедник ; сост.: Ю. И. Бондарь [и др.]. – Гомель, 2006. – С. 105–111.
5. Головешкин, В. В. Параметры вертикального распределения радионуклидов в почвах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС / В. В. Головешкин, С. А. Калинченко, А. Н. Чудинов // Чернобыль: 30 лет спустя : материалы Междунар. науч. конф., Гомель, 21–22 апр. 2016 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т радиобиологии [и др.] ; редкол.: И. А. Чешик [и др.]. – Гомель, 2016. – С. 52–54.
6. Дворник, А. М. Аккумуляция ^{137}Cs сосновыми насаждениями и прогноз периода полуочищения на основе модели FORESTLIFE / А. М. Дворник, Т. А. Жученко // Тез. докл. Междунар. рабочего совещ. по Чернобыльской эколог. исслед. сети «экологический статус загрязненных территорий». – Минск, 1995. – С. 41.

7. **Динамика** перехода ^{137}Cs в древесину лесных насаждений зоны отчуждения по данным 2003–2015 гг. / В. Н. Забродский [и др.] // Чернобыль: 30 лет спустя : материалы Междунар. науч. конф., Гомель, 21–22 апр. 2016 г. / Нац. акад. наук Беларусь, Ин-т радиобиологии [и др.] ; редкол.: И. А. Чешик [и др.]. – Гомель, 2016. – С. 101–104.
8. **Изучить** процессы перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в древесину и кору сосновых насаждений в наиболее распространенных условиях произрастания на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника : отчет о НИР (годовой) / Ин-т радиологии ; рук. А. Г. Подоляк ; исполн. И. М. Булавик, П. А. Фролов. – Гомель, 2010. – 82 с. – № ГР 20100198.
9. **Кудин, М. В.** Особенности накопления ^{137}Cs сосновыми древостоями суходольных типов леса Полесского государственного радиационно-экологического заповедника / М. В. Кудин, А. В. Углянец, Д. К. Гарбарук // Проблемы оценки, мониторинга и сохранения биоразнообразия : сб. материалов регион. науч.-практ. конф., Брест, 3 дек. 2015 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; редкол.: Ю. В. Бондарь [и др.]. – Брест, 2016. – С. 239–243.
10. **Матусов, Г. Д.** Аккумуляция ^{137}Cs сосновыми насаждениями в ПГРЭЗ в различных типах леса / Г. Д. Матусов // 20 лет после чернобыльской катастрофы : сб. науч. тр. / Полесский гос. радиационно-эколог. заповедник ; сост.: Ю. И. Бондарь [и др.]. – Гомель, 2006. – С. 120–125.
11. **Особенности** перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в древесину и кору сосновых и лиственных насаждений в северной и южной частях заповедника / Ю. И. Бондарь [и др.] // Экосистемы и радиация: аспекты существования и развития : сб. науч. тр. / Полесский гос. радиационно-эколог. заповедник ; под общ. ред. Ю. И. Бондаря. – Минск, 2013. – С. 156–164.
12. **Переволоцкий, А. Н.** Прогноз загрязнения цезием-137 элементов надземной фитомассы сосняков мшистых / А. Н. Переволоцкий, И. М. Булавик, А. З. Гайдуль // Десять лет после Чернобыльской катастрофы (научные аспекты проблемы) : тез. докл. Междунар. науч. конф., Минск, 28–29 фев. 1996 г. / Министерство по чрезвычайным ситуациям и защите населения от последствий катастрофы на ЧАЭС, Акад. наук Беларусь ; редкол.: Е. Ф. Конопля (пред.) [и др.]. – Минск, 1996. – С. 228.
13. **Переволоцкий, А. Н.** Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах / А. Н. Переволоцкий. – Гомель : Ин-т радиологии, 2006. – 255 с.
14. **Прогнозная** оценка накопления ^{137}Cs древесиной сосняков мшистых «ближней» зоны радиоактивных выпадений / С. Н. Андруш [и др.] // Чернобыль 20 лет спустя. Стратегия восстановления и устойчивого развития пострадавших регионов : сб. тез. Междунар. конф., Минск–Гомель, 19–21 апр. 2006 г. / Комитет по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете Министров Респ. Беларусь ; отв. за выпуск А. В. Кувшинников. – Гомель, 2006. – С. 164.
15. **Радиационный контроль.** Обследование земель лесного фонда. Порядок проведения = Радыяцыйны кантроль. Абследаванне зямель ляснога фонду. Парадак правядзення : ТКП 240-2010 (02080) – Введ. 22.02.10 (с отменой «Инструкции по проведению радиационного обследования земель государственного лесного фонда», Минск, 2003). – Минск : Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь, 2010. – 18 с.
16. **Радиационный мониторинг** лесного фонда. Закладка постоянного пункта наблюдения. Порядок проведения = Радыяцыйны маніторынг ляснога фонда. Закладка пастаяннага пункта назірання. Парадак правядзення : ТКП 498-2013 (02080). – Введ. 03.10.13 (с отменой Методики организации и ведения радиационного мониторинга в лесах, утв. приказом Минлесхоза от 24.05.2006 г., № 113). – Минск : Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь, 2013. – 28 с.
17. **Федоров, В. Н.** Состояние лесных экосистем Белорусского сектора 30-км зоны ЧАЭС / В. Н. Федоров, В. В. Савельев, В. С. Пискунов // Чернобыль-96. Итоги 10 лет работы по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС : тез. докл. V Междунар. науч.-практ. конф., Зеленый Мыс, 1996 г. / Министерство по делам защиты населения от последствий аварии на Чернобыльской АЭС [и др.] ; редкол.: Н. П. Архипов (отв. ред.) [и др.]. – Зеленый Мыс, 1996. – С. 357–358.
18. **Щеглов, А. И.** Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: по материалам 10-летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС / А. И. Щеглов. – М. : Наука, 2000. – 268 с.
19. **Юркевич, И. Д.** Леса Белорусского Полесья (геоботанические исследования) / И. Д. Юркевич, Н. Ф. Ловчий, В. С. Гельтман. – Минск : Наука и техника, 1977. – 288 с.

Полесский государственный радиационно-экологический заповедник, г. Хойники, Беларусь

Поступила в редакцию 29.04.2017 г.

А. В. Углинец, Д. К. Гарбарук, М. В. Кудин

**ДИНАМИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ^{137}Cs ДРЕВЕСИНЫ И КОРЫ СОСНЫ В СОСНЯКАХ
ВЕРЕСКОВЫХ И МШИСТЫХ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС**

В статье приведен анализ удельной активности и коэффициентов перехода ^{137}Cs в древесину и кору сосны сосновок вересковых и мшистых зоны отчуждения Чернобыльской АЭС за 1987–2016 гг. Выявлены особенности долговременной динамики накопления в тканях сосны данного радионуклида. Установлено, что с удалением от источника радиоактивных выбросов удельная активность ^{137}Cs в древесине и коре сосны уменьшаются, а коэффициенты перехода увеличиваются. Расстояние до эпицентра аварии влияет на наступление и продолжительность стадий стабилизации и снижения ^{137}Cs в древесине.

Накопление ^{137}Cs древесиной и корой сосны сосновок вересковых и мшистых определяется радиоактивным распадом, миграцией части запаса ^{137}Cs по профилю почвы ниже корнедоступной зоны, связыванием водорастворимого ^{137}Cs почвой, что обуславливает снижение поступления радионуклида в эти ткани.

При разработке прогнозных моделей поведения ^{137}Cs в тканях сосны в условиях автоморфных почв зоны отчуждения наряду с выше рассмотренными факторами следует принимать во внимание удаленность сосновых насаждений от Чернобыльской АЭС, которая обуславливает количество его подвижных форм, доступных растениям.

A. V. Uhlianets, D. K. Garbaruk, M. V. Kudin

**THE ^{137}Cs CONTAMINATION DYNAMIC OF PINE WOOD
AND BARK IN THE HEATHERY AND MOSSY PINE FORESTS
OF THE CHERNOBYL NPP EXCLUSION ZONE**

The article represents the analysis of ^{137}Cs specific activity and transition coefficients in pine wood and the bark of the heathery and mossy pine forests in the Chernobyl NPP exclusion zone over 1987–2016 years. The specific features of long-term accumulation dynamic in the pine tissues of given radionuclide are revealed. It has been established that ^{137}Cs specific activity in wood and bark pine is reduced and transition coefficients are increased with the distance to radioactive contamination source. A distance to the accident epicenter affects a stabilization stages beginning and duration and ^{137}Cs concentration decreasing in the wood.

^{137}Cs accumulation by the pine wood and bark of heathery and mossy pine forests is determined by radioactive decay, ^{137}Cs partial migration along the soil profile below a root accessible zone, binding of water-soluble ^{137}Cs by the soil, which causes a decrease in radionuclide intake into these tissues.

During development the predictive behavior models of ^{137}Cs in pine tissues under the conditions of exclusion zone automorphic soils, along with the considered above factors, it is necessary to take into account the pine forests remoteness from the Chernobyl NPP, which determines the number of its active forms available to the plants.

УДК 504.062:553.97:577.117.3

Н. В. Козел¹, В. А. Ракович², Н. Г. Аверина¹

СОДЕРЖАНИЕ ВЕЩЕСТВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ТОРФЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ БЕЛАРУСИ

Проведен качественный и количественный анализ ряда органических веществ растительного происхождения, таких как порфирины, каротиноиды и физиологически активные соединения цитокининовой природы, в торфе естественных и восстанавливаемых болотных экосистем Беларуси. Выявлено существенное увеличение содержания порфиринов в образцах торфа низинного типа травяной группы, а также в образцах торфа верхового типа моховой группы восстанавливаемых болотных экосистем по сравнению с естественными, что может быть хорошим индикатором наличия и интенсивности процессов торфообразования при повторном заболачивании.

Введение. Болотные экосистемы играют важную роль в процессах связывания углерода и регенерации кислорода, поддержания водного баланса, а также сохранения биологического разнообразия [3]. Болота являются источником многих незаменимых ресурсов, часть которых сконцентрирована в органических отложениях, накапливаемых в виде торфа. Торф является ценнейшим природным биологическим материалом и важнейшим минерально-сырьевым ресурсом Беларуси. Он широко используется в сельском хозяйстве, животноводстве, медицине, энергетике и других областях промышленности. Активное вовлечение торфяных месторождений в традиционное природопользование приводит к их существенному изменению и истощению, что ставит под угрозу сохранение биологических ресурсов и биологического разнообразия Беларуси. В настоящее время активно проводятся мероприятия по восстановлению нарушенных болотных экосистем и оценке интенсивности и глубины химических преобразований органических и минеральных веществ в процессах торфообразования. Так как формирование торфа отражает эффективность болотообразовательных процессов [10], актуальным является поиск новых химических индикаторов, адекватно отражающих функциональное состояние торфяных залежей естественных, нарушенных и восстанавливаемых болотных экосистем. Известно, что в торфе, который является продуктом разложения растительных остатков, присутствуют растительные пигменты, близкие по своим спектральным свойствам к каротиноидам и безмагниевым тетрапирольным пигментам феофитину и феофорбиду [1, 7]. Степень сохранности этих пигментов в торфе весьма высокая, и они могут служить индикаторами изменения состояния торфяно-болотных экосистем.

Целью исследования – выявить различия в составе и содержании ряда органических ве-

ществ растительного происхождения, таких как порфирины, каротиноиды и физиологически активные соединения цитокининовой природы, в торфе естественных и восстанавливаемых болотных экосистем Беларуси для оценки динамики их восстановления в условиях повторного заболачивания и прогнозирования их развития и рационального использования.

Объекты и методы исследования. В работе были использованы образцы торфа низинного типа из трех торфяных месторождений: Стубла (кадастровый номер № 112, восстанавливаемая и естественная части болотной экосистемы, древесная группа, вид торфа ольховый), Хольче (кадастровый номер № 417, естественная часть болотной экосистемы, травяная группа, вид торфа тростниковый) и Гричино–Старобинское (кадастровый номер № 1186, восстанавливаемая часть болотной экосистемы, травяная группа, вид торфа тростниковый), а также образцы торфа верхового типа из месторождения Туршовка–Чертово (кадастровый номер № 402, восстанавливаемая и естественная части болотной экосистемы, травяная группа, вид торфа пущевый) и месторождения Докудовское (кадастровый номер № 198, восстанавливаемая и естественная части болотной экосистемы, моховая группа, вид торфа фускум). Образцы торфа были отобраны на глубине 0,0–0,2 и 0,2–0,4 м.

Стратиграфическое бурение и отбор проб торфа из залежи проводили в соответствии с существующими Методическими инструкциями по разведке торфяных месторождений [8, 14]. Образцы отбирали в пункте отбора проб послойно из одной или нескольких скважин, которые располагались в радиусе не более 10 м от места отбора первой пробы. Отбор образцов торфа производили полуметровым членком торфоотборочного бура ТБГ-66, не нарушающим структуру торфа. Образцы отбирали от поверхности торфяной залежи до минерального дна послойно

через 0,2 м и упаковывали в отдельные полиэтиленовые пакеты. Масса отобранный пробы была не менее 0,4 кг. Перед погружением бура в залежь для отбора следующей пробы челнок тщательно очищали. В одной скважине с каждой глубины пробу отбирали только один раз. При отборе проб вели полевой журнал, в котором фиксировали место отбора, номер пробы, глубину отбора, на какой анализ отбиралась пробы и полевые оценки вида, типа и степени разложения торфа.

Название вида торфа давали по процентному соотношению растительных остатков [13]. Общую площадь, занятую остатками, видимыми под микроскопом, принимали за 100 % (пустоты не учитывали). Процентное содержание отдельных растений определяли глазомерно с округлением до 5 %. Если определенный вид растительных остатков занимал площадь менее 5 %, то его отмечали как единичный и он не влиял на суммарную площадь всех растений. При анализе одной и той же пробы торфа путем передвигания покровного стекла просматривали до 10 полей. Для определения ботанического состава использовали атласы-определители остатков растений-торфообразователей [6], а также ГОСТ 21123–85 [13].

Определение степени разложения торфа в образцах, взятых из неосущенных залежей, осуществляли микроскопическим методом Варлыгина [4], используя ГОСТ 21123–85 [13]. Показатель степени разложения торфа вычисляли как среднее арифметическое просмотренных 30 полей.

Для определения зольности использовали типовой метод по ГОСТ 11306–83 [12]. Навеску торфа сжигали в муфельной печи при температуре 800 ± 25 °C и зольный остаток прокаливали до постоянного веса при той же температуре. Все взвешивания проводили на аналитических весах с точностью до 0,002 г. Результаты анализов каждого из двух параллельных определений зольности рассчитывали до сотых долей, а окончательный результат – среднее арифметическое из двух параллельных определений – округляли до десятых долей процента [9].

Обменную кислотность торфа определяли электрометрическим методом [9]. Навеску 20–30 см³ помещали в стеклянный стакан и залива-

ли 1 н. KCl с pH 5,6–6,0 в отношении 2,5 объема к взятому объему торфа. Супензию перемешивали и оставляли на 4–5 ч. Затем производили измерения pH при помощи pH-метра. Окончательные результаты округляли до десятых долей числа.

Качественную и количественную оценку содержания порфиринов и каротиноидов в образцах торфа, а также в листьях растений ячменя проводили с помощью жидкостного хроматографа высокого давления Shimadzu Prominence LC 20 (Япония) с хроматографической колонкой Nucleodur C18 Gravity (тип C18, размер частиц – 3 мкм, длина – 15 см) фирмы Macherey-Nagel (Германия). В основу метода выделения, разделения и идентификации порфириновых пигментов хлорофильной природы, а также каротиноидов были положены методики, описанные в работах [15, 16, 18]. Они были модифицированы в приложении к образцам торфяного происхождения согласно работе [11]. Для экстракции пигментов сухие образцы торфа размельчали до порошкообразного состояния, после чего многократно промывали ацетоном. Степень вымывания пигментов контролировали по спектрам поглощения на спектрофотометре Uvikon 931 фирмы Kontron (Германия). Затем ацетоновый экстракт упаривали до определенного объема. Далее в виалы для хроматографии вносили по 0,5 мл ацетонового экстракта и помещали в камеру хроматографа. Объем инъекции составлял 50 мкл. Разделение пигментов в колонке производили с использованием растворов А (90 % – ацетонитрил, 9,9 % – H₂O, 0,1 % – триэтиламин) и В (100% – этилацетат) с потоком 0,5 мл/мин по программе, представленной в табл. 1. Пигменты регистрировали спектрофотометрическим детектором с диодной матрицей Shimadzu SPD-M20A (Япония) в диапазоне 200–800 нм. Для визуализации профиля хроматограммы выделяли спектр поглощения при 410 нм. Для количественного определения пигментов использовали площади пиков хроматограммы. Для более точной идентификации растительных пигментов регистрировали флуоресценцию разделенных веществ флуориметрическим детектором Shimadzu DGU-20A (Япония) при длине волны регистрации 670 нм (длина волны возбуждающего света – 410 нм).

Таблица 1. Программа изменения концентрации растворителей для разделения растительных пигментов на хроматографической колонке Nucleodur C18 Gravity (тип C18, размер частиц – 3 мкм, длина – 15 см)

Время, мин	Раствор, %		Режим
	A	B	
0,01	100	0	Линейный градиент
15,00	0	100	Изократический режим
18,00	0	100	Линейный градиент
19,00	100	0	Изократический режим
25,00	100	0	Остановка

* Скорость потока – 0,5 мл/мин.

Для оценки содержания в торфе веществ, обладающих цитокининовой активностью, анализировали накопление фотосинтетических пигментов при освещении листьев этиолированных растений ячменя, обработанных в темноте водными экстрактами торфа согласно работе [2]. Растения ячменя выращивали при температуре 23 ± 2 °С в специализированном боксе в полной темноте на сетках, помещенных в емкости с водой. Начиная с пятидневного возраста растения опрыскивали 3 раза в день на протяжении трех суток водными экстрактами торфа либо дистиллированной водой (контроль). Затем проростки выносили на свет с интенсивностью 5000 лк и освещали на протяжении 8 ч, после чего отбирали пробы для анализа пигментного состава. Качественный и количественный состав фотосинтетических пигментов проростков ячменя определяли с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии согласно работе [5].

Результаты и их обсуждение. Первоначально нами были проанализированы общетехнические характеристики исследуемых образцов торфа, отобранных из верховой и низинной залежей естественных и восстанавливаемых болотных экосистем Беларуси (табл. 2).

Представленные результаты показывают, что по большинству общетехнических показателей существенных различий между естественными и восстанавливаемыми болотными экосистемами не наблюдается. Для некоторых месторождений отмечена разнонаправленная тенденция к изменению регистрируемых параметров. Так, например, степень разложения пушицевого торфа была на

5 % выше для восстанавливаемой экосистемы, а для тростникового торфа и фускум-торфа, наоборот, отмечено снижение примерно на 5–10 % степени разложения для восстанавливаемых участков по сравнению с естественными. Для тростникового торфа восстановленной залежи также отмечено снижение примерно на 3–5 % зольности по сравнению с естественной. Для ольхового торфа восстанавливаемой и естественной экосистем значимых различий в общетехнических показателях не выявлено.

Анализ образцов торфа на наличие в них растительных пигментов позволил выявить в исследуемых препаратах наличие порфиринов хлорофильной природы. На рис. 1 представлена типичная для исследованных препаратов хроматограмма ацетонового экстракта из образца торфа низинного типа № 6н восстанавливаемой болотной экосистемы с ярко выраженным пиками бактериофеофитина *a* (пик 1, время удержания – 8,30 мин), феофитина *b* (пик 2, время удержания – 9,05 мин), феофитина *a* (пик 3, время удержания – 9,80 мин) и феофорбита *a* (пик 4, время удержания – 10,40 мин). На рис. 2 представлены спектры указанных пигментов (кроме феофорбита *a*), зарегистрированные спектрофотометрическим детектором с диодной матрицей, нормированные на единицу по коротковолновому максимуму поглощения. Спектр поглощения феофорбита *a* схож со спектром поглощения феофитина *a*. Для точной идентификации феофорбита *a* использовали дополнительно флуориметрический детектор, регистрируя характерную для этого пигmenta

Таблица 2. Характеристика торфа верховой и низинной залежей

Номер образца торфа	Глубина отбора, м	Вид торфа	Залежь	Степень разложения торфа, %	Влага, %	Зольность, %	Кислотность, pH в KCl
<i>Низинный торф, торфяное месторождение Стубла (кадастровый номер № 112)</i>							
1н	0,0–0,2	Ольховый	Естественная	40	87	11,1	5,7
2н	0,2–0,4			40	88	10,8	5,9
3н	0,0–0,2		Восстанавливаемая	40	86	12,6	6,0
4н	0,2–0,4			40	88	11,7	5,9
<i>Низинный торф, торфяное месторождение Гричино–Старобинское (кадастровый номер № 1186)</i>							
5н	0,0–0,2	Тростниковый	Восстанавливаемая	25–30	87	8,5	6,3
6н	0,2–0,4			30	89	8,3	6,1
<i>Низинный торф, торфяное месторождение Хольче (кадастровый номер № 417)</i>							
7н	0,0–0,2	Тростниковый	Естественная	35	84	13,6	5,9
8н	0,2–0,4			35	87	11,4	5,7
<i>Верховой торф, торфяное месторождение Туршовка–Чертово (кадастровый номер № 402)</i>							
1в	0,0–0,2	Пушицевый	Восстанавливаемая	40	89	2,1	3,6
2в	0,2–0,4			40	88	2,5	3,4
3в	0,0–0,2		Естественная	35	90	2,4	3,1
4в	0,2–0,4			35	91	2,2	3,2
<i>Верховой торф, торфяное месторождение Докудовское (кадастровый номер № 198)</i>							
5в	0,0–0,2	Фускум-торф	Восстанавливаемая	10–15	90	2,3	3,6
6в	0,2–0,4			10–15	91	2,6	3,4
7в	0,0–0,2		Естественная	20	93	2,2	3,6
8в	0,2–0,4			15–20	94	2,0	3,4

флуоресценцию при 670 нм (длина волны возбуждающего света – 410 нм). Наличие безметалльных порфириновых пигментов хлорофильной природы в образцах торфа не удивительно, так как известно, что для получения безметалльных порфиринов достаточно незначительного

химического воздействия на молекулу хлорофилла, что вполне реализуемо в исследуемом материале, поскольку для торфа характерны кислые значения pH, при которых ион Mg^{2+} в молекуле хлорофилла легко замещается на два протона [17].

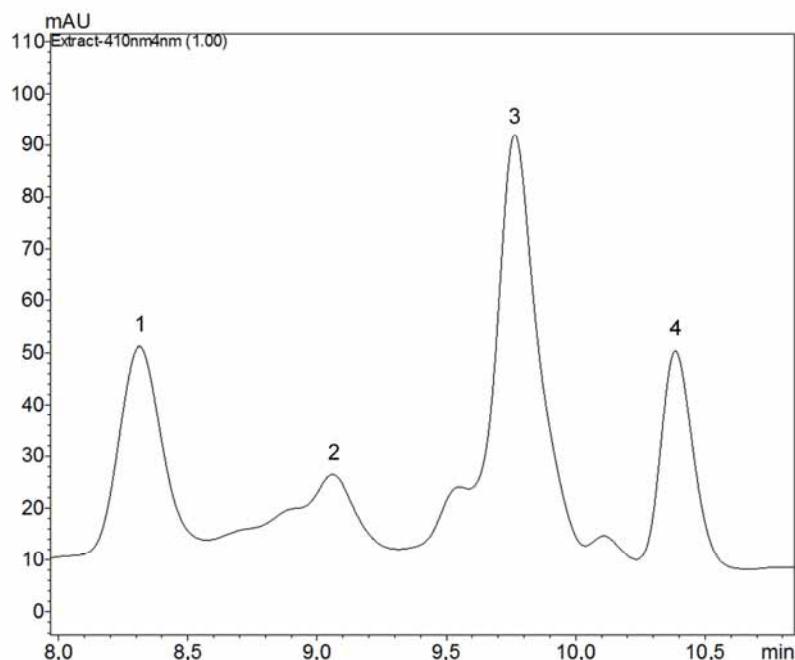


Рис. 1. Хроматограмма экстракта порфириновых пигментов из образца торфа низинного типа № 6н восстанавливаемой болотной экосистемы. Пики принадлежат: 1 – бактериофеофитину а (время удержания – 8,30 мин); 2 – феофитину b (время удержания – 9,05 мин); 3 – феофитину а (время удержания – 9,80 мин); 4 – феофорбиду а (время удержания – 10,40 мин)

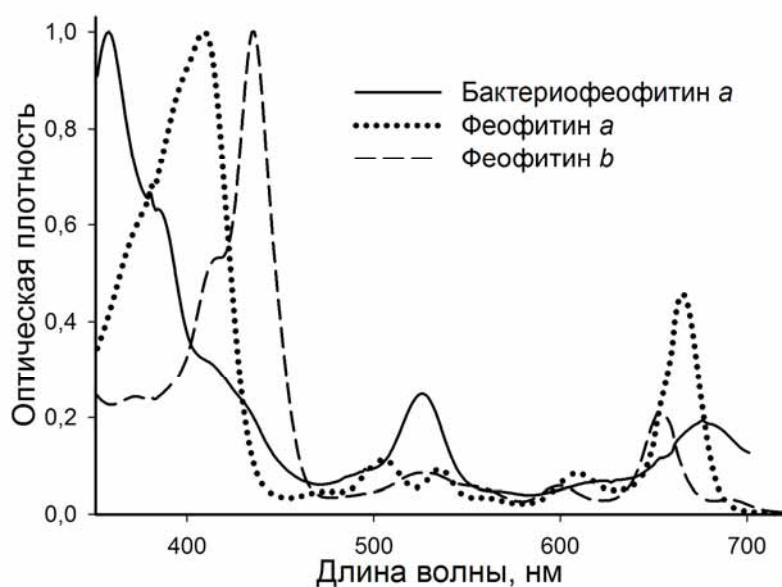


Рис. 2. Спектры поглощения пигментов, выделенных из образца торфа низинного типа № 6н восстанавливаемой болотной экосистемы. Спектры нормированы на единицу по коротковолновому максимуму поглощения

В образцах торфа низинного типа естественной и восстанавливаемой части болотных экосистем древесной и травяной групп были обнаружены порфириновые пигменты как растительного (феофитины *a* и *b*, феофорбид *a*), так и бактериального (бактериофеофитин *a*) происхождения (табл. 3). Магнийсодержащие хлорофилловые пигменты и каротиноиды в пробах отсутствовали. Для всех образцов были характерны существенные отличия в качественном и количественном составе пигментов. В травяной группе (тростниковый торф) наибольшее суммарное количество пигментов отмечено в торфе восстанавливаемой экосистемы. Так, содержание бактериофеофитина *a*, феофитина *a*, феофитина *b* и феофорбисда *a* в восстанавливаемом и естественном месторождениях оказалось следующим: 13,6 и 2,6; 11,6 и 1,1; 4,1 и 0,3; 6,4 и 0,6 соответственно. При этом в естественном месторождении в верхнем слое залегания пигментов оно, как правило, оказывалось больше, чем в глубинных слоях. Такая же картина отмечена и для торфа восстанавливаемой экосистемы, за исключением бактериофеофитина *a*, содержание которого было в 14,0 раз выше в верхнем 0,2-метровом слое, по сравнению с его содержанием

в 0,4-метровом слое. Другая картина распределения пигментов отмечена в торфе древесной группы (ольховый вид). Максимальные количества феофитиновых пигментов обнаружены в торфе естественного месторождения. В торфе восстанавливаемой экосистемы содержание пигментов было незначительно – в 1,2–2,3 раза выше в более глубинных слоях залегания. Содержание бактериофеофитина *a* в образцах торфа естественной экосистемы также было в 3,8 раза выше в 0,4-метровом слое по сравнению с 0,2-метровым слоем. Отметим, что значительная доля в пигментном составе образцов торфа № 1н, 2н, 5н, 8н принадлежит бактериофеофитину *a*, что указывает на существенный вклад в торфообразование на соответствующих участках болот фотосинтезирующих видов бактерий.

В образцах торфа верхового типа естественной и восстанавливаемой части болотных экосистем Беларуси травяной и моховой групп были также обнаружены порфириновые пигменты растительного (феофитин *a* и феофорбид *a*) и бактериального (бактериофеофитин *a*) происхождения (табл. 4). Для всех образцов были характерны существенные отличия в качественном и количественном составе пигментов. В травяной

Таблица 3. Содержание тетрапирролов хлорофильной природы в низинном торфе естественной и восстанавливаемой болотных экосистем Беларуси

Номер образца торфа	Торфяное месторождение	Состояние экосистемы	Глубина отбора, м	Феофитин		Феофорбид <i>a</i>	
				Бактерио-феофитин <i>a</i>	<i>a</i>		
				<i>b</i>	мкг/г		
1н	Стубла	Естественная	0,0–0,2	6,75	14,2	н.о.	
2н			0,2–0,4	25,40	8,90	н.о.	
3н		Восстановленная	0,0–0,2	н. о.	2,64	0,85	
4н			0,2–0,4	н. о.	3,06	1,07	
5н	Гричино–Старобинское		0,0–0,2	12,70	4,47	1,15	
6н			0,2–0,4	0,88	7,14	2,91	
7н	Хольче	Естественная	0,0–0,2	н.о.	0,29	0,08	
8н			0,2–0,4	2,55	0,85	0,18	

Примечание. Здесь и далее н. о. – не обнаружено.

Таблица 4. Содержание тетрапирролов хлорофильной природы в верховом торфе естественной и восстанавливаемой болотных экосистем Беларуси

Номер образца торфа	Торфяное месторождение	Состояние экосистемы	Глубина залегания, м	Бактерио-феофи-тин <i>a</i>	Феофи-тин <i>a</i>	Хлоро-филл <i>a</i>	Феофор-бид <i>a</i>
					<i>a</i>		
1в	Туршовка–Чертово	Восстановлен-ная	0,0–0,2	н. о.	3,90	н. о.	н.о.
2в			0,2–0,4	7,85	5,10	н. о.	1,05
3в		Естественная	0,0–0,2	20,50	6,95	н. о.	1,75
4в			0,2–0,4	11,50	4,05	н. о.	1,55
5в	Докудовское	Восстановлен-ная	0,0–0,2	30,35	6,30	н. о.	3,30
6в			0,2–0,4	32,90	19,70	н. о.	12,45
7в		Естественная	0,0–0,2	н. о.	2,00	2,25	1,30
8в			0,2–0,4	н. о.	1,15	1,05	0,40

группе, как в восстанавливаемых торфах, так и в образцах из естественных месторождений магнитосодержащие хлорофилловые пигменты не были обнаружены, все они были феофитинизированы до феофитина *a*, феофорбода *a* и бактериофеофитина *a*. Хлорофилловые пигменты группы *b* и каротиноиды также не были обнаружены. В травяной группе (пушицевый торф) наибольшее суммарное количество пигментов отмечено в торфе естественных месторождений (от 18 до 29 мкг/г сухого веса). В 2,0 раза меньшее суммарное количество порфиринов (14 мкг/г сухого веса) отмечено в торфе восстанавливаемой экосистемы. Интересно, что в верхних слоях торфяника восстанавливаемой экосистемы (0,0–0,2 м залегания) не было обнаружено никаких пигментов кроме небольшого количества феофитина *a* (3,9 мкг/г сухого веса). В более глубинных слоях (0,2–0,4 м) были идентифицированы существенные количества бактериофеофитина *a* (7,8 мкг), феофитина *a* (5,1 мкг) и феофор-

бода *a* (1,05 мкг/г сухого веса). Другой характер распределения пигментов отмечен в торфе моховой группы. Так, максимальное количество пигментов обнаружено в торфе восстанавливаемой экосистемы (от 40 до 65 мкг/г сухого веса) в отличие от 2,6–5,5 мкг/г сухого веса в образцах естественных месторождений. Эти различия не зависели от глубины залегания торфа. Хлорофилл *a* был обнаружен только в торфе естественных месторождений моховой группы (1,05–2,25 мкг/г сухого веса).

В биотесте на содержание в торфе веществ с цитокининовой активностью показана отчетливая стимуляция накопления хлорофиллов *a* и *b*, а также каротиноидов в растениях, обработанных вытяжкой из торфа низинного типа с месторождения Стубла, относящихся к древесной группе естественной и восстанавливаемой экосистем (табл. 5). Стимуляция накопления пигментов в этих образцах достигала в среднем 110 % по отношению к контролю.

Таблица 5. Содержание хлорофиллов и каротиноидов в зеленеющих проростках ячменя, предварительно обработанных в темноте водными растворами вытяжек из торфа низинного и верхового типа естественной и восстанавливаемой болотных экосистем Беларуси

Номер образца торфа	Виолаксантин	Антераксантин	Лютеин	Хлорофилл <i>b</i>	Хлорофилл <i>a</i>	β-каротин
	мкг/г сырой массы (процент к контролю)					
<i>Низинный торф</i>						
Контроль	30,21	11,00	36,29	29,22	103,28	13,58
1н (116)	35,13 (104)	11,46 (104)	40,58 (112)	29,33 (100)	108,53 (105)	14,12 (104)
2н (112)	33,78 (100)	11,01 (100)	40,76 (112)	30,00 (103)	107,52 (104)	14,66 (108)
3н (111)	33,55 (90)	9,86 (90)	38,07 (105)	23,11 (79)	98,14 (95)	12,07 (89)
4н (110)	33,23 (97)	10,61 (97)	39,83 (110)	27,98 (96)	104,61 (101)	14,15 (104)
5н (104)	31,39 (84)	9,22 (84)	36,70 (101)	22,15 (76)	89,06 (86)	12,06 (89)
6н (104)	31,37 (83)	9,11 (83)	37,74 (104)	23,23 (80)	89,52 (87)	12,17 (90)
7н (102)	30,65 (79)	8,63 (79)	34,44 (95)	22,35 (77)	90,81 (88)	10,93 (81)
8н (115)	34,65 (88)	9,66 (88)	38,98 (107)	23,19 (79)	92,38 (90)	12,55 (92)
<i>Верховой торф</i>						
Контроль	9,37	10,25	4,72	26,01	53,02	167,98
1в (140)	13,11 (120)	12,25 (120)	6,24 (132)	27,46 (106)	51,17 (97)	163,94 (98)
2в (110)	10,26 (91)	9,27 (91)	4,36 (93)	21,85 (84)	47,76 (90)	151,40 (90)
3в (123)	11,49 (97)	9,89 (97)	5,65 (120)	23,87 (92)	58,42 (110)	173,09 (103)
4в (107)	10,03 (85)	8,72 (85)	5,52 (117)	21,20 (82)	53,10 (100)	156,96 (93)
5в (90)	8,47 (77)	7,90 (77)	4,98 (106)	20,53 (79)	55,69 (105)	162,81 (97)
6в (97)	9,11 (74)	7,61 (74)	4,72 (100)	19,71 (76)	52,49 (99)	153,43 (91)
7в (78)	7,26 (74)	6,87 (74)	3,75 (79)	19,21 (74)	64,25 (121)	176,38 (105)
8в (70)	6,60 (49)	5,02 (49)	3,40 (72)	14,23 (55)	50,87 (96)	138,67 (83)

Для растений ячменя, обработанных вытяжкой из торфа низинного типа с месторождений Гричино–Старобинское и Холче, относящихся к травяной группе естественной и восстановливаемой экосистем, была характерна стимуляция синтеза только каротиноидов виолаксантина (до 115 %) и лютеина (до 107 %), в то время как количества хлорофиллов и β-каротина в них были в среднем на 15–20 % ниже контрольных значений. Выявлена отчетливая стимуляция накопления всех типов каротиноидов в растениях, обработанных вытяжкой из торфа верхового типа восстанавливаемой экосистемы травяной группы. Так, в растениях, обработанных экстрактами торфа, взятого на глубине 0,0–0,2 м, отмечено повышенное содержание неоксантина (140 %), виолаксантина (120 %), антераксантина (132 %), лютеина (106 %) и β-каротина (108 %) по сравнению с контрольными растениями, обработанными водой. Действие вытяжек из более глубинных слоев торфяной залежи (0,2–0,4 м), напротив, привело к ингибированию накопления пигментов в ходе зеленения проростков ячменя – в среднем на 12 % по сравнению с растениями контрольного варианта. Действие экстрактов торфа из залежей естественной экосистемы (0,0–0,2 м) оказалось аналогичным, хотя и менее эффективным, чем в случае восстанавливаемой экосистемы: 123 % – для неоксантина, 120 % – для антераксантина, 103 и 110 % – для хлорофиллов *a* и *b* соответственно. Для растений ячменя, обработанных вытяжками из торфа верхового типа с месторождения Докудовское в целом было характерно ингибирование накопления пигментов по сравнению с контрольными растениями: в среднем 85 % – для растений, обработанных экстрактами торфа из восстанавливаемой экосистемы, 75 и 69% – для растений, обработанных экстрактами торфа естественной экосистемы, взятых из глубины 0,0–0,2 м и 0,2–0,4 м соответственно. Отмечена лишь стимуляция накопления хлорофиллов *a* (на 21 %) и *b* (на 5 %) только в случае использования торфа естественной экосистемы, взятых с глубины 0,2 м.

Заключение. Таким образом, в данном исследовании впервые проведен сравнительный анализ качественного и количественного состава веществ растительного происхождения порфириновой и цитокининовой природы в торфе естественной и восстанавливаемой болотных экосистем. Биотест на зеленение показал преимущественное содержание веществ с цитокининовой активностью в образцах торфа низинного типа древесной группы по сравнению с их содержанием в торфе травяной группы, а также преимущественное содержание веществ с цитокининовой активностью в образцах торфа верхового типа травяной группы по сравнению с их содержанием в торфе моховой группы. При этом четкой зависимости цитокининовой активности экстрактов торфа от состояния экосистемы (восстанавливаемая или естественная) и глубины залегания торфа не выявлено.

Показано существенное увеличение содержания порфиринов в образцах торфа низинного типа травяной группы, а также в образцах торфа верхового типа моховой группы восстанавливаемых болотных экосистем по сравнению с естественными. Ранее нами также была выявлена зависимость между содержанием порфириновых пигментов в образцах торфа и состоянием экосистемы для других торфяных месторождений [11]. Полученные результаты указывают на то, что качественный и количественный состав порфиринов в торфе может быть хорошим индикатором наличия и интенсивности процессов торфообразования при повторном заболачивании. С учетом современного уровня техники анализ порфириновых пигментов в торфе не представляет существенной сложности, и данный метод может быть использован наряду с существующими для более точной оценки состояния болотных экосистем.

Авторы выражают благодарность Белорусскому республиканскому фонду фундаментальных исследований, при финансовой поддержке которого выполнена настоящая научная работа (грант БРФФИ № X15СО–011).

Литература

1. Аверина, Н. Г. Растительные пигменты в торфе / Н. Г. Аверина, Н. Н. Поликарпова // Изв. АН БССР. Сер. хим. наук. – 1981. – № 1. – С. 102.
2. Аверина, Н. Г. Цитокининовая активность регуляторов роста и развития растений, выделенных из торфов / Н. Г. Аверина, Н. Н. Поликарпова, Е. И. Колосова // Физиология растений. – 1987. – Т. 34. – С. 577–583.
3. Бамбалов, Н. Н. Роль болот в биосфере / Н. Н. Бамбалов, В. А. Ракович. – Минск, 2005.
4. Варлыгин, П. Д. Унифицированные правила определения степени разложения торфа микроскопическим методом / П. Д. Варлыгин, Ц. И. Минкина. – Минск, 1945.
5. Влияние спектрального состава светодиодного освещения на структуру фотосинтетического аппарата *Spirulina platensis* / Н. В. Козел [и др.] // Вес. Нац. акад. наук, Сер. біял. наук. – 2015. – № 2. – С. 44–49.
6. Домбровская, А. В. Атлас растительных остатков, встречающихся в торфе / А. В. Домбровская, М. И. Коренева, С. Н. Тюремнов. – М.: Госэнергоиздат, 1959.
7. Зверева, А. В. Тетрапиррольные пигменты в гумусовом органическом веществе / А. В. Зверева, С. И. Писарева, Н. В. Юдина // Химия растительного сырья. – 1999. – № 4. – С. 31–34.

8. Инструкция по разведке торфяных месторождений. – М. : М-во геологии СССР, 1984.
9. Лиштван, И. И. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. – Минск, 1975.
10. О методике оценки современного прироста торфа болот / С. Э. Вомперский [и др.] // Болотные экосистемы севера Европы: разнообразие, динамика, углеродный баланс, ресурсы и охрана : материалы Междунар. симп. – Петрозаводск, 2006. – С. 48–59.
11. Растительные пигменты торфов как индикатор функционального состояния болотных экосистем Беларуси и Западной Сибири / Н. В. Козел [и др.] // Вестн. Фонда фундаментальных исслед. – 2014. – Т. 69, № 3. – С. 31–41.
12. Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности : ГОСТ 11306–83. – М. : Изд-во стандартов, 1983.
13. Торф. Термины и определения : ГОСТ 21123–85. – М. : Изд-во стандартов, 1985.
14. Торфяные месторождения и их разведка : руководство по лабораторно-практическим занятиям: учеб. пособие для вузов / С. Н. Тюремнов [и др.]. – М. : Недра, 1977.
15. Forni, E. HPLC separation and fluorimetric estimation of chlorophylls and pheophytins in fresh and frozen peas / E. Forni, M. Ghezzi, A. Polesello // Chromatography. – 2012. – Vol. 1. – P. 120–124.
16. Occurrence and distribution of metals and porphyrins in Nigerian coal minerals / A. A. Olajire [et al.] // J Fuel. Chem. Technol. – 2007. – Vol. 35. – P. 641–647.
17. The antioxidant and free radical scavenging activities of chlorophylls and pheophytins / C.-Y. Hsu [et al.] // Food and Nutrition Sciences. – 2013. – Vol 4. – P. 1–8.
18. The identification of chlorophyll and its derivatives in the pigment mixtures: HPLC-chromatography, visible and mass spectroscopy studies / S. V. Milenković [et al.] // Advanced technologies. – 2012. – Vol. 1. – P. 16–24.

¹ Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

² Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 12.05.2017 г.

Н. В. Козел, В. А. Ракович, Н. Г. Аверина

СОДЕРЖАНИЕ ВЕЩЕСТВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ТОРФЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ БЕЛАРУСИ

Выявлено существенное увеличение содержания порфиринов в образцах торфа низинного типа травяной группы, а также в образцах торфа верхового типа моховой группы восстанавливаемых болотных экосистем по сравнению с естественными, что может быть хорошим индикатором наличия и интенсивности процессов торфообразования при повторном заболачивании.

Показано преимущественное накопление веществ с цитокининовой активностью в образцах торфа низинного типа древесной группы по сравнению с их содержанием в торфе травяной группы, а также преимущественное накопление веществ с цитокининовой активностью в образцах торфа верхового типа травяной группы по сравнению с их содержанием в торфе моховой группы. При этом четкой зависимости цитокининовой активности экстрактов торфа от состояния экосистемы (восстанавливаемая или естественная) и глубины залегания торфа не выявлено.

N. V. Kozel, V. A. Rakovich, N. G. Averina

THE CONTENT OF PLANT-DERIVED SUBSTANCES IN THE PEAT OF THE NATURAL AND RESTORED BOG ECOSYSTEMS OF BELARUS

A significant increase in the content of porphyrins in the lowland of the grass group and upland peat samples of the moss group of restored bog ecosystems in comparison with natural ones is revealed. This can be good indicator of the presence and intensity of peat formation processes during repeated bogging.

The primary accumulation of substances with cytokinin activity in the samples of the lowland peat type of the wood group in comparison with their content in peat of the grass group is shown, as well as the predominant accumulation of substances with cytokinin activity in the upland peat type of grass group in comparison with their content in peat of the moss group. At the same time, there is no clear dependence of the cytokinin activity of peat extracts on the state of the ecosystem (restored or natural) and the depth of occurrence of peat.

Н. И. Тановицкая, О. Н. Ратникова

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НАРУШЕННОСТИ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Изучены основные параметры, показывающие нарушенность торфяных месторождений: проективное покрытие осушительной сетью торфяных месторождений; среднегодовые значения уровня грунтовых вод и амплитуды колебаний; проективное покрытие болотными фитоценозами; ботанический состав, степень разложения, зольность и влажность торфа в залежи. Приведена методика комплексной оценки нарушенности торфяных месторождений.

В Беларуси имеют место следующие основные виды антропогенного воздействия на торфяные месторождения: сельскохозяйственное, лесохозяйственное, разработка торфяных месторождений для топливной энергетики и сельского хозяйства, а также выгорание торфяного слоя и поверхностные пожары.

В 1986–1992 гг. проводились ландшафтно-геохимические исследования верховых болот Беларуси. Т. И. Кухарчик [7] на основании анализа гидрологических, гидрохимических, литогеохимических и геоботанических критерииев дана оценка реакции верховых болот на наиболее характерные для них виды воздействия. С учетом уменьшения интенсивности и полного прекращения торфообразовательного процесса, изменения внутрilandшафтных и межландшафтных связей, а также биосферных функций, выделено четыре степени трансформации верховых болот: слабая и средняя, свойственные болотам лесного фонда; сильная и очень сильная – характерные для объектов, нарушенных добычей торфа. Показано, что для поддержания экологического равновесия, наряду с сохранением уникальных природных ландшафтов в естественном состоянии, целесообразно восстановление выработанных торфяных месторождений. Для ускорения процессов экологической реабилитации необходимо выполнить минимум технических мероприятий по повышению обводненности.

В 2006–2012 гг. авторами проводились исследования болот Беларуси верхового и низинного типов [16–18]. При разработке АИС «Естественные болота Беларуси» выявлены три категории нарушенности гидрологического режима болот: I – естественные; II – слабо нарушенные; III – нарушенные [5]. ТКП 17.12-08-2015 [25] регламентирует разделение болот на пять категорий нарушенности: I – естественные; II – близкие к естественным; III – слабо нарушенные, способные к восстановлению, IV – нарушенные, V – необратимо нарушенные. Для определения категории нарушенности болот в этих работах применялась экспертная оценка, основанная на анализе проективного покрытия осушительной сетью в нулевых границах торфяных месторождений, а также дешифрирования космических снимков.

По результатам более поздних исследований, выполненных после 2012 г. [13, 19, 20], на

основании комплексного анализа параметров торфяных месторождений, описанного ниже, выявлены четыре категории нарушенности: I – не нарушенные; II – слабо нарушенные; III – средне нарушенные; IV – сильно нарушенные. Данный подход позволяет оценить нарушенность торфяных месторождений и разработать мероприятия по их экологической реабилитации.

Первые шаги по разработке нормативной базы экологической реабилитации выработанных торфяных месторождений предприняты в 1980-х годах сотрудниками лаборатории биогеохимии ландшафтов (сейчас – биогеохимии и агрэкологии) Института природопользования НАН Беларуси. В соответствии с решением Государственного комитета Республики Беларусь по экологии № 1.1 от 31 января 1991 г. выполнены работы по научному обоснованию комплексного использования выработанных торфяных месторождений с учетом охраны природы и определен перечень первоочередных выработанных торфяных месторождений для изучения рационального направления их использования, включая организацию природоохранных объектов. Были разработаны научные обоснования и мероприятия по экологической реабилитации более 20 антропогенно нарушенных торфяных месторождений [10, 12, 21–23].

В 2008 г. авторами данной статьи разработаны два нормативных документа: ТКП 17.12-01–2008 (02120) «Правила и порядок определения и изменения направлений использования выработанных торфяных месторождений и других нарушенных болот» [27] и ТКП 17.12-02–2008 (02120) «Порядок и правила проведения работ по экологической реабилитации выработанных торфяных месторождений и других нарушенных болот и предотвращению нарушений гидрологического режима естественных экологических систем при проведении мелиоративных работ» [26], которыми регламентированы процедуры проведения мероприятий по экологической реабилитации и изменения направления использования нарушенных торфяных месторождений. В 2015 г. разработан ТКП 17.12-08-2015 (33140) «Определение направлений использования торфяных месторождений и болот» [25], согласно которому составлена «Схема распределения торфяников по направлениям использования на период до

2030 г.» (далее – Схема) [15], утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30.12.2015 г. № 1111. Данным постановлением утверждена также «Стратегия сохранения и рационального (устойчивого) использования торфяников».

На основании разработанной Схемы выявлены участки выработанных торфяных месторождений, подлежащих экологической реабилитации, площадь которых составляет 143,3 тыс. га. Для определения методов экологической реабилитации нарушенных участков необходимо разработать методику оценки степени (категории) нарушенности торфяных месторождений.

Цель исследования – разработать методику оценки категории нарушенности торфяных месторождений (далее – методика) с целью обоснования наиболее эффективных способов их использования и разработки методов экологической реабилитации.

Объекты исследования – естественные, нарушенные, выработанные и восстанавливаемые торфяные месторождения на территории Беларуси.

Приведенные выше работы создали необходимый научный задел для исследований по разработке методики. В ходе исследований последовательно решались три задачи. Первая из них связана с разработкой принципиальной схемы, т. е. выбора факторов, влияющих на нарушенность торфяных месторождений. Вторая состоит в определении экспериментальным путем в полевых и лабораторных условиях количественных значений параметров, обуславливающих разные категории нарушенности торфяных месторождений. Третья задача – ранжирование факторов по значимости влияния на нарушенность участков торфяных месторождений.

Достижение поставленной цели и решение главных задач основано на общих методах научного познания: наблюдения, эксперимент, измерения, анализ и сравнение.

В процессе исследований использовались полевой (экспедиционный и мониторинговый), лабораторный и теоретический (ландшафтный, гидрологический, экономический, статистический) методы. Общая схема исследований включает в себя исследования природногенетических особенностей (стратиграфия, геоморфология, генезис, рельеф); свойства торфа в залежи (ботанический состав, степень разложения, зольность, влажность); гидрологических параметров (среднегодовые и среднемесечные значения уровня грунтовых вод (далее – УГВ) и амплитуды колебаний). Отбор образцов торфа на торфяном месторождении производили согласно СТБ 1687–2006. Определение параметров свойств торфа в залежи осуществляли согласно ГОСТ 28245-89, СТБ 2042–2010 и работе [28].

Задача I. Разработка принципиальной схемы, т. е. выбор факторов, влияющих на нарушенность торфяных месторождений. Для выявления факторов, влияющих на нарушен-

ность торфяных месторождений, проведен анализ картографических материалов, литературных данных в области сохранения и использования торфяных месторождений, а также выполнены полевые и лабораторные исследования торфяных месторождений Беларуси. На основании исследований выявлены основные параметры, показывающие нарушенность торфяных месторождений: *проективное покрытие осушительной сетью в нулевых границах торфяных месторождений; среднегодовые значения УГВ и амплитуды колебаний; проективное покрытие болотными фитоценозами; ботанический состав, степень разложения, влажность и зольность торфа в залежи.*

Задача II. Определение экспериментальным путем в полевых и лабораторных условиях параметров факторов, обусловливающих разные категории нарушенности торфяных месторождений.

Фактор 1 – осушительная мелиорация: параметр – *проективное покрытие осушительной сетью торфяного месторождения.* На основании анализа материалов маршрутных, рекогносцировочных и детальных изысканий торфяных месторождений, баз данных АИС «Естественные болота Беларусь» (2010 г.), ГИС «Торфяники Беларусь» (2017 г.), дешифрирования современных космических снимков, а также полевых исследований современного состояния осушительных каналов торфяных месторождений построены схемы покрытия осушительными каналами, включая их зоны влияния, для каждого исследуемого объекта.

Для определения проектного покрытия осушительной сетью в нулевых границах торфяного месторождения использовали формулу

$$P_{\text{осуш.к.}} = S_{\text{осуш.}} / S^0_{\text{т.м.}} \cdot 100, \% \quad (1)$$

где $S_{\text{осуш.}}$ – площадь осушительной сети, в нулевой границе торфяного месторождения, включая зону их влияния, определяемая согласно формуле (2), м^2 ; $S^0_{\text{т.м.}}$ – площадь торфяного месторождения в нулевых границах, принимается равной согласно работе [15], м^2 .

$$S_{\text{осуш.}} = \sum L_k \cdot 2\lambda, \text{ м}^2 \quad (2)$$

где $\sum L_k$ – суммарная длина всех каналов в пределах нулевой границы торфяного месторождения, м; λ – ширина зоны влияния осушительной сети на уровень грунтовых вод прилегающих территорий, вычисляли по формуле (3), м.

Для определения ширины зоны влияния осушительной сети применяли уравнение К. Г. Асатура [24]:

$$\lambda = \sqrt{2 \pi \cdot k_f \cdot h \cdot t / \delta}, \text{ м}, \quad (3)$$

где k_f – коэффициент фильтрации водоносного слоя, $\text{м}/\text{сут}$; h – средняя мощность водоносного слоя, м; t – время от начала осушения или весеннего паводка до расчетного периода (принято

$t = 120$ суток); δ – коэффициент водоотдачи грунтов водоносного слоя, в долях единицы.

Осушение торфяных месторождений для сельского хозяйства и энергетики связано с понижением УГВ и уничтожением естественного растительного покрова, что приводит к коренному изменению структуры и физических свойств торфяной залежи. В первые годы после осушения зона влияния каналов на УГВ верхового торфяного месторождения обычно не превышает 50 м, что связано с тем, что верхний живой слой торфа и мха сохраняет возможность аккумулировать и полностью не отдавать влагу. По проведенным в 2010–2012 гг. исследованиям на торфяных месторождениях низинного типа зона влияния составила 780 м (Гайна-Бродня), 2200 м (Усвич-Бук) и 740 м (Гала-Ковалевское). По исследованным торфяным месторождениям расчетная ширина зоны влияния осушительной сети на прилегающие территории в зависимости от мощности водоносного слоя подстилающих пород, их коэффициента фильтрации для низинного типа торфяной залежи изменяется в пределах около 1–2 км.

Для каждого исследуемого торфяного месторождения получены количественные параметры проектного покрытия территории осушительными каналами, включая их зоны влияния. На рис. 1 приведена схема верхового торфяного месторождения Копыш, расположенного в Пуховичском районе Минской области.

Фактор 2 – гидрологический режим: параметры – среднегодовые значения УГВ и амплитуды колебаний. Торфяное месторождение в естественном состоянии выполняет различные биосферные функции, одна из которых – гидрологическая [1], чутко реагирует на изменение антропогенной нагрузки.

Для организации долгосрочного мониторинга параметров гидрологического режима на

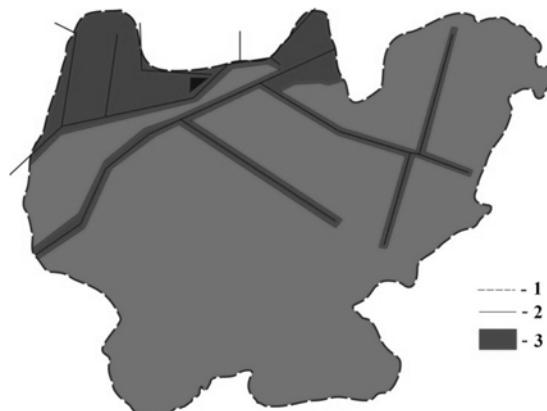


Рис. 1. Схема покрытия осушительными каналами верхового торфяного месторождения Копыш:
1 – нулевая граница торфяного месторождения;
2 – осушительные каналы; 3 – покрытие территории торфяного месторождения осушительными каналами, включая их зоны влияния

участках торфяных месторождений авторами данной статьи с 2012 г. установлено 20 автоматических датчиков измерения УГВ [19, 20]. Принцип работы датчиков основан на автономном измерении значений давления и температуры воды и воздуха. Встроенная память в общей сложности обеспечивает 24 тыс. записей и автоматически фиксирует дату и время измерения. Перед установкой датчики запрограммировали для ввода параметров режима измерений при помощи программы «Diver Office». Для исследуемых торфяных месторождений установленный режим работы датчиков предусматривает измерения два раза в сутки (в 9.00 и 21.00). Далее составили картосхему торфяного месторождения с маршрутами и географическими координатами мест установки датчиков. На запланированном участке наблюдений устанавливался датчик измерения УГВ (далее Д-УГВ) (рис. 2) и датчик компенсации атмосферного давления (далее – Д-АД).

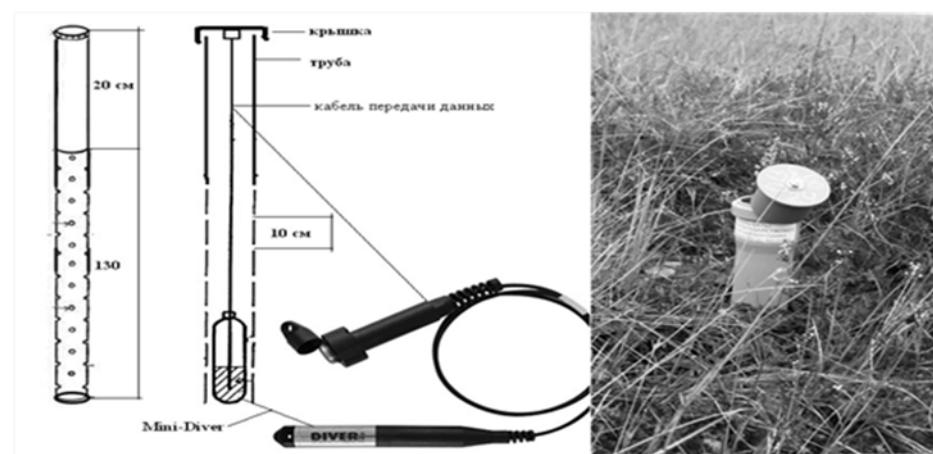


Рис. 2. Схема установки Д-УГВ на участке наблюдений торфяного месторождения

Два раза в год в полевых условиях снимали показания Д-УГВ и Д-АД при помощи специ-

ального считывающего устройства Mate. Данные обрабатывали в лабораторных условиях в про-

граммой «Diver Office». Обработку данных и статистический анализ проводили при помощи программы «Microsoft Office Excel». При обработке данных принят гидрологический год, начинающийся с 1 октября.

В результате проведенных исследований получены следующие параметры гидрологического режима для исследуемых торфяных месторождений: минимальные, максимальные, среднегодовые значения УГВ и амплитуды колебаний (табл. 1).

Таблица 1. Параметры гидрологического режима исследуемых торфяных месторождений, 2012–2016 гг., см

Категория нарушенности	Торфяное месторождение, номер участка	Максимальное значение УГВ	Минимальное значение УГВ	Среднегодовое значение УГВ	Среднегодовая амплитуда колебания УГВ
I	Званец, 2	57***	12***	32***	45
	Званец, 3	49***	1***	21***	48
	Докудовское, 1*	16***	2	8***	18
	Ельня, 4	15***	16	0***	31
	Званец, 1	26***	19	2	45
	Ельня, 5	8***	28	8	36
	Ельня, 7	2***	25	8	27
	Ельня, 10	3***	39	10	42
	Ельня, 1	3***	36	11	40
	Ельня, 6	3***	34	11	38
II	Ельня, 8	0	35	13	36
	Ельня, 3	2***	40	15	42
	Докудовское, 2**	1	48	16	47
	Докудовское, 3**	5***	49	17	54
	Гайна-Бродня, (Мгле)	0	50	17	50
	Островское, 1	19***	76	18	98
III	Докудовское, 4**	2	90	18	88
	Гайна-Бродня, (Юрьево)	13***	70	20	83
	Святое, 1	0	60	21	59
	Ельня, 9	4	51	22	47
	Червень, 1	5***	68	23	73
	Споровский, 2	5	105	39	100
	Споровский, 1	5	112	39	107
IV	Копыш, 1	12	73	40	61
	Споровский, 3	13	105	47	92
	Докудовское, 5**	10	113	50	103
	Ивановское, 1	27	87	54	60
	Споровский, 4	40	125	75	85
	Положа, (Бобровка)	40	120	90	80

* Данные предоставлены Аннетт Тилле.

** На участках проведены мероприятия по экологической реабилитации.

*** УГВ расположен выше поверхности земли.

Например, для торфяного месторождения верхового типа Ельня анализ параметров УГВ с октября 2012 г. до октября 2016 г. позволил сделать следующие выводы: среднегодовые многолетние значения УГВ для I категории нарушенности (участок № 7) составили 8 см ниже поверхности земли, амплитуда колебания УГВ в течение гидрологического года – 27 см; для II категории нарушенности (участок № 3) среднегодовые УГВ – 15 см ниже поверхности земли, амплитуда колебания – 42 см; для III категории нарушенности (участок № 9) среднегодовые УГВ – 22 см

ниже поверхности земли, амплитуда колебания – 47 см (рис. 3) [20].

Фактор 3 – структура растительного покрова: параметры – проективное покрытие болотными фитоценозами. На основании полевых исследований растительного покрова торфяных месторождений, проведенных в 2012–2016 гг., выявлены доминирующие группы фитоценозов, в пределах каждой группы выделены основные виды растений. На участках торфяных месторождений разной категории нарушенности заложены площадки размером

2×2 и 10×10 м, где проводилось описание видов растений растительного покрова всех ярусов: 1-й ярус – древесный, 2-й ярус – кустарниковый и кустарничковый, 3-й ярус – тра-

вянистый, 4-й ярус – моховой, с указанием их проективного покрытия согласно классификации С. Н. Тюремнова [28] (табл. 2).

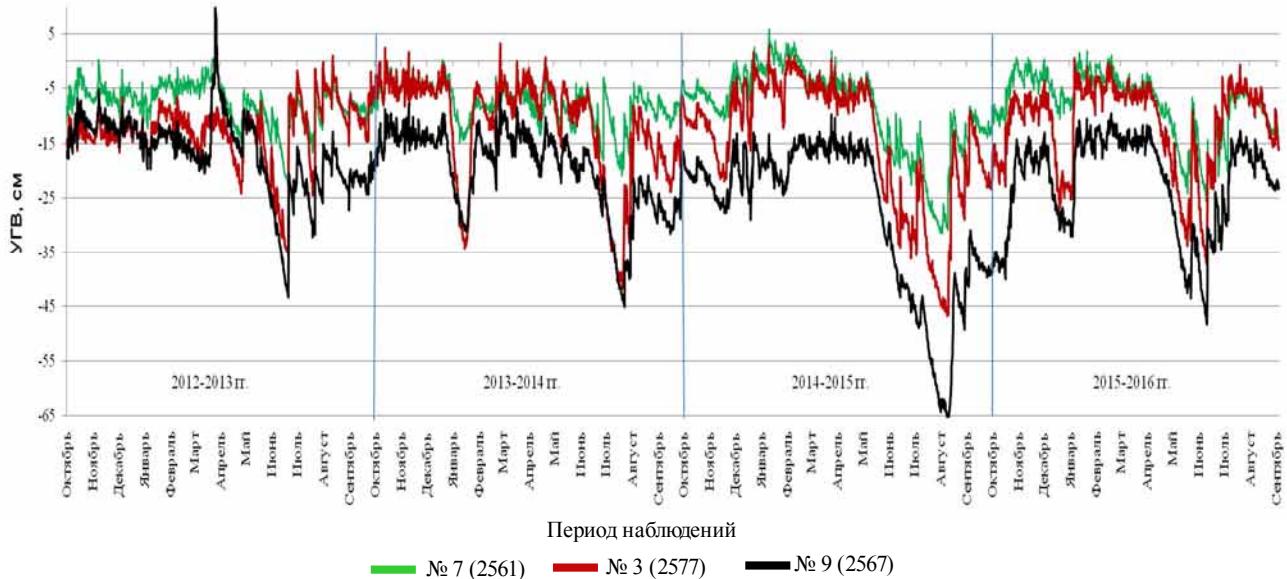


Рис. 3. Изменения в 2012–2016 гг. УГВ на участках торфяного месторождения Ельня с разной категорией нарушенности: I (участок № 7), II (участок № 3), III (участок № 9)

Таблица 2. Проективное покрытие исследуемых участков разной категории нарушенности основными видами растений, 2016 г.

Категория / торфяное ме-сторождение, номер участка	Тип растительности	Группа, фитоценозы	Основные виды растений в составе фитоценозов	
			Размер площадки – 10×10 м	Размер площадки – 2×2 м
I / Ельня, 4	Верховой (олиготрофный)	Древесно-моховая, сосново-сфагновые	Betula pubescens ед., pinus sylvestris – 10 %; lédum palústre, callúna vulgáris – 10 %; erióphorum vaginátum – 35 %, rhynchospora alba – 5 %; sh. magellanicum – 25 %, sh. fuscum – 25 %	Lénum palústre – 5 %, callúna vulgáris – 10 %, oxyccus palustris ед., erióphorum vaginátum – 15 % rhynchospora alba – 5 %; sh. magellanicum – 20 %, sh. fuscum – 20 %, polýtrichum commúne – 5 %
I / Великий Лес, 2	Низинный (евтрофный)	Травяная, тростниковые	Phragmites australis – 85 %, typha latifolia – 15 %	Phrágmites australis – 70 %, typha latifolia – 30 %
I / Ельня, 1	Верховой (олиготрофный)	Травяно-моховая, пушицево-сфагновые	Betula pubescens, pinus sylvestris – 5 %; callúna vulgáris – 35 %; erióphorum vaginátum – 35 %; sh. fuscum – 10 %, sh. magellanicum – 5 %, polýtrichum commúne – 10 %	Callúna vulgáris ед., lédum palústre ед.; erióphorum vaginátum ед.; sh. fuscum – 75 %, polýtrichum commúne – 25 %, sh. magellanicum ед.
II / Гайна-Бродня, Мгле	Низинный (евтрофный)	Древесная, березняки	Pinus sylvestris ед., bétula pubescens – 10 %; sálíx cáprea – 15 %, frágula álnus – 15 %, solidágo virgáurea ед., phrágmites – 30 %, erióphorum vaginátum – 30 %; sphagnum sp. – 10 %	Frágula álnus – 10 %, phrágmites – 25 %, erióphorum vaginátum – 5 %, drósera rotundifolia ед.; sp. cuspidatum – 60 %, dryópteris filix-mas ед.

Окончание табл. 2

Категория / торфяное ме-сторождение, номер участка	Тип растительности	Группа, фитоценозы	Основные виды растений в составе фитоценозов	
			Размер площадки – 10 × 10 м	Размер площадки – 2 × 2 м
III / Копыш, 1	Верховой (олиготрофный)	Древесно-моховой, сосново-сфагновые	<i>Pinus sylvestris</i> , <i>betula pubescens</i> – 10 %; <i>lédum palústre</i> – 15 %, <i>vaccinium uliginosum</i> , <i>andromeda polifolia</i> , <i>calluna vulgáris</i> – 15 %; <i>erióphorum vaginátum</i> ед.; <i>polýtrichum sp.</i> ед. – 50 %, <i>sphagnum sp.</i> – 10 %, <i>cladonia sp.</i> ед.	<i>Pinus sylvestris</i> – 5 %, <i>betula pubescens</i> – 10 %; <i>lédum palústre</i> – 40 %, <i>andrómeda polifolia</i> , <i>vaccinium uliginosum</i> – 10 %; <i>erióphorum vaginátum</i> – 5 %; <i>polýtrichum sp.</i> – 20 %, <i>sphagnum sp.</i> – 10 %, <i>cladonia sp.</i> ед.
III / Святое, 1	Низинный (евтрофный)	Травяная, тростниковые	<i>Betula pubescens</i> – 5 %, <i>scirpus</i> – 40 %, <i>festuca arundinacea</i> – 40 %, <i>cárex humílis</i> – 5 %, <i>rúmex confértus</i> – 5 %, <i>júncus</i> – 15 %, <i>solidago canadénsis</i> ед.	<i>Scirpus</i> , <i>festuca arundinacea</i> – 40 %, <i>cárex humílis</i> , <i>rúmex confértus</i> – 5 %, <i>júncus</i> – 15 %
IV / Ивановское, 1	Пустошная растительность	–	Открытый торф – 70 %, <i>scirpus</i> ед., <i>pinus sylvestris</i> ед., <i>erióphorum angustifólium</i> – 10 % <i>phrágmites austrális</i> – 10 %, <i>cladonia sp.</i> – 10 %	Открытый торф – 80 %, <i>pinus sylvestris</i> – 5 %, <i>erióphorum angustifólium</i> – 10%, <i>cladonia sp.</i> – 5 %

Российскими учеными установлено [3, 4, 9, 14], что распространение различных фитоценозов на территории торфяного месторождения обусловлено характерным для них гидрологическим режимом. На основании этих работ предложена расширенная концепция форм растительности [6], в которой описываются фитоценозы, являющиеся параметрами для определенных УГВ. Основываясь на связи параметров гидрологического режима с болотными фитоценозами, необходимо учитывать, что в одинаковых микроландшафтах, независимо от их расположения на болоте, должны иметь место одинаковые среднегодовые значения УГВ и годовые амплитуды колебания УГВ. Зная распределение фитоценозов, можно составить представление о гидрологическом режиме на территории торфяных месторождений и наоборот [4]. В работах [4, 12, 17, 21] отмечено, что осушение оказывается на росте древесно-кустарничкового яруса, в особенности на увеличении подроста сосны и обилии кустарников, а также на снижении доли *Sp. magellanicum* и *Sp. fuscum* в моховом ярусе.

Авторами выявлены индикаторные виды растений в группе фитоценозов на участках торфяных месторождений, которые характеризуют процессы изменения гидрологического режима, вызванные влиянием осушительной сети. Для торфяных месторождений верхового типа индикаторными видами являются *Lédon palústre*, *Calluna vulgaris*, *Polýtrichum sp.* и *Cladonia sp.*, а для низинного типа характерно появление инвазивных видов (*Solidago canadénsis*) и луговой растительности.

Для построения картосхем болотных фитоценозов в пределах нулевых границ торфяного месторождения использовался визуальный метод дешифрирования космических снимков (далее – КС), разработанный для построения ГИС «Торфяники Беларуси» [11].

Для уточнения вида фитоценозов анализировались материалы полевых геоботанических обследований. На основании анализа проведенных полевых исследований и дешифрирования КС (см. рис. 4) эксперты путем выделены участки с типичными болотными фитоценозами (согласно классификации С. Н. Тюремнова).



Рис. 4. Схема покрытия территории торфяного месторождения Копыш болотными фитоценозами:
1 – нулевая граница торфяного месторождения;
2 – часть месторождения, покрытая естественными болотными фитоценозами; 3 – часть месторождения с видоизмененной растительностью

Для определения проективного покрытия территории болотными фитоценозами в нулевых границах торфяных месторождений использовали формулу (4):

$$P_{\text{б.ф.}} = \sum S_{\text{б.фит.}} / S_{\text{т.м.}} \cdot 100, \% \quad (4)$$

где $\sum S_{\text{б.фит.}}$ – суммарная площадь болотных фитоценозов в нулевой границе торфяного месторождения, м².

Получены количественные параметры проективного покрытия территории болотными фитоценозами для каждого торфяного месторождения (рис. 4).

Фактор 4 – свойства торфа в залежи: параметры – ботанический состав, степень

Таблица 3. Свойства торфа в 0–25 см слое исследуемых участков торфяных месторождений

Категория / торфяное месторождение, номер участка	Вид торфа	R, %	A ^c , %	W, %
I / Ельня, 4	Сфагново-мочажинный	5–10	1,9	96
I / Ельня, 5	Сфагново-мочажинный	5–10	3,8	95
I / Ельня, 6	Магелланикум	5–10	1,6	95
I / Ельня, 7	Магелланикум	5–10	1,3	94
I / Ельня, 8	Магелланикум	5–10	1,4	95
I / Ельня, 10	Комплексный верховой	5–10	8,9	89
I / Ельня, 1	Комплексный верховой	5–10	5,2	89
II / Гайна-Бродня (Мгле)	Тростниковый, осоково-тростниковый	20–30	8,3	87
II / Ельня, 3	Фускум	5–10	2,8	90
II / Рудянец, 2	Магелланикум	5–10	6,1	89
III / Ельня, 9	Магелланикум	10–15	3,5	90
III / Гайна-Бродня, (Юрьево)	Осоково-сфагновый переходный, сфагново-мочажинный	10–15	68,7	56
III / Святое, 1	Тростниково-осоковый	30–40	11,9	87
III / Рудянец I, 1	Комплексный верховой	15–20	6,1	91
III / Копыш, 1	Магелланикум	15–20	6,0	94
VI / Ивановское, 1	Осоковый, тростниково-осоковый, древесно-осоковый	20–35	26,9	86
VI / Бобровка, 1	Тростниковый, тростниково-осоковый	30–40	71,1	50

Выполненный корреляционный анализ показал общую тенденцию увеличения зольности в зависимости от категории нарушенности торфяных месторождений, что объясняется процессами минерализации и неоднократными пожарами на объектах исследования.

Задача III. Ранжирование факторов по значимости влияния на нарушенность участков торфяных месторождений. В результате выполнения исследований в 2012–2016 гг. авторами данной статьи были обследованы и изучены 29 участков торфяных месторождений разных типов. Исследованные участки торфяных месторождений отнесены к разным категориям нарушенности (рис. 5).

Анализ выявленных параметров нарушенности торфяных месторождений (см. табл. 1, 2, 4; рис. 5) показал:

разложения (R), зольность (A^c) и влажность (W) торфа в залежи. Исследования на участках наблюдений показали, что для торфяных месторождений I–II категории влажность и зольность имеют значения, характерные для торфяных месторождений в естественном состоянии [1, 8]. Повышение зольности на участках торфяных месторождений Ельня, Копыш и др. связано с неоднократными пожарами. Для III–IV категорий нарушенности характерно повышение зольности с 3–17 до 6–35% и понижение влажности с торфа в верхнем 0–25 см слое торфяной залежи с 73–92 до 56–89 % (табл. 3).

– для I категории характерны значения среднегодовых УГВ 0–15 см ниже поверхности земли с амплитудой колебания до 45 см, данные условия способствуют произрастанию типичных болотных фитоценозов;

– для II категории среднегодовые значения УГВ составляют 16–20 см ниже поверхности земли и среднегодовая амплитуда колебания до 50 см. Понижение среднегодовых значений УГВ на 5 см, как показали исследования на торфяном месторождении Гайна-Бродня (Мгле), вызывает увеличение площади кустарничков на 10–20 % и увеличение прироста древесного яруса на 5–10 см;

– для III категории в результате антропогенной нагрузки значения среднегодовых УГВ снизились до 21–40 см от поверхности земли с амплитудой колебания 45–100 см; данные условия являются критическими для произрастания

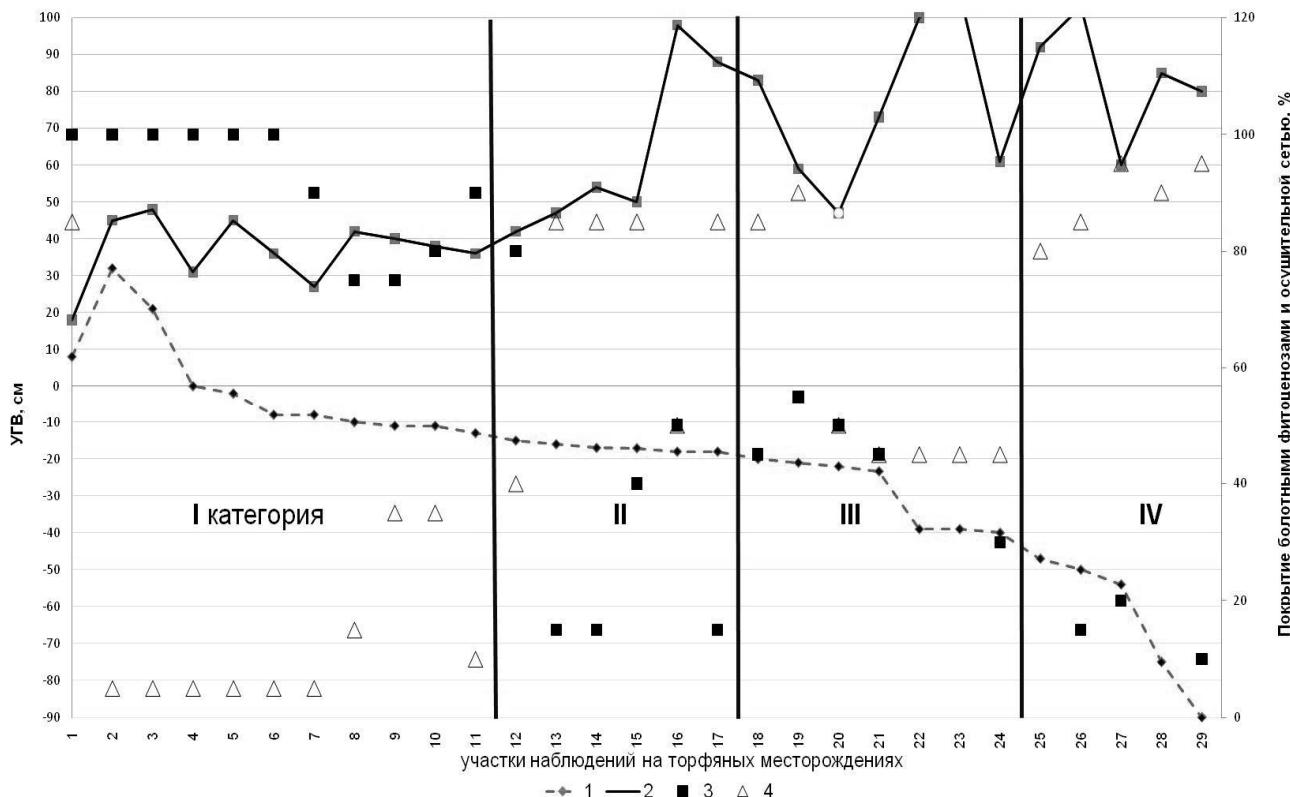


Рис. 5. Графическое отображение параметров исследуемых участков торфяных месторождений разной категории нарушенности: 1 – среднегодовые значения УГВ, см; 2 – амплитуда колебания УГВ, см; 3 – покрытие болотными фитоценозами, %; 4 – покрытие осушительной сетью, %.

Участки торфяных месторождений: 1 – Докудовское, № 1; 2 – Великий Лес № 2; 3 – Великий Лес № 3; 4 – Ельня № 4; 5 – Великий Лес № 1; 6 – Ельня № 5; 7 – Ельня № 7; 8 – Ельня № 10; 9 – Ельня № 1; 10 – Ельня № 6; 11 – Ельня № 8; 12 – Ельня № 3; 13 – Докудовское № 2; 14 – Докудовское № 3; 15 – Гайна-Бродня (Мгле); 16 – Островское № 1; 17 – Докудовское № 4; 18 – Гайна-Бродня (Юрьево); 19 – Святое № 1; 20 – Ельня № 9; 21 – Червень № 1; 22 – Споровский № 2; 23 – Споровский № 1; 24 – Копыш № 1; 25 – Споровский № 3; 26 – Докудовское № 5; 27 – Ивановское; 28 – Споровский № 4; 29 – Положа (Бобровка)

болотных фитоценозов: происходит замещение нижних ярусов (наземный моховой покров и травянистая растительность) на высшие ярусы (кустарнички и кустарники) фитоценозов;

– для **IV категории** (выработанные торфяные месторождения) характерны значения среднегодовых УГВ ниже 41 см от поверхности земли с амплитудой колебания более 60 см. Ранее В. И. Батуевым [2] показано, что понижение УГВ на 41 см и более от средней поверхности микроландшафта приводит к пожароопасной обстановке.

На основании анализа динамики гидрологических параметров (см. табл. 1) выявлена линейная зависимость среднегодовых значений УГВ торфяных месторождений разной категории нарушенности от проектного покрытия исследуемых участков осушительной сетью (см. рис. 6), а также зависимость проектного покрытия участков болотными фитоценозами от среднегодовых значений УГВ (рис. 7).

В табл. 4 приведены количественные зна-

чения параметров: покрытие осушительной сетью в нулевых границах торфяных месторождений; среднегодовые значения УГВ и амплитуды колебаний; покрытие болотными фитоценозами; влажность и зольность торфа в залежи для разных категорий нарушенности торфяных месторождений.

Основными параметрами нарушенности торфяных месторождений являются проектное покрытие осушительной сетью, среднегодовые значения УГВ и амплитуды колебаний и проектное покрытие болотными фитоценозами. Разработанная методика позволяет определить категорию нарушенности торфяного месторождения и методы проведения мероприятий по экологической реабилитации. При отсутствии какого-либо параметра оценку можно проводить по одному или нескольким с учетом приведенного материала. Предлагаемая классификация торфяных месторождений по категориям нарушенности подходит для всех типов торфяных месторождений Беларуси.

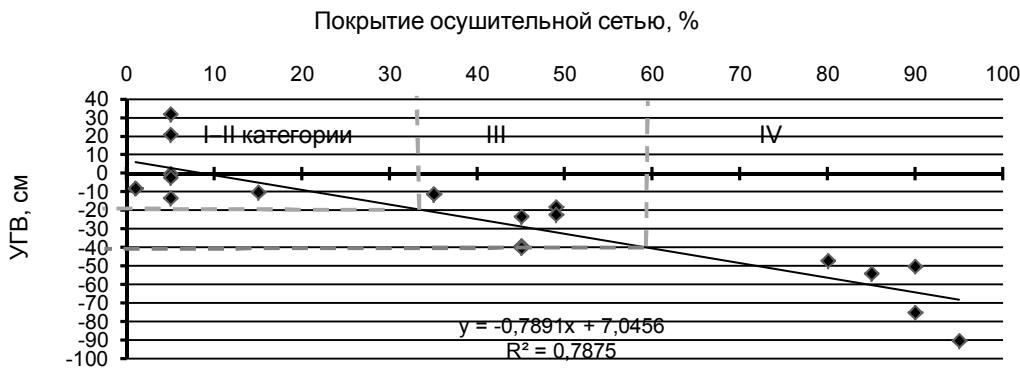


Рис. 6. Зависимость УГВ торфяных месторождений разной категории нарушенности от проективного покрытия исследуемых участков осушительной сетью

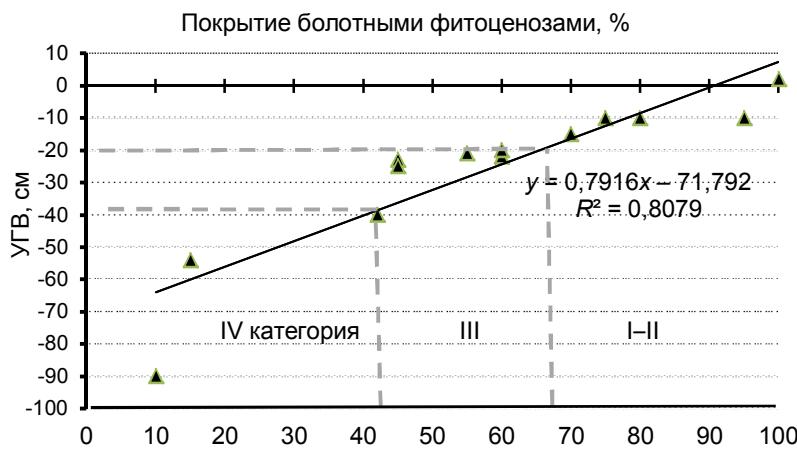


Рис. 7. Зависимость проективного покрытия болотными фитоценозами участков торфяных месторождений разной категории нарушенности от среднегодовых значений УГВ

Таблица 4. Параметры состояния торфяных месторождений разной категории нарушенности

Категория (состояние торфяного месторождения)	Покрытие осушительной сетью, %	Среднегодовые значения УГВ (h_{cp}) и амплитуды колебаний (A), см	Покрытие болотными фитоценозами, %	Влажность (W) и зольность (A ^c), %
I. Ненарушенные (косвенное воздействие)	0–10 (наличие единичных каналов в нулевой границе т. м.)	h_{cp} (B) – 0–15, A (B) – 23–45; h_{cp} (H) – 32*–15, A (H) – 36–45	100	Ненарушенная W (B) – 91–94 W (H) – 87–89 A ^c (B) – 2–4 A ^c (H) – 6–18
II. Слабо нарушенные (способно к восстановле- нию)	11–35	h_{cp} (B, H) – 16–20 в зоне влияния осу- шительных каналов; A (B, H) – до 50	Более 65	Ненарушенная W (B) – 89–93 W (H) – 56–87 A ^c (B) – 3–4 A ^c (H) – 6–18
III. Средне нарушенные (критическое)	36–60	h_{cp} (B, H) – 21–40 как в зоне влияния осу- шительных каналов, так и на удалении от них; A (B, H) – 46–100	41–64	Слабонарушенная W (B) – 89 W (H) – 56 A ^c (B) – 4–7 A ^c (H) – 9–25
IV. Сильно нарушенные (необратимые процессы самовосстановления)	Более 61	h_{cp} (B, H) – более 41; A (B, H) – выше 60	Менее 40	Деградированная торфяная почва W (B, H) – 86 и ниже A ^c (B, H) – выше 20

* УГВ расположен выше поверхности земли.

П р и м е ч а н и е. В – торфяная залежь верхового типа; Н – торфяная залежь низинного типа.

Комплексная оценка нарушенности торфяных месторождений, позволила определить критические условия для произрастания болотных фитоценозов: среднегодовые значения УГВ 21–40 см ниже поверхности земли и амплитуды колебания более 50 см, что соответствует III категории нарушенности. Мероприятия по экологической реабилитации нарушенных торфяных ме-

сторождений предусматривают стабилизацию среднегодовых УГВ на 0–20 см ниже поверхности земли и амплитуду колебания менее 50 см, обеспечивающие восстановление болотообразовательного процесса и исключение возможности торфяных пожаров. Рекомендации по экологической реабилитации апробированы на девяти нарушенных торфяных месторождениях.

Литература

1. **Бамбалов, Н. Н.** Роль болот в биосфере / Н. Н. Бамбалов, В. А. Ракович. – Минск : Беларусь навука, 2005.
2. **Батуев, В.И.** Гидрологические обоснования методики определения необходимого количества воды при обводнении торфяных месторождений / В. И. Батуев, И. Л. Калюжный // Изв. Рус. географ. об-ва. – 2012. – Вып. 4. – С. 42–50.
3. **Галкина, Е. А.** Применение материалов аэрофотосъемки для гидрографического изучения болот / Е. А. Галкина // Тр. Гос. гидрол. ин-та. – 1979. – Вып. 13 (67). – С. 5–25.
4. **Иванов, К. Е.** Водообмен в болотных ландшафтах / К. Е. Иванов. – Л. : Гидрометеоиздат, 1975.
5. **Инвентаризация естественных болот Беларуси с использованием методов космического зондирования** / А. В. Козуллин [и др.] // Природные ресурсы = Natural Resources : межвед. бюл. – 2012. – № 1. – С. 46–53.
6. **Климатическая** значимость болот Целау [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.succow-stiftung.de/tl_files/pdfs_downloads/Berichte/Zehlau_Abschlussbericht_russisch.pdf. – Дата доступа: 15.08.2016.
7. **Кухарчик, Т. И.** Верховые болота Беларуси: трансформация, проблемы использования / Т. И. Кухарчик ; Акад. наук Беларуси, Ин-т проблем использ. природ. ресурсов и экологии. – Минск, 1996.
8. **Лиштван, И. И.** Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король ; Акад. наук БССР, Ин-т торфа, М-во геологии РСФСР, Трест «Геолторфразведка». – Минск : Наука и техника, 1975.
9. **Маслов, Е. А.** Гидрология торфяных болот : учеб. пособие / К. А. Маслов. – Томск : Изд-во Томского гос. пед. ун-та, 2008.
10. **Методические** указания по выявлению торфяных месторождений в качестве природоохранных объектов. – М., 1979.
11. **Определить** расположение, границы и площади торфянников Беларуси по материалам дешифрования космических снимков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://peatlands2.by/sitesfiles/1/4/24/44/> Определение%20границ%20и%20площадей%20торфянников.pdf. – Дата доступа: 15.03.2017.
12. **Разработать** мероприятия по экологической реабилитации первой очереди выработанных площадей торфяного месторождения «Гричино-Старобинское» : отчет о НИР / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т проблем использ. природ. сырья и экологии ; рук. Н. Н. Бамбалов. – Минск, 2002. – 43 с. – № ГР 20022995.
13. **Ратникова, О. Н.** Категории нарушенности гидрологического режима на торфяных месторождениях и болотах / Молодежь в науке – 2014 : прил. к журн. «Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» : в 5 ч. / Нац. акад. наук Беларуси, Совет молодых ученых НАН Беларуси ; редкол.: С. А. Усанов (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларусь навука, 2015. – Ч. 1 : Сер. хим. наук. – С. 77–81.
14. **Романова, Е. Е.** Классификация элементов болотной гидрографической сети / Е. Е. Романова // Тр. Гос. гидрол. ин-та. – 1953. – Вып. 39 (93). – С. 60–80.
15. **Схема** рационального использования и охраны торфяных ресурсов БССР на период до 2010 г. : утв. пост. Сов. Мин. Респ. Беларусь от 25 ноября 1991 г. № 440.
16. **Тановицкая, Н. И.** Комплексное использование торфяного месторождения Докудовское / Н. И. Тановицкая, О. Н. Ратникова // Природопользование. – 2007. – Вып. 13. – С 102–109.
17. **Тановицкая Н. И.** Перспективы дальнейшего использования выработанных площадей торфяного месторождения Гричино-Старобинское / Н. И. Тановицкая, О. Н. Ратникова // Европейское Полесье – хозяйственная значимость и экологические риски : материалы Междунар. семинара, Минск, 19–21 июня 2007 г. / редкол.: И. И. Лиштван [и др.]. – Минск : Минсктипроект, 2007. – С. 306–310.
18. **Тановицкая, Н. И.** Особенности стратиграфии торфяных залежей верховых болот Западно-Пойозерской торфяно-болотной области / Н. И. Тановицкая, О. Н. Ратникова // Природопользование. – 2010. – Вып. 17. – С. 94–10.
19. **Тановицкая, Н. И.** Создание автоматизированной системы наблюдений за гидрологическим режимом на болоте Ельня / Н. И. Тановицкая, О. Н. Ратникова // Природопользование. – 2013. – Вып. 23. – С. 56–61.

20. Тановицкая, Н. И. Особенности гидрологического режима участков болота Ельня различной категории нарушенности / Н. И. Тановицкая, О. Н. Ратникова // Природопользование. – Вып. 30. – 2016. – С. 41–50.
21. Тановицкий, И. Г. Заповедники и заказники на торфяных месторождениях БССР / И. Г. Тановицкий. – Минск, 1983.
22. Тановицкий, И. Г. Рациональное использование торфяных месторождений и охрана окружающей среды / И. Г. Тановицкий. – Минск, 1980.
23. Тановицкий, И. Г. Антропогенные изменения торфяно-болотных комплексов / И. Г. Тановицкий, Ю. М. Обуховский ; под. ред. Н. Н. Бамбалова. – Минск : Наука и техника, 1988.
24. Охрана окружающей среды и природопользование. Общие природоохранные требования. Территории. Экологические требования и правила оценки воздействия разработки торфяных месторождений на окружающую среду : ТКП 17.12-03–2011 (02120). – Минск.
25. Охрана окружающей среды и природопользование. Территория. Определения направлений использования торфяных месторождений и болот. – ТКП 17.12-08–2015 (33140). – Минск.
26. Охрана окружающей среды и природопользование. Территория. Порядок и правила проведения работ по экологической реабилитации выработанных торфяных месторождений и других нарушенных болот и предотвращению нарушений гидрологического режима естественных экологических систем при проведении мелиоративных работ : ТКП 17.12-02–2008 (02120). – Минск.
27. Охрана окружающей среды и природопользование. Территория. Правила и порядок определения и изменения направлений использования выработанных торфяных месторождений и других нарушенных болот : ТКП 17.12-01–2008 (02120). – Минск.
28. Торфяные месторождения и их разведка : руководство по лабораторно-практическим занятиям / С. Н. Тюремнов [и др.]. – М. : Недра, 1977.

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 27.03.2017 г.

Н. И. Тановицкая, О. Н. Ратникова

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НАРУШЕННОСТИ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Приведена методика комплексной оценки нарушенности торфяных месторождений. Выявлены факторы, влияющие на нарушенность торфяных месторождений, и их параметры: покрытие осушительными каналами, среднегодовые значения УГВ и амплитуды колебаний УГВ, покрытие болотной растительностью, в совокупности позволяющие оценить нарушенность торфяных месторождений. Экспериментальным путем в полевых и лабораторных условиях получены количественные значения параметров, обуславливающих разные категории нарушенности.

N. T. Tanovitskaya, O. N. Ratnikova

**THE ASSESSMENT METHODOLOGY CATEGORIES
OF THE DISTURBANCE OF PEAT DEPOSITS**

The technique of complex estimation of the disturbance of peat deposits is given. Factors influencing the disturbance of peat deposits that together allow to assess disturbance of peat deposits were selected. There are drainage, the annual averages of groundwater table, covering with bog phytocoenosis. The quantitative values of parameters contributing to different categories of disturbance were obtained experimentally in field and laboratory conditions.

А. А. Яновский

ДИСТАНЦИОННОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ И ДЕГРАДИРОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ ПОЛЕСЬЯ ПОРОГОВОЙ ОБРАБОТКОЙ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Выполнено сравнение эффективности дистанционного разделения осушенных торфяных и деградированных торфяных почв Полесья путем пороговой обработки различных комбинаций спутниковых данных, которое показало большую эффективность использования непосредственно каналов 1, 2 и 3N спектрорадиометра ASTER по сравнению с их парными отношениями и нормализованными индексами.

Общая площадь болот Беларуси до начала мелиорации составляла 2939 тыс. га, или 14,2 % территории страны, из них 1549,1 тыс. га по состоянию на 2015 г. осушено [8]. Значительная часть осушенных торфяных почв в результате минерализации органического вещества (ОВ) торфа перешла в группу деградированных торфяных почв. Данная проблема актуальна для всей территории Беларуси, однако негативные последствия широкомасштабного осушения болот в наибольшей степени характерны для Полесья. Особенностью торфяных месторождений Полесья является их залегание на равнинных территориях, поэтому они имеют сравнительно большие размеры по площади (до десятков тысяч гектаров) и небольшую толщину торфяного слоя – в основном до 1,3 м в неосушенном состоянии [10]. После их осушения к настоящему времени в результате усадки, минерализации и ветровой эрозии значительно уменьшилась средняя толщина торфяного слоя и существенно увеличилось содержание в пахотном слое торфа минеральных веществ, особенно на участках, где пахотный горизонт дошел до подстилающей торф минеральной породы и началось ее припахивание.

Дистанционное картографирование деградированных торфяных почв Полесья уже более 20 лет является предметом исследований белорусских ученых [2–4, 12]. Вместе с тем среди опубликованных материалов отсутствуют работы, в которых выполняется атмосферная коррекция спутниковых снимков с получением значений спектрального коэффициента отражения на уровне поверхности, а также рассчитывается и уточняется по GPS-координатам наземных контрольных точек RPC модель снимка, что позво-

ляет стандартизировать и, в результате, автоматизировать тематическое картографирование торфяных и деградированных торфяных почв. Наиболее простым физически обоснованным способом дистанционного разделения данных почв является пороговая обработка значений спектрального коэффициента отражения выбранного канала или комбинации каналов спектрорадиометра, однако среди опубликованных работ отсутствуют публикации, в которых бы сопоставлялась эффективность разделения осушенных торфяных и деградированных торфяных почв Полесья путем пороговой обработки широких спектральных каналов видимой и начальной области ближнего ИК-диапазонов и их различных комбинаций для спутниковых снимков среднего пространственного разрешения. Данное исследование является целью настоящей работы, при этом из комбинаций спектральных каналов применяются их парные отношения и нормализованные индексы. В качестве спутниковых данных используются снимки спектрорадиометра ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) уровня обработки L1A территории Солигорского и Лунинецкого районов с датами съемки 01.10.2011 г. и 22.04.2008 г. В табл. 1 приведены результаты расчета автором основных спектральных характеристик, а также средней спектральной плотности надатмосферной облученности VNIR (*Visible and Near Infrared Radiometer*) каналов спектрорадиометра ASTER (направленный назад под углом 27,6° VNIR канал 3B в работе не использовался, поскольку он по своим характеристикам соответствует каналу 3N и предназначен для получения цифровой модели рельефа).

Таблица 1. Основные спектральные характеристики VNIR каналов ASTER

VNIR канал ASTER	1	2	3N
Эффективная длина волны, нм	556,29	660,97	806,80
Нормированная ширина полосы пропускания, нм	83,76	61,56	105,00
Средняя спектральная плотность надатмосферной облученности	1844,1	1560,8	1123,2

Радиометрическая калибровка снимков *ASTER* на основе таблицы коэффициентов радиометрического пересчета, коррекция пропущенных строк каналов снимка и коррекции на значение зенитного угла Солнца, расстояние между Землей и Солнцем и состояние атмосферы на момент съемки проведены с помощью разработанного автором программного продукта «Оценка поверхности торфяных месторождений» [13, 14]. Атмосферная коррекция проведена с помощью улучшенного метода *DOS* (*Dark Object Subtraction*) [17, 18] и ограничилась коррекцией на атмосферное рассеяние. Для обоих снимков минимальное реалистичное значение коэффициента отражения для каждого канала принято равным 0,015, а значение показателя степени λ^{-a} – равным -2,5, поскольку при более низком по модулю его значении, равно как и при более низком минимальном реалистичном значении коэффициента отражения каждого канала, минимальные значения коэффициента отражения *VN/R* каналов после проведения атмосферной коррекции становились ниже 0,01. Более дробные значения показателя степени λ^{-a} и минимальных значений коэффициента отражения каналов не использовали, поскольку имеющиеся данные не позволяли провести физически обоснованное их уточнение. Оценка достоверности полученных значений показателя степени λ^{-a} проведена по наземным измерениям значения метеорологической видимости, полученным на пяти ближайших к участкам отбора проб почвы метеостанциях. Для определения соответствующей пороговому значению величины энергетической яркости на уровне апертуры радиометра использовалось минимальное значение пикселей, с которого начинается резкий рост столбцов гистограммы. Определение искомой величины проведено по каналу 1 *ASTER*.

Подспутниковые измерения осуществлены 04–05.10.2011 г. на сельскохозяйственных полях, расположенных на торфяном месторождении Гричин (Солигорский и Лунинецкий районы) после уборки урожая сельскохозяйственных культур. На их территории подобраны пять визуально относительно однородных по степени деградации участков торфяной и деградированной торфяной почв (участки 2, 4, 5 размером 60 × 60 м, участок 1 размером 40 × 40 м и участок 3 размером 120 × 120 м). На данных участках отобраны пробы из пахотного слоя почвы с глубины 3–5 см для определения содержания углерода органического вещества (C_{opr}), место отбора каждой пробы геопривязано с помощью *GPS*-навигатора *Garmin GPSMAP® 60CSx*. Пробы отбирали в центре каждого участка (две пробы) и через каждые 10 м (участки на сельскохозяйственных полях в виде мозаичных комплексов из торфяной и деградированной торфяной почвы) или 20 м (на участке

торфяной почвы с глубиной торфа более 1 м) по четырем направлениям от центра, примерно ориентированным по сторонам света. Визуализация расположения участков отбора проб на местности и точек отбора проб на каждом участке выполнена в работе [7].

Для каждой пробы определена величина остатка после прокаливания при 800 °C [9], в зависимости от которой далее выбирался метод определения содержания в пробе C_{opr} : для почв с зольностью выше 90 % – по методике И. В. Тюрина [11] в модификации В. И. Никитина [5], для почв с зольностью менее 90 % – по методике Института в модификации В. В. Пономаревой и Т. А. Nikolaевой [6]. Полученные значения C_{opr} пересчитывали в значения ОВ путем умножения на коэффициент 1,724 в соответствии с установленной в почковедении практикой [1, 5]. Используя принятую в Беларуси граничное значение содержания ОВ в торфе, равное 50 %, для каждой пробы определен тип почвы: торфяная или деградированная торфяная. Пробы, приводящие после расчета содержания ОВ к значениям более 100 %, отнесены к торфяной почве, поскольку на участках их отбора отсутствовала деградированная торфяная почва.

Метаданные снимков спектрорадиометра *ASTER* уровня обработки *L1A* содержат для каждого оптического прибора таблицы геометрической коррекции в виде геоцентрических координат центров отдельных пикселей, формирующих сетку, равномерно охватывающую весь снимок [16]. Использование таблиц геометрической коррекции для геопривязки снимков *ASTER* обеспечивает величину ошибки геопривязки ($3 \times \sigma$) < 50 м [21] (σ – стандартная ошибка), поэтому для коррекции местоположения точек отбора проб почвы в системе координат снимка *ASTER* измерили *GPS*-координаты наземных контрольных точек. В качестве последних использовали объекты, которые возможно точно локализовать на снимке *ASTER* (центры пересечения и развилок дорог, центры мостов, центры резких поворотов дороги), равномерно, насколько это возможно, охватывающие территорию подспутниковых исследований. Всего измерили координаты более 20 наземных контрольных точек. При локализации наземных контрольных точек на снимке *ASTER*, которую выполнили в компьютерной программе *BEAM VISAT* [31], некоторые точки исключили по причине трудности их точной локализации, в результате для каждого снимка осталось 20 точек.

Геопривязка спутниковых снимков проведена путем расчета *RPC* модели по таблицам геометрической коррекции и последующей компенсации систематического смещения геопривязки полученной *RPC* модели. Для этого географические координаты и соответствующие им значе-

ния строки и колонки в системе координат снимка *ASTER* из таблицы геометрической коррекции аппроксимировали рациональными полиномами; географические координаты наземных контрольных точек с помощью полученной *RPC* модели пересчитали в координаты снимка, рассчитали их разности с координатами наземных контрольных точек, полученными при их локализации на снимке *ASTER*. Средние значения данных разностей по колонкам и по строкам, равные, соответственно, 1,8458 и -0,6066 пикселей для снимка с датой съемки 01.10.2011 г., а также 1,8747 и 0,3140 пикселей для снимка с датой съемки 22.04.2008 г., добавили к соответствующим координатам точек отбора проб почвы. Величина модуля итогового смещения (квадратный корень из суммы квадратов смещений по строкам и по колонкам) для данных снимков оказалась равной 1,943 и 1,9008 пикселя соответственно. Визуальное сопоставление полученного в результате расположения участков отбора проб почвы относительно границ участков полей подтвердило корректность полученной локализации. Все расчеты и итоговая коррекция расположения точек отбора проб почвы в системе координат снимка *ASTER* проведены с помощью программы «Оценка поверхности торфяных месторождений».

Для сравнения эффективности разделения осущенных торфяных и деградированных торфяных почв путем пороговой обработки *VNIR* каналов *ASTER* и их различных парных комбинаций исключили пробы, которым соответствуют участки поверхности со значением индекса *NDVI* [29], равным 0,35 и более, поскольку в этом случае растительность и/или растительные остатки начинают вносить существенный вклад в спектральный коэффициент отражения поверхности поля.

Для снимка с датой съемки 01.10.2011 г. значения спектрального коэффициента отражения на участке 5 показали заметное отличие для всех *VNIR* каналов *ASTER* от торфяной почвы, однако данный участок характеризуется начальной стадией деградации торфяной почвы, и значения содержания C_{org} в пробах почвы на данном участке близки к торфяной почве участка 3.

Первой существенной причиной данного различия является наличие на поверхности участка 5 на 01.10.2011 г. послеуроченных растительных остатков. Поскольку в спектральном диапазоне *VNIR* каналов *ASTER* коэффициент отражения сухой травы на порядок превосходит коэффициент отражения торфяной почвы, сухая трава эффективно маскирует ее в данных диапазонах. На рис. 1 показана спектральная отражательная способность сухой травы, измерения которой взяты из библиотеки спектров «*The ASTER spectral library version 2.0*» [28]. Визуализация для диапазона 380–1000 нм выполнена автором данной статьи с помощью пакета *Matplotlib* [20] языка программирования *Python*.

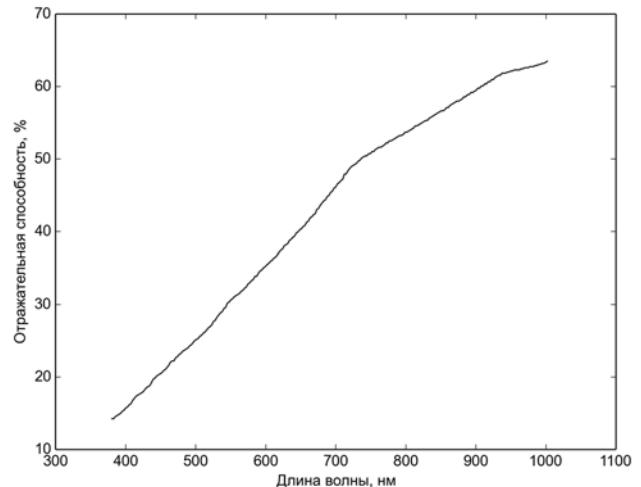


Рис. 1. Спектральная отражательная способность дернины с сухой травой

Другой причиной различия значений спектрального коэффициента отражения на данных участках является повышенное содержание песка на поверхности торфяных почв на разных стадиях деградации по сравнению с нижележащим слоем почвы, из которого проводился отбор проб (с поверхности поля в большей степени выделяются частицы торфа как более легкие по сравнению с частицами песка).

Еще одной существенной предпосылкой появления данного различия является разность расстояний до проекции границы облачного поля от участков 4 и 5 (2 км) и участка 3 (более 4 км), в результате чего значения коэффициента отражения данных участков поверхности оказались заниженными в разной степени, поскольку величина данного завышения линейно пропорциональна логарифму расстояния от края облака [23].

Из участков отбора проб почвы на 22.04.2008 г. без растительного покрова были только участки 3, 4 и 5. Различие значений спектрального коэффициента отражения на участках 3 и 5 оказалось существенно меньшим, чем на снимке с датой съемки 01.10.2011 г. Этого следовало ожидать, поскольку из указанных трех причин данного различия на снимке с датой съемки 01.10.2011 г., на снимке с датой съемки 22.05.2008 г. существенное значение имела только третья причина: повышенное содержание песка на поверхности торфяных почв на разных стадиях деградации по сравнению с нижележащим слоем почвы, из которого проводился отбор проб.

По рассмотренным выше причинам, значения C_{org} в пробах почвы на участке 5 не использовались далее для обоих снимков. Для снимка с датой съемки 01.10.2011 г. в итоге осталось 42 значения C_{org} , 22.05.2008 г. – 25 значений C_{org} . Существенно большее количество полученных для первого снимка значений C_{org} и близость

даты его съемки ко времени подспутниковых измерений (04–05.10.2011 г.) обусловили выбор снимка с датой съемки 01.10.2011 г. в качестве основного для дальнейшего исследования, а снимок с датой съемки 22.04.2008 г. использовался для подтверждения полученных по первому снимку выводов.

Для отобранных значений C_{opr} для каждого *VNIR* канала снимка *ASTER* с датой съемки 01.10.2011 г. извлекли соответствующие значения коэффициента отражения, по которым рассчитали парные комбинации *VNIR* каналов *ASTER*: канал 1 / канал 2, канал 1 / канал 3N, канал 3N / канал 2, *NDVI*, *NDWI* [22] и *NDGI* [30]. Используя непосредственно значения коэффициента отражения каналов 1, 2 и 3N *ASTER*, а также значения рассчитанных комбинаций каналов построили диаграммы размаха для сравнения эф-

фективности разделения торфяных и деградированных торфяных почв пороговой обработкой. Из дальнейшего анализа исключили каналы и их комбинации, которым соответствуют диаграммы размаха с перекрывающимися межквартильными расстояниями. В результате остались канал 1, канал 2, канал 3N и комбинации каналов канал 1 / канал 3N, канал 3N / канал 2, *NDVI* и *NDWI*. Соответствующие им диаграммы размаха приведены на рис. 2, из которого следует, что из исследованных каналов и их комбинаций наилучшее разделение торфяных и деградированных торфяных почв обеспечивают непосредственно канал 1, канал 2 и канал 3N. Расчет диаграмм размаха проведен в командной строке языка программирования *Python* с использованием пакета *seaborn* [27].

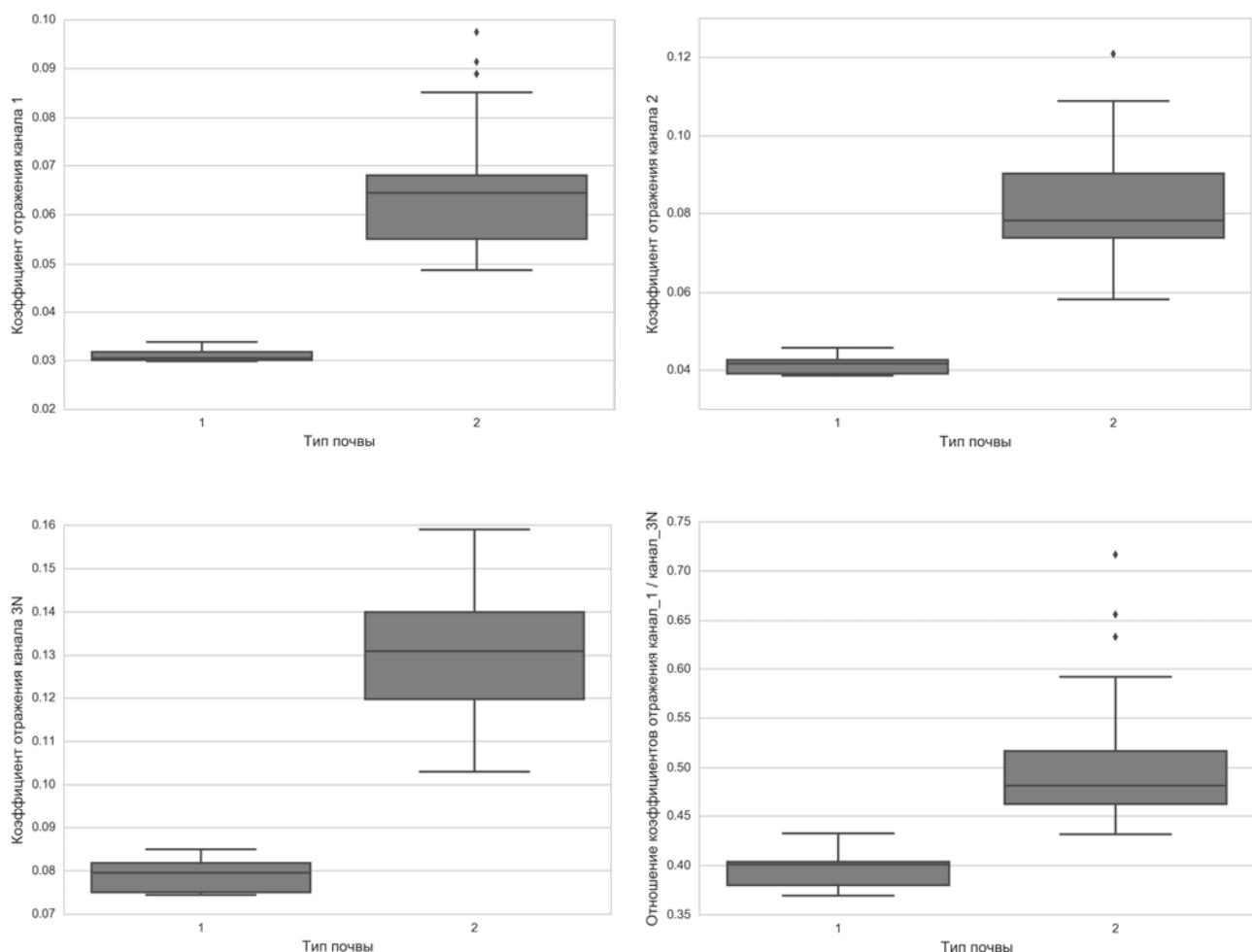
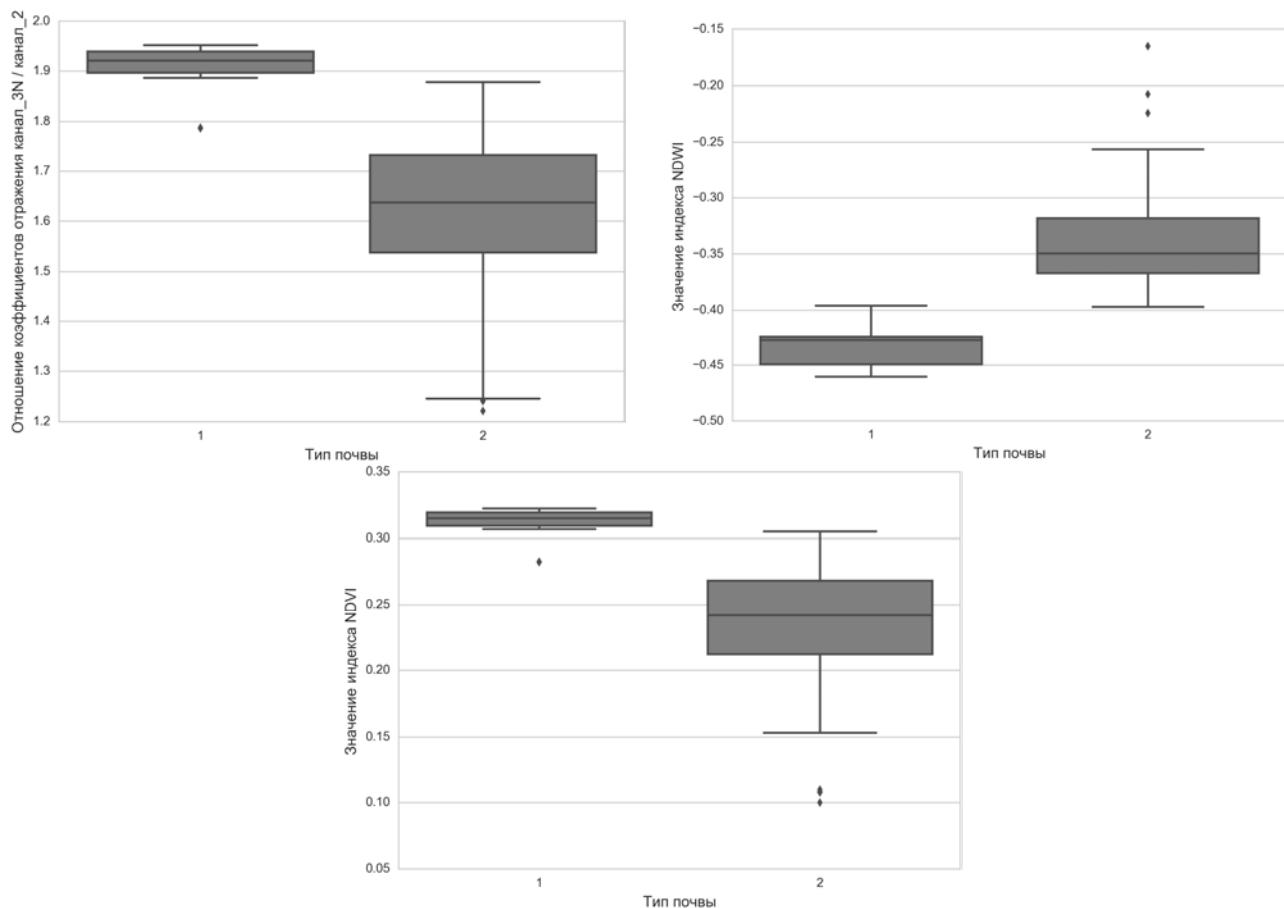


Рис. 2. Диаграммы размаха значений показателей коэффициента отражения торфяных (1) и деградированных торфяных (2) почв.

Концы «усов» расположены на 1,5 межквартильных расстояниях от нижнего и верхнего квартилей, значения за пределами данного диапазона считаются выбросами и отмечены отдельными точками



Окончание рис. 2

Для проверки выводов из анализа диаграмм размаха, для отобранных *VNIR* каналов и их комбинаций выполнена проверка различимости торфяных и деградированных торфяных почв на основе их спектральных свойств с помощью теста Ван-дер-Вардена [19]. Расчеты проведены в программной среде вычислений *R* [25] с использованием пакета *PMCMR* [24].

Результаты теста Ван-дер-Вардена подтвердили вывод из анализа диаграмм размаха, что наилучшее разделение торфяных и деградированных торфяных почв обеспечивают непосредственно каналы 1, 2 и 3N (табл. 2). При этом каналу 2 соответствует наименьшее *p*-значение ($9,374 \cdot 10^{-7}$) из всех сравниваемых каналов и их комбинаций.

Для снимка с датой съемки 22.04.2008 г. аналогично снимку с датой съемки 01.10.2011 г.

рассчитали 9 комбинаций *VNIR* каналов *ASTER* и построили соответствующие диаграммы размаха, которые показали отсутствие перекрытия диапазонов значений только для каналов 1, 2 и 3N, что подтверждает выводы по первому снимку. Результаты теста Ван-дер-Вардена подтвердили вывод из анализа диаграмм размаха, что наилучшее разделение торфяной и деградированной торфяной почв обеспечивают непосредственно каналы 1, 2 и 3N (табл. 3), при этом из всех сравниваемых каналов и их комбинаций наименьшее *p*-значение, равное $3,571 \cdot 10^{-5}$, соответствует каналу 2. Таким образом, результаты анализа снимка с датой съемки 22.04.2008 г. полностью подтверждают результаты, полученные по снимку *ASTER* с датой съемки 01.10.2011 г.

Таблица 2. Результаты теста Ван-дер-Вардена для проверки различимости торфяных и деградированных торфяных почв по снимку *ASTER* с датой съемки 01.10.2011 г.

Показатель	Канал 1	Канал 2	Канал 3N	Канал 1 Канал 3N	Канал 3N Канал 2	NDVI	NDWI
χ^2	23,856	24,053	23,9	23,347	21,991	21,991	23,347
<i>p</i> -значение	$1,038 \cdot 10^{-6}$	$9,374 \cdot 10^{-7}$	$1,015 \cdot 10^{-6}$	$1,353 \cdot 10^{-6}$	$2,74 \cdot 10^{-6}$	$2,74 \cdot 10^{-6}$	$1,353 \cdot 10^{-6}$

Таблица 3. Результаты теста Ван-дер-Вардена для проверки различимости торфяных и деградированных торфяных почв по снимку ASTER с датой съемки 22.04.2008 г.

Показатель	Канал 1	Канал 2	Канал 3N	Канал 1 Канал 3N	Канал 3N Канал 2	NDVI	NDWI
χ^2	17,079	17,087	16,917	5,9736	13,185	13,185	5,9736
p-значение	$3,586 \cdot 10^{-5}$	$3,571 \cdot 10^{-5}$	$3,904 \cdot 10^{-5}$	0,01452	0,0002822	0,0002822	0,01452

Для используемых проб почвы в работе [15] получены экспоненциальные зависимости усредненного для площади 0,023 га спектрального коэффициента отражения торфяных и деградированных торфяных почв Полесья от содержания в почве С_{орг}, на основании которых начальные (верхние и нижние) пороговые значения каналов 1, 2 и 3N ASTER для картографирования торфяных и деградированных торфяных почв определены равными, соответственно 0,01 и 0,04, 0,02 и 0,05, 0,03 и 0,095 – для торфяных почв; 0,04 и 0,55, 0,05 и 0,6, 0,095 и 0,7 – для деградированных торфяных почв. Верхние граничные значения каналов ASTER для деградированной торфяной почвы определены на основе результатов работы [26] и соответствует верхним границам возможных значений спектрального коэффициента отражения песка в спектральных

диапазонах соответствующих каналов ASTER при воздушно-сухой влажности песка.

Заключение: проведенное исследование показало, что дистанционное разделение осущенных торфяных и деградированных торфяных почв Полесья путем пороговой обработки непосредственно каналов 1, 2 и 3N спектрорадиометра ASTER является более эффективным по сравнению с использованием пороговой обработки их парных комбинаций канал 1 / канал 2, канал 1 / канал 3N, канал 3N / канал 2, NDVI, NDWI и NDGI. Из этого следует, что различие усредненных в спектральных диапазонах VNIR каналов ASTER значений спектрального коэффициента отражения торфяных и деградированных торфяных почв, является более существенным, чем различие их изменения между данными спектральными диапазонами.

Литература

1. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – 2-е изд. – М. : Изд-во МГУ. – 1970. – 488 с.
2. Зайцева, В. А. Выбор информативных спектральных каналов для определения степени деградации мелиорированных торфяных почв с различной влажностью / В. А. Зайцева, С. В. Никоненко, З. А. Ничипорович // Журн. прикладн. спектроскопии. – 1995. – Т. 62, № 1. – С. 53–58.
3. Курьянович, М. Эффективность использования материалов дистанционных съемок при картографировании почв / М. Курьянович, Ф. Шалькевич // Земля Беларуси. – 2011. – № 4. – С. 34–38.
4. Ничипорович, З. А. Дистанционная оценка деградации торфяных почв Полесья по их показателям светоотражения : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 11.01.11 / З. А. Ничипорович ; ИПИПРЭ НАН Беларуси. – Минск, 2000. – 19 с.
5. Орлов, Д. С. Практикум по химии гумуса / Д. С. Орлов, Л. А. Гришина. – М. : МГУ, 1981. – 172 с.
6. Пономарева, В. В. Методы изучения органического вещества в торфяно-болотных почвах / В. В. Пономарева, Т. А. Николаева // Почвоведение. – 1961. – № 5. – С. 88–95.
7. Пространственная неоднородность почвенного покрова, формирующегося при использовании мелиорированных торфяных почв Полесья / А. А. Яновский [и др.] // Природопользование. 2013. Вып. 23. – Минск, 2013. – С. 76–82.
8. Стратегия сохранения и рационального (устойчивого) использования торфяников : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 30 декабря 2015 г. № 1111 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 7 января 2016 г. – № 5/41510.
9. Торф. Методы определения влаги и зольности : СТБ 2042-2010. – Введ. 29.03.10 (с отменой на территории РБ ГОСТ 11305-83 и ГОСТ 11306-83). – Минск : Белорус. гос. Ин-т стандартизации и сертификации, 2010. – 10 с.
10. Торфяные и сапропелевые месторождения / А. П. Пидопличко [и др.] // Проблемы Полесья. – Минск : Наука и техника, 1972. – Вып. 1. – С. 292–313.
11. Тюрин, И. В. Новое видоизменение объемного метода определения гумуса с помощью хромовой кислоты / И. В. Тюрин // Почвоведение. – 1931. – № 6. – С. 36–47.
12. Формирование спектральных дешифровочных признаков торфяных почв Полесья / В. А. Зайцева [и др.] // Мониторинг природной среды дистанционными и геодезическими методами / под ред. А. А. Ковалева, В. Н. Губина. – Минск, 1996. – С. 89–96.
13. Яновский, А. А. Автоматизированная оценка состояния поверхности повторно заболоченных и осущенных торфяных месторождений: свидетельство о регистрации компьютерной программы в Нацио-

нальном центре интеллектуальной собственности Респ. Беларусь № 821 / А. А. Яновский. – Опубл. 16.10.2015.

14. Яновский, А. А. Автоматизированное тематическое картографирование поверхности нарушенных торфяных месторождений : св-во о регистрации компьютерной программы в Национальном центре интеллектуальной собственности Респ. Беларусь № 816 / А. А. Яновский. – Опубл. 16.10.2015.

15. Яновский, А. А. Дистанционная оценка спектрального коэффициента отражения поверхности осушенных торфяных почв Полесья по спутниковым снимкам среднего пространственного разрешения / А. А. Яновский // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья : сб. докл. Междунар. науч. конф., Минск, 14–17 сент. 2016 г. : в 2 т. / Нац. акад. наук Беларуси ; редкол.: В. Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларус. наука, 2016. – Т. 2. – С. 132–136.

16. ASTER User's Guide Part II. Level 1 Data Products (Ver.5.1). – Earth Remote Sensing Data Analysis Center, March, 2007. – 66 р.

17. Chavez, P. S. An Improved Dark–Object Subtraction Technique for Atmospheric Scattering Correction of Multispectral Data / P. S. Chavez // Remote Sensing of Environment. – 1988. – Vol. 24, № 3. – Р. 459–479.

18. Chavez, P. S. Radiometric Calibration of Landsat Thematic Mapper Multispectral Images / P. S. Chavez // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1989. – Vol. 55, iss. 9. – Р. 1285–1294.

19. Conover, W. J. Practical Nonparametric Statistics. – 3rd edition. – New York : Wiley, 1999. – 584 р.

20. Hunter, J. D. Matplotlib: A 2D Graphics Environment / J. D. Hunter // Computing in Science & Engineering. – 2007. – Vol. 9, iss. 3. – Р. 90–95.

21. Iwasaki, A. ASTER geometric performance / A. Iwasaki, H. Fujisada // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. – 2005. – Vol. 43, № 12. – Р. 2700–2706.

22. McFeeters, S. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features / S. McFeeters // Int. J. Remote Sens. – 1996. – Vol. 17. – Р. 1425–1432.

23. On the twilight zone between clouds and aerosols / I. Koren [et al.] // Geophysical research letters. – 2007. – Vol. 34, iss. 8. – L08805.

24. Pohlert, T. The Pairwise Multiple Comparison of Mean Ranks Package (PMCMR) [Electronic resource] / T. Pohlert // R package. – 2014 (revision: 2016-01-06). – Mode of access : <http://CRAN.R-project.org/package=PMCMR>. – Date of access : 21.09.2016.

25. R: A language and environment for statistical computing [Electronic resource] / R Core Team. – Vienna, Austria, 2016. – Mode of access: <http://www.R-project.org>. – Date of access: 01.08.2016.

26. Sadiq, A. Remote sensing and spectral characteristics of desert sand from Qatar Peninsula, Arabian/Persian Gulf / A. Sadiq, F. Howari // Remote Sensing. – 2009. – Vol. 1, iss. 4. – Р. 915–933.

27. seaborn: v0.7.0 [Electronic resource] / M. Waskom [et al.]. – Zenodo, January, 2016. – Mode of access : <http://doi.org/10.5281/zenodo.45133>. – Date of access : 21.09.2016.

28. The ASTER spectral library version 2.0 / A. M. Baldridge [et al.] // Remote Sensing of Environment. – 2009. – Vol. 113, iss. 4. – Р. 711–715.

29. Tucker, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation / C. J. Tucker // Remote Sens. Environ. – 1979. – Vol. 8, iss. 2. – Р. 127–150.

30. Utilisation des bandes spectrales du vert et du rouge pour une meilleure évaluation des formations végétales actives / P. C. Chamard [et al.] // Télédétection et Cartographie, Éd. AUPELF–UREF. – 1991. – Р. 203–209.

31. VISAT Version 5.0 [Electronic resource] / Brockmann Consult and contributes. – 2014. – Mode of access : <http://www.brockmann-consult.de/cms/web/beam/>. – Date of access : 10.07.2014.

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 28.04.2017 г.

А. А. Яновский

ДИСТАНЦИОННОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ И ДЕГРАДИРОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ ПОЛЕСЬЯ ПОРОГОВОЙ ОБРАБОТКОЙ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Значительная часть осушенных торфяных почв Беларуси в результате минерализации органического вещества торфа перешла в группу деградированных торфяных почв. Наиболее простым физически обоснованным способом дистанционного разделения осушенных торфяных и деградированных торфяных почв является пороговая обработка значений спектрального коэффициента отражения выбранного канала или комбинации каналов спектрорадиометра. Для сравнения эффективности дистанционного разделения данных почв путем пороговой обработки широких спектральных каналов видимой и начальной области ближнего ИК-диапазонов и их парных отношений и нормализованных индексов использованы снимки спектрорадиометра ASTER уровня обра-

ботки L1A территории Солигорского и Лунинецкого районов с датами съемки 01.10.2011 и 22.04.2008. Анализ различимости рассматриваемых почв по спектральным свойствам на основе диаграмм размаха для VNIR каналов и их комбинаций канал 1 / канал 2, канал 1 / канал 3N, канал 3N / канал 2, NDVI, NDWI и NDGI и результатов теста Ван-дер-Вардена показали, что для обоих снимков наилучшее разделение торфяных и деградированных торфяных почв обеспечивают непосредственно каналы 1, 2 и 3N, при этом из всех сравниваемых каналов и их комбинаций наименьшее р-значение теста Ван-дер-Вардена соответствует каналу 2.

A. A. Yanovskiy

**THE REMOTE SEPARATION OF DRAINED PEAT AND THE DEGRADED PEAT SOILS
OF POLESIA BY SPECTRAL REFLECTANCE THRESHOLDING**

The significant part of the drained peat soils of Belarus as the result of the mineralization of peat organic matter has transformed to the group of degraded peat soils. The simplest physically grounded method of the remote separation of drained peat and degraded peat soils is the thresholding of the spectral reflectance values of the selected band or the combination of bands of the spectroradiometer. To compare the efficiency of the remote separation of the soils by the thresholding the broadband channels in the visible and the initial part of the near infrared range and their pairwise relations and normalized indices we have used the spectroradiometer ASTER level L1A images for the territory of Soligorsk and Luninets Districts acquired on 01.10.2011 and 22.04.2008. The analysis of the soils discriminability by their spectral properties on the basis of the box-and-whiskers diagrams for the VNIR bands and their combinations band 1 / band 2, band 1 / band 3N, band 3N / band 2, NDVI, NDWI, NDGI and Van der Waerden's test results showed that for both satellite images the best separation of peat and degraded peat soils is provided by bands 1, 2 and 3N, with the lowest p-value of Van der Waerden's test from all compared bands and their combinations corresponding to band 2.

II. БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 662.813:732

**И. И. Лиштван, Г. П. Бровка, И. С. Нашкевич, С. Н. Данилевич,
В. И. Тановицкий, И. В. Дедюля, Н. В. Андреенко**

ГАЗОГЕНЕРАТОР НА ФРЕЗЕРНОМ ТОРФЕ И ДРУГИХ СЫПУЧИХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛАХ

Приведено описание опытно-промышленного образца газогенератора на фрезерном торфе и других сыпучих горючих материалах, разработанного в лаборатории физико-химической механики природных дисперсных систем Института природопользования НАН Беларусь.

Для увеличения доли использования местных видов топлива в топливно-энергетическом балансе сельскохозяйственного производства Республики Беларусь необходимо изыскивать новые виды местных видов сыпучих и мелкокусковых горючих материалов (фрезерный торф, отходы сельхозпродукции, деревообработки и льнопереработки). Однако эти отходы не могут эффективно сжигаться в существующих устройствах. Рациональное сжигания таких материалов может осуществляться в специальные устройствах – газогенераторах, при использовании их в качестве предтопков взамен жидкостных и газовых горелок существующих отопительных котлов и сушильных агрегатов [1, 2].

Отличительной особенностью сжигания твердого топлива в газогенераторах является наличие стадии высокотемпературного нагрева при недостатке кислорода, когда происходит газификация топлива с последующей стадией раздельного сжигания продуктов газификации и негазифицированной части топлива – полукоакса. Это позволяет проводить процесс сжигания с необходимой интенсивностью и при более высокой температуре, что обеспечивает более полное сгорание низкосортных видов топлива с минимальными токсичными выбросами.

Замена кускового топлива (древесина, кускового торфа) фрезерным торфом, мелкокусковым топливом и другими видами сыпучего топлива (отходы сельхозпродукции, деревообработки и льнопереработки) позволит использовать сравнительно дешевое местное топливо и автоматизировать управление процессом горения топлива в газогенераторах.

Основным недостатком широко используемых известных конструкций газогенераторов для твердых топлив является расположение

рассекателя в зоне горения или в контакте с зоной горения. Такое расположение обуславливает короткий срок службы рассекателей, даже если они сделаны из жаропрочных материалов (чугун, нержавеющая сталь, никром). При газификации сыпучих материалов возникают также трудности со стабильной подачей топлива в зону газификации.

Для решения указанных проблем разработаны экспериментальные варианты конструкций газогенераторов. Эти варианты базируются на использовании решетчатых рассекателей из жаропрочных материалов. Причем рассекатели в предлагаемых конструкциях практически не контактируют с раскаленными газами в зоне окисления топлива либо продуктов его газификации.

На рис. 1 представлена схема одного из вариантов конструкции газогенератора, использующего в качестве рассекателя сетку 1 из жаропрочного никрома марки Х20Н80. Использование никромовой сетки позволяет создать свод над зоной горения продуктов газификации. При этом газификация топлива проходит в двух параллельных секциях 2 в зоне, расположенной вблизи сетки. Продукты газификации кокс и полукоакс 3, просыпаясь через решетку, попадают на колосник 4, где они сгорают на нем в присутствии первичного воздуха. Зола и шлак, образовавшиеся после сгорания кокса, накапливаются в зольнике 5.

В центральной части газогенератора, под сводом, образуемым с помощью никромовой сетки, в процессе функционирования газогенератора создается активная зона 6, в которой смешиваются дымовые газы с избыточным количеством воздуха и горючие газы, образуемые за счет газификации топлива. При этом температура в активной зоне повышается до 1000–1200 °C. За счет высокой температуры путем

теплового излучения происходит прогрев топлива в слое, контактирующем с сеткой, до 800–900 °С. В таких условиях происходит термодеструкция топлива с выделением горючих газов, а также образование кокса и полукокса. Твердые продукты газификации, просыпаясь сквозь решетку, падают на колосник, частично сгорая в газовой среде, и окончательно догорают на колосниковой решетке.

Подача топлива в рабочую зону газогенератора из бункеров 7 осуществляется с помощью загрузочных шнеков 8.

Для стабилизации работы газогенератора при низкосортном топливе в верхней центральной части газогенератора имеется дополнительный бункер с высокосортным топливом, подаваемым с помощью загрузочного шнека 10 в рабочую зону газогенератора, что позволяет поддерживать необходимую температуру в рабочей зоне газогенератора при сжигании низкокалорийного или влажного основного топлива.

Из активной зоны, частично прореагировавшие горючие и дымовые газы поступают в жаровой канал, торец которого расположен в верхней центральной части шахты газогенератора. Через этот канал газы поступают в камеру дожига, где по стандартным схемам происходит их использование для энергопотребителей.

Преимущество предлагаемой конструкции газогенератора по сравнению с аналогичными известными конструкциями заключается в следующем. За счет использования сетки из жаропрочного материала и геометрии ее расположения достигается сравнительно большая площадь разогрева топлива тепловым излучением раскаленного газового потока. Материал сетки практически не соприкасается с кислородосодержащим газом за счет встречного потока продуктов газификации и пиролиза топлива. Это обуславливает сравнительно высокую долговечность сетки-рассекателя. При этом сетка обеспечивает стабильность расхода разогреваемого топлива при его различных структурных свойствах.

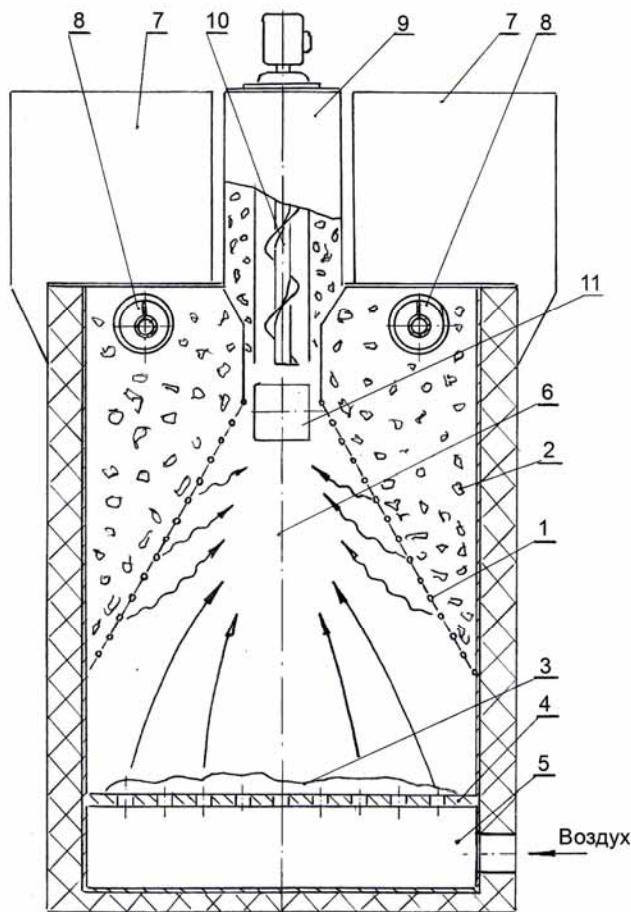


Рис. 1. Схема газогенератора для сыпучего и мелкокускового топлива: 1 – решетка(сетка)-рассекатель из никромовой проволоки; 2 – топливо; 3 – кокс; 4 – колосник; 5 – зольник; 6 – активная зона; 7 – бункер для топлива; 8 – шнековый загрузчик топлива; 9 – бункер с дополнительным топливом; 10 – шнековый загрузчик дополнительного топлива; 11 – вход в жаровой канал

Для оценки работоспособности разрабатываемых конструкций газогенератора и оптимизации режимов газификации топлива были выполнены расчеты теплового и массового балансов и оценки производительности тепла (тепловой мощности). В качестве топлива был выбран торф с характеристиками: влажность – 23,5 %, зольность – 10,8 %, содержание летучих веществ – 65,0 %, теплота сгорания (низшая) – 3500 ккал/кг.

Основной вариант основан на условии подачи всего необходимого воздуха для сжигания кокса на колоснике и сгорания всего горючего газа в активной зоне, поступающего через решетку-рассекатель. При этом предполагается, что температура на колоснике не должна превышать 650 °С для предотвращения зашлаковывания колосника. Расчетами было установлено, что на 1 кг торфа с указанными характеристиками необходимо подавать 9 кг воздуха, разогреветого до температуры 170 °С. В таких условиях на колоснике будет выделяться 5,09 МДж на 1 кг топлива и 9,54 МДж в активной зоне, что обеспечит температуру в активной зоне близкой к 1250 °С. Оценка интенсивности термодеструкции торфа за счет его разогрева до 900 °С тепловым излучением активной зоны при этом будет составлять 0,040 кг/с, что в итоге обеспечит мощность производства тепловой энергии газогенератором 560 кВт.

Таким образом, разработанная принципиальная конструкция может обеспечить достижение необходимой мощности производства газогенератором тепловой энергии. На основе данной конструкции был создан экспериментальный газогенератор мощностью 250 кВт. Проведены опыты с фрезерным торфом и лигнином, а также с указанными материалами, модифицированными отходами углеводородов. Выявлены оптимальные режимы подачи первичного воздуха и

интенсивности подачи топлива в зону газогенерации. Установлено, что после выхода на оптимальный режим работы, как и предполагалось судя по расчетам, основная зона горения находится под решеткой-рассекателем (рис. 2). Это подтверждает теоретические предпосылки модели функционирования газогенератора путем разогрева слоя торфа, находящегося на решетке-рассекателе, за счет излучения ниже расположенной активной зоны, температура которой, в свою очередь, поддерживается за счет частично гсгорания продуктов газификации.

С учетом выполненных экспериментальных и теоретических исследований разработана конструкция опытно-промышленного газогенератора на фрезерном торфе и других сыпучих горючих материалах Г-Т-500. На рис. 3 представлена пространственная модель (3D) с вырезом четверти газогенератора Г-Т-500.

Газогенератор состоит из стального цилиндрического корпуса 1, который внутри выложен оgneупорным кирпичом 2. Пространство между корпусом и кирпичом заполнено керамзитом.

Внутреннее пространство газогенератора представляет собой шахту, которую условно можно разделить на три части: камеру газификации и сгорания, камеру прогрева и зольник.

Камера газификации и горения сверху ограничена двухскатной решеткой-рассекателем 3, которая опирается внизу на специальный выступ в кладке, а вверху – на балку из рельса 4. Над решеткой-рассекателем находится камера прогрева, заполняемая сыпучим топливом с помощью загрузочного шнека. Снизу камера газификации и сгорания ограничена колосниковой решеткой 5 и снабжена топочной дверцей 9. Под колосниковой решеткой расположен зольник. Напротив топочной



Рис. 2. Зона горения фрезерного торфа в рабочей зоне газогенератора

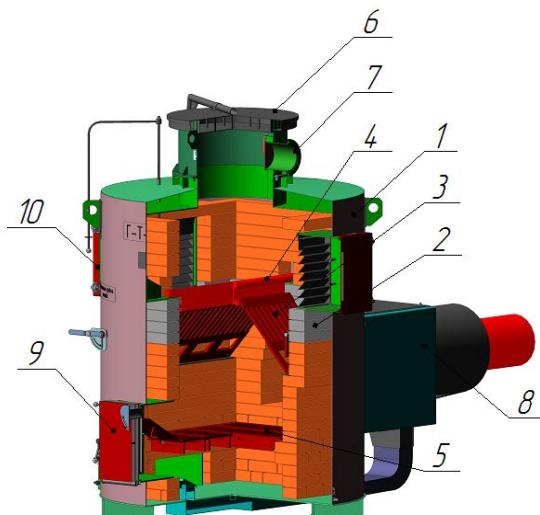


Рис. 3. Модель газогенератора с вырезом четверти: 1 – цилиндрический корпус газогенератора; 2 – кладка из огнеупорного кирпича; 3 – решетка-рассекатель; 4 – балка из рельса; 5 – колосниковая решетка; 6 – люк (взрывной клапан); 7 – загрузочное окно; 8 – корпус жарового канала с подогревателем первичного воздуха; 9 – топочная дверца; 10 – боковые окна

дверцы находится жаровой канал для дожигания и отвода топочных газов в теплообменник 8. Жаровой канал выложен огнеупорным кирпичом и снабжен патрубком с крышкой для регулирования подачи вторичного воздуха для дожигания газов. Сверху газогенератор оборудован люком 6. Крышка люка выполняет функцию взрывного клапана. Газогенератор имеет механизм, обеспечивающий дистанционное открывание и закрывание крышки люка. Это позволяет оператору открывать и закрывать крышку, стоя на полу, что повышает безопасность проведения работ и упрощает обслуживание газогенератора. Для исключения не-контролируемого подсоса воздуха обеспечена плотность топочной дверцы, дверец зольника, крышок механизмов подачи и регулирования первичного и вторичного воздуха, крышки люка для загрузки топлива.

Следует отметить, что в разработанной модели газогенератора использован оригинальный элемент – решетка-рассекатель, принципиальная конструкция которого обоснована на стадии экспериментальных исследований газификации и сжигания сыпучих материалов.

Основное требование к решетке-рассекателю заключается в обеспечении равномерного просыпания через нее сыпучего топлива под воздействием силы тяжести и высокой температуры, обуславливающей деструкцию топлива в процессе его газификации. Широкий класс сыпучих горючих материалов и особенности их структуры при различном влагосодержании требуют различных параметров решетки-рассекателя. С одной стороны, решетка-рассекатель не должна позволять топливи

быстро просыпаться без достижения необходимой температуры его прогрева, а с другой –топливо не должно зависать на решетке-рассекателе. При этом решетка-рассекатель должна иметь необходимую прочность и жесткость.

В результате предварительных испытаний выявлена необходимость выполнять решетки-рассекатели сменными. Эти элементы должны иметь оптимальные геометрические параметры для определенных категорий сжигаемых сыпучих материалов, включая смесевые топлива с отходами углеводородов. Наличие боковых окон, выходящих в камеру прогрева, позволяет при отсутствии топлива в камере прогрева оперативно выполнять замену решеток-рассекателей.

В процессе отработки технологии газификации фрезерного торфа и лигнина были испытаны различные модификации сменных решеток. По нашему мнению, наиболее перспективным типом решеток-рассекателей являются решетки, выполненные из арматурных прутьев диаметром 14–18 мм и никромовой проволоки – 2,5–5,0 мм. При этом арматурные прутья располагаются вдоль скатов решетки через 40–60 мм, а никромовая проволока в перпендикулярном направлении – через 10–20 мм. В результате такой конструкции создается сетка с достаточной степенью жесткости и проницаемости для диспергированного топлива.

Еще одним элементом конструкции газогенератора, отличающим его от других газогенераторов, является наличие подогревателя первичного воздуха. Модуль подогрева первичного воздуха представляет собой спиралевидный теплообменник (рис. 4), охватывающий трубу жарового

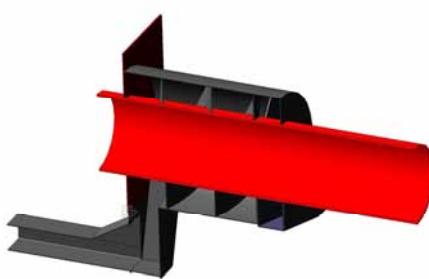


Рис. 4. Конструкция модуля подогрева первичного воздуха

канала и герметично сообщающийся с помощью воздуховода с зольником. Использование подогревателя позволяет повысить температуру входящего воздуха на 150–200 °С и тем самым повышает температуру в камере сжигания на близкую величину, что обеспечивает более эффективную газификацию и сжигание топлива в газогенераторе.

Загрузка топлива из бункера накопителя в газогенератор осуществляется через загрузочное окно 7 (см. рис. 3) шнековым транспортером с горизонтальным расположением шнека.

Движение газов в газогенераторе происходит за счет искусственной тяги, создаваемой дымососом производительностью 3500 м³/ч.

Конструкция газогенератора обеспечиваетстыковку с барабанными сушилками СЗСБ-8, СЗСБ-8А, агрегатами витаминной муки АВМ-0,4 и АВМ-0,65, воздухонагревателями ВПТ-400 и

ВПТ-600, топочным агрегатом ТАУ-0,75 посредством кирпичных стыковых каналов.

Опытно-промышленный образец газогенератора разработанной конструкции был изготовлен на РУП «Экспериментальная база «Свислочь» НАН Беларусь и смонтирован на ГП «Мостовская сельхозтехника» для обогрева в комплекте с теплообменником на базе топочного агрегата ТАУ-0,75 гаража- ангара теплым воздухом (рис. 5). Также были проведены отработка технологии сжигания фрезерного торфа в композиции с опилками и испытание созданного теплоэнергетического комплекса. Для обеспечения необходимой сыпучести, уменьшения пылиности и повышения выхода газообразных продуктов газификации в композицию добавляли отработанные масла в количестве 5–10 % от твердого топлива. При этом было установлено, что добавка в низкосортные сыпучие топлива отходов нефтепродуктов (отработанных масел, нефтешламов и т. п.) обеспечивает высокотемпературное сжигание этих композиций с минимальными выбросами в окружающую среду. Кроме этого при сжигании пылевидных материалов низкой влажности, например, гидролизного лигнина с добавкой отработанных масел в количестве 5–10 % к общей массе устраняется взрывоопасность, стабилизируются параметры просыпания через решетку-рассекатель в процессе сжигания, что обеспечивает эффективное и экологобезопасное сжигание. По такому принципу можно сжигать ряд низкосортных местных видов топлива и отходов.



Рис. 5. Опытно-промышленная модель газогенератора Г-Т-500 в комплекте с теплообменником на базе топочного агрегата ТАУ-0,75

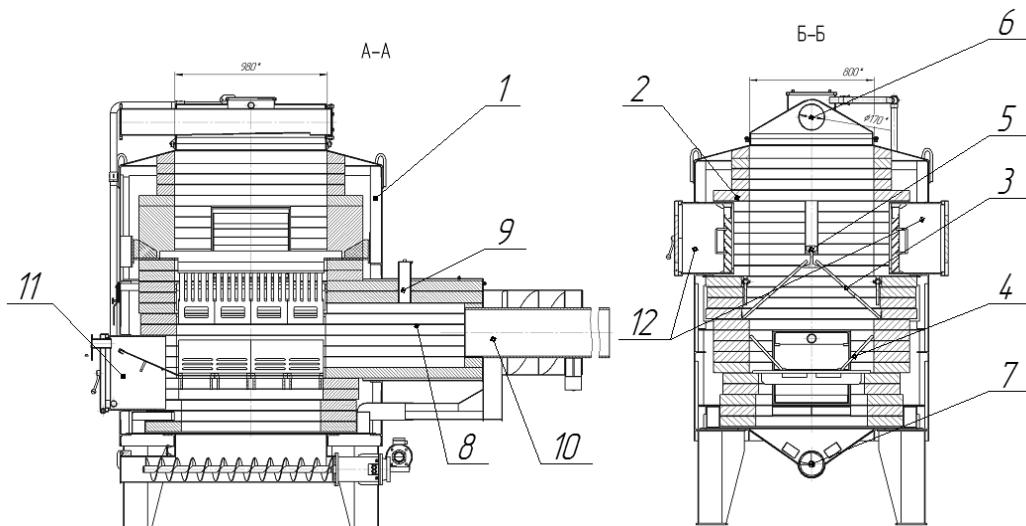


Рис. 6. Продольный и поперечный разрезы модифицированной конструкции газогенератора:
1 –прямоугольный корпус газогенератора; 2 –кладка из огнеупорного кирпича; 3 –решетка-рассекатель;
4 – колосниковая решетка; 5 – балка из рельса; 6 – загрузочный модуль; 7 – выгрузчик золы;
8 – жаровой канал; 9 – взрывной клапан; 10 – подогреватель первичного воздуха; 11 – топочная дверца;
12 – дверца камеры подогрева

Следует отметить, что в процессе отработки технологии сжигания фрезерного торфа в композиции с другими горючими материалами контроль за процессом сжигания осуществляли с помощью четырех хромель-алюмелевых термопар, сигнал которых регистрировалось восьмиканальный измеритель-регулятор ОВЕН ТРМ138. При этом датчики температуры были размещены следующим образом: 1-й – в камере газификации и сжигания со стороны передней стенки, 2-й – в жаровом канале, 3-й – в трубе перед входом в теплообменник и 4-й – на воздуховоде после дымососа. Управление процессом сжигания осуществляли с помощью двух частотных регуляторов. С помощью первого регулятора регулировали скорость подачи топлива в газогенератор через загрузочное окно, а с помощью второго частотного регулятора – расход подогреваемого воздуха через теплообменник ТАУ-0,75. Следует отметить, что созданный теплоэнергетический комплекс в период испытания не был укомплектован транспортером для загрузки топлива в бункер-накопитель, поэтому ее осуществляли с помощью специально оборудованной бочки с раскрывающимся днищем и кран-балки. Однако это не относится непосредственно к испытанию разработанного оборудования.

Испытания опытно-промышленного образца газогенератора и расчеты показали, что для обеспечения номинальной мощности газогенератора 500 кВт необходимо расходовать около 200 кг/ч фрезерного торфа в расчете на стандартную влажность 40 % и получать при этом

10–15 кг/ч золы. При непрерывной его эксплуатации необходимо периодически освобождать зольник, выгружая из него 250–350 кг золы в сутки. В связи с этим для обеспечения механизированной выгрузки золы конструкция газогенератора была дополнена модулем выгрузки золы. Кроме этого был несколько изменен загрузочный модуль. Было также принято решение выполнить корпус газогенератора прямоугольной конфигурации в горизонтальном сечении и установить его на стойки высотой 600 мм, так как прямоугольная конфигурация позволяет без принципиального изменения конструкции вести дальнейшую разработку модельного ряда газогенераторов более высоких мощностей.

На рис. 6 представлены проекции модифицированной конструкции газогенератора с модулями загрузки топлива и выгрузки золы. Размеры топочной камеры, конфигурация решеток-рассекателей и колосниковых решеток остались прежними.

В настоящее время на ОАО «Бобруйский завод биотехнологий» лабораторией физико-химической механики природных дисперсных систем Института природопользования НАН Беларусь ведутся научно-исследовательские и конструкторские разработки по испытанию и адаптации усовершенствованной модели опытно-промышленного образца газогенератора Г-Т-500А для сжигания гидролизного лигнина с последующей разработкой аналогичной модели на номинальную мощность 1 МВт.

Работа выполнена в рамках задания Т-12 ГП «Торф».

Литература

1. Газогенератор для твердого топлива : пат. 1732 Респ. Беларусь : МПК С10J 3/20 / И. И. Лиштван, И. С. Нашкевич, А. А. Терентьев, П. Л. Фалюшин, В. А. Буслов, В. Г. Кисель, В. М. Вакунов, В. В. Коханский, С. Н. Данилевич дата публ.: 30.09.1997.
2. Газогенераторная установка : пат. У 9895 Респ. Беларусь : МПК F23G7/00 (2006.01) / И. И. Лиштван, И. С. Нашкевич, Г. П. Бровка ; опубл. 28.02.2014.

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 11.05.2017 г.

**И. И. Лиштван, Г. П. Бровка, И. С. Нашкевич, С. Н. Данилевич,
В. И. Тановицкий, И. В. Дедюля, Н. В. Андреенко**

**ГАЗОГЕНЕРАТОР НА ФРЕЗЕРНОМ ТОРФЕ
И ДРУГИХ СЫПУЧИХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛАХ**

Приведено описание опытно-промышленного образца газогенератора на фрезерном торфе и других сыпучих горючих материалах, разработанного в лаборатории физико-химической механики природных дисперсных систем Института природопользования НАН Беларуси. В разработанной модели газогенератора использован оригинальный элемент – двухскатная решетка-рассекатель. Показано, что использование сменных решеток-рассекателей с соответствующими параметрами позволяет сжигать с необходимой эффективностью различные сыпучие и мелкокусковые горючие материалы (фрезерный торф, лигнин, а также отходы сельхозпродукции, деревообработки и нефтепродуктов).

**I. I. Lishtvan, G. P. Brovka, I. S. Nashkevich, S. N. Danilevich,
V. I. Tanovitsky, I. V. Dedulya, N. V. Andreenko**

**GAS GENERATOR ON MILLING PEAT
AND OTHER LOOSE COMBUSTIBLE MATERIALS**

The description of the prototype of a gas generator on milling peat and other loose combustible materials developed in the laboratory of the physical and chemical mechanics of natural disperse systems of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus is given. In developed model of the gas generator an original element – a two-pitch grating dissipator – was used. It is shown that the use of interchangeable gratings with appropriate parameters makes it possible to burn various flowing and small-lump combustible materials (milling peat, lignin, as well as waste of agricultural products, woodworking and oil processing) with required efficiency.

УДК 662.331:878

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

ОБОСНОВАНИЕ ПЕРЕЧНЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВИДОВ ПРОДУКЦИИ ТОРФОПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ

Приведены результаты натурных исследований и лабораторных испытаний по определению количественных и качественных характеристик торфяной сырьевой базы филиала «Слуцкий» ОАО «Старобинский ТБЗ». На примере конкретного торфопредприятия изучена возможность получения продукции многоцелевого назначения на основе комплексной глубокой переработки торфа.

Новые задачи, которые поставлены в настоящее время по использованию торфяных и сапропелевых ресурсов, заключаются в комплексных подходах к их освоению. Наравне с топливным и сельскохозяйственным направлениями все больше внимания уделяется развитию инновационных производств по глубокой переработке указанных сырьевых ресурсов с получением целого ряда продукции многоцелевого назначения. В связи с этим определенный интерес представляет оценка возможностей получения такой продукции на примере конкретного предприятия. В наших исследованиях таким предприятием был выбран филиал по добыче и производству торфяной продукции «Слуцкий» ОАО «Старобинский ТБЗ» (филиал «Слуцкий»).

До июля 2013 г. торфобрикетный завод «Слуцкий» выпускал топливные брикеты. Однако в связи с существенным снижением объемов их реализации завод, как брикетный, был закрыт с сохранением статуса предприятия по добыче торфа топливного и для компостирования. С этого времени предприятие присоединено к ОАО «Старобинский ТБЗ» в качестве филиала.

До закрытия брикетного завода предприятие ежегодно добывало около 150 тыс. т торфа в пересчете на 40 %-ную влагу, в том числе непосредственно на производство брикетов – 120 тыс. т. В настоящее время добывается 5 тыс. т топливного торфа и 20 тыс. т торфа для компостирования. Учитывая, что на филиале завода «Слуцкий» сохранены квалифицированные кадры, производственные помещения, технологическое оборудование для добычи фрезерного торфа открытие инновационных производств по выпуску продукции многоцелевого назначения на филиале весьма актуально.

Цель работы – исследовать сырьевую базу филиала и на основе полученных данных о количественных и качественных показателях торфяной залежи разработать перечень продукции, которую можно получить из торфа данного предприятия.

Предполагалось, что вся продукция, планируемая к производству, будет выпускаться

по технологиям, разработанным в предыдущие годы ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси».

Методика выполнения работ предусматривала изучение материалов ранее осуществленных геологических разведок, проведение натурных исследований и лабораторных испытаний, анализ отчетных данных предприятия.

Установлено следующее. Сырьевой базой филиала «Слуцкий» является торфяное месторождение «Птичье» (кадастровый номер 986*), расположенное на территории трех районов Минской области: Пуховичского, Узденского и Слуцкого. Натурные исследования месторождения были выполнены в результате геологических разведок различных категорий (преимущественно А и С₁) в разные периоды времени – начиная с 1936 г. и заканчивая 1965 г. Общая площадь месторождения в нулевых границах по их данным составила 15,6 тыс. га с запасами торфа 46,4 млн т. По типам залежь распределена следующим образом: верховая – 30 %, переходная – 10, низинная – 60 %. Начиная с 1960-х годов месторождение интенсивно разрабатывалось торфобрикетными заводами «Сергеевичский» и «Слуцкий», а также предприятиями «Белсельхозхимии», в результате чего значительные площади были выработаны и переданы соответствующим районным лесхозам. Часть месторождения находится в природоохранном фонде (ландшафтный заказник местного значения «Ветеревичский»).

В настоящее время сырьевая база филиала незначительная. По данным производственного отдела площадь нетто участка, расположенного в Пуховичском районе, составляет 22,6 га с запасами торфа 24,3 тыс. т. Участок ограничен валовыми каналами В12–В13. В Узденском районе имеются два участка в системе валовых каналов В2–В3 и В6–В7. Общая оставшаяся площадь нетто участков – 56,6 га. Остальная площадь выработана, и идет процесс ее естественного заболачивания. В сезоне 2016 г. добыча фрезерного торфа осуществлялась на участке в системе валовых каналов В12–В13. Общая схема расположения участков показана на рис. 1.

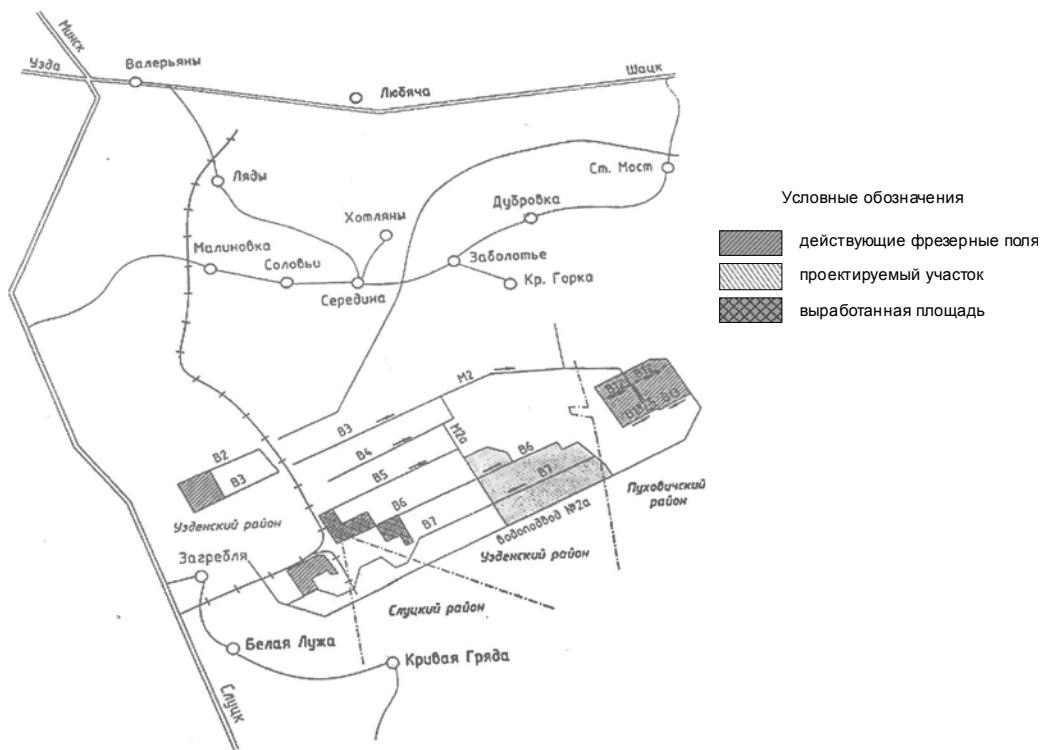


Рис. 1. Общая схема расположения участков торфяной сырьевой базы филиала «Слуцкий»

Учитывая истощение существующих торфяных ресурсов, филиалу в 2012 г. в качестве прирезок выделен новый участок площадью брутто 152,0 га, расположенный в Узденском районе. Детальная доразведка участка выполнена РУП «Белниитоппроект» в том же году [1].

Наши исследования сырьевой базы заключались в установлении оставшихся запасов торфа и его качественной характеристики. Полевые работы выполнялись в соответствии с инструкцией по детальной разведке: глубину залежи определяли по сетке 100 × 100 м, пробы на общетехнические показатели отбирали на всю глубину залежи через каждые 0,25 м. Учитывая, что со времени проведения геологической разведки на новом (подготавливаемом) участке прошел относительно небольшой промежуток времени (4 года), каких-либо существенных изменений залежи за это время ожидать не приходилось, поэтому были выполнены контрольные измерения глубины залежи в 14 точках, а также в характерных пунктах отобраны пробы на общетехнические характеристики торфа. Причем глубину залежи определяли в точках, где сотрудники РУП «Белниитоппроект» отбирали пробы торфа на исследование его качественных характеристик. Координаты точек зондирования залежи и пунктов отбора проб устанавливали при помощи навигатора системы CARMIN OREGON 550.

В результате натурных исследований и лабораторных испытаний было установлено, что

промышленные запасы торфа имеются на участке № 6 (B6–B7) и на подготавливаемом участке. В первом случае – залежь преимущественно низинного типа, во втором – верхового. Геологические запасы составляют 148,0 и 522,4 тыс. т соответственно. Участки в системе валовых каналов B2–B3 и B12–B13 из-за ограниченных запасов торфа и трудностей в осушении залежи не являются перспективными, поэтому не могут рассматриваться в качестве сырьевой базы филиала. Здесь лишь возможна добыча фрезерного торфа в ближайшие два-три года для удовлетворения нужд собственной котельной и производства компостов.

Большинство продуктов комплексной переработки торфа избирательны к типу залежи, степени разложения, зольности [3], отдельные – к виду торфа и химическому составу. В результате анализа качественных характеристик залежи филиала с учетом продукции, которую можно производить из добываемого на ней торфа, нами приняты следующие категории сырья: степень разложения $R \leq 20\%$; $R > 20\text{--}25\%$; $R > 25\text{--}30\%$; $R > 30\text{--}35\%$; $R > 35\%$; зольность $A^c \leq 3\%$; $A^c > 3\text{--}5\%$, $A^c > 5\text{--}12\%$.

На основании полученных результатов натурных и лабораторных исследований был выполнен расчет геологических запасов торфа для каждого выбранного интервала степени разложения и зольности [2].

Геологические запасы торфа с определен-

ной степенью разложения рассчитывали по формуле

$$Q_R = n / N \cdot F \cdot 10^4 \cdot h_{cp} \gamma (100 - \omega_{cp}) / (100 - \omega_y),$$

где Q_R – геологические запасы торфа в пересчете на условную влагу, тыс. т; n – количество точек с определенной степенью разложения по всем скважинам, шт.; N – суммарное количество точек отбора проб, шт.; F – исследуемая площадь (в границах промышленной глубины залежи), га; h_{cp} – средняя глубина залежи, м; γ – плотность залежи, т/м³; ω_{cp} – средняя влага залежи определенной степени разложения, %; $\omega_y = 40$ – условная влага, %.

Гистограммы распределения запасов торфа по степени разложения приведены на рис. 2, из которого видно, что преобладающие запасы как

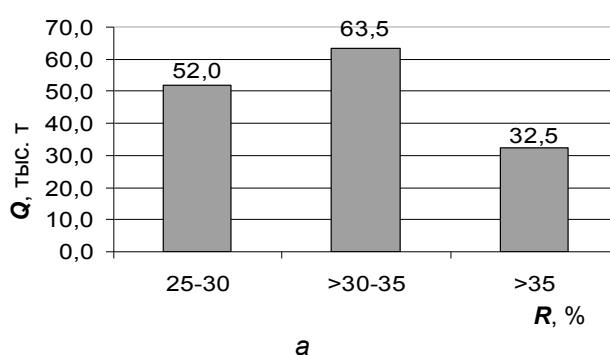
низинного, так и верхового торфа имеют высокую степень разложения – от 25 до 35 % и выше.

С тех же позиций комплексного освоения представляет интерес распределение запасов торфа для интервалов зольности:

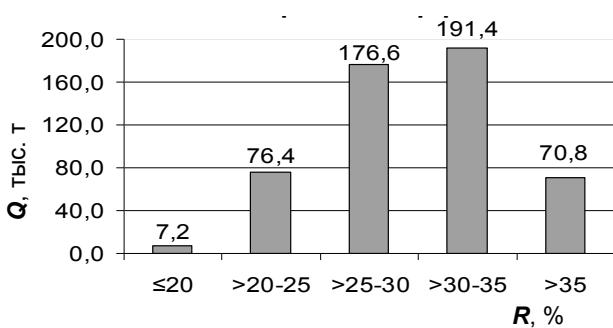
$$Q_A = n / N \cdot Q_R,$$

где Q_A – геологические запасы торфа определенной зольности, тыс. т; n – количество проб торфа определенной зольности в заданном интервале степени разложения, шт.; N – общее количество проб в заданном интервале степени разложения, шт.

Полученные результаты, а также данные по типу и виду торфа обобщены и сгруппированы в табл. 1.



а



б

Рис. 2. Распределение геологических запасов торфа филиала «Слуцкий» по степени разложения: а – участок № 6 (низинный торф); б – подготавливаемый участок (верховой торф)

Таблица 1. Качественные и количественные характеристики сырьевой базы торфа филиала «Слуцкий»

Преобладающий тип залежи	Степень разложения (R), %	Зольность (A^c), %	Преобладающий вид торфа	Геологические запасы, тыс. т
Участок № 6 (В6–В7)				
Переходный	25–30	≤ 3	Пушицево-сфагновый верховой	10,4
		> 3–5	Пушицевый верховой	10,4
		> 5–12	Древесно-осоковый переходный	31,2
Низинный	> 30–35	≤ 3	–	0
		> 3–5	–	0
		> 5–12	Осоковый низинный	63,5
	> 35	≤ 3	–	0
		> 3–5	–	0
		> 5–12	Тростниково-осоковый	32,5
Подготавливаемый участок				
Верховой	≤ 20	≤ 3	–	0
		> 3–5	Магеланикум-торф	4,8
		> 5–12	Фускум-торф	2,4
	> 20–25	≤ 3	–	53,8
		> 3–5	Магеланикум-торф	22,6
		> 5–12	–	0
	> 25–30	≤ 3	–	116,7
		> 3–5	Магеланикум-торф	47,3
		> 5–12	–	12,6
	> 30–35	≤ 3	–	137,7
		> 3–5	Пушицево-сфагновый верховой	50,4
		> 5–12	–	3,3
	> 35	≤ 3	–	24,7
		> 3–5	Сосново-пушицевый	35,4
		> 5–12	–	10,7

На рис. 3 и 4 показаны гистограммы распределения геологических запасов торфа по зольности для каждого рассматриваемого интервала степени разложения.

Анализ табл. 1 и гистограмм, представленных на рис. 2–4, показывает, что торф филиала «Слуцкий» пригоден для производства практически всего спектра продукции на основе его комплексной переработки. Незначительны лишь запасы торфа низкой степени разложения

($R \leq 20\%$), поэтому при выборе первоочередной продукции, намечаемой к производству, помимо гарантированной ее реализации необходимо учитывать и экономические показатели, в частности минимизировать капитальные вложения.

В табл. 2 приведен предварительный перечень продукции, которую можно получить из торфа, добытого на сырьевой базе филиала «Слуцкий».

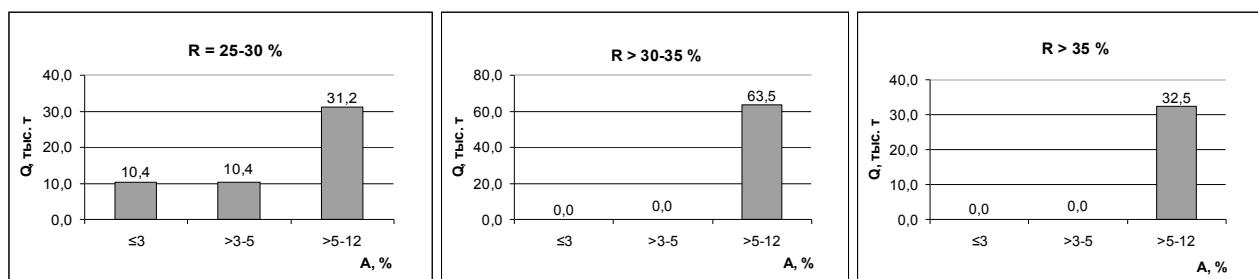


Рис. 3. Распределение геологических торфяных запасов по зольности на участке № 6

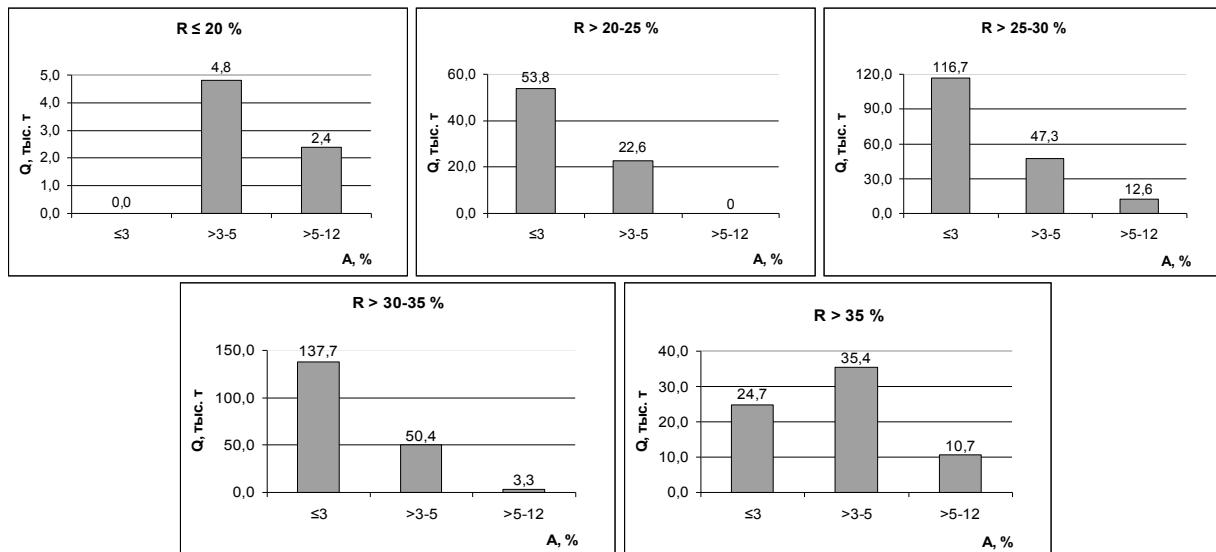


Рис. 4. Распределение геологических запасов торфа сырьевой базы «Слуцкий» по зольности на подготовляемом участке

Таблица 2. Перечень возможной продукции производимой из торфа запасов филиала «Слуцкий»

Требования к сырью				Геологические запасы, пригодные для производства конкретной продукции, тыс. т
Тип залежи	Степень разложения (R), %	Зольность (A^c), %	Вид торфа	
<i>Красители</i>				
Верховой	≥ 35	$\leq 5,0$	Сосново-пушицевый, пушицевый, пушицово-сфагновый	60,1
<i>Жидкие комплексные гуминовые микроудобрения</i>				
Верховой	≥ 35	$\leq 5,0$	Сосново-пушицевый, пушицевый, пушицово-сфагновый	60,1
<i>Компосты</i>				
Все типы	≥ 20	≤ 25	Все виды	663,2
<i>Препарат гуминовый</i>				
Все типы	≥ 20	≤ 12	Все виды	663,2

Окончание табл. 2

Требования к сырью				Геологические запасы, пригодные для производства конкретной продукции, тыс. т
Тип залежи	Степень разложения (R), %	Зольность (A^c), %	Вид торфа	
<i>Гуматсодержащие биологически активные препараты роста, кормовые добавки, консерванты кормов</i>				
Низинный	≥ 20	≤ 12	Тростниковый, тростниково-осоковый, осоковый низинный	96,0
<i>Мелиоранты и питательные грунты</i>				
Все типы	20–35	≤ 25	Все виды	567,1
<i>Кусковой торф</i>				
Верховой, переходный	≥ 15	≤ 23	Все виды	574,4
<i>Торф топливный для сжигания в котельных</i>				
Все типы	≥ 15	≤ 23	Все виды	670,4

В 2017 году предусмотрено проведение маркетинговых исследований, по результатам которых будет окончательно определена пла-

нируемая к выпуску продукция и объемы ее производства.

Литература

1. Материалы детальной доразведки участка торфяного месторождения «Птичье», расположенного в Узденском районе Минской области / РУП «Белниитоппроект». – 2012. – 63 с.
2. Разработать систему мер по оптимизации состава и объемов выпуска продукции комплексной переработки торфа и сапропеля с учетом потребностей, возможностей сырьевой базы и экономической эффективности производства : отчет о НИР (промежуточный) / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования ; рук. темы Л. С. Лис. – Минск, 2016. – 44 с. – № ГР 20163222.
3. Торфяные месторождения Республики Беларусь, пригодные для комплексного освоения на ближайшую и отдаленную перспективу / Л. С. Лис [и др.]. – Минск : Беларус. наука, 2013. – 115 с.

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 28.04.2017 г.

**B. B. Кунцевич, L. S. Лис, T. I. Макаренко, L. P. Калилец,
T. Я. Кашинская, I. V. Агейчик, S. T. Мультан**

**ОБОСНОВАНИЕ ПЕРЕЧНЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВИДОВ ПРОДУКЦИИ ТОРФОПРЕДПРИЯТИЯ
НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ**

Приведены результаты исследования сырьевой базы филиала завода «Слуцкий» ОАО «Старобинский ТБЗ». Установлено, что геологические запасы верхового торфа составляют 522,4 тыс. т, низинного – 148,0 тыс. т. Оба типа торфа имеют высокую степень разложения ($R > 25\%$) и низкую зольность ($A^c < 12\%$), что гарантирует получение продукции высокого качества, как топливного назначения, так и продукции на основе комплексной глубокой переработки торфа. По результатам исследований будет разработан перечень производств, которые планируется реализовать на филиале завода «Слуцкий».

**V. B. Kyntcevich, L. S. Lis, T. I. Makarenko, L. P. Kalilets,
T. Y. Kashinskaya, I. V. Ageichik, S. T. Myltan**

**THE GROUNDING OF THE LIST OF THE PERSPECTIVE TYPES OF PEATFEDPREDIC PRODUCTION
BASED ON THE QUALITY INDICATORS OF RAW MATERIALS**

The results of the investigation of the raw material base of the branch of the 'Slutsky' plant of JSC Starobinsky PBF are given. It has been established that the geological reserves of upland peat are 522,400 t, lowland peat reserves – 148,000 t. The both types of peat have the high degree of decomposition ($R > 25\%$) and low ash content ($A^c < 12\%$), which guarantees the obtaining of high-quality products, both for fuel purposes and products based on complex deep peat processing. Based on the results of the research, the list of industries to be developed at the 'Slutsky' plant branch will be prepared.

**А. Э. Томсон, Н. Е. Сосновская, Н. О. Слепченкова,
Т. В. Соколова, В. С. Пехтерева**

КИНЕТИКА КАПИЛЛЯРНОЙ ПРОПИТКИ ТОРФОМИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОЧИСТКЕ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

Получены композиционные материалы на основе торфа, карбонатсодержащего глинистого минерала (трепела, карбонатного сапропеля) и суперфосфата. Исследованы их сорбционные и физико-химические свойства, а также кинетика капиллярной пропитки углеводородсодержащими продуктами. Показана эффективность их применения для очистки нефтесмаслосодержащих сточных вод.

Одним из наиболее распространенных видов загрязнения сточных вод являются нефть и нефтепродукты. Основным источником этих загрязнений служат различные технологические процессы на промышленных предприятиях, а также поверхностный сток с промышленных площадок, автозаправочных станций и городских территорий. В практике очистки нефтесодержащих сточных вод наряду с биологическими, флотационными, реагентными, широкое распространение получили сорбционные методы. Преимущество отдается экономически выгодным процессам, в которых используются дешевые, доступные сорбционные материалы, такие как древесная стружка, глинистые минералы и др. [8]. Особый интерес в этом отношении представляет торф, который служит основой дешевых, доступных и эффективных сорбентов широкого ряда загрязнителей биосферы и используется как самостоятельно, так и в составе комбинированных сорбентов и композиционных материалов комплексного действия.

Одним из новых и эффективных направлений, развиваемых в последнее время в области сорбционных материалов и технологий их использования, является получение сложных композиционных структур, направленное регулирование свойств которых позволяет не только сохранить положительные свойства исходных составляющих композиции, но и придать им новое качество.

С целью разработки эффективной фильтрующей загрузки для очистки нефтесмаслосодержащих сточных вод получены композиционные материалы на основе пушицевого торфа ($R = 40\text{--}45\%$) с карбонат- и фосфатсодержащими добавками экструзионным методом путем прессования формируемой массы через фильеры определенного диаметра с последующей сушкой и сепарированием. Полученные композиционные материалы измельчали, отбирали фракцию 0,5–2,0 мм и сушили до воздушно-сухого состояния. В качестве добавок использованы достаточно

распространенные минералы: карбонатсодержащий трепел (месторождение «Стальное», Могилевская область) и карбонатный сапропель (оз. Выгонощанское), а также суперфосфат кальция. Для оценки эффективности применения полученных композиционных материалов исследованы их сорбционные и физико-химические свойства, а также кинетика капиллярной пропитки как один из методов изучения смачивания дисперсных материалов.

Необходимо отметить, что использование глинистых минералов белорусских месторождений различного состава для получения композиций с торфом с целью получения полифункциональных сорбционных материалов предопределяется высокими сорбционными свойствами самой минеральной составляющей, возможностью направленного влияния на структурные характеристики композиций (повышение прочности, снижение пылеобразования), а также биосферной совместимостью.

Эффективность композиционных материалов в лабораторных условиях оценивали по таким показателям, как насыпная плотность, нефтепоглощение, водопоглощение, пористость, скорость капиллярной пропитки.

Определение насыпной плотности сорбентов проводили в соответствии с работой [2].

Насыпную плотность γ вычисляли по формуле

$$\gamma = (M_2 - M_1) / V,$$

где M_2 – масса цилиндра с сорбентом, г; M_1 – масса пустого цилиндра, г; V – объем цилиндра, см³.

Определение нефтепоглощения проводили с учетом требований, изложенных в работе [8], и методики [1].

Нефтепоглощение Q_0 вычисляли по формуле

$$Q_0 = [(M_2 - M_1) / M_1],$$

где M_1 – масса сухой навески сорбента, г;

M_2 – масса навески после поглощения дизельного топлива, г.

Определение водопоглощения B_n проводили в соответствии с работой [8] и вычисляли по формуле

$$B_n = [(m_k - m_h) / m_h] \cdot 100,$$

где m_k и m_h – масса сорбента после и до намокания соответственно.

Исследования закономерности впитывания дизельного топлива ($d = 0,835 \text{ г}/\text{см}^3$) композиционными материалами, полученными на основе пушицевого торфа, карбонатсодержащих глинистых минералов и суперфосфата, проводили на установке, предназначеннной для изучения капиллярной пропитки пористых тел и порошкообразных материалов [5].

Величину пористости вычисляли по формуле:

$$n = 100 [1 - (100 - W) \gamma / 100\rho],$$

где W – относительная влажность торфа, %; γ – насыпная плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$; ρ – плотность твердой фазы торфа, $\text{кг}/\text{м}^3$.

При расчете пористости плотность твердой фазы торфа принимали равной $1500 \text{ кг}/\text{м}^3$ [3]. Однако в реальном случае при смачивании торфа внутри частиц могут образовываться замкнутые объемы, куда не проникает смачивающая жидкость, и расчетное значение глубины пропитки (h) будет занижено. Однако в любом случае значения глубины пропитки характеризуют реально впитавшееся в торф количество жидкости, поэтому для сравнительных исследований такая методика вполне подходит.

В табл. 1 представлены физико-химические и сорбционные характеристики полученных композиционных материалов.

Результаты исследования показали, что зависимость глубины капиллярной пропитки различных дисперсных материалов дизельным топ-

ливом от \sqrt{t} не носит линейный характер. Как видно из рис. 1–4, с течением времени скорость капиллярной пропитки увеличивается. Поскольку исследуемый материал во время эксперимента не меняет свои характеристики, объяснить это можно изменением параметров смачивающей жидкости. Как известно, дизельное топливо представляет собой сложную смесь углеводородов ($T_{\text{кип.}} = 180\text{--}360^\circ\text{C}$). По нашему мнению, в процессе пропитки материала нефтепродуктом на первой стадии идет избирательная сорбция высокомолекулярных соединений, что приводит в дальнейшем к уменьшению вязкости смачивающей жидкости, при этом фронт смачивания обогащается более подвижными низкомолекулярными углеводородами. По-видимому, это и является основной причиной увеличения коэффициента капиллярной пропитки, в результате чего кривые зависимости глубины капиллярной пропитки от времени имеют слегка вогнутый вид.

Как видно из рис. 1, 25 %-ная добавка трепела в пушицевый торф не оказывает существенного влияния на скорость капиллярной пропитки, в то время как 50 %-ная добавка приводит к увеличению скорости капиллярной пропитки в 1,8 раза по сравнению с исходным торфом. Это хорошо согласуется со значениями насыпной плотности композиционных материалов, которые составляют 567 и $658 \text{ кг}/\text{м}^3$ соответственно, т. е. материал с более компактной структурой пропитывается дизельным топливом быстрее, чем пористый. При этом глубина пропитки торфа с 50 %-ной добавкой трепела выше, что, по-видимому, связано с изменением структуры материала. Дисперсный торф относится к капиллярным системам, которым присущи два вида пор: поры, образующиеся между отдельными частицами при их соприкосновении, и более мелкие поры, пронизывающие каждую частицу. Добавка 50 %-ного мелкодисперсного порошка приводит к уменьшению содержания внутричастичных пор и уменьшению общей пористости материала (до 62,1 %).

Таблица 1. Физико-химические и сорбционные характеристики композиционных материалов

Композиционный материал (отношение)	Влажность, %	Насыпная плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	Нефтепоглощение, $\text{кг}/\text{кг}$	Пористость, %
Пушицевый торф	13,02/32,3	450/421	0,62/0,64	77,3/79,9
Пушицевый торф + сапропель (75 : 25)	16,06/35,6	510/520	0,49/0,46	73,3/80,1
Пушицевый торф + сапропель (50 : 50)	14,65/34,5	535/506	0,39/0,52	70,5/78,8
Пушицевый торф + трепел (75 : 25)	12,94	567	0,38	68,2
Пушицевый торф + трепел (50 : 50)	8,37	658	0,39	62,1
Пушицевый торф + суперфосфат (75 : 25)	13,60	556	0,41	70,2
Пушицевый торф + суперфосфат (50 : 50)	12,95	510	0,71	80,1

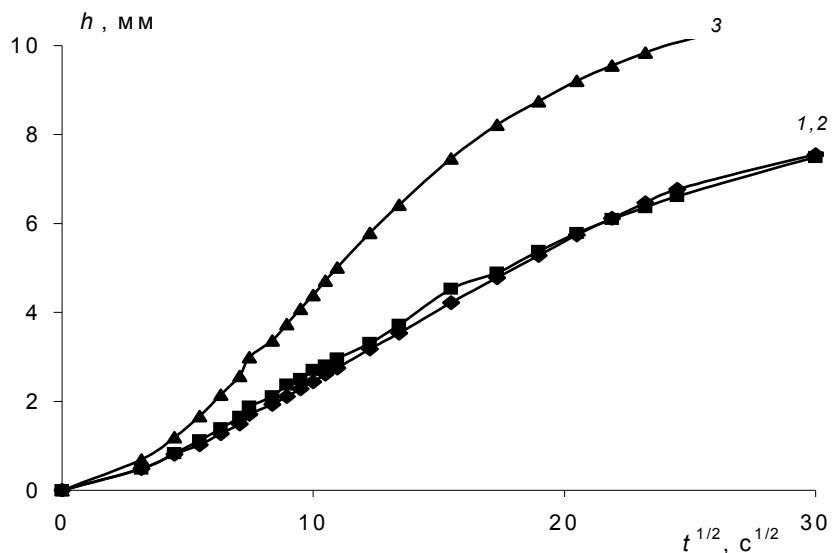


Рис. 1. Зависимость глубины пропитки композиционных материалов дизельным топливом от времени:
1 – пушицевый торф; 2 – торф + трепел (75 : 25); 3 – торф + трепел (50 : 50)

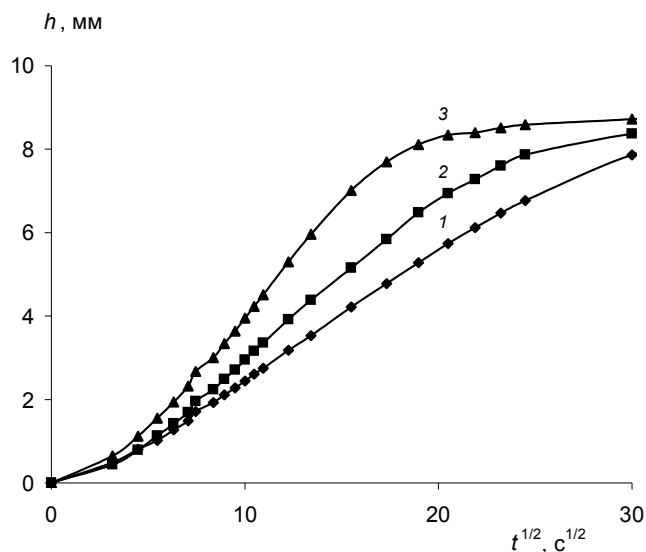


Рис. 2. Зависимость глубины пропитки композиционных материалов дизельным топливом от времени:
1 – пушицевый торф; 2 – торф + суперфосфат (75 : 25); 3 – торф + суперфосфат (50 : 50)

Торфоминеральные композиции с добавками карбонат- и фосфатсодержащей составляющей претерпевают заметные структурные изменения, которые происходят в основном по карбоксильным группам. Идет взаимодействие органического вещества торфа с минеральными компонентами посредством замещения свободных карбоксильных групп ионами кальция. По данным ИК-спектрофотометрии уменьшается поглощение в области свободных карбоксильных групп ($3200\text{--}2600, 1720\text{ см}^{-1}$) и возрастает в области карбоксилатионных группировок – $1600, 1400\text{ см}^{-1}$.

Скорость пропитки композиционных материалов, полученных при добавлении суперфосфата, возрастает с увеличением содержания добавки (рис. 2). При этом падает прочность образцов (см. табл. 2). Вероятно, при измельчении и сепарировании общая фракция 0,5–2,0 мм обогащается содержанием более мелких частиц в процессе истирания, чем у исходного торфа. Уменьшение размеров частиц приводит к изменению пористости за счет уменьшения расстояния между ними, и, соответственно, к увеличению контактирующей поверхности.

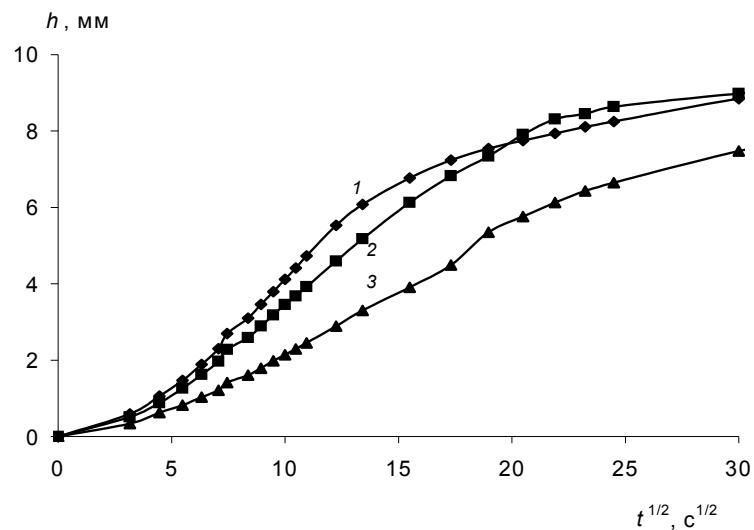


Рис. 3. Зависимость глубины пропитки композиционных материалов (влажность – 13–15 %) дизельным топливом от времени: 1 – пущицевый торф; 2 – торф + сапропель (75 : 25); 3 – торф + сапропель (50 : 50)

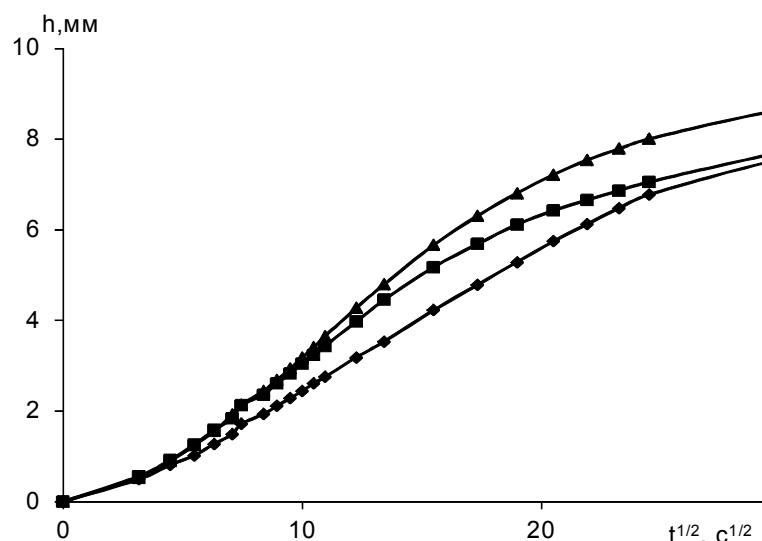


Рис. 4. Зависимость глубины пропитки композиционных материалов (влажность – 33–35 %) дизельным топливом от времени: 1 – пущицевый торф; 2 – торф + сапропель (75 : 25); 3 – торф + сапропель (50 : 50)

Зависимость кинетики впитывания дизельного топлива в торфоминеральные композиты на основе карбонатного сапропеля от влажности материала представлены на рис. 3, 4, из которых видно, что скорость капиллярной пропитки материала для обоих добавок сапропеля в увлажненном состоянии несколько увеличивается (1,1–1,2 раза), что согласуется с увеличением насыпной плотности. Добавка 25 % сапропеля для воздушно-сухих образцов практически не влияет на изменение скорости пропитки, а 50 %-ная добавка сапропеля уменьшает скорость и глубину пропитки на 30–50 %. Полученные данные сложно объяснить. Вероятно, их наличие связано со структурными изменениями материала в процессе сушки.

По скорости капиллярной пропитки торфоминеральные композиционные материалы с 25 %-ными добавками можно расположить в ряд: торф пущицевый \cong торф + трепел < торф + суперфосфат < торф + сапропель, а материалы с 50 %-ной добавкой – в ряд: «торф + сапропель < торф пущицевый \cong торф + суперфосфат < торф + трепел».

Лабораторные исследования сравнительной эффективности применения указанных композиционных материалов для очистки модельных сточных вод от нефтеследов (НМП) проводили на опытной установке, состоящей из фильтровальной колонки круглого сечения (диаметр колонки – 3 см, высота – 60 см, объем

загрузки – 100 см³ в сухом состоянии) и резервуара НМП эмульсии. В колонку загружали набухший в воде сорбент. Для предупреждения образования в объеме загрузки воздушных карманов фильтрование проводили сверху вниз. Скорость фильтрации составляла 2 м/ч. Модельную воду готовили на водопроводной воде с добавлением нефтесмаслосодержащей смеси, состоящей из дизельного топлива, моторного масла и бензина. Концентрация НМП в модельной воде составляла 50–60 мг/дм³. Устойчивую эмульсию получали путем встряхивания в аппарате РТ-1 в течение 1 мин.

Эффективность очистки S рассчитывали по формуле

$$S = (C_0 - C) / C_0 \cdot 100,$$

где C_0 – концентрация НМП в исходной модельной воде; C – остаточная концентрация в фильтрате.

Экстракцию НМП из водной фазы проводили четыреххлористым углеродом. Концентрацию НМП в экстрактах определяли методом ИК-спектрометрии [4]. Прочность на истирание гранулированных композиционных материалов определяли по ГОСТ Р 55873–2013. Результаты эксперимента представлены в табл. 2.

Таблица 2. Эффективность очистки модельной нефтесмаслосодержащей сточной воды композиционными материалами

Композиционный материал	Водопоглощение, %	Прочность, %	Концентрация НМП в модельной воде, мг/дм ³		Эффективность очистки, %
			до очистки	после очистки	
Пушицевый торф	102	99,7	60,5	5,8	90,4
Пушицевый торф + сапропель (75 : 25)	107	99,6	62,4	4,4	92,9
Пушицевый торф + сапропель (50 : 50)	109	95,2	61,8	3,9	93,7
Пушицевый торф + трепел (75 : 25)	84	99,3	63,2	3,5	95,5
Пушицевый торф + трепел (50 : 50)	87	98,4	59,9	1,9	96,8
Пушицевый торф + суперфосфат (75 : 25)	102	97,4	59,6	3,0	94,9
Пушицевый торф + суперфосфат (50 : 50)	90	95,3	60,8	2,5	95,9

Анализ данных, представленных в табл. 2, показывает, что применение композиционных материалов для очистки модельных сточных вод, содержащих НМП, является достаточно эффективным, несмотря на незначительное снижение прочности гранул. Степень очистки модельной воды гранулированным торфом составляет 90,4 %, а композиционными материалами с различным содержанием минеральных компонентов – 92,9–96,8 %. Остаточное содержание НМП – 4,4–1,9 мг/дм³. Максимальный эффект достигается при применении композиционного материала, содержащего 50 % трепела. Степень очистки повышается до 96,8 % при остаточной концентрации НМП в модельной воде 1,9 мг/дм³. Увеличение скорости капиллярной пропитки этого материала углеводородами и снижение значе-

ния водопоглощения на 15 % по сравнению с торфом приводит к увеличению скорости сорбции в системе вода–нефтесмаслосодержащая эмульсия и, по-видимому, является причиной роста степени очистки при прочих равных условиях.

Таким образом, применение композиционных торфоминеральных материалов для очистки сточных вод от НМП в эмульгированном и растворенном состояниях позволяет достичь остаточной их концентрации в фильтрате 4,4–1,9 мг/дм³, что согласуется с данными, приведенными в литературе [6]. Применение методов электроагрегации и флотации позволит снизить концентрацию НМП в очищенной сточной воде до значений < 1 мг/дм³ [7].

Литература

- Гидрофобный вспученный перлит. – Киев, 1977.
- Лиштван, И. И. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Ко роль. – Минск : Наука и техника, 1975. – 318 с.
- Новоселова, Л. Ю. Сорбенты на основе торфа для очистки загрязненных сред / Л. Ю. Новоселова, Е. Е. Сироткина // Химия твердого топлива. – 2008. – № 4. – С. 64–77.
- Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / под ред. А. Д. Семенова. – Л., 1977. – 541 с.

5. Сосновская, Н. Е. Сорбционные материалы на основе торфа для удаления нефтяных загрязнений из природных объектов : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н. Е. Сосновская. – Минск, 2010. – 24 с.
6. Томсон, А. Э. Сорбционные материалы на основе торфа в процессах очистки нефтесодержащих сточных вод / А. Э. Томсон, Т. В. Соколова, В. С. Пехтерева // Природопользование. – 2001. – Вып. 7. – С. 113–116.
7. Томсон, А. Э. Устойчивость системы нефтепродукты–вода и способы ее регулирования / А. Э. Томсон, Т. В. Соколова, В. С. Пехтерева // Природопользование. – 2006. – Вып. 12. – С. 117–121.
8. Физика и химия торфа : учеб. пособие для вузов / И. И. Лиштван [и др.]. – М. : Недра, 1989. – 304 с.

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 26.03.2017 г.

A. Э. Томсон, Н. Е. Сосновская, Н. О. Слепченкова, Т. В. Соколова, В. С. Пехтерева

КИНЕТИКА КАПИЛЛЯРНОЙ ПРОПИТКИ ТОРФОМИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОЧИСТКЕ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

Исследованы физико-химические, сорбционные свойства и кинетика капиллярной пропитки композиционных материалов, полученных на основе верхового торфа, карбонатсодержащего глинистого минерала трепела, карбонатного сапропеля и суперфосфата. Количество вводимых минеральных добавок составляло 25 и 50 %. По скорости капиллярной пропитки торфоминеральные композиционные материалы с 25 %-ными добавками можно расположить в ряд: торф пушицевый \cong торф + трепел < торф + суперфосфат < торф + сапропель, а материалы с 50 %-ной добавкой – в ряд: торф + сапропель < торф пушицевый \cong торф + суперфосфат < торф + трепел. Установлено, что 50 %-ная добавка трепела приводит к увеличению скорости капиллярной пропитки в 1,8 раза по сравнению с исходным торфом.

Проведены лабораторные сравнительные исследования эффективности очистки модельной сточной воды от НМП, находящихся в эмульгированном и растворенном состояниях. Степень очистки модельной воды композиционными материалами с различным содержанием минеральных компонентов составляет 92,9–96,8 %. Остаточное содержание НМП – 4,4–1,9 мг/дм³. Максимальный эффект достигается при применении композиционного материала, содержащего 50 % трепела. Степень очистки составляет 96,8 % при остаточной концентрации НМП в очищенной воде 1,9 мг/дм³, что связано, по-видимому, с увеличением скорости капиллярной пропитки этого материала углеводородами, снижением значения водопоглощения на 15 % по сравнению с торфом, приводящее к увеличению скорости сорбции в системе вода–нефтесодержащая эмульсия.

A. E. Tomson, N. E. Sosnovskaya, N. O. Slepchenkova, T. V. Sokolova, V. S. Pehtereva

THE CINETIC OF CAPILLARY IMPREGNATION IN TORFOMINERAL COMPOSITE MATERIALS DURING OIL-CONTAINING SEWAGE WATER CLEANING

The physicochemical, sorption properties and kinetics of the capillary impregnation of composite materials obtained on the basis of uprooted peat, the carbonate-containing clay minerals of trepal, carbonate sapropel and superphosphate are studied. The amount of mineral additives introduced was 25 % and 50 %. By the speed of capillary impregnation, peat-mineral composite materials with 25 % additives can be arranged in a series: peat cotton grass \cong peat + trefoil < peat + superphosphate < peat + sapropel, and materials with 50 % additive – in a row: peat + sapropel < peat cottonseed \cong peat + superphosphate < peat + trefoil. It has been established that the 50 % addition of trephine leads to an increase in the capillary impregnation rate by 1.8 times in comparison with initial peat.

The laboratory comparative studies of the efficiency of the purification of model wastewater from oil products in emulsified and dissolved states are carried out. The degree of the purification of model water by composite materials with the different contents of mineral components is 92.9–96.8%. The residual NMPs content is 4.4–1.9 mg/dm³. The maximum effect is achieved by using the composite material containing 50 % of trepal. The purification rate is 96.8 % with the residual concentration of NMP in purified water 1.9 mg/dm³, which is apparently due to an increase in the capillary impregnation rate of this material by hydrocarbons, a decrease in the water absorption by 15 % compared to peat, leading to increase in sorption rate in the water–oil-containing emulsion system.

Л. Ю. Цвирко, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов

ДИНАМИКА ЭКСТРАКЦИИ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ТОРФА ДО И ПОСЛЕ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Изучена динамика экстракции гуминовых веществ (ГВ) из верхового пушицево-сфагнового торфа, предварительно подвергшегося гидродинамической кавитационной обработке, в сравнении с исходным торфом. Показано, что предварительная кавитационная обработка водной суспензии торфа позволяет сократить продолжительность щелочной экстракции ГВ при 96–98 °C со 120 до 40 мин. В результате кавитационной обработки происходит значительное увеличение выхода ГВ за счет окисления нерастворимых в щелочи ГВ негидролизуемого остатка.

В настоящее время препараты гуминовых веществ активно применяются в животноводстве, растениеводстве, очистке вод от тяжелых металлов и пестицидов, производстве лигандных добавок к геотехнологическим растворам для выщелачивания редких и рассеянных металлов, в бальнеологии, косметологии и др. В общем объеме химической переработки торфа доминирующее место занимает непосредственно производство гуминовых препаратов.

Технологии получения гуминовых препаратов основаны на обработке гумифицированного сырья щелочными реагентами (гидроксиды натрия или калия, водный аммиак) при нагревании, поэтому они довольно энергоемки. Хотя реакция взаимодействия ГВ со щелочными реагентами осуществляется мгновенно, сам процесс экстракции занимает от 2 до 5 ч при температурах 96–160 °C и 18–20 ч – при 20–25 °C. Необходимость длительного процесса экстракции обусловлена тем, что молекулы ГВ торфа упакованы в надмолекулярные структуры, расположенные на его частицах. Размеры частиц торфяного сырья варьируются от долей миллиметра до 15 мм, поэтому диффузия щелочных катионов к молекулам ГВ замедлена, и еще более замедлена диффузия образовавшихся гуматов из частиц торфяного сырья в раствор. Согласно закону Фика, чем меньше размеры частиц сырья, тем быстрее осуществляются указанные процессы диффузии. В технологической практике возможность ускорения экстракции за счет повышения кинетической энергии молекул при нагревании ограничивается затратами энергии на повышение температуры и давления в реакторах, поэтому дальнейшая оптимизация процесса экстракции ГВ должна осуществляться за счет измельчения сырья [1–5].

Гидродинамическая кавитация является эффективным средством изменения физической и химической структуры различных материалов за счет сил гидравлического удара и физико-химических эффектов, возникающих при схлопывании кавитационных пузырьков вблизи обтекаемых кавитационным потоком частиц. В ходе ка-

витационной обработки органического сырья происходят сложные преобразовательные процессы, такие как механическое измельчение частиц, возбуждение молекул, ионизация, окисление, разрыв химических связей, а также противоположные процессы, такие как укрупнение молекул, образование ассоциатов и твердых частиц. При кавитационной обработке различных материалов образуются радикалы, ионы, возникают ион-радикальные образования [1, 4].

Вместе с тем гидродинамическая кавитационная обработка водной суспензии торфа лишь в малой степени обеспечивает переход ГВ в раствор из-за слабой растворимости их в воде [3], поэтому оптимизация процесса экстракции ГВ может быть достигнута в два этапа: первый – минимизация продолжительности кавитационной обработки сырья для получения наибольшего выхода ГВ, второй – минимизация продолжительности последующей щелочной обработки ГВ при нагревании в реакторе.

Цель исследований – определить наиболее целесообразную продолжительность предварительной гидродинамической обработки водной суспензии торфяного сырья и последующей щелочной экстракции ГВ при 96–98 °C.

Методика и условия проведения исследований. Для исследования использовали фрезерный верховой пушицево-сфагновый торф ($R = 25\text{--}30\%$, $A^c = 11,2\%$, $\text{pH в KCl} = 3,1$), применяемый ОАО «Зеленоборское» для производства биологически активных гуминовых препаратов и микроэлементных биологически активных удобрений.

Гидродинамическую кавитационную обработку водной суспензии торфа проводили на кавитационной установке с объемом загрузки водной суспензии 5 л (1 + 4). Для слежения за динамикой изменения размеров частиц и выхода ГВ в зависимости от продолжительности кавитационной обработки через каждые 10 мин из кавитатора отбирали пробы водной суспензии по 150–200 мл. Размеры частиц определяли ситовым анализом, используя систему сит с размерами ячеек от 0,25 до 2,00 мм. Для определения ми-

нимально необходимой продолжительности кавитационной обработки торфяного сырья в пробах водной суспензии определяли выход ГВ, для чего пробы суспензии выдерживали в течение 2 ч с 2 %-ным раствором гидроксида натрия при 96–98 °C, модуле 1 : 10. Для этого к навескам водной суспензии добавляли сначала дистиллированную воду в количествах, обеспечивающих во всех колбах модуль 1 : 10, а затем в каждую колбу добавляли сухой гидроксид натрия в количествах, обеспечивающих его концентрацию, равную 2 %.

Исходный фрезерный торф находился в виде сыпучего материала, поэтому к его навескам сначала приливали дистиллированную воду до достижения модуля 1 : 10, а затем в каждую колбу вводили необходимое количество сухого гидроксида натрия, чтобы его концентрация составляла ровно 2 %. Все колбы с обратными ходильниками одновременно помещали в кипящую водяную баню и извлекали через 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 и 120 мин.

После охлаждения содержимого колб до комнатной температуры отделяли жидкую фазу от твердой в варианте с исходным торфом – методом фильтрования, а в варианте с торфом после кавитационной обработки – методом центрифugирования, так как щелочные суспензии этого варианта не фильтровались из-за наличия большого количества мелких частиц, закупоривающих поры бумажных фильтров. В прозрачных фильтратах и фугатах определяли количество ГВ весовым методом и величину оптической плотности.

Результаты и их обсуждение. Согласно данным ситового анализа (табл. 1), в исходном торфе было 88 % частиц крупнее 0,5 мм и только

12 % – с размером менее 0,5 мм. Под воздействием гидродинамической кавитационной обработки происходило интенсивное измельчение частиц торфа, в результате чего уже в первые 10 мин доля его частиц с размерами менее 0,5 мм увеличилась с 29 до 71 %, а доля частиц крупнее 0,5 мм уменьшилась с 69 до 29 %. Далее с продолжительностью кавитационной обработки в суспензии медленно возрастала доля мелких частиц за счет разрушения более крупных и в течение 50 мин кавитационной обработки доля частиц с размерами менее 0,5 мм увеличилась до 90 %, что создало благоприятные условия для экстракции ГВ за счет ускорения диффузии ионов натрия в торфяные частицы к молекулам ГВ и диффузии гуматов натрия из торфяных частиц в щелочной экстракт.

Данные по влиянию предварительной кавитационной обработки водной суспензии торфа на выход ГВ, гуминовых кислот (ГК) и фульвокислот (ФК) представлены в табл. 2, анализ данных которой позволяет утверждать, что для торфяного сырья ОАО «Зеленоборское» продолжительность предварительной гидродинамической кавитационной обработки торфа может быть ограничена 40 мин, поскольку к этому времени переход гуминовых кислот в щелочной раствор стабилизируется на уровне 36 %. Полученные данные согласуются с результатами [6–8], показавшими, что увеличение продолжительности кавитационной обработки с 50 до 90 мин нецелесообразно, так как выход ГВ из сырья либо не увеличивался, либо уменьшался за счет разрушения целевого продукта. В связи с этим дальнейшие исследования выполнены с суспензией торфа, прошедшей 40-минутную кавитационную обработку.

Таблица 1. Влияние кавитационной обработки торфа в водной среде на его фракционный состав

Продолжительность кавитационной обработки, мин	Размер фракций, мм, и их содержание, %				
	> 2,00	2,00–1,00	1,00–0,50	0,50–0,25	< 0,25
0	6,19	33,38	29,45	27,19	3,79
10	2,13	9,74	17,02	34,25	36,86
20	1,15	6,02	15,98	27,00	49,85
30	0,64	4,98	11,96	29,04	53,38
40	0,46	2,24	8,87	38,69	49,74
50	0,31	1,97	5,04	37,59	55,09
60	0,23	1,03	4,65	38,09	56,00

Таблица 2. Влияние продолжительности кавитационной обработки водной суспензии пущицово-сфагнового торфа на выход ГВ, ГК и ФК при экстракции 2 %-ным раствором гидроксида натрия при 96–98 °C в течение 2 ч

Продолжительность кавитационной обработки, мин	ГВ, %	ГК, %	ФК, %	ГК/ФК
0 (исходный торф)	16,4	11,5	4,9	2,4
10	40,2	31,3	8,9	3,5
20	32,3	20,0	12,3	1,6
30	44,0	33,7	10,3	3,3
40	46,6	36,3	10,3	3,5
50	47,4	36,5	10,9	3,3

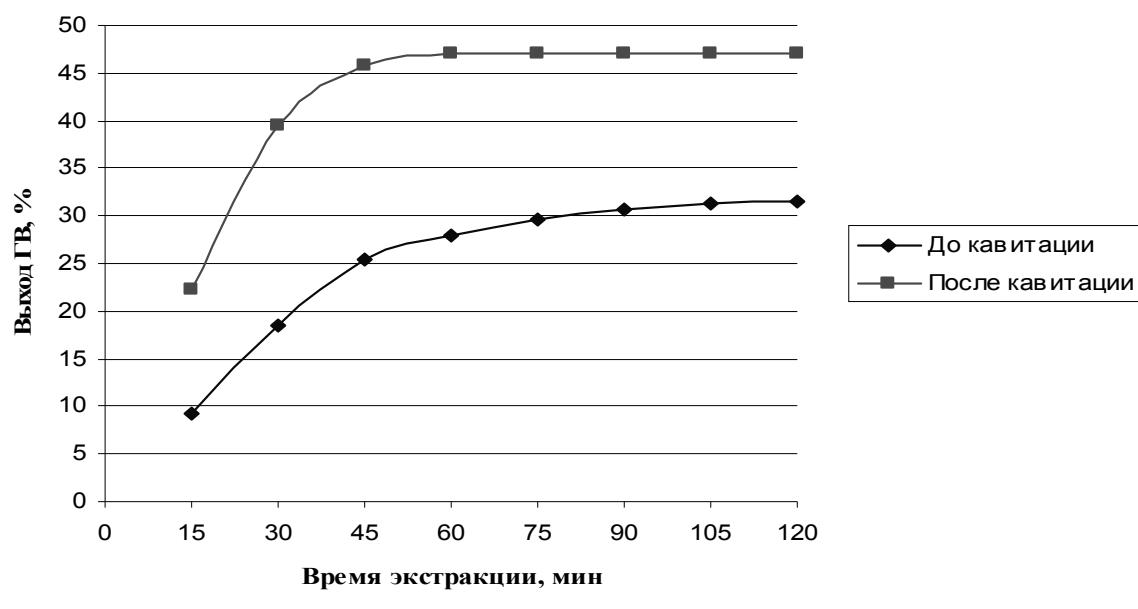
После предварительной кавитационной обработки пущево-сфагнового торфа в водной среде переход ГВ в щелочной экстракт увеличивался по сравнению с необработанным торфом с 16,5 до 46,6 %, причем в составе ГВ ГК многократно преобладали над ФК, а соотношение ГК/ФК колебалось от 1,6 до 3,5 (см. табл. 2). Это связано с воздействием кавитационной обработки на надмолекулярные структуры в водной среде [8]. Дополнительное количество щелочерасстворимых ГВ образуется за счет преобразования нерастворимых в щелочи ГВ негидролизуемого остатка в результате их кавитационного окисления [8].

Далее была изучена динамика экстракции ГВ 2 %-ным растровом NaOH при 96–98 °C из торфа, прошедшего кавитационную обработку в воде в течение 40 мин, в сравнении с исходным торфом; выход ГВ определяли через каждые 15 мин (см. рисунок).

В результате кавитационной обработки торфа увеличивается выход ГВ с 32 до 46 % по сравнению с исходным торфом [6–8], причем продолжительность экстракции ГВ из торфа после гидродинамической кавитационной обработки существенно сокращается по сравнению с ис-

ходным торфом. Максимальный выход ГВ из торфа, прошедшего кавитационную обработку, отмечался через 45 мин экстракции на кипящей водяной бане. Дальнейшего увеличения выхода ГВ из торфа, прошедшего кавитационную обработку, с возрастанием продолжительности экстракции не происходило вплоть до 120 мин. Выход ГВ из исходного торфа происходит медленнее по времени и постепенно достигает максимального значения лишь через 120 мин экстракции. Полученные результаты по динамике выхода ГВ из торфа до и после кавитационной обработки свидетельствуют, что если провести сначала гидродинамическую кавитационную обработку торфа в водной среде, а затем осуществить щелочную экстракцию ГВ при 96–98 °C, то продолжительность экстракции можно ограничить 45 мин вместо 120 мин, рекомендуемых для экстракции. Сокращение времени экстракции в 2,5–3,0 раза позволит существенно снизить расход энергии на нагревание щелочной суспензии торфа в реакторе.

Данные исследований величины оптической плотности растворов ГВ из торфа до и после кавитационной обработки представлены в табл. 3. Известно, что величина оптической



Динамика экстракции ГВ из верхового пущево-сфагнового торфа до и после гидродинамической кавитационной обработки

Таблица 3. Оптическая плотность растворов ГВ пущево-сфагнового торфа до и после кавитационной обработки в водной среде

Время экстракции, мин	До кавитационной обработки			После кавитационной обработки		
	D ₄₀₀	D ₆₀₀	Q _{4/6}	D ₄₀₀	D ₆₀₀	Q _{4/6}
15	1,135	0,151	7,52	1,288	0,180	7,16
30	1,279	0,174	7,35	1,295	0,183	7,08
45	1,414	0,211	6,70	2,115	0,315	6,71
60	1,670	0,233	7,17	2,318	0,318	7,17
75	2,195	0,314	6,99	2,400	0,372	7,29
90	2,264	0,333	6,80	2,452	0,387	6,34
105	2,296	0,338	6,79	2,512	0,401	6,26
120	2,725	0,426	6,40	2,740	0,435	6,30

плотности растворов ГВ зависит как от концентрации их в растворе, так и от размеров систем полисопряжения в молекулах. При сопоставлении данных рисунка и табл. 3 по выходу и величине оптической плотности растворов ГВ обнаружился весьма интересный факт. В варианте с торфом, прошедшим кавитационную обработку, после 45 минут экстракции выход ГВ не увеличивался, а оптическая плотность их растворов продолжала возрастать до 120 мин. В варианте с исходным торфом после 45 мин увеличение выхода ГВ продолжало возрастать, и к 120 мин выход увеличился с 25 до 32 %, а оптическая плотность за этот же период времени стала больше почти в 2,0 раза (с 1,414 до 2,725). Существенно уменьшилась величина $Q_{4/6}$, характеризующая соотношение между поглощением в коротковолновой (400 нм) и длинноволновой (600 нм) частях спектра в видимой области. Чем меньше эта величина, тем более конденсированы ГК, потому что в числителе указана величина оптической плотности, обусловленная поглощением алифатических и ароматических неконденсированных фрагментов молекул, а в знаменателе – поглощением конденсированных ароматических. В обоих вариантах увеличение оптической плотности объясняется не только возрастанием концентрации ГВ в экстракте, но и изменениями в их молекулярной структуре при нагревании в щелочной среде, в результате которых увеличиваются системы полисопряжения в молекулах. Од-

ним из вероятных механизмов этого может быть реакция карбонил-аминной конденсации, весьма распространенная в природных и химико-технологических процессах, в том числе и при химической переработке торфа [2, 3], поскольку в нем имеются карбонильные и аминогруппы, способные к активному взаимодействию. Это, однако, не исключает и других возможных механизмов увеличения систем полисопряжения в ГВ при нагревании торфа в щелочной среде.

Таким образом, в технологическом процессе экстракции ГВ предварительная 40-минутная гидродинамическая кавитационная обработка водной суспензии торфа обеспечивает сокращение в 2,5–3,0 раза продолжительности нагревания щелочной суспензии в реакторе при 96–98 °C, что позволяет значительно снизить расход энергии и повысить выход целевого продукта из сырья. Кроме того, в процессе кавитационной обработки суспензия торфа нагревается до 60–70 °C, что уменьшает продолжительность разогревания реактора до температуры 96–98 °C примерно на 45–50 мин, в целом же продолжительность экстракции ГВ сокращается в зависимости от температуры окружающей среды в производственном цехе с 200–220 до 95–100 мин.

Количественная оценка энергетической эффективности предварительной гидродинамической кавитационной обработки торфа при получении ГВ является предметом наших дальнейших исследований.

Литература

1. Большая советская энциклопедия. – М., 1973. – Т. 11. – С. 321–323.
2. Маль, С. С. Углеводы и азотсодержащие вещества торфа / С. С. Маль. – Минск, 1982. – 231 с.
3. Несмейнов, А. Н. Начала органической химии / А. Н. Несмейнов, Н. А. Несмейнова. – М., 1969. – Т. 1. – 669 с.
4. Промтов, М. А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов / М. А. Промтов // Вестник ТГТУ. – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 861–869.
5. Соколов, Г. А. Влияние гидродинамической кавитации на выход гуминовых веществ из торфа / Г. А. Соколов [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларуси. Сер. хім. навук. – 2010. – № 4. – С. 112–117.
6. Цвирко, Л. Ю. Повышение выхода гуминовых веществ из торфа // Альтернативные источники сырья и топлива : сб. тез. IV Междунар. науч.-техн. конф. – Минск, 2013. – С. 35.
7. Цвирко, Л. Ю. Динамика выхода водорастворимых и гуминовых веществ из торфа при гидродинамической кавитации / Л. Ю. Цвирко, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов // Природопользование. – Минск, 2013. – Вып. 23. – С. 182–186.
8. Цвирко, Л. Ю. Эффективность воздействия гидродинамической кавитационной обработки торфа на выход гуминовых веществ // Тр. XX Междунар. симп. им. акад. М. А. Усова студентов и молодых учёных, посвящ. 120-летию со дня основания Томского политехн. ун-та. – Томск, 2016. – Т. II. – С. 637–639.

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 21.04.2017 г.

Л. Ю. Цвирко, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов

**ДИНАМИКА ЭКСТРАКЦИИ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ТОРФА
ДО И ПОСЛЕ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ В ВОДНОЙ СРЕДЕ**

Исследование динамики экстракции гуминовых веществ во времени обосновывает целесообразность предварительного проведения гидродинамической кавитационной обработки торфа в водной среде. Таким образом, продолжительность экстракции можно сократить в 2,5–3,0 раза и ограничить 40–45 мин, что позволит снизить расход энергии.

L. Y. Tsvirko, N. N. Bambalov, G. A. Sokolov

**THE DYNAMICS OF HUMIC SUBSTANCES EXTRACTION BEFORE
AND AFTER CAVITATION TREATMENT IN AQUEOUS MEDIUM**

The study of the dynamics of humic substances extraction in time proves the usefulness of hydrodynamic cavitation treatment of peat in aquatic medium. Thus, it helps to reduce an extraction by 2,5–3,0 times and limit in time up to 40–45 minutes which allows to reduce power consumption.

Г. А. Соколов, Л. Ю. Цвирко, О. Г. Красноберская

ВЛИЯНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ САПРОПЕЛЯ И ТОРФА НА ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И ВЫХОД ВОДОРАСТВОРИМЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Выявлены новые зависимости, заключающиеся в количественных и временных изменениях структуры органического вещества (ОВ) и образования водорастворимых гуминовых соединений в сапропеле органического и кремнеземистого типов при его гидродинамической кавитационной обработке. Установлено, что в процессе обработки происходит волнообразный процесс образования дополнительного количества гуминовых веществ (ГВ), а также изменение содержания других компонентов ОВ. Показано, что кавитационная обработка увеличивает в сапропеле массовую долю ГВ и трудногидролизуемых веществ (ТГВ) за счет негидролизуемого остатка (НГО). Выполнен сравнительный анализ оценки воздействия гидродинамической кавитационной обработки на изменение структуры органического вещества сапропеля и торфа и характер выхода гуминовых соединений.

Совершенствование потребительских качеств гуминовых препаратов в деле их специализации и эффективности действия в меньшей мере касается изменения механизма биоактивного воздействия на растительную клетку, но гораздо в большей степени фокусируется на расширении методов получения и повышения эффективности технологий их переработки, в том числе путем применения гидродинамического или ультразвукового кавитационного воздействия на органическое сырье. В ходе кавитационной обработки происходят сложные преобразовательные процессы, основными из которых являются: механическое измельчение частиц, возбуждение молекул, ионизация, окисление, разрыв химических связей, а также противоположные процессы, такие как укрупнение молекул, образование ассоциатов и твердых частиц. При кавитационной обработке различных материалов возникают ион-радикальные образования [1, 5, 10]. Под воздействием кавитации большой интенсивности на протяжении длительного времени нарушаются C—C связи в молекулах, вследствие чего происходят изменения физико-химических свойств, например, уменьшение молекулярной массы и др. Изменение баланса сил между частицами дисперской системы и уменьшение размеров дисперсных частиц вследствие химического или физического воздействия позволяют увеличить выход целевых продуктов, улучшить их качество, а также снизить энергетические затраты [2, 4, 7, 10]. При гидродинамической кавитационной обработке торфа пиковье повышения давления и ударные волны, образующиеся при кавитации, приводят к повышенному их диспергированию, а вода, распадаясь на радикалы водорода и гидроксила и взаимодействуя с легко окисляемыми веществами торфа, приводят к ускоренному переходу ГВ в раствор. Происходит интенсивное

расщепление и разрыв связей ОВ с минеральной составляющей и самой минеральной части, разрушение адсорбционных комплексов, в результате чего ускоряются химические процессы, такие как укрупнение молекул, образование ассоциатов и твердых частиц. Кавитационная технология извлечения ГВ позволяет увеличить их выход в раствор; значительно ускорить процесс экстрагирования; усилить биологическую активность продукта [10, 12]. В кавитаторе синхронно идут процессы диспергации, экстракции, растворения, дезинтеграции клеточных структур, деструкция целлюлозы торфа, протекания реакций гидротермального синтеза.

Поскольку влияние кавитационной обработки на сапропель мало изучено, цель данной работы – изучить различия в характере воздействия кавитационной обработки на изменение структуры ОВ сапропеля органического и кремнеземистого типов, а также сравнение этих изменений с аналогичными, полученными при обработке торфа разных типов.

Методики и условия проведения исследований. В опытах исследовалась органический сапропель оз. Судобль с влажностью (*W*) 96,5 %, массовой долей золы (*A^c*) 28,5 %, ОВ = 71,5 % и кремнеземистый сапропель оз. Червоное с *W* = 71,9 %, *A^c* = 46,2 %, ОВ = 28,1 %.

Исходная загрузка сапропеля в установку для гидродинамической кавитационной обработки составляла 5 л при влажности 83,9 % для кремнеземистого сапропеля. Также был добавлен некоторый объем воды до полного заполнения кавитатора и достижения влажности 95,0 %. Загрузка для органического сапропеля при его влажности 94,7 % составляла 5 л без добавления воды.

Начальная температура процесса составляла 18 °С. Температура по завершении процес-

са гидродинамической кавитационной обработки – 83 °С.

Каждая из испытуемых проб подвергалась процессу гидродинамического кавитационного воздействия с экспозицией в 10, 20, 30 и 40 мин, после чего все пробы (4 пробы кремнеземистого и 4 пробы органического сапропеля) проходили химико-аналитические исследования. В полученных образцах определяли содержание ВРВ, ГВ, в том числе ГК и ФК, ЛГВ, ТГВ и НГВ, а также минеральных форм азота [3, 6–9, 11].

В ходе эксперимента в кавитационной установке происходило увеличение температуры на 10 °С в течение 3–4 мин при режиме гидродинамической кавитационной обработки 3000 об/мин и частоте периодических процессов 50 Гц.

Для проведения кавитационной гидродинамической обработки торфа были использованы: низинный древесно-тростниковый торф из месторождения Ореховский Мox ($W = 66,2\%$, $R = 35–40\%$, $A^c = 8,4\%$, pH в KCl = 5,6), верховой магелланум-торф ($W = 46,8\%$, $R = 15–20\%$, $A^c = 9,9\%$, pH в KCl = 3,2) и пушицево-сфагновый торф ($W = 54,1\%$, $R = 25–30\%$, $A^c = 11,2\%$, pH в KCl = 3,1) – оба из месторождения Радемье.

Кавитационную обработку торфа проводили на кавитационной установке также с максимальным объемом загрузки 5 л. Условия кавитационной обработки торфа и сапропеля были аналогичными.

Предварительно образцы фрезерного торфа измельчали, просеивали через сито с диаметром ячеек 3 мм и после этого загружали в кавитационную установку. Содержание жидкой и твердой фаз в суспензиях было различно: для низинного торфа к 1 кг торфа 40 %-ной влажности добавляли 3,5 л воды; для верхового торфа к 0,5 кг торфа 40 %-ной влажности добавляли 4 л воды. Такие различия обусловлены разной водопоглотительной способностью и насыпной плотностью этих типов торфа. После кавитационной обработки суспензию охлаждали до комнатной температуры, затем отбирали пробы для анализов.

Отделение твердой фазы суспензии от жидкой производили на центрифуге марки Т 24D

в течение 20 мин при скорости 12 000 об/мин. Экстракцию ГВ проводили 2 %-ным раствором NaOH при температурах 18–20 °С, 60 °С, 80 °С, 96–98 °С. Температурные режимы 60 °С и 80 °С достигали с помощью термостата, 18–20 °С – при работе с исследуемыми образцами в нормальных условиях при комнатной температуре, 96–98 °С – на кипящей водяной бане. ГВ разделяли на ГК и ФК подкислением щелочного экстракта до pH = 1,0: в аналитических целях ГК осаждали серной кислотой, а в препаративных целях – соляной.

Результаты и их обсуждение. Выход (содержание) ГК в нативных образцах обоих типов сапропеля возрастал с увеличением времени кавитационной обработки. Динамика выхода ФК в нативных образцах обоих типов сапропеля была аналогична динамике выхода ГВ. Однако выход ФК для органического сапропеля имел два максимума, а для кремнеземистого – один (табл. 1).

При кавитационной обработке в образцах органического сапропеля наблюдалось два максимума выхода ГВ – при 20 мин (39,9 %) и при 40 мин обработки (36,8 %) как за счёт ГК, так и ФК, причем первый максимум был выше. В исследуемых образцах отмечен минимальный выход ЛГВ после 20 мин кавитационной обработки (11,7 %), затем он повышался, достигая максимума в образцах после 40 мин (20,6 %) гидродинамического воздействия. Минимальное значение ТГВ отмечено при 10 мин, а максимум – при 40 мин кавитационной обработки. Видимых различий зависимости выхода НГВ от времени кавитационного воздействия в интервале 10–30 мин не отмечено, а при 40 мин кавитации выход этой группы веществ был минимальным.

В нативных образцах кремнеземистого сапропеля максимум выхода ГВ (42,7 %) наблюдался при 20 мин обработки, далее с увеличением времени процесса происходило снижение выхода ГВ. Наряду с этим наблюдались два максимума выхода ЛГВ в образцах при 20 мин (24,1 %) и при 40 мин (22,4 %) кавитационной обработки.

Таблица 1. Изменение группового состава органического и кремнеземистого сапропеля в зависимости от времени гидродинамической кавитационной обработки, % на а. с. м.

Тип сапропеля	Время обработки, мин	ГВ	ГК	ФК	ЛГВ	ТГВ	НГВ
Органический	10	31,7	9,7	22,0	20,1	2,4	45,8
	20	39,9	13,4	26,6	11,7	3,2	45,2
	30	32,4	15,0	17,4	17,7	4,1	45,8
	40	36,8	15,3	21,5	20,6	4,5	38,1
Кремнеземистый	10	36,3	9,5	26,8	22,2	3,9	37,6
	20	42,7	11,5	31,2	24,1	3,7	29,5
	30	39,8	15,0	24,8	20,1	5,2	34,9
	40	39,2	17,7	21,5	22,4	3,4	35,0

Выход ТГВ в опыте был максимальным в образцах после 30 мин гидродинамической кавитационной обработки, выход НГВ – в образцах после 10 мин обработки.

При кавитационной обработке кремнеземистого сапропеля проявлялся только один максимум выхода ГВ при 20 мин экспозиции (42,7 %) за счёт прироста группы ФК.

При сравнении аналогичных вариантов опыта с разными типами сапропеля видно, что в целом выход ВРВ, в том числе ГВ и ГК, был выше для образцов кремнеземистого сапропеля (табл. 2). Кавитационная обработка увеличивала в сапропеле массовую долю ГВ и ТГВ за счет НГО, причем в органическом сапропеле эти изменения были более выраженным. Влияние кавитационной обработки на содержание ГК было неоднозначным: в органическом сапропеле этот показатель вырос в 4,6 раза, а в кремнеземистом снизился в 1,5 раза.

Изменение группового состава сапропеля можно сравнить с выходом основных групп ОВ торфа под влиянием его кавитационной обработки в водной среде. Данные по изменению группового состава торфа низинного и верхового типов до и после кавитационной обработки представлены в табл. 3.

Кавитационная обработка увеличивала массовую долю ГВ (в низинном торфе – в 1,86 раза, в верховом – практически в 2,0 раза), в том числе ГК (в низинном торфе – в 1,83 раза, в верховом – в 2,08 раза) и ФК (в низинном торфе – в 2,03 раза, в верховом – в 1,57 раза).

Дополнительное количество щелочерасстворимых ГВ образуется за счет преобразования

нерасторимых в щелочи ГВ негидролизуемого остатка в результате кавитационного окисления. Экспериментально доказано уменьшение выхода НГО с 37,8 до 13,8 % в низинном торфе и с 28,6 до 9,2 % в верховом торфе.

Известно, что в составе НГО торфа содержатся ГВ, нерастворимые в щелочи. Предполагается, что это либо промежуточные продукты гумификации с небольшим количеством карбоксильных групп и большими молекулярными массами, либо дегидратированная форма ГК. Под воздействием гидродинамической кавитационной обработки сначала окисляются и частично деструктируются высокомолекулярные продукты неполной гумификации растений-торфообразователей, а затем они переходят в щелочной экстракт в виде дополнительного количества ГК.

В данном случае в процессе гидродинамической кавитационной обработки произошло образование гуминоподобных веществ из НГО, уменьшение которого в низинном торфе составило 24,0 %, в верховом – 19,4 %. Убывшие из НГО вещества в результате окисления обрели способность к растворению в щелочи, т. е. перешли в группу ГВ.

Следует отметить, что в процессе гидродинамической кавитационной обработки торфа волнообразный процесс образования дополнительного количества ГВ, а также изменения других компонентов ОВ, имеет более четкое проявление. Однако при исследовании влияния кавитации на динамику превращения ОВ сапропеля иногда также отмечается некоторая подобная закономерность течения процесса. Как было показано выше, в исследованных образцах

Таблица 2. Изменение группового состава сапропеля в результате кавитационной обработки, % на а. с. н.

Образец	ВРВ	ГВ (в том числе ГК)	ЛГВ	ТГВ	НГО
Сапропель органический нативный	3,50	23,21 (4,90)	21,15	3,05	52,59
Сапропель органический после кавитации	4,70	33,93 (22,42)	20,55	6,50	39,02
Сапропель кремнеземистый нативный	6,35	32,15 (15,51)	18,30	3,50	46,05
Сапропель кремнеземистый после кавитации	6,70	34,48 (10,05)	17,35	5,55	42,62

Таблица 3. Изменение группового состава торфа в результате кавитационной обработки

Группа органических веществ	Низинный древесно-тростниковый торф		Верховой магелланникум-торф	
	до обработки	после обработки	до обработки	после обработки
ВРВ	0,4	1,1	0,8	2,0
ГВ	31,4	58,3	24,2	48,1
ГК	27,4	50,2	19,8	41,2
ФК	4,0	8,1	4,4	6,9
ЛГВ	16,7	14,8	26,6	23,3
ТГВ	13,7	12,0	19,8	17,4
НГО	37,8	13,8	28,6	9,2

органического сапропеля наблюдалось два максимума выхода ГВ: при 20 и 40 мин обработки, причем первый максимум был выше. В контрольных образцах кремнеземистого сапропеля наблюдался максимум выхода ГВ при 20 мин кавитационной обработки, далее с увеличением времени кавитации происходило снижение выхода ГВ.

Что касается гидродинамической кавитационной обработки торфа по сравнению с сапропелем и, в частности, динамики выхода ГВ в процессе гидродинамической кавитационной обработки торфа, то в данном случае они подтверждаются полученными ранее экспериментальными данными [7]. В период между 20 и 30 мин процесса гидродинамической кавитационной обработки наблюдается существенное снижение выхода ГВ – ниже, чем их было в исходном сырье; а затем, в период между 30 и 40 мин, происходит скачкообразное и весьма быстрое увеличение выхода – до 1,8–2,0 раза по сравнению с их выходом из исходного сырья. Снижение выхода ГВ объясняется протеканием реакций конденсации продуктов кавитации с образованием нерастворимых соединений. В условиях экспериментов протеканию реакций конденсации способствовало также предварительное образование реакционноспособных веществ со свободными радикалами в результате разрыва химических связей в молекулах органических соединений торфа при схлопывании кавитационных пузырьков. Однако в течение следующих 10–20 мин кавитационной обработки выход ГВ снова увеличивается в 1,8–2,0 раза по сравнению с исходным торфом. Образовавшиеся нераство-

римые в щелочи ГВ в процессе гидродинамической кавитации снова переходят в раствор, но их количества недостаточно для указанного увеличения выхода из сырья. Дополнительное количество щелочерасторимых ГВ образуется за счет преобразования нерастворимых в щелочи ГВ НГО в результате кавитационного окисления.

В результате разрыва химических связей и окисления при гидродинамической кавитации эти формы ГВ приобретают способность растворяться в щелочи, и данные процессы отражаются на кривой в виде скачкообразного увеличения выхода ГВ из сырья. Дальнейшая кавитационная обработка торфа (более 50 мин) ведет к снижению выхода ГВ за счет преобладания процессов их деструкции [7].

В качестве сравнения нами была также выполнена кавитационная обработка пробы органического сапропеля Донецкой области (Украина) на протяжении 40 мин и постепенным достижением температуры материала 83 °С. Результаты, представленные в табл. 4, указывают на значительные изменения качества исследуемого сапропеля в результате такой обработки.

Так существенно увеличился показатель рН – с 5,9 до 6,9, т. е. количество ионов водорода в среде сапропеля уменьшилось в 10,0 раз. Массовая доля гуминовых веществ увеличилась более чем на 1,0 % абсолютный, а гуминовых кислот – на 1,25 %, что отражается на увеличении их выхода. При этом количество водорастворимых гуминовых веществ увеличилось более, чем в 10,0 раз, о чем свидетельствует возрастание оптической плотности фугата с 0,005 до 0,053.

Таблица 4. Изменение структуры и свойств ОВ сапропеля Донецкой области в результате гидродинамической кавитационной обработки

№ п/п	Показатель	Фактическое значение показателя для образца	
		до кавитации	после кавитации
1	Массовая доля влаги, %	96,59	96,60
2	Массовая доля золы, % на сухую массу	16,84	16,77
	Массовая доля органического вещества, % на сухую массу	83,16	83,23
3	Водородный показатель (рН)	5,9	6,9
4	Массовая доля общего азота, % на сухую массу	3,70	3,65
5	Массовая доля общего фосфора (P_2O_5), % на сухую массу	0,37	0,39
6	Массовая доля общего калия (K_2O), % на сухую массу	0,12	0,12
7	Массовая доля гуминовых веществ, % на сухую массу	12,16	13,22
8	Массовая доля гуминовых кислот, % на сухую массу	7,51	8,76
9	Масса водорастворимых солей, г/л	0,21	0,36
10	Масса аммиачного азота, мг/100 г а. с. в.	53,5	82,0
11	Масса нитратного азота, мг/100 г а. с. в.	1,83	1,60
12	Масса подвижного фосфора (P_2O_5), мг/100 г а. с. в.	75,0	77,0
13	Масса подвижного калия (K_2O), мг/100 г а. с. в.	42,5	48,0
14	Массовая доля легкогидролизуемого азота, % на сухую массу	0,13	0,16
15	Оптическая плотность фугата: 440 нм 600 нм	0,005 0,000	0,053 0,013

Поскольку водорастворимые гуминовые вещества обладают свойством биологической активности, можно говорить о повышении биологической активности суспензии сапропеля в целом, что важно при создании жидких питательных смесей повышенной биоактивности.

Важно также, что в водорастворимое состояние перешла часть нерастворимых солей и их содержание увеличилось с 0,21 до 0,36 %, т. е. более чем в 1,5 раза. Вероятнее всего, что в раствор перешли соли кальция и магния, что коррелирует со снижением кислотности сапропеля.

Выводы. Выявленные в ходе эксперимента зависимости количественных и времен-

ных изменений структуры ОВ указывают на волнообразный процесс образования дополнительного количества ГВ в сапропеле органического и кремнеземистого типов, а также в торфе при гидродинамической кавитационной обработке. Отмечено также изменение содержания других компонентов ОВ, что происходит за счет НГО.

Авторы выражают большую признательность академику Н. Н. Бамбалову за консультации в процессе работы над изложенным материалом.

Литература

1. Большая советская энциклопедия. – М., 1973. – Т. 11. – С. 321–323.
2. Иванова, Т. А. Использование сапропеля в качестве сорбента остатков минеральных удобрений / Т. А. Иванова, В. П. Спасов, Л. И. Алексеева // Перспектива создания экологически чистых технологий возделывания сельскохозяйственных культур: Тез. докл. Всесоюз. совещ. – Ленинград, 1990. – С. 38–39.
3. Промтов, М. А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов / М. А. Промтов // Вестн. ТГТУ. 2008. Т. 14, № 4. С. 861–869.
4. Препараты гуминовые жидкие. Общие технические требования и методы контроля : СТБ 2392–2014. – 12 с.
5. Влияние гидродинамической кавитационной обработки торфа на параметры гуминовых кислот / В. П. Стригуцкий [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі, Сер. хім. навук. – 2013. – № 3. – С. 117–121.
6. Цвирко, Л. Ю. Влияние гидродинамической кавитационной обработки торфа на физико-химические свойства гуминовых кислот // Молодежь в науке – 2014 : материалы XI Междунар. науч. конф. (прил. к журн. «Весці Нац. акад. навук Беларусі, Сер. хім. навук»). – Минск, 2014. – С. 51–54.
7. Цвирко, Л. Ю. Влияние гидродинамической кавитации на выход водорастворимых веществ из торфа / Л. Ю. Цвирко, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2012. – Вып. 21. – С. 284–287.
8. Цвирко, Л. Ю. Динамика выхода водорастворимых и гуминовых веществ из торфа при гидродинамической кавитации / Л. Ю. Цвирко, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов // Природопользование. – Минск, 2013. – Вып. 23. – С. 182–186.
9. Цвирко, Л. Ю. Превращение органического вещества торфа под воздействием гидродинамической кавитационной обработки / Л. Ю. Цвирко, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов // Наука – инновационному развитию общества : 2-я Междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2014. – С. 273–278.
10. Влияние гидродинамической кавитации торфа на оптическую плотность растворов гуминовых кислот / Л. Ю. Цвирко [и др.] // Природопользование. – Минск, 2013. – Вып. 23. – С. 167–172.
11. Влияние кавитационной обработки торфа на содержание функциональных групп в гуминовых кислотах / Л. Ю. Цвирко [и др.] // Природопользование. – Минск, 2013. – Вып. 24. – С. 156–160.
12. Цифанскис, С. Кавитационные технологии получения гуминовых веществ и их использование / С. Цифанскис, О. Кукаянис. – Рига, 2015. – С. 41–43.

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 21.04.2007 г.

Г. А. Соколов, Л. Ю. Цвирко, О. Г. Красноберская

**ВЛИЯНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИОННОЙ
ОБРАБОТКИ САПРОПЕЛЯ И ТОРФА НА ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ
И ВЫХОД ВОДОРАСТВОРИМЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ**

Выявлены новые зависимости, заключающиеся в количественных и временных изменениях структуры ОВ и образования водорастворимых гуминовых соединений в сапропеле органического и кремнеземистого типов при его гидродинамической кавитационной обработке. Показано, что кавитационная обработка увеличивала в сапропеле массовую долю ГВ и ТГВ за счет НГО, причем в органическом сапропеле эти изменения были более выражеными. Влияние кавитационной обработки на содержание ГК было неоднозначным: в органическом сапропеле этот показатель возрос в 4,6 раза, а в кремнеземистом – снизился в 1,5 раза.

В процессе гидродинамической кавитационной обработки торфа волнобразный процесс образования дополнительного количества ГВ, а также изменения других компонентов ОВ имеет более четкое проявление. Однако при исследовании влияния кавитационной обработки на динамику превращения ОВ сапропеля иногда также отмечается некоторая подобная закономерность течения процесса. В исследованных образцах органического сапропеля наблюдалось два максимума выхода ГВ: при 20 и 40 мин обработки, причем первый максимум был выше. В контрольных образцах кремнеземистого сапропеля наблюдался максимум выхода ГВ при 20 мин кавитационной обработки, далее с увеличением времени гидродинамической кавитации происходило снижение выхода ГВ.

G. A. Sokolov, L. U. Tsvirko, O. G. Krasnoberskaya

**THE INFLUENCE OF HYDRODYNAMIC CAVITATIONAL SAPROPEL
AND PEAT PROCESSING ON THEIR STRUCTURAL CHANGE
AND WATER-SOLUBLE ORGANIC SUBSTANCES OUTPUT**

The new dependences consisting of the quantitative and structural changes of organic matter and formation of water-soluble humic compounds in sapropel of organic and silicic types at its hydrodynamic cavitation processing are revealed. It is shown that cavitation processing increased in sapropel a mass of humic acids and hard hydrolysable substances fractions at the expense of non hydrolysable fraction. Regarding organic type of sapropel these changes were more expressed. Influence of cavitation processing on contents of the humic acids was ambiguous: this indicator increased in organic sapropel by 4,6 times, and in silicic – decreased by 1,5 times.

In the course of hydrodynamic cavitation peat processing the wavy character of formation of additional quantity of humic acids, and also change of other organic components, has more legible appearance. However at study of influence of cavitation processing on dynamics of organic substances of sapropel transformation, sometimes similar regularity of a course of process was also noted. In the studied samples of organic sapropel two maxima of an output of humic substances were observed: at 20 and 40 min processing, and the first maximum was higher. In control silicic sapropel samples the humic substances output maximum was observed at 20 min of cavitation processing, further increase in time of a hydrodynamic cavitation there was followed by decrease in humic substances output in fact. The comparative analysis in an assessment of impact of hydrodynamic cavitation processing on structural change of organic matter of sapropel and peat and character of humic substances output from these natural materials is made.

Wavy character of formation of additional amounts of humic acids, as well as other components of organic matter in the course of hydrodynamic cavitation processing of peat have a more pronounced manifestation.

Н. Н. Бамбалов

ИЗМЕНЕНИЕ ГРУППОВОГО СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ТОРФЯНОЙ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ ПЕСЧАНО-СМЕШАННОЙ КУЛЬТУРЫ

За 30 лет сельскохозяйственного использования торфяной почвы в условиях чёрной культуры групповой состав органического вещества пахотного слоя практически не изменился, а в условиях песчано-смешанной культуры за это же время в составе органического вещества произошло существенное увеличение содержания гуминовых веществ, гуминовых кислот и особенно фульвокислот, почти в 2,0 раза сократилось содержание негидролизуемого остатка.

Основным способом использования осущенных торфяных почв является чёрная культура – без покрытия минеральным грунтом. Это традиционный способ использования осущенных торфяных почв для возделывания сельскохозяйственных культур не только в Беларуси, но и в других странах. Недостатком этого способа является сравнительно быстрое уменьшение торфяного слоя за счёт процессов минерализации, эрозии и дальнейшей гумификации. Согласно прогнозу [6] и экспериментальным исследованием [2–5, 11, 12], ежегодное уменьшение слоя торфа в среднем составляет 0,5–2,0 см в зависимости от мощности торфяной почвы и интенсивности механической обработки. Ежегодные безвозвратные потери органического вещества (ОВ) при возделывании многолетних трав составляют от 1,7–4,0 т/га, при возделывании пропашных культур – до 10,0–12,0, в севооборотах – 6,0–7,0 т/га.

Для предотвращения ускоренной деградации таких почв применяют покрытие торфяного слоя минеральными грунтами. Суть наиболее выгодного способа покрытия состоит в глубокой мелиоративной вспашке маломощной торфяной почвы с созданием на поверхности минерального пахотного слоя из подстилающего торф песка [8]. При такой технологии торф, расположенный ниже пахотного слоя, оказывается накрытым минеральным пахотным слоем, в котором развиваются корневые системы и почвенные микробоценозы, потребляющие кислород, поэтому аэрация подпахотного слоя затруднена, и процессы минерализации в нем замедляются, а торф, расположенный ниже пахотного слоя, консервируется [2, 10]. Данная технология использования торфяных почв изобретена в Германии и получила название песчано-смешанной культуры (ПСК), потому что в пахотном слое торф перемешан с песком, а в подпахотном слое торфяные и песчаные наклонные слои чередуются.

Данные об изменении состава ОВ при длительном использовании торфяной почвы в условиях ПСК в научной литературе отсутствуют. В

связи с этим представляет значительный научный и практический интерес сравнительное изучение группового состава ОВ торфяных почв, используемых в условиях чёрной и послойно-смешанной культуры.

Исследовали торфяную почву первого в Беларуси опытного участка ПСК, заложенного под руководством профессора В. И. Белковского при участии автора в 1980 г. на площади 7 га на Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства (ПОСМЗиЛ), расположенной в Лунинецком районе Брестской области. До создания ПСК глубина торфяного слоя здесь варьировалась в пределах 50–80 см с редкими небольшими углублениями до 100 см. Первичная мелиоративная вспашка на глубину 110 см была осуществлена в октябре 1979 г., посев первой культуры – в апреле 1980 г. В результате глубокой вспашки с полуоборотом пласта торфяной слой и подстилающий его песок превратились во множество отдельных чередующихся слоёв толщиной по 40–45 см, расположенных в наклонном положении под углом примерно 40°. После вспашки поверхность почвы была неровная, крупно-гребнистая, поэтому её выравнивали дискованием в три следа, одновременно с чем в обрабатываемом слое происходило перемешивание песка и торфа. Объёмное соотношение песка и торфа во вновь созданном обрабатываемом слое было примерно одинаковым, но за счёт большой разницы в плотности торфа и песка и недостаточности перемешивания содержание ОВ в таком пахотном слое в первый год колебалось от 0,2 до 9,7 %. В последующие годы под воздействием механической обработки почвы происходило постепенное выравнивание содержания ОВ. Вся опытная территория была разделена на два участка с условными названиями восточный и западный, причём на восточном участке возделывались только многолетние травы, а на западном – пропашные культуры (картофель, кукуруза), зерновые (ячмень, озимая рожь, тритикале) и однолетние травы (пельюшко-овсяная смесь, люпин на зеле-

ную массу) в севообороте. Размер опытных делянок – 6 × 30 м, повторность – четырехкратная. Продуктивность ПСК в сравнении с черной культурой была значительно выше за счет улучшения агрофизических, агрохимических и биологических свойств почвы [7–11]. Начиная с 1995 г., из восточного и западного участков был создан единый массив, засеянный многолетними травами и используемый в хозяйственных посевах. С 2000 г. ежегодно вносят навоз крупного рогатого скота. С 2006 г. всю территорию ПСК используют в зернотравяных севооборотах. Сделанная нами в 1980 г. привязка на местности позволяет восстановить площади восточного и западного участков. В 2016 г. на западном участке ПСК был сделан почвенный разрез, показавший сохранность торфа в подпахотном слое. Для исследования на каждом участке, состоящем из 36 делянок, отбирали по 108 проб почвы из пахотного слоя: по 3 пробы с каждой делянки. Образцы почвы сушили при 18–22 °C, затем отделяли на сите с ячейками размером 1 мм корни растений и минеральные включения.

Для группового анализа готовили смешанные образцы, которые дополнительно измельчали и просеивали через сито с ячейками 0,5 мм. Групповой состав выполняли по методике [6], определяя сначала битумоиды (Б), затем гуминовые вещества (ГВ) без нагревания, далее легкогидролизуемые (ЛГВ) и трудногидролизуемые (ТГВ) вещества, а последним – негидролизуемый остаток (НГО) (см. таблицу).

Групповой состав ОВ почв относится к консервативным, т. е. к медленно изменяемым свойствам почв в отличие, например, от таких быстро изменяющихся характеристик, как содержание доступных для растений форм питательных элементов. Показано [6], что в условиях Беларуси групповой состав ОВ торфяных почв, используемых в чёрной культуре, практически не

изменяется даже при длительном (десятки лет) сельскохозяйственном использовании, так как основу ОВ составляет торф, сформированный в течение многих сотен–тысяч лет. В процессе торфообразования отмершие болотные растения теряют 85–95 % первоначального запаса ОВ, поэтому в торфе сохраняются наиболее устойчивые к минерализации компоненты. В условиях чёрной культуры по мере разрушения ОВ торфа в пахотный слой систематически вовлекаются новые порции торфа из подпахотного слоя, поэтому относительная доля корневых и поживных остатков в общем балансе ОВ пахотного слоя в течение многих десятков лет остаётся стабильно низкой – примерно 1,0–1,5 %.

Совершенно по-другому складывается соотношение между ОВ торфа и послеуборочных растительных остатков в пахотном слое ПСК в связи со следующими двумя особенностями данной почвы: относительная доля ОВ торфа в пахотном слое ПСК многократно меньше, чем в пахотном слое почвы чёрной культуры; в пахотный слой ПСК не поступает торф из подпахотного слоя, так как наклонные слои песка не позволяют рабочим органам почвообрабатывающей техники углубляться ниже пахотного слоя. В связи с этим относительная доля ежегодно поступающего свежего ОВ в пахотном слое ПСК приближается к 7–10 %. Например, на восточном участке масса ОВ в пахотном слое изменялась в пределах 60–75 т/га, на западном – в пределах 82–104 т/га, из которых на долю свежих послеуборочных растительных остатков ежегодно приходится по 5–7 т/га [1]. Фактически ежегодно поступающее негумифицированное ОВ является основным источником гумуса в торфяно-песчаном пахотном слое. Торф здесь постепенно минерализуется, поэтому его доля в балансе ОВ с каждым годом снижается, а относительная доля ОВ растительных остатков возрастает.

Групповой состав ОВ торфяной почвы ПОСМЗиЛ, используемой в условиях ПСК и чёрной культуры

Участок	Остаток после прокаливания, %	C _{опр.} , %	Содержание, % к C _{опр.}							N, % к сухому веществу	C : N
			Б	ГВ	ГК	ФК	ЛГВ	ТГВ	НГО		
1985 г.											
Восточный ПСК	95,63	2,11	2,96	49,14	38,03	9,09	13,76	6,32	32,83	0,12	17,58
Западный ПСК	95,89	2,85	3,18	47,09	41,45	7,95	10,51	7,09	33,00	0,16	17,81
Чёрной культуры	19,92	40,27	3,04	49,40	38,80	10,74	11,71	8,55	33,77	2,48	16,17
2005 г.											
Восточный ПСК	95,84	1,91	1,91	57,41	42,71	14,70	13,77	9,14	17,77	0,14	13,64
Западный ПСК	96,00	2,36	1,84	59,95	45,59	17,36	10,61	6,75	20,85	0,17	13,88
Чёрной культуры	17,94	47,31	2,86	48,41	40,25	8,16	7,02	3,85	37,86	2,56	18,48
2010 г.											
Восточный ПСК	95,38	2,29	1,14	64,36	39,60	24,76	9,02	7,65	17,83	0,24	9,54
Западный ПСК	95,12	2,25	2,01	64,60	41,32	23,28	8,85	8,06	16,35	0,22	10,23

В составе свежего ОВ в почву поступают полисахариды, лигнин и азотсодержащие вещества (в основном белки), которые участвуют в биосинтезе новых ГВ в условиях благоприятного водно-воздушного и теплового режимов в пахотном слое ПСК, что ведёт к постепенному обогащению ОВ генетически молодыми ГВ. Данные таблицы свидетельствуют о существенных изменениях группового состава ОВ за 30 лет на участках ПСК по сравнению с чёрной культурой.

В ОВ пахотного слоя ПСК содержание Б меньше, а ГВ больше по сравнению с чёрной культурой. Доля ГВ на участках ПСК достигла 64 %, в то время как на участке чёрной культуры доля ГВ не превысила в обрабатываемом слое 49,4 %. Соответственно этому по сравнению с чёрной культурой возросло и количество гуминовых кислот (ГК) – на 3–6 %. Содержание ФК в пахотном слое ПСК в 2010 г. было 23,2–24,8 %, что выше по сравнению с чёрной культурой на 10–11 %. Несмотря на увеличение содержания ГК соотношение $C_{\text{ГК}} : C_{\text{ФК}}$ по сравнению с чёрной культурой уменьшилось в 2005 г. с 3,61 до 2,63–2,90, а к 2010 г. – до 1,59–1,77, что указывает на преобладание процессов окисления ОВ в пахотном слое ПСК по сравнению с чёрной культурой и на образование дополнительных количеств ФК при гумификации свежего ОВ растительных остатков и соломенного навоза, вносимого на участки ПСК в последние годы. Внесение навоза увеличило содержание азота в пахотном слое ПСК с 0,12–0,16 % в 1985 г. до 0,22–0,24 % в 2010 г., и соответственно этому существенно снизилась величина отношения $C : N$ – с 17,6–17,8 до 9,5–10,2. Как известно, повышение содержания азота в почве способствует повышению биосинтеза ГВ, что и наблюдается в пахотном слое ПСК.

Благодаря относительно большей доле ежегодно поступающего свежего ОВ растительных остатков и навоза в пахотном слое ПСК доля органического углерода ($C_{\text{орг}}$) ЛГВ и ТГВ несколько выше, чем на участке чёрной культуры. Эти две группы веществ весьма динамичны, так как они представлены преимущественно целлюлозой и гемицеллюлозами, легкодоступными для микроорганизмов.

Весьма существенные различия обнаружились в содержании НГО. Доля его углерода в составе $C_{\text{орг}}$ пахотного слоя чёрной культуры составляет 36–37 %. В 1985 г. его доля в ОВ пахот-

ного слоя ПСК также находилась на уровне 33 %. В течение последующих 20–25 лет доля НГО в ОВ пахотного слоя ПСК уменьшилась до 16,3–20,8 %, а в почве с чёрной культурой использования составила 37 %. Это значит, что в условиях ПСК скорость преобразования НГО значительно выше, чем в пахотном слое чёрной культуры, вследствие более благоприятных условий для жизнедеятельности организмов, преобразующих ОВ. Как было показано ранее [3], НГО торфяных почв частично преобразуется в ГВ, если в почве достаточно кислорода для протекания окислительных процессов. С учётом этого, увеличение содержания ГВ в почве ПСК объясняется, с одной стороны, биосинтезом новых ГВ из послеуборочных растительных остатков и вносимого в почву навоза, а с другой – образованием ГВ из НГО при его биохимическом окислении. В совокупности эти процессы обусловили в почве ПСК значительное увеличение содержания ГВ (с 49 до 64 %) и примерно двукратное снижение содержания НГО по сравнению с чёрной культурой.

Таким образом, полученные результаты показывают, что в условиях ПСК по сравнению с чёрной культурой имеют место существенные изменения в соотношении биогенного и геологического круговоротов веществ, суть которых состоит в том, что в пахотный слой ПСК не поступает торф из-под пахотного, поэтому вся масса нового ОВ в пахотном слое формируется из послеуборочных растительных остатков и органических удобрений – так же, как и в минеральных почвах. По этой же причине ОВ торфа, находящегося в подпахотном слое, в условиях ПСК сохраняется и консервируется, а в торфяной почве торф из подпахотного слоя систематически поступает в пахотный и минерализуется. Консервации торфа в подпахотном слое ПСК способствует повышенная активность почвенной биоты в пахотном слое [10], обусловившая более высокую интенсивность биохимического потребления кислорода из почвенного воздуха, поэтому для минерализации ОВ в подпахотном слое недостаточно кислорода. Снижение содержания НГО и увеличение содержания фульвокислот в пахотном слое ПСК по сравнению с чёрной культурой однозначно свидетельствуют об интенсивном расходовании кислорода почвенного воздуха на окислительные процессы ОВ в пахотном слое ПСК.

Литература

1. Бамбалов, Н. Н. Корневые и пожнивные остатки и их роль в плодородии органогенных почв / Н. Н. Бамбалов, Л. Т. Каиновская // Мелиорация и проблемы органического вещества. – Минск : БелНИИМиВХ, 1974. – С.102–106.
2. Бамбалов, Н. Н. Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения / Н. Н. Бамбалов. – Минск : Наука и техника, 1984. – 175 с.

3. Бамбалов Н. Н. Состав негидролизуемого остатка торфяных почв / Н. Н. Бамбалов // Почвоведение. 1994. № 8. – С. 41–45.
4. Бамбалов, Н. Н. Причины и следствия ускоренной деградации торфяных почв / Н. Н. Бамбалов, В. Я. Турutto // Белорусское Полесье. Вып. 1. 2001. – С. 14–20.
5. Бамбалов Н. Н. Агрогенная эволюция осущенных торфяных почв / Н. Н. Бамбалов // Почвоведение. 2005. № 1. – С. 29–37.
6. Бамбалов, Н. Н. Роль болот в биосфере / Н. Н. Бамбалов, В. А. Ракович. – Минск : Беларусь, 2005. – 288 с.
7. Белковский, В. И. Улучшение свойств торфяных почв / В. И. Белковский. – Минск : Ураджай, 1982. – 120 с.
8. Белковский, В. И. Технология преобразования торфяников в органоминеральные почвы и система сельскохозяйственного их использования / В. И. Белковский, С. Н. Алексеенко. – Горки : БСХА, 1989. – 96 с.
9. Белковский, В. И. Плодородие и использование торфяных почв / В. И. Белковский, В. М. Горошко. – Минск : Ураджай, 1991. – 295 с.
10. Биологическая активность и минерализация органического вещества пескованных торфяных почв / Т. Г. Зименко [и др.] // Изв. Акад. наук СССР. Сер. биол. наук. 1986. № 1. – С. 29–37.
11. Использование и охрана торфяных комплексов Беларуси и Польши / В. И. Белковский [и др.]. – Минск, 2002. – 278 с.
12. Скоропанов, С. Г. Мелкозалежные торфяники и органическое вещество. / С. Г. Скоропанов, А. И. Барсуков // Мелиорация и проблемы органического вещества. – Минск : Ин-т мелиорации и водного хозяйства. 1974. – С. 56–61.

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 05.04.2017 г.

Н. Н. Бамбалов

**ИЗМЕНЕНИЕ ГРУППОВОГО СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА
ТОРФЯНОЙ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ ПЕСЧАНО-СМЕШАННОЙ КУЛЬТУРЫ**

Сравнительное изучение группового состава органического вещества (ОВ) при сельскохозяйственном использовании торфяной почвы в условиях черной и песчано-смешанной культуры (ПСК) в течение 30 лет показало, что групповой состав ОВ пахотного слоя торфяной почвы практически не изменился, а в условиях ПСК за это же время произошло существенное увеличение содержания гуминовых веществ, гуминовых кислот и особенно фульвокислот, практически в 2,0 раза сократилось содержание негидролизуемого остатка. Преобразование ОВ почвы в условиях черной культуры и ПСК существенно отличается из-за различий соотношения между потоками вещества в биогенном и геологическом круговоротах. При использовании в черной культуре минерализованное ОВ пахотного слоя восполняется за счет поступления новых порций торфа из подпахотного, поэтому торфяной слой почвы в условиях черной культуры постепенно уменьшается. В условиях ПСК этого не происходит, поэтому ОВ торфа, находящегося в подпахотном слое консервируется на неопределенное долгое время.

N. N. Bambalov

**THE CHANGE OF THE GROUP CONTENT OF THE ORGANIC SUBSTANCE
OF PEAT SOIL IN THE CONDITIONS OF SAND-MIXED CULTURE**

The comparative studying of the group content of organic substance (OS) during the agricultural use of peat soil in the condition of black and sand-mixed culture (SMC) during 30 years revealed that the group content of OS of the arable layer of peat soil almost hasn't changed and in SMC conditions was the significant increase of humic substances, humic acids and also fulvic acids at the same time, the content of non-hydrolyzed remnant reduced almost in 2.0 times. The transformation of OS soil in the conditions of black culture and SMC sharply differs because of the differences of correlation between the flows of substances in biogenic and geological circulations. The mineralized OS of arable layer is replenished on the receipt of new peat portions from sub-arable during the use in black culture, so that the peat level of soil in the condition of black culture is slightly reduced. There aren't in SMC conditions, so that OS of peat, which is in sub-arable layer is preserved indefinitely.

С. И. Коврик, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов

ЖИДКОЕ КОНЦЕНТРИРОВАННОЕ ГУМАТСОДЕРЖАЩЕЕ УДОБРЕНИЕ С ЦИНКОМ И БОРОМ

Рассмотрены условия получения устойчивого жидкого концентрированного удобрения, содержащего в качестве биостимулятора роста растений гуминовые вещества, выделенные при щелочной экстракции торфа, и микроэлементы цинк и бор. Дополнительными необходимыми компонентами указанных удобрений являются трилон Б и водный раствор аммиака.

Важное значение в питании растений, формировании урожая и улучшении качества сельскохозяйственной продукции играют микроэлементы: бор, цинк, марганец, молибден, кобальт, йод. Потребность в этих удобрениях не значительная, однако их физиологическая роль в растительном организме огромна, поскольку они входят в состав сотен различных ферментов, регулирующих биохимические процессы в растениях [1, 3, 9].

Повышение качества и количества урожая при внесении микроэлементных удобрений происходит по следующим причинам:

- при достаточном количестве микроэлементов растения имеют возможность синтезировать полный спектр ферментов, которые позволяют более интенсивно использовать энергию, воду и питание (N, P, K), обеспечивать работу фотосинтезирующего аппарата и, соответственно, получать более высокий урожай;
- микроэлементы и ферменты на их основе усиливают восстановительную активность тканей и препятствуют заболеванию растений;
- микроэлементы повышают иммунитет растений, при их недостатке создается состояние физиологической депрессии и общей восприимчивости растений к болезням [3].

Недостаток микроэлементов в почве не приводит к гибели растений, но является причиной снижения скорости и согласованности протекания биохимических процессов, ответственных за развитие организма, поэтому растения не реализуют своих возможностей, дают низкий и не всегда качественный урожай [1, 3, 9].

Микроэлементы не могут быть заменены другими веществами, поэтому их недостаток обязательно должен быть восполнен, причем микроэлементы должны находиться в биологически доступной форме, способной легко трансформироваться и усваиваться. Применение негороднических солей металлов часто оказывается малоэффективным, поэтому в растениеводстве преимущество отдается микроэлементам в форме хелатных соединений.

Значительно более высокие результаты достигаются при использовании препаратов, со-

держащих одновременно микроэлементы и биологически активные вещества. Последние можно извлекать из гумифицированного сырья (торфа, бурого угля, сапропеля, биогумуса) в виде гуматов аммония, натрия или калия [4, 10, 11, 17–19]. Гуминовые препараты активно влияют на обмен веществ растений, поэтому их часто используют в качестве природных биостимуляторов роста [4, 5, 8, 11–13, 16–19]. Гуминовые препараты повышают способность растений противостоять болезням, засухе, заморозкам, переувлажнению и т. п. Преимущества использования гуминовых препаратов заключаются также в том, что они повышают усвоение питательных веществ, а значит, можно вносить меньше минеральных удобрений без ущерба для урожая.

В последнее время перспективными считаются органоминеральные микроудобрения, содержащие гуматы калия, аммония или натрия с добавкой Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, Co и В в хелатной форме [3, 8, 13, 14]. Особый интерес представляет использование таких препаратов на карбонатных почвах, где содержание микроэлементов в доступной для растений форме невелико [3, 9].

В ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси» разработаны жидкие комплексные биологически активные гуминовые удобрения с одним и несколькими микроэлементами – «Эле-Гум» [5, 8, 12–14], а на ОАО «Зеленоборское» построен цех по их выпуску. Стоимость таких удобрений на 25–50 % ниже, а качество – лучше зарубежных микроэлементных удобрений; их расход составляет 1–2 дм³/га. При этом сокращаются расходы за счёт совмещения операций по внесению микроэлементных удобрений и биологически активных веществ, дополнительным преимуществом является уменьшение воздействия сельскохозяйственной техники на почву и снижение ее износа.

Результаты многолетних исследований показали, что использование микроэлементных удобрений «Эле-Гум» на посевах сельскохозяйственных культур в соответствии с биологическими потребностями растений и учетом обеспеченности почвы подвижными формами микроэлементов способствует повышению урожайно-

сти и улучшению качества зерновых и силосных культур, льна и сахарной свеклы [12].

Цель работы – обосновать условия получения устойчивого жидкого концентрированного удобрения, содержащего биологически активные гуминовые вещества (ГВ) и два микроэлемента – цинк и бор в количествах, оптимальных для обработки растений. Концентрация микроэлементных удобрений должна быть такой, чтобы в 1–2 дм³ содержалась полная доза микроэлементов для внесения на 1 га.

Для получения цинк–бор–гуминовых удобрений (Zn–B–ГВ) использовали сульфат цинка, борную кислоту, трилон Б, водный раствор аммиака и раствор ГВ, полученный экстракцией торфа гидроксидом натрия. Ранее в работах [7, 8] показано, что при введении щелочных растворов ГВ в медь–цинк содержащие растворы при соотношении Me : ГВ > 1 образуются нерастворимые металл-гуминовые комплексы, что вызвано как вовлечением в процесс комплексообразования функциональных групп ГВ различной силы, так и возможностью связывания катионом нескольких разных молекул ГВ [6, 7]. Для предотвращения образования осадков предварительно получали хелатные соединения катионов цинка и меди с аммиаком и трилоном Б [8].

Из данных табл. 1 (вариант 3) видно, что введение ГВ в раствор, содержащий только сульфат цинка и борную кислоту, приводит к образованию осадка. Чтобы избежать этого, как и в случае меди–цинк содержащих растворов, введение ГВ необходимо производить только после образования хелатных соединений цинка с аммиаком и трилоном Б.

Компоненты (сульфат цинка, борная кислота и ГВ) брали в таких количествах и соотношениях, которые после разбавления комплексного Zn–B–ГВ удобрения обеспечивали получение рабочих растворов с концентрациями микроэлементов и ГВ, необходимыми для обработки семян и растений.

Методика проведения эксперимента заключалась в растворении сульфата цинка и борной кислоты в различных объемах 25 %-ного водного раствора аммиака. Для их полного растворения смесь подогревали на водяной бане до температуры 40–50 °С. Затем добавляли необходимое количество трилона Б. После охлаждения в раствор вводили такое рассчитанное количество щелочного раствора ГВ, чтобы соотношение Zn : B : ГВ составляло 20 : 20 : 4 или 25 : 25 : 5 г/дм³. Приготовленные концентрированные растворы оставляли

Таблица 1. Влияние концентрации трилона Б, водного раствора аммиака и ГВ тростниково-осокового торфа на устойчивость концентрированных растворов Zn–B–гуминовых удобрений

Вариант	Концентрация, г/дм ³			рН		Примечание
	аммиака	трилона Б	ГВ	удобрения	рабочего раствора	
Концентрация микроэлементов цинка и бора 20 г/дм ³						
1	28	120	4	8,7	9,2	Срок хранения превысил 36 мес.
2	28	120	8	8,8	9,3	
3	0	0	4	9,0	9,2	Сразу образуется осадок
4	20	100	4	8,5	8,7	Мутный раствор, осадок образуется в рабочем растворе через 15 мин
5	28	100	4	8,8	9,1	
6	28	100	8	8,8	9,4	
7	28	140	4	8,6	8,9	Осадок образуется в удобрении через 10 мес.
8	28	140	8	8,7	9,1	
9	28	160	4	8,4	8,9	Осадок образуется в удобрении через 7 мес.
10	28	160	8	8,4	9,0	
11	28	200	4	8,2	9,9	Осадок образуется в удобрении через 3 мес.
12	28	200	8	8,3	10,0	
13	33	120	4	8,9	9,1	Осадок образуется в удобрении через 3 дн.
14	33	120	8	8,9	9,2	
15	37	120	4	9,1	9,4	Осадок образуется в удобрении через 1 дн.
16	37	120	8	9,2	9,4	
17	47	120	4	9,6	9,8	
18	47	120	8	9,7	9,9	Осадок образуется в удобрении через 1 мес.
19	33	140	8	8,9	9,4	
Концентрация микроэлементов цинка и бора 25 г/дм ³						
20	33	180	5	8,1	8,3	Осадок образуется в удобрении через 11 мес.
21	33	180	10	8,3	8,6	
22	35	180	5	8,2	8,6	Осадок образуется в удобрении через 1 мес.
23	42	180	5	8,6	8,9	Осадок образуется в удобрении через 7 дн.

на 24 ч при температуре 18–22 °С, затем разбавляли в 100 раз и получали рабочие растворы. Таким образом, в рабочих растворах концентрация для каждого микроэлемента составляла 0,20–0,25 г/дм³, а ГВ – 0,04–0,05 г/дм³. Далее в течение дня наблюдали за состоянием рабочих растворов, о котором судили по изменению значения коэффициента пропускания света: чем выше значение коэффициента, тем более устойчив раствор. Если в рабочем растворе выпадал осадок, то фиксировали время его образования. Концентрированные растворы, в которых не образовывался осадок после разбавления, оставляли храниться в темном месте при температуре 18–22 °С. Периодически из оставленных концентрированных растворов отбирали аликвоты для разбавления. Концентрированные и рабочие растворы готовили с использованием только водопроводной воды.

Экспериментально установлено, что концентрация ГВ в удобрении, содержащем по 20 г/дм³ цинка и бора, может составлять 4–8 г/дм³ (см. табл. 1, варианты 1 и 2). Такие удобрения могут храниться более 36 месяцев, заметно не изменяя свои физико-химические характеристики (рН, коэффициент пропускания).

Концентрацию ГВ можно увеличить до 5–10 г/дм³ (см. табл. 1, варианты 20–23) при одновременном увеличении концентраций микроэлементов цинка и бора до 25 г/дм³, аммиака – до 33 г/дм³ и трилона Б – до 180 г/дм³. Однако такие растворы близки к пересыщенным, в них быстрее образуется осадок, сроки хранения таких удобрений не превышают 11 месяцев. Растворы, в которых концентрации микроэлементов цинка и бора выше 25 г/дм³, являются пересыщенными изначально, в них практически сразу образуется осадок.

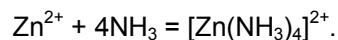
При получении Zn–B–ГВ удобрений оптимальной концентрацией аммиака является 28 г/дм³, а трилона Б – 120 г/дм³. Если аммиак или трилон Б вводить меньше или больше этого количества, то рабочие растворы не могут

использоваться для обработки растений по одной из двух причин:

– концентрированное Zn–B–ГВ удобрение получается без осадка, но при его разбавлении водой часть катионов цинка и ГВ в рабочем растворе выпадает в осадок (см. табл. 1, варианты 4–6);

– после хранения в течение 3–10 месяцев в концентрированном Zn–B–ГВ удобрении образуется осадок (см. табл. 1, варианты 7–19).

Об отрицательном влиянии повышенных количеств аммиака на стабильность Zn–B–ГВ удобрений свидетельствуют данные рис. 1. Так, при увеличении концентрации аммиака с 23 до 28 г/дм³ наблюдается возрастание значения коэффициента пропускания рабочего раствора с 27–29 до 33–35 %, что вызвано образованием растворимых хелатных соединений катионов цинка с аммиаком:



Дальнейшее увеличение концентрации аммиака до 47 г/дм³ (см табл. 1, вариант 17) приводит к уменьшению значения коэффициента пропускания света до 25 %, что свидетельствует об уменьшении устойчивости рабочих растворов. Последнее может быть вызвано тем, что значение рН концентрированных и рабочих растворов выше 8,0, в таких условиях может образовываться нерастворимый гидроксид цинка, имеющий произведение растворимости (ПР) $1,4 \cdot 10^{-17}$ [15]. Растворимые хелатные соединения цинка с трилоном Б имеют константу нестойкости (K_h) $3,2 \cdot 10^{-17}$ [15]. Учитывая то, что ПР $\text{Zn}(\text{OH})_2$ и $K_h(\text{Zn Edta}^{2-})$ близки по значению, можно говорить о равновероятности протекания процессов образования как нерастворимого гидроксида цинка, так и растворимых хелатных соединений цинка с трилоном Б. Введение дополнительных количеств водного раствора аммиака способствует возрастанию значения рН раствора с 8,8 до 9,6 (рис. 2), следовательно, увеличивается вероятность образования нерастворимого гидроксида цинка.

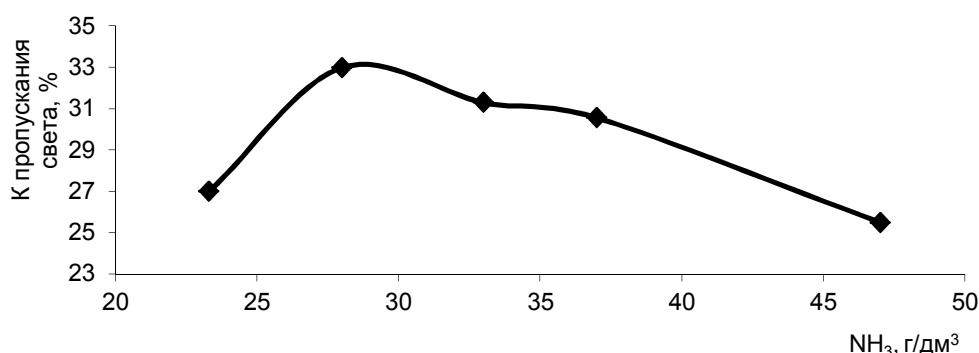


Рис. 1. Зависимость изменения значения коэффициента пропускания света рабочим раствором от концентрации аммиака в Zn(20 г/дм³)–B(20 г/дм³)–ГВ(4 г/дм³) удобрении, содержащем 120 г/дм³ трилона Б

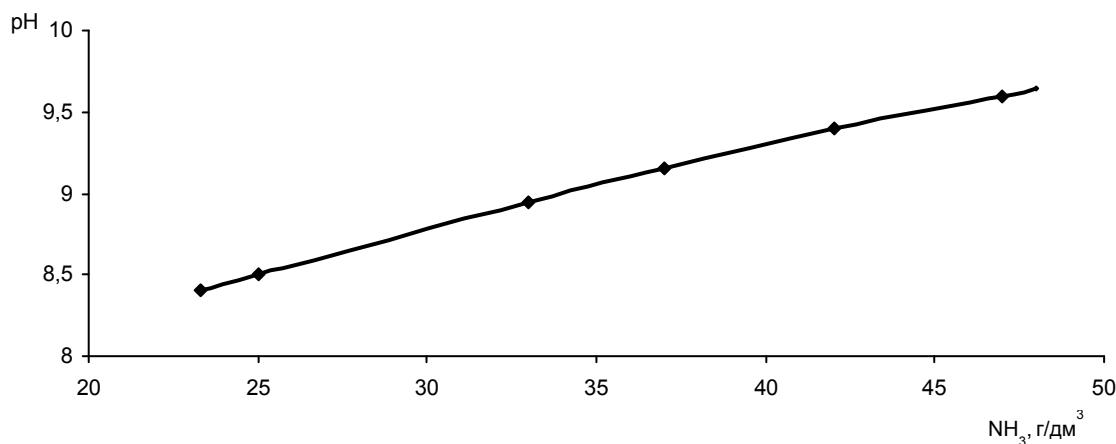


Рис. 2. Влияние концентрации аммиака на значение pH $\text{Zn}(20 \text{ г}/\text{дм}^3)-\text{B}(20 \text{ г}/\text{дм}^3)-\text{ГВ}(4 \text{ г}/\text{дм}^3)$ удобрения, содержащего $120 \text{ г}/\text{дм}^3$ трилона Б

Изменение концентрации трилона Б в удобрении с 100 до $160 \text{ г}/\text{дм}^3$ приводит к увеличению коэффициента пропускания света рабочим раствором с 26 до 38 % (рис. 3), при этом значение pH удобрений уменьшается с 8,8 до 8,4 (рис. 4). Следовательно, введение дополнительных количеств трилона Б положительно сказывается на свойствах удобрений, так как при этом возрастает их устойчивость и понижается значение pH. Однако, как следует из данных табл. 1, самый большой срок хранения (36 месяцев) имеют удобрения, содержащие $120 \text{ г}/\text{дм}^3$ трилона Б (варианты 1, 2). Удобрения с более высокой концентрацией трилона Б становятся менее устойчивыми, о чем свидетельствуют невысокие сроки хранения и уменьшение значения коэффициента пропускания света рабочим раствором, полученным из удобрения с концентрацией трилона Б выше $160 \text{ г}/\text{дм}^3$. Так, при концентрации трилона Б $140 \text{ г}/\text{дм}^3$ (см. табл. 1, варианты 7, 8) срок хранения удобрения составляет 10 месяцев, $160 \text{ г}/\text{дм}^3$ (см. табл. 1, варианты 9, 10) – 7 месяцев,

200 $\text{г}/\text{дм}^3$ (см. табл. 1, варианты 11, 12) – 3 месяца. Таким образом, сроки хранения $\text{Zn}(20 \text{ г}/\text{дм}^3)-\text{B}(20 \text{ г}/\text{дм}^3)-\text{ГВ}$ удобрений при концентрации трилона Б выше $120 \text{ г}/\text{дм}^3$ сокращаются, что вызвано образованием в данных условиях растворов, близких к пересыщенным [1, 15].

Поскольку сроки хранения и значения pH концентрированных и рабочих растворов, отличающихся только значениями концентраций ГВ (см. табл. 1, варианты 1–2, 5–6, 7–8, 9–10, 11–12, 13–14) близки, то можно сделать вывод о том, что увеличение концентрации ГВ с 4 до $8 \text{ г}/\text{дм}^3$ не оказывает заметного влияния на физико-химические свойства $\text{Zn}(20 \text{ г}/\text{дм}^3)-\text{B}(20 \text{ г}/\text{дм}^3)-\text{ГВ}$ удобрений.

Установлено, что вид торфа (пушицевый, осоковый, тростниково-осоковый и древесно-осоковый), из которого извлечены ГВ, не влияет на устойчивость удобрений и значение коэффициента пропускания света рабочими растворами (табл. 2, рис. 5).

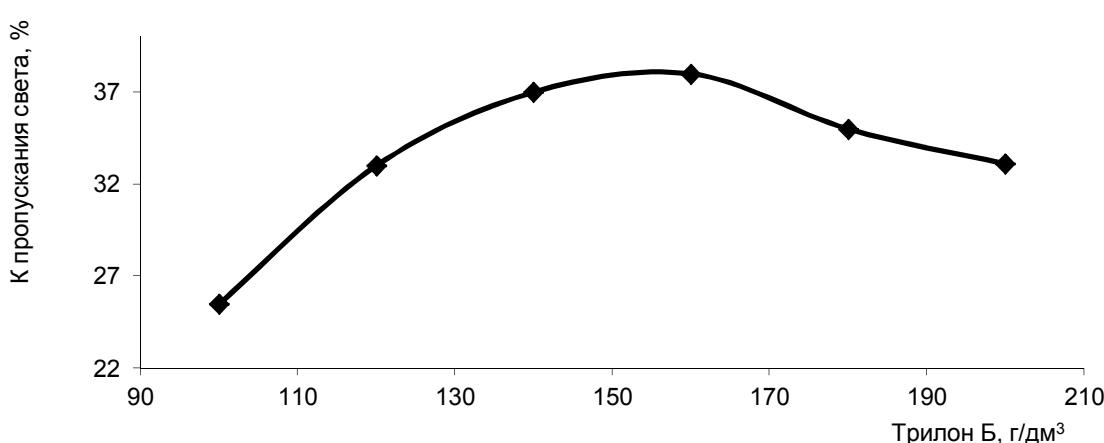


Рис. 3. Зависимость изменения значения коэффициента пропускания света рабочим раствором от концентрации трилона Б в $\text{Zn}(20 \text{ г}/\text{дм}^3)-\text{B}(20 \text{ г}/\text{дм}^3)-\text{ГВ}(4 \text{ г}/\text{дм}^3)$ удобрении, содержащем $28 \text{ г}/\text{дм}^3$ аммиака

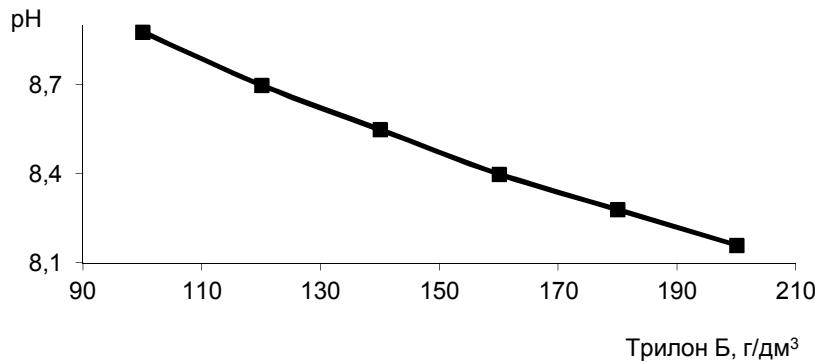


Рис. 4. Влияние концентрации трилона Б на значение pH Zn(20 г/дм³)–В(20 г/дм³)–ГВ(4 г/дм³) удобрения, содержащего 28 г/дм³ аммиака

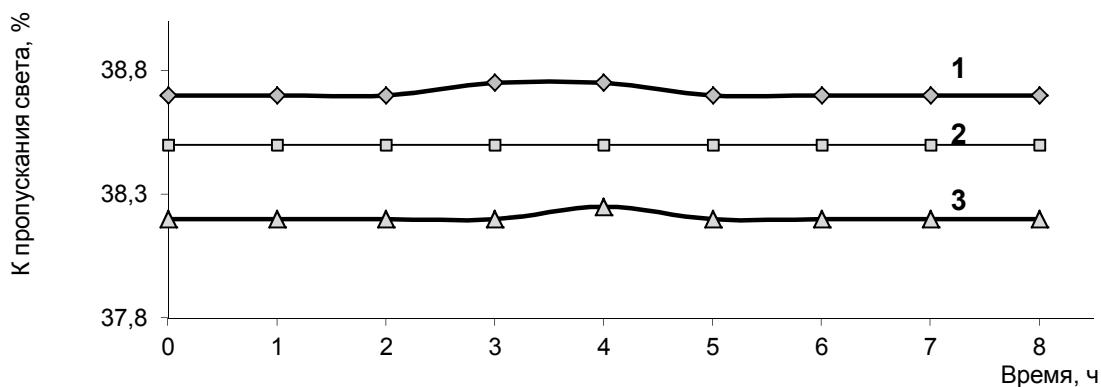


Рис. 5. Изменение значения коэффициента пропускания света рабочим раствором, приготовленным в течение 8 ч из пущицевого (1), тростниково-осокового (2) и древесно-тростникового (3) видов торфа

Таблица 2. Влияние вида торфа на устойчивость Zn(20 г/дм³)–В(20 г/дм³)–гуминовых удобрений

№ п/п	Вид торфа	Зольность, A, %	ГВ, г/дм ³	рН	
				удобрения	рабочего раствора
1	Пущицевый	0,9	4	9,0	9,2
2			8	9,0	9,3
3	Осоковый	18,0	4	9,1	9,4
4			8	9,1	9,5
5	Тростниково-осоковый	12,8	4	9,1	9,5
6			8	9,1	9,6
7	Древесно-тростниковый	9,3	4	9,1	9,2
8.			8	9,1	9,5

П р и м е ч а н и е. При разбавлении удобрения, изготовленного из любого вида торфа, через 12 месяцев рабочий раствор остается прозрачным.

Таким образом, полученные экспериментальные данные обосновывают следующий состав жидкого комплексного Zn–В–ГВ удобрения: сульфат цинка, борная кислота, водный раствор аммиака, ГВ (выделенные из торфа гидроксидом натрия), трилон Б. Принципиально важно, как и при получении Си–Zn–ГВ удобрений [8, 13], чтобы до введения ГВ в растворе находились хелатные соединения цинка с аммиаком и трилоном Б. Оптимальные

концентрации микроэлементов в предложенном концентрированном удобрении составляют: Zn – 20 г/дм³, В – 20 г/дм³, ГВ – 4–8 г/дм³. При увеличении концентрации микроэлементов до 25 г/дм³, а ГВ до 5–10 г/дм³ сроки хранения сокращаются с 36 до 11 месяцев.

Полученное Zn–В–ГВ микроэлементное удобрение прошло двухгодичные испытания в НИРУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларусь».

Литература

1. **Агрохимия** / Б. А. Ягодин [и др.]. – М. : Агрохимиздат, 1989. – С. 331.
2. **Ахметов, Н. С.** Общая и неорганическая химия / Н. С. Ахметов. – 4-е изд. – М. : Высш. шк. ; Изд. центр «Академия», 2001. – 743 с.
3. **Булыгин, С. Ю.** Микроэлементы в сельском хозяйстве / С. Ю. Булыгин [и др.] ; под общ. ред. С. Ю. Булыгина. – Днепропетровск, 2007. – 100 с.
4. **Горовая, А. И.** Гуминовые вещества / А. И. Горовая, Д. С. Орлов, О. В. Щербенко. – Киев : Наук. думка, 1995. – 304 с.
5. **Жидкое комплексное гуминовое микроудобрение (варианты) : пат. 16753 Респ. Беларусь, МПК С 05G3/00 / Т. Я. Кашинская, А. П. Гаврильчик, Г. А. Соколов, М. В. Рак, В. В. Лапа, Е. А. Саванец ; заявитель ГНУ Ин-т природопользования Нац. акад. наук Беларуси. – а 20110588 ; заявл. 05.05.2011 ; опубл. 28.02.2013 / Афіц. бюл. / Нац. центр інтелектуал. уласнасці. – 2013. – №. 1 – С. 85.**
6. **Жоробекова, Ш. Ж.** Макролигандные свойства гуминовых кислот / Ш. Ж. Жоробекова. – Фрунзе : Илим, 1987. – 194 с.
7. **Коврик, С. И.** Формирование металл-гуминовых комплексов в процессе очистки сточных вод препаратами на основе торфа : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.36 / С. И. Коврик. – Минск, 2005.
8. **Коврик, С. И.** Медь-цинк микроэлементное гуминовое удобрение / С. И. Коврик, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов // Природопользование. – Минск, 2012. – Вып. 21. – С. 278–283.
9. **Минеев, В. Г.** Агрохимия / В. Г. Минеев. – М. : Изд-во МГУ ; Колос. 2004. – С. 720.
10. **Никитенко, А. Д.** Сравнительная оценка выхода гуминовых кислот из торфа при экстракции гидроксидами натрия и аммония / А. Д. Никитенко, Н. Н. Бамбалов // Природопользование. – Минск, 2007. – Вып. 13. – С. 166–169.
11. **Перминова, И. В.** Гуминовые вещества в контексте зеленой химии / И. В. Перминова, Д. М. Жилин // Зеленая химия в России : сб. ст. / под ред. В. В. Лунина, П. Тундо, Е. С. Локтевой. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 2004. – С. 146–162.
12. **Применение** комплексных гуминовых микроудобрений «Элегум»: рекомендации / М. В. Рак, В. В. Лапа, Г. А. Соколов ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2013. – 28 с.
13. **Способ** получения комплексного медь-цинк гуминового удобрения: пат. 16752 Респ. Беларусь, МПК С 05G3/00 / С. И. Коврик, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов ; заявитель ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси. – а 20110695 ; заявл. 18.05.2011 ; опубл. 28.02.2013 // Афіц. бюл. / Нац. центр інтелектуал. уласнасці. – 2013. – № 1. – С. 86.
14. **Способ** получения медь-гуминового удобрения : пат. 12858 Респ. Беларусь, МПК(2006) С 05 G 3/00 / Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов, О. М. Самокар ; заявитель Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов, О. М. Самокар. – а 2007205 ; заявл. 03.10.2007 ; опубл. 24.11.2009 // Афіц. бюл. / Нац. центр інтелектуал. уласнасці. – 2010. – № 1 (71). – С. 91.
15. **Справочник химика** : в 3 т./ редкол.: Б. П. Никольский (гл. ред.) [и др.]. – М. ; Ленинград : Химия, 1965.– Т. 3 : Химическое равновесие и кинетика, свойства растворов, электродные процессы. – 1008 с.
16. **Степуро, М. Ф.** Информация и рекомендации по применению препарата гуминового «Гидрогумин» [Электронный ресурс] / М. Ф. Степуро. – Режим доступа : http://biohim-bel.com/rup_institut_ovoschevodstva.
17. **Христева, Л. А.** Стимулирующее влияние гуминовой кислоты на рост высших растений и природа этого явления / Л. А. Христева // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. – Харьков : Изд-во Харьковского ун-та, 1957. – С. 75–93.
18. **Христева, Л. А.** Физиологические функции гуминовой кислоты в процессах обмена высших растений / Л. А. Христева // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. – Харьков : Изд-во Харьковского ун-та, 1957. – С. 95–108.
19. **Юшкова, Е. И.** Биологическая активность гуминового комплекса различного происхождения и его влияние на рост и развитие растений : автореф. ... дис. д-ра биол. наук / Е. И. Юшкова. – Воронеж, 2010. – 24 с.

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 25.04.2017 г.

С. И. Коврик, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов

**ЖИДКОЕ КОНЦЕНТРИРОВАННОЕ ГУМАТСОДЕРЖАЩЕЕ
УДОБРЕНИЕ С ЦИНКОМ И БОРОМ**

Установлены условия (состав, порядок приготовления) получения микроэлементного гуминового удобрения, содержащего в растворенной форме одновременно биологически активные гуминовые вещества, выделенные при щелочной экстракции торфа, и микроэлементы цинк и бор в оптимальных для обработки растений соотношениях. Обязательным условием получения удобрения является введение щелочного раствора гуминовых веществ только после образования хелатных соединений цинка с аммиаком и трилоном Б.

Результаты исследований показали, что растворы, содержащие 4 г/дм³ гуминовых веществ, по 20 г/дм³ микроэлементов цинка и бора, 28 г/дм³ аммиака и 120 г/дм³ трилона Б являются устойчивыми и хранятся более 36 месяцев.

S. I. Kovrik, N. N. Bambalov, G. A. Sokolov

**LIQUID CONCENTRATED FERTILIZER
OF HUMIC SUBSTANCES WITH ZINC AND BOR**

The conditions (composition, a preparation order) of the production of microelement humic fertilizer in dissolved form simultaneously biologically active humic substances, obtained by alkaline peat extraction, and the microelements of zinc and boron in optimal ratios for the processing of plants have been stated. The obligatory condition of the fertilizer production is the introduction of the alkaline solution of humic substances only after the formation of the complex connections of zinc cations with ammonia and trilon B.

The research results have shown that the solutions with 4 g/dm³ of humic matters, 20 g/dm³ of the microelements of zinc and boron each, 28 g/dm³ of ammonia and 120 g/dm³ of trilon B are persistent and may be stored more than 36 months.

**Л. Е. Картыжкова¹, З. М. Алещенкова¹, Н. В. Короленок¹, А. Э. Томсон²,
Т. В. Соколова², Ю. Ю. Навоша², В. С. Пехтерева², Н. Е. Сосновская²,
В. В. Лапа³, М. С. Лопух³**

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БИОУДОБРЕНИЯ ПОЛИФУНКУР ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КАРТОФЕЛЯ, КУКУРУЗЫ И САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Биоудобрение ПолиФунКур, применяемое в дозе 2 т/га при возделывании картофеля на дерново-подзолистой супесчаной почве, равноценно по эффективности органическим (40 т навоза/га) и минеральным удобрениям ($N_{90}P_{70}K_{150}$), обеспечивая увеличение урожайности клубней в среднем за 2 года исследований на 33 %, чем в контроле (без удобрений) и на 3 % (9 т/га) по сравнению с минеральными удобрениями; при возделывании кукурузы на силос – увеличение урожайности зеленой массы на 52 % по сравнению с контролем (без удобрений) и на 20 % по сравнению с использованием минеральных удобрений; при возделывании сахарной свеклы способствует увеличению урожайности на 17 % по сравнению с контролем с лучшими показателями качества корнеплодов.

Увеличивающееся загрязнение окружающей среды в современных условиях ведения сельскохозяйственного производства, которое ориентировано на применение минеральных удобрений, и быстрорастущая его энергоемкость при ограниченных запасах энергоресурсов привели к необходимости более широкого использования в земледелии биологических препаратов.

Интерес к этой проблеме в последнее время значительно возрос в связи с полной безвредностью для человека и окружающей среды биопрепаратов и небольшими материальными и энергетическими затратами на их производство.

Именно поэтому микробные препараты приобретают все возрастающее значение в биологизации земледелия. Их применение позволяет направленно регулировать численность и активность полезной микрофлоры в ризосфере возделываемых растений, улучшить обеспечение растений доступным азотом и фосфором и за счет этого повысить продуктивность возделываемых культур и качество сельскохозяйственной продукции. Кроме того, применение микробных препаратов экономически более целесообразно в связи с их низкой стоимостью и простотой применения [1, 2, 4, 6, 7].

Разработка ресурсосберегающей технологии применения биоудобрения ПолиФунКур на основе аэробно ферментированного птичьего помета и комплекса агрономически ценных микроорганизмов, обеспечивающей высокую продуктивность растений и экологическую безопасность сельскохозяйственного производства – своевременна и актуальна. Научный подход в решении вопроса по проверке эффективности нового биоудобрения и его сертификации был основан на выборе сельскохозяйственных культур, возделываемых с использованием органических удобрений.

Наиболее важными стратегическими куль-

турами для Беларуси являются картофель, сахарная свекла, а также в последнее время стала особенно популярной и востребованной кукуруза. При возделывании пропашных культур для получения высоких урожаев требуется большое количество минеральных и органических удобрений. Потребление питательных элементов и их вынос с урожаем пропашных культур обедняет почву и снижает ее плодородие. В мировой практике возрастает роль интегрированного использования минеральных удобрений в сочетании с агротехническими приемами, направленными на поддержание естественного плодородия почв, включая мероприятия, обеспечивающие повышение биоразнообразия полезной почвенной микрофлоры.

Разработка технологии применения биоудобрения ПолиФунКур, обеспечивающей повышение урожайности сельскохозяйственных культур, экономию азотных и фосфорных минеральных удобрений, повышение экологической безопасности сельскохозяйственного производства, конкурентоспособности сельского хозяйства за счет снижения себестоимости производимой продукции, явилась целью наших исследований.

Для регистрационных испытаний на опытно-промышленной установке производства ОДО «Радомедтех» наработана опытная партия биоудобрения ПолиФунКур в количестве 250 кг.

Наработанная партия биоудобрения ПолиФунКур характеризовалась следующими показателями:

- 1) внешний вид – сыпучая однородная масса темного цвета;
- 2) pH – 7,4, влажность – 25 %;
- 3) содержание:
 - органического вещества – 83 %;
 - общего азота – 4,8 % на сухое вещество;
 - фосфора (в пересчете на P₂O₅) – 6,0; калия

(в пересчете на K₂O) – 5,5; CaO – 1,0 %; MgO – 2,5; Fe₂O₃ – 0,8 % на сухое вещество;

– микроэлементов (медь, цинк, марганец):

Cu – 63,1 мг/кг; Zn – 258,9; Mn – 316 мг/кг;

– тяжелых металлов (cadmий, свинец, никель) не превышало ПДК.

Общий титр агрономически ценных бактерий в образцах биоудобрения составил $5,4 \cdot 10^{11}$ КОЕ/г.

Эффективность разработанного комплексного биоудобрения ПолиФунКур (Институты микробиологии и природопользования НАН Беларуси) при возделывании сахарной свеклы определяли на опытном участке, расположеннем в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области на дерново-подзолистой суглинистой почве, развивающейся на мощном легком лессовидном суглинке (агрородново-подзолистая оглеенная внизу, развивающаяся на мощных лессовидных отложениях, легкосуглинистая). Агрохимические показатели пахотного горизонта: pH_{KCl} – 6,1–6,3, содержание гумуса – 2,2–2,6 %, P₂O₅ – 520–540 и K₂O – 400–420 мг/кг почвы. В севообороте возделываемых на данном поле культур предшественником сахарной свеклы был ячмень. Минеральные удобрения (карбамид, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий) вносили весной до посева, подкормка карбамидом – согласно схеме опыта – в 1-й и 2-й год. ПолиФунКур вносили перед посевом разбросным способом с последующей заделкой дисковой бороной в дозах, согласно схеме опыта. Срок посева: 20.05.2012 г. и 08.05.2013 г., норма высева – 1,4 п. е. (посевных единиц). Способ посева – широкорядный с шириной междурядий 70 см. Площадь опытной делянки – 22,4 м². Расположение делянок – систематическое. Мероприятия по уходу за посевами: 1-й год – химическая прополка гербицидами бетанал экспертом ОФ 1 л/га + фаворит 1,5 л/га – 07.06; бетанал экспертом ОФ 1 л/га + фаворит 1,5 л/га – 18.06; бетанал экспертом ОФ 1 л/га + фаворит 1,5 л/га – 29.06. Во 2-й год – химическая прополка гербицидами бетанал экспертом ОФ 1 л/га + фаворит 1,5 л/га – 24.05; бетанал экспертом ОФ 1 л/га + фаворит 1,5 л/га – 05.06; бетанал экспертом ОФ 1 л/га + фаворит 1,5 л/га – 17.06.

Схема опыта:

1-й год: 1. Без удобрений. 2. N₉₀P₇₀K₁₂₀.

3. Биоудобрение ПолиФунКур – 1,0 т/га. 4. Биоудобрение ПолиФунКур – 1,0 т/га + N₄₀ (карбамид). 5. Биоудобрение ПолиФунКур – 2,0 т/га. 6. Биоудобрение ПолиФунКур – 3,0 т/га.

2-й год: 1. Без удобрений. 2. N₉₀+40P₁₀₀K₁₈₀.

3. Биоудобрение ПолиФунКур – 2,0 т/га + N₄₀ карбамид. 4. Биоудобрение ПолиФунКур – 2,0 т/га.

Изучение влияния разных доз биоудобрения ПолиФунКур на урожайность картофеля и кукурузы проводили в полевых условиях на опытном участке, расположеннем в ГП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского

района, на дерново-подзолистой супесчаной почве, развивающейся на рыхлой водно-ледниковой супеси, подстилаемой моренным суглинком с глубины 81 см (агрородново-подзолистая оглеенная внизу, развивающаяся на водно-ледниковой супеси, подстилаемой моренным суглинком с глубины 81 см, рыхлосупесчная). Агрохимические показатели пахотного горизонта: pH_{KCl} – 5,3–5,6, гумус – 2,2–2,6 %, P₂O₅ – 180–200 мг/кг почвы, K₂O – 200–220 мг/кг почвы. Предшественником для картофеля была озимая рожь (1-й год), вико-рапсовая смесь на з/м (2-й год). Минеральные удобрения: карбамид, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий вносили весной до посадки согласно схеме опыта. ПолиФунКур вносили перед посадкой разбросным способом с последующей заделкой дисковой бороной в дозах, согласно схеме опыта. Срок посадки: 1-й год – 17.05.2012 г. и 2-й год – 18.05.2013 г., норма высева – 4000 кг/га. Способ посадки – широкорядный с шириной междурядий 70 см. Площадь опытной делянки – 22,4 м². Расположение делянок – систематическое. Мероприятия по уходу за посевами: 1-й год – химическая прополка гербицидом аркадэ 5,0 л/га – 05.06; обработки против фитофторы: трехкратная – фунгицидом ридомил голд МЦ 2,5 кг/га – 01.07, 13.07, 24.07; фунгицидом полирам ДФ 2 кг/га – 31.07. Во 2-й год – химическая прополка гербицидом аркадэ 5,0 л/га – 20.05; обработка инсектицидом моспилан 0,06 кг/га; обработка баковой смесью фунгицида ридомил голд МЦ 2,5 кг/га, инсектицида актара 0,07 кг/га и гербицида фюзилад форте 1 л/га – 25.06; обработка фунгицидом ридомил голд МЦ 2,5 кг/га – 16.07.

Схема опыта:

1-й год: 1. Без удобрений. 2. N₉₀P₇₀K₁₂₀.

3. Биоудобрение ПолиФунКур – 1,0 т/га. 4, 5. Биоудобрение ПолиФунКур – 2,0 т/га. 6. Биоудобрение ПолиФунКур – 3,0 т/га;

2-й год: 1. Без удобрений. 2. N₉₀P₇₀K₁₂₀.

3. Навоз – 40 т/га. 4. Биоудобрение ПолиФунКур – 2,0 т/га.

Предшественником кукурузы была озимая рожь (1-й год), вико-рапсовая смесь на з/м (2-й год). Минеральные удобрения: карбамид, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий вносили весной до посева, подкормка карбамидом, согласно схеме опыта, – 20.06.2012 г. и 04.06.2013 г. ПолиФунКур вносили перед посевом разбросным способом с последующей заделкой дисковой бороной в дозах, согласно схеме опыта. Срок посева: 1-й год – 29.05. и 2-й год – 07.05., норма высева – 120 тыс. шт/га. Способ посева – широкорядный с шириной междурядий 75 см. Площадь опытной делянки – 30 м². Расположение делянок – систематическое. Мероприятия по уходу за посевами: В 1-й год – химическая прополка гербицидом примэкстра голд,

4 л/га – 29.05. Во 2-й год – химическая прополка гербицидом примэкстра голд, 4 л/га – 07.05.

Схема опыта:

- 1-й год:** 1. Без удобрений. 2. $N_{90}P_{70}K_{120}$. 3. Биоудобрение ПолиФунКур – 1,0 т/га. 4. Биоудобрение ПолиФунКур – 1,0 т/га + N_{40} (карбамид). 6. Биоудобрение ПолиФунКур – 2,0 т/га. 7. Биоудобрение ПолиФунКур – 3,0 т/га;

- 2-й год:** 1. Без удобрений. 2. $N_{90}P_{70}K_{120}$. 3. $N_{90} + 40P_{70}K_{120}$. 4. Биоудобрение ПолиФунКур – 2,0 т/га.

Технологии возделывания сельскохозяйственных культур общепринятые для Республики Беларусь [6]. Статистическую обработку полученных результатов осуществляли путем дисперсионного анализа, согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова [3], с использованием программы Microsoft Excel.

Проверку эффективности биоудобрения в лабораторных условиях проводили на индикаторной культуре (кресс-салат), которая показала, что стимулирующий эффект в среднем по всем показателям (всходесть, длина проростков, сырой вес) составляет 26 %, при разбавлении биоудобрения в 1000 раз – 37 %, при интродукции азотфикссирующего штамма *Brevibacillus* sp.11-А – 183 %. Исходя из полученных данных можно сделать заключение, что интродукция штамма *Brevibacillus* sp. 11-А усиливает стимулирующий эффект биоудобрения (длина проростков) на 10 % (3,8 мм) и (сырой вес проростков) на 365 % (6,91 г) по сравнению с вариантом без интродукции азотфикссирующего бактериального компонента (табл. 1). Проведенные полевые испытания по изучению эффективности разных доз биоудобрения показали, что при возделыва-

нии картофеля установлено положительное влияние разных доз ПолиФунКура на урожайность клубней (табл. 2). Внесение 1 т/га биоудобрения обеспечило значительное (на 58 ц/га) повышение урожайности по отношению к контрольному варианту (агрохимический фон опытного поля одинаковый для всех вариантов). При увеличении дозы биоудобрения до 2 т/га наблюдалась тенденция роста урожайности клубней до 262 ц/га и сбора сухого вещества – до 50,7 ц/га. При дальнейшем увеличении дозы биоудобрения до 3 т/га отмечалось снижение урожайности клубней картофеля. Установлено, что оптимальной дозой внесения биоудобрения, обеспечивающей наибольшее увеличение урожая и получение прибавки клубней картофеля, является 2 т/га. Эффективность ее применения выше на 3 % (прибавка урожая) и 7 % (сбор сухого вещества) по сравнению с использованием минеральных удобрений.

В среднем за 2012–2013 гг. исследуемое биоудобрение ПолиФунКур, применяемое в дозе 2 т/га при возделывании картофеля на дерново-подзолистой супесчаной почве, способствовало увеличению продуктивности на 33 % по сравнению с контролем (без удобрений) и на 3 % (9 ц/га) по сравнению с минеральными удобрениями ($N_{90}P_{70}K_{150}$) (табл. 3).

Создание оптимальных условий питания в течение периода вегетации имеет важное значение для обеспечения высокой продуктивности сельскохозяйственных культур, а также улучшению качества полученной продукции. Изменения основных показателей качества клубней картофеля в зависимости от условий питания показаны на рис. 1.

Таблица 1. Ростстимулирующий эффект биоудобрения ПолиФунКур

Вариант опыта	Всходесть, % к контролю	Длина проростков		Сырой вес (100 шт. раст.), г	
		мм	% к контролю	г	% к контролю
Контроль (вода)	–	40	–	1,89	–
Конечный продукт ферментации (КПФ)	104	42	105	3,19	169
Рабочий раствор КПФ (КПФ : вода = 1 : 1000)	115	47	118	3,39	179
ПолиФунКур/ (КПФ + <i>Brevibacillus</i> sp.11-А)	100	45,8	115	10,10	534

Таблица 2. Влияние удобрений на урожайность клубней картофеля, 2012 г.

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка к контролю		Сбор сухого вещества, ц/га	Эффективность биоудобрения, %	
		ц/га	%		Прибавка урожая	Сбор сухого вещества
Без удобрений (контроль)	199	–	–	38,3	–	–
$N_{90}P_{70}K_{120}$	254	55	28	47,2	–	–
Биоудобрение ПолиФунКур – 1,0 т/га	257	58	29	52,1	1	10
Биоудобрение ПолиФунКур – 2,0 т/га	262	63	32	50,7	3	7
Биоудобрение ПолиФунКур – 3,0 т/га	231	32	16	47,7	–9	1
$HCP_{0,5}$	16		–	6,3	–	–

Таблица 3. Влияние удобрений на урожайность клубней картофеля в 2013 г.

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка к контролю		Сбор сухого вещества, ц/га
		ц/га	%	
2013 г.				
Без удобрений (контроль)	262	–	–	52,0
N ₉₀ P ₇₀ K ₁₅₀	342	80	31	68,9
Навоз – 40 т/га	310	48	18	59,8
Биоудобрение ПолифунКур – 2,0 т/га	351	89	34	69,0
HCP _{0,5}	32	–	–	7,1
Среднее значение за 2012–2013 гг.				
Без удобрений	231	–	–	45,2
N ₉₀ P ₇₀ K ₁₅₀	298	67	29	58,1
Биоудобрение ПолифунКур – 2,0 т/га	307	76	33	59,9
HCP _{0,5}	17	–	–	4,7

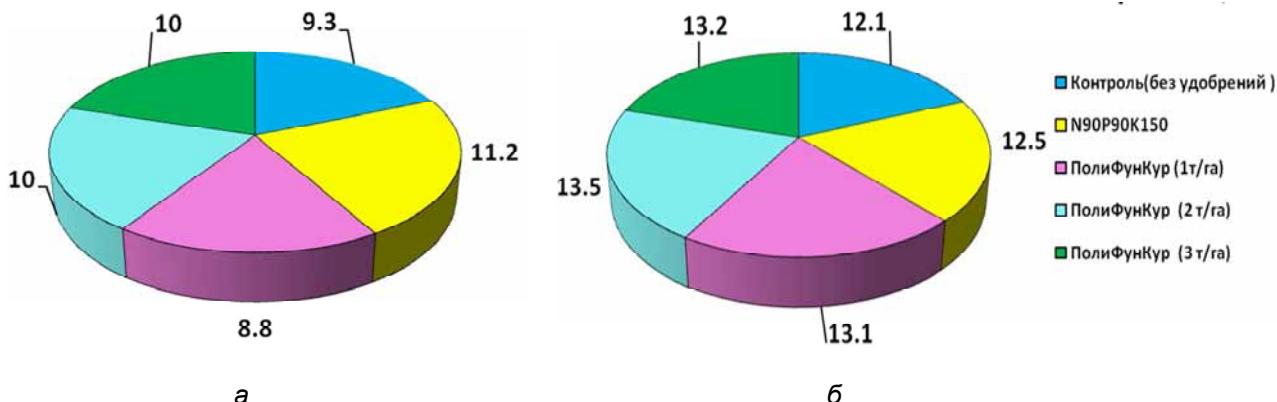


Рис. 1. Качественные показатели клубней картофеля в зависимости от применяемых удобрений, 2012 г. Содержание, %: а – белка; б – крахмала

Установлено, что внесение под картофель 1 т/га биоудобрения повышало содержание крахмала на 0,6 % при HCP – 0,4 % в сравнении с внесением минеральных удобрений. При увеличении дозы биоудобрения до 2 т/га наблюдалось дальнейшее повышение крахмалистости до 13,5 %. При дозе 3 т/га биоудобрения отмечалась тенденция снижения содержания крахмала в сравнении с дозой 2 т/га.

Различия в содержании белка по вариантам опыта были несущественны. Наибольшее (11,2 %) содержание белка в клубнях картофеля и сбор его с 1 га в количестве 5,3 и 5,0 ц были отмечены в вариантах с применением минеральных удобрений (N₉₀P₇₀K₁₂₀) и биоудобрения в дозе 2 т/га. Получение экологически чистой продукции в варианте с биоудобрением (2 т/га), обеспечивающим более высокие количественные и качественные показатели по сравнению с контрольным вариантом (без удобрений) и не имеющим существенной разницы по качественным

показателям в сравнении с минеральными удобрениями, является важным аргументом для подтверждения необходимости в его использовании при возделывании картофеля и отказа в использовании дорогостоящих и экологически опасных минеральных удобрений.

В среднем за 2012–2013 гг. исследований наибольшее содержание крахмала в клубнях (13,8 %) и его сбор с гектара (4,2 ц) было характерно для варианта, где использовали биоудобрение ПолифунКур в дозе 2 т/га (рис. 2).

При использовании биоудобрения (2 т/га) содержание нитратов в полученной продукции снижается в 2 раза по сравнению с минеральными удобрениями. Увеличение содержания нитратов за счет минеральных удобрений по сравнению с контролем составляет 56 мг/кг. Применение дозы 3 т/га позволяет получить продукцию с содержанием нитратов на 35 мг/кг ниже, чем при использовании минеральных удобрений и не превышает значения ПДК (рис. 3).

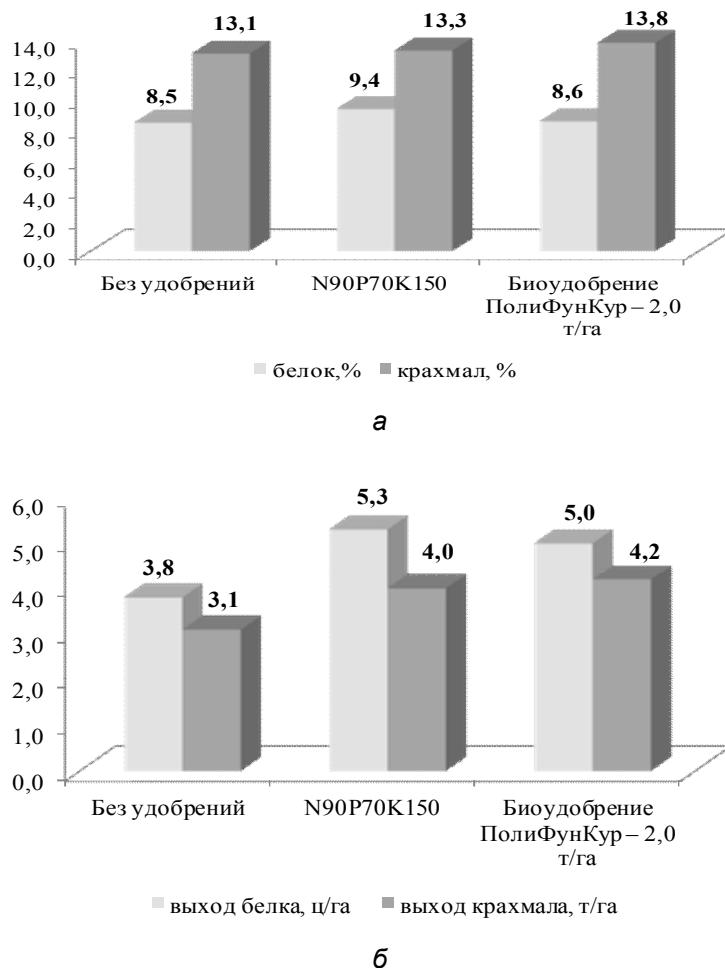


Рис. 2. Содержание белка и крахмала (а) в клубнях картофеля и их выход (б) в зависимости от применяемых удобрений (среднее значение за 2012–2013 гг.)

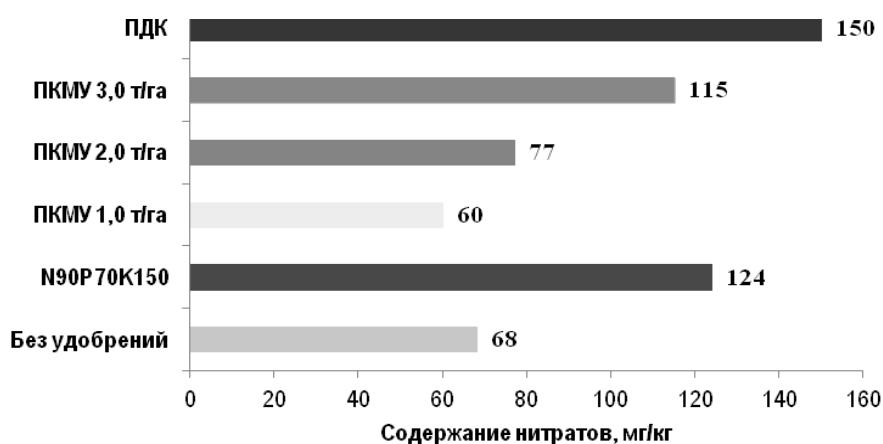


Рис. 3. Содержание нитратов в клубнях картофеля в зависимости от применяемых удобрений

При возделывании кукурузы на силос на дерново-подзолистой супесчаной почве за счет почвенного плодородия (без внесения удобрений) получено 349 ц/га зеленой массы (табл. 4).

Применение удобрений оказало положительное влияние на урожайность культуры, увеличив её на 12–42 % в зависимости от вида и доз.

Таблица 4. Влияние удобрений на урожайность зеленой массы кукурузы, 2012 г.

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка к контролю		Сбор сухого вещества, ц/га	Эффективность биоудобрения, %	
		ц/га	%		Прибавка урожая	Сбор сухого вещества
Без удобрений (контроль)	349	—	—	105	—	—
$N_{90}P_{70}K_{120}$	390	41	12	117	—	—
Биоудобрение – 1,0 т/га	397	48	14	119	2	2
Биоудобрение – 1,0 т/га + N_{40} (карбамид)	497	148	42	149	27	27
Биоудобрение – 2,0 т/га	492	143	41	147	26	26
Биоудобрение – 3,0 т/га	428	79	23	128	10	9
$HCP_{0,5}$	27			8	—	—

Отмечается равнозначное стимулирующее влияние удобрений как минеральных ($N_{90}P_{70}K_{120}$), так и биоудобрения ПолифунКур в дозе 1 т/га на урожай зеленой массы кукурузы, обеспечивая прибавку 41 и 48 ц/га соответственно.

При применении биоудобрения в количестве 2 т/га прибавка урожайности зеленой массы составила 143 ц/га, что на 41 % выше, чем в контроле. Увеличение дозы биоудобрения до 3 т/га сопровождалось снижением урожайности зеленой массы кукурузы до 428 ц/га.

Урожайность сухого вещества по удобренным вариантам находилась в пределах 117–149 ц/га. Наибольший сбор сухого вещества (147–149 ц/га) был получен при внесении доз биоудобрения ПолифунКур – 2,0 и 1,0 т/га + N_{40} (карбамид). При выращивании кукурузы на силос на дерново-подзолистой супесчаной почве использование биоудобрения повышало содержание сухого вещества в зеленой массе.

В вариантах с внесением минеральных удобрений содержание сухого вещества в зеленой массе кукурузы было самым низким (28,5 %). При использовании в дозе 1 т/га сухого вещества содержалось 30,2 %, при дополнительной подкормке карбамидом – 30,1 %. Внесение биоудобрения ПолифунКур в дозе 2 т/га способствовало

повышению данного показателя на 2,6–2,7 %. Применение удобрений оказало влияние на химический состав растений кукурузы.

Самым низким содержанием общего азота (0,93 %) характеризовался вариант без внесения удобрений. При дозе биоудобрения 1 т/га наблюдалась тенденция увеличения содержания общего азота в зеленой массе кукурузы по сравнению с контрольным вариантом (без удобрений). Самое высокое (2,73 %) в опыте содержание азота отмечено в варианте с дозой биоудобрения 2 т/га.

Содержание калия было более высоким при использовании минеральных удобрений. Так в варианте $N_{90}P_{70}K_{120}$ оно составило 1,71 %, в варианте биоудобрение – 1,0 т/га + N_{40} (карбамид) – 1,59 %. Применение биоудобрения ПолифунКур не способствовало накоплению калия в почве.

Содержание фосфора по вариантам опыта изменялось в пределах 0,45–0,49 % и не зависело от применяемых удобрений.

При возделывании кукурузы на силос применение удобрений оказывало положительное влияние на содержание сырого протеина в зеленой массе (рис. 4).

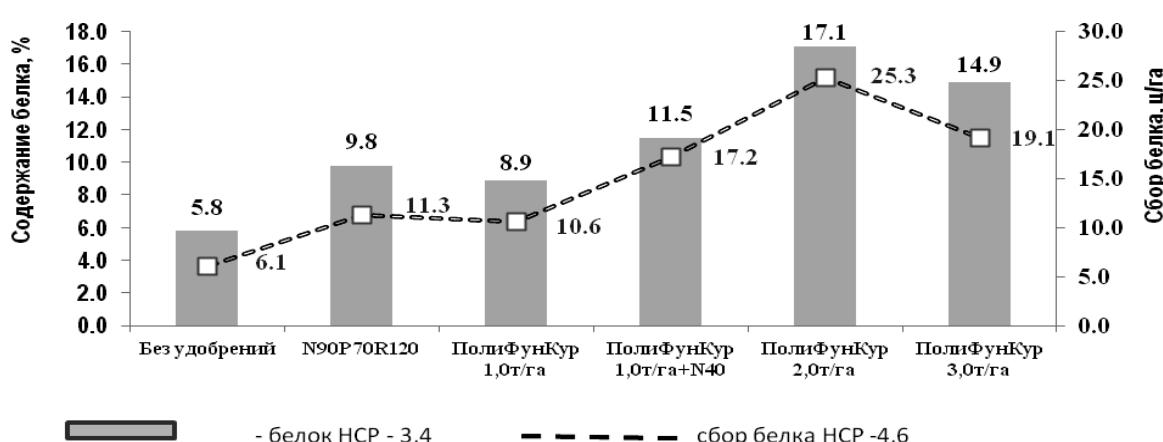


Рис. 4. Содержание и сбор сырого белка в зависимости от применяемых удобрений при возделывании кукурузы на силос, 2012 г.

Применение ПолиФунКура в зависимости от дозы повышало содержание белка на 3,1–11,3 % и его сбор на 4,5–11,0 ц/га по сравнению с вариантом без удобрений. Наибольшее содержание сырого протеина (17,1 %) и его выход с гектара (25,3 ц) отмечен в варианте с биоудобрением в дозе 2 т/га.

В 2013 г. внесение биоудобрения ПолиФунКур способствовало значительному росту продуктивности кукурузы – до 536 ц/га. Прибавка урожайности зеленой массы по отношению к варианту без удобрений составила 207 ц/га и по отношению варианту с использованием минеральных удобрений – 69 ц/га (табл. 5).

В среднем за 2012–2013 гг. при использовании биоудобрения в дозе 2 т/га отмечено ста-

тистически значимое повышение урожайности зеленой массы кукурузы до 514 ц/га по сравнению с вариантами без удобрений и внесением минеральных удобрений в дозах $N_{90}P_{70}K_{120}$.

Выход сырого белка с 1 га посевов кукурузы в 2013 г. значительно увеличился при использовании удобрений и составил 7,6 ц в варианте с применением минеральных удобрений и 8,9 ц в варианте с применением 2 т/га биоудобрения ПолиФунКур (табл. 6).

При возделывании сахарной свеклы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве за счет почвенного плодородия получена урожайность корнеплодов 644 ц/га (табл. 7).

Таблица 5. Влияние удобрений на урожайность зеленой массы кукурузы при возделывании на силос

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка к контролю		Сбор сухого вещества, ц/га
		ц/га	%	
<i>2013 год</i>				
Без удобрений	329	–	–	99
$N_{90}P_{70}K_{150}$	467	138	42	140
$N_{90} + 40P_{70}K_{150}$	475	146	44	143
Биоудобрение ПолиФунКур – 2,0 т/га + N_{40} (карбамид)	519	190	58	156
Биоудобрение ПолиФунКур – 2,0 т/га	536	207	63	161
$HCP_{0,5}$	59	–	–	18
<i>Среднее за 2012–2013 гг.</i>				
Без удобрений	339	–	–	102
$N_{90}P_{70}K_{150}$	429	90	27	129
Биоудобрение ПолиФунКур – 2,0 т/га	514	175	52	154
$HCP_{0,5}$	30	–	–	9

Таблица 6. Влияние удобрений на содержание сырого белка в зеленой массе кукурузы при возделывании на силос

Вариант	Сырой белок	
	Содержание, %	Сбор, ц/га
<i>2013 год</i>		
Без удобрений	4,5	4,5
$N_{90}P_{100}K_{180}$	5,4	7,6
$N_{90} + 40P_{100}K_{180}$	6,1	8,7
Биоудобрение ПолиФунКур – 2,0 т/га + N_{40} (карбамид)	6,3	9,9
Биоудобрение ПолиФунКур – 2,0 т/га	5,5	8,9
$HCP_{0,5}$	$F_{(факт.)} < F_{(теор.)}$	2,9
<i>Среднее за 2012–2013 гг.</i>		
Без удобрений	5,2	5,3
$N_{90}P_{100}K_{180}$	7,6	9,5
Биоудобрение ПолиФунКур – 2,0 т/га	11,3	17,1

Таблица 7. Влияние удобрений на урожайность корнеплодов сахарной свеклы, 2012 г.

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка к контролю	
		ц/га	%
Без удобрений (контроль)	644	–	–
$N_{90}+40P_{70}K_{120}$	685	41	6
Биоудобрение ПолиФунКур – 1,0 т/га	657	13	2
Биоудобрение ПолиФунКур – 1,0 т/га + N_{40} (карбамид)	683	39	6
Биоудобрение ПолиФунКур – 2,0 т/га	684	40	6
Биоудобрение ПолиФунКур – 3,0 т/га	681	37	6
$HCP_{0,5}$	26	–	–

Статистически значимые прибавки урожайности корнеплодов (37–41 ц/га) отмечены в вариантах с внесением минеральных удобрений, биоудобрения ПолиФунКур в дозе 1 т/га + N₄₀, 2 т/га и 3 т/га. Вышеуказанные варианты оказались примерно равноценными по эффективности, обеспечив повышение урожайности сахарной свеклы на 6 %.

В среднем за 2012–2013 гг. применение биоудобрения ПолиФунКур в дозе 2 т/га под сахарную свеклу обеспечило формирование урожайности корнеплодов 762 ц/га и по эффективности не уступало минеральным удобрениям, внесенным в дозе N₉₀ + 40P₁₀₀K₁₈₀ (табл. 8).

Применение удобрений при возделывании сахарной свеклы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве не оказалось значимого влияния на содержание основных элементов питания в корнеплодах. Различия в содержании общего азота, фосфора и калия по вариантам опыта были несущественны ($F_{\text{факт.}} < F_{0,5}$).

При производстве сахарной свеклы большое значение имеют качественные показатели. Качество сахарной свеклы оценивается по её сахаристости, количеству мелассообразующих веществ (калия и натрия), а также содержанию аминоазота (общее название для протеинового, аммиачного и амидного азота). Присутствие этих веществ мешает экстракции кристаллизованного сахара, остающегося в определенных количествах в мелассе [4].

Для условий Беларуси средними показателями технологических качеств сахарной свеклы

являются: сахаристость 17,5–18,5 % (69–72 % к массе сухих веществ), чистота диффузного сока 87–89 % (очищенного – 92–93 %), количество альфа-аминного (α-N) азота – не более 40 % от общего, что составляет 2,5 мг-экв/100 г свеклы или 0,18% α-N. Допустимое содержание калия – 4,5–5,0, натрия – 0,3–0,4 мг-экв/100 г [3, 5–7].

В наших исследованиях на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве применение биоудобрения ПолиФунКур улучшало технологические качества сахарной свеклы (табл. 9).

Применение биоудобрения в дозе 1 т/га повышало сахаристость на 0,3 % в сравнении с вариантом без удобрений и на 0,4 % в сравнении с вариантом N₉₀ + 40P₇₀K₁₂₀. Расчетный выход сахара с учетом потерь при переработке при этом повышался на 0,4 и 0,8 % соответственно. Дополнительная подкормка карбамидом в дозе 40 кг/га д. в. на фоне биоудобрения (1 т/га) снижала сахаристость. Выход сахара с 1 га в вышеуказанных вариантах составил 100 ц.

Наиболее эффективным по влиянию на качество корнеплодов сахарной свеклы отмечен вариант с внесением биоудобрения в дозе 2 т/га, что обеспечило увеличение сахаристости до 17,6 %, снижение нежелательных примесей (натрия, калия и α-N) и, как следствие, повышение расчетного выхода сахара до 15,5 % и его сбора с 1 га до 106 ц. Увеличение дозы биоудобрения до 3 т/га сопровождалось некоторым снижением качественных показателей корнеплодов в сравнении с предыдущим вариантом (табл. 10).

Таблица 8. Влияние удобрений на урожайность корнеплодов сахарной свеклы, 2013 г.

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка к контролю	
		ц/га	%
<i>2013 год</i>			
Без удобрений	653	–	–
N ₉₀ +40P ₁₀₀ K ₁₈₀	845	192	29
Биоудобрение ПолиФунКур – 2,0 т/га + N ₄₀ (карбамид)	794	141	22
Биоудобрение ПолиФунКур – 2,0 т/га	840	187	29
HCP _{0,5}	81		
<i>Среднее за 2012–2013 гг.</i>			
Без удобрений	649	–	–
N ₉₀ +40P ₁₀₀ K ₁₈₀	765	116	18
Биоудобрение ПолиФунКур – 2,0 т/га	762	113	17
HCP _{0,5}	38	–	–

Таблица 9. Влияние удобрений на качественные показатели сахарной свеклы, 2012 г.

Вариант	Сахаристость, %	Натрий ммоль/100 г	Калий ммоль/100 г	α-N %	Выход сахара	
					%	ц/га
Без удобрений	17,1	0,19	5,37	2,20	14,8	95
N ₉₀ + 40P ₇₀ K ₁₂₀	17,0	0,22	5,19	2,59	14,6	100
Биоудобрение ПолиФунКур – 1,0 т/га	17,4	0,22	4,95	2,30	15,2	100
Биоудобрение ПолиФунКур – 1,0 т/га + N ₄₀ (карбамид)	17,0	0,15	4,74	2,29	14,7	100
Биоудобрение ПолиФунКур – 2,0 т/га	17,6	0,18	4,68	1,98	15,5	106
Биоудобрение ПолиФунКур – 3,0 т/га	17,3	0,20	4,62	1,97	15,2	103

Таблица 10. Влияние удобрений на показатели качества сахарной свеклы, 2013 г.

Вариант	Сахаристость, %	Натрий	Калий	α-N	Фактический выход сахара	
					ммоль/100 г	%
2013 г.						
Без удобрений	18,5	0,27	4,22	0,72	16,7	109
N ₉₀ + 40P ₇₀ K ₁₂₀	18,6	0,29	4,00	0,72	16,8	142
Биоудобрение ПолифунКур – 2,0 т/га + N40(карбамид)	18,7	0,36	3,93	0,69	16,9	134
Биоудобрение ПолифунКур – 2,0 т/га	18,6	0,33	3,88	0,51	16,9	142
<i>Среднее значение за 2012–2013 гг.</i>						
Без удобрений	17,8	0,23	4,80	1,46	15,8	102
N ₉₀ + 40P ₇₀ K ₁₂₀	17,8	0,26	4,60	1,66	15,7	121
Биоудобрение ПолифунКур – 2,0 т/га	18,1	0,26	4,28	1,25	16,2	124

В среднем за два года исследований при применении биоудобрения ПолифунКур под сахарную свеклу в дозе 2 т/га показатели качества корнеплодов стали выше по сравнению с использованием минеральных удобрений.

В результате полевых испытаний биоудобрения ПолифунКур установлено, что оптимальной дозой внесения в почву при возделывании картофеля, кукурузы и сахарной свеклы является 2 т/га.

Таким образом, применение биоудобрения ПолифунКур в количестве 2 т/га на дерново-подзолистой супесчаной почве при возделывании картофеля обеспечило получение прибавки урожая клубней, в среднем за 2 года, 76 и 95 ц/га, что превысило урожайность в контроле полевого опыта и полевых государственных испытаний ГУ «Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений» на 33 и 45% соответственно [9]. Наибольшая урожайность клубней картофеля с 1 га, полученная в 2013 г. и составившая 351 ц/га, на 13% превышала урожайность картофеля при использовании 40 т/га навоза, используемого в соответствии с регламентом технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Беларуси [8]. Увеличение содержания крахмала и белка с 1 га составило 1,1 т/га (на 36%) и 1,2 ц/га (на 32%) соответственно. Установлено снижение содержания

нитратов вдвое по сравнению с применением минеральных удобрений;

При возделывании кукурузы прибавка урожая зеленой массы составила 52% (175 ц/га) от контроля (без удобрений) и 20% (85 ц/га) от урожайности в варианте с минеральными удобрениями (N₉₀P₇₀K₁₅₀). Сбор сырого белка в зеленой массе кукурузы увеличился на 11,8 ц/га по сравнению с вариантом без удобрений и на 7,6 ц/га по сравнению с использованием минеральных удобрений (N₉₀P₇₀K₁₅₀).

Применение биоудобрения ПолифунКур в количестве 2 т/га способствовало получению прибавки урожая сахарной свеклы на 17%. Фактический выход сахара в корнеплодах сахарной свеклы возрос на 22% (22 ц/га).

Применение в течение двух лет биоудобрения ПолифунКур в дозе 2 т/га при возделывании пропашных культур на дерново-подзолистой супесчаной почве обеспечивает получение экологически безопасной и экономически выгодной сельскохозяйственной продукции.

По результатам регистрационных испытаний в Республике Беларусь с целью широкого применения в сельском, лесном и городском хозяйстве выдано удостоверение № 2709 о государственной регистрации средств защиты под № 11-08-0015 от 28 марта 2014 на биоудобрение ПолифунКур (сыпучая масса).

Литература

1. **Биологические** активаторы плодородия почв / О. Б. Вайшля [и др.] // Наука и инновации XXI века : матер. VI конф. Молодых ученых. – Сургут : Изд-во СурГУ, 2006. – С. 175–177.
2. Гребенникова, В. В. Эффективность биопрепаратов в системе биологического земледелия / В. В. Гребенникова // Успехи современного естествознания. – 2004. – № 2. – С. 99–100.
3. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М. : Колос, 1965. – 423 с.
4. Дятлова, К. Д. Микробные препараты в растениеводстве / К. Д. Дятлова // Соросовский образоват. журн. – 2001. – № 5. – С. 4–18.
5. Инновации в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур – 2011 : материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов, магистрантов и студентов / под ред. А. А. Шелюто. – Горки : Белорус. гос. с.-х. акад., 2011. – 244 с.
6. Курдиш, И. К. Гранулированные микробные препараты для растениеводства: наука и практика / И. К. Курдиш. – Киев, 2001. – 142 с.
7. Лапа, В. В. Применение удобрений и качество урожая / В. В. Лапа, В. Н. Босак. – Минск : Ин-т почковедения и агрохимии Нац. акад. наук Беларуси. – Минск, 2006. – 120 с.
8. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур : сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т аграрной экономики ; сост.: В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск : Беларус. наука, 2005. – 462 с.

9. Результаты испытания сортов картофеля, овощных, плодово-ягодных культур, рапса озимого и ярового, сои, подсолнечника, льна-долгунца и масличного на хозяйственную полезность в Республике Беларусь за 2012–2014 годы / Мин-во сельского хозяйства и продовольствия Респ. Беларусь, Гос. инспекция по испытанию и охране сортов растений. – 2015.

¹ Институт микробиологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь,

² Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь,

³ Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 27.03.2017 г.

**Л. Е. Картыжова, З. М. Алещенкова, Н. В. Короленок, А. Э. Томсон, Т. В. Соколова,
Ю. Ю. Навоша, В. С. Пехтерева, Н. Е. Сосновская, В. В. Лапа, М. С. Лопух**

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БИОУДОБРЕНИЯ ПОЛИФУНКУР
ПРИ ВОЗДЕЛЬВАНИИ КАРТОФЕЛЯ, КУКУРУЗЫ И САХАРНОЙ СВЕКЛЫ**

Обогащение аэробно ферментированных органических субстратов агрономически ценной микрофлорой позволяет успешно их применять в сельском хозяйстве, способствуя получению прибавки урожая, а также улучшению качества получаемой сельскохозяйственной продукции. Результаты исследований показали, что биоудобрение ПолиФунКур, применяемое в дозе 2 т/га при возделывании картофеля на дерново-подзолистой супесчаной почве, равноценно по эффективности органическим (40 т навоза/га) и минеральным удобрениям ($N_{90}P_{70}K_{150}$), обеспечивая получение урожайности клубней в среднем за два года исследований на уровне 307 ц/га; что на 76 ц/га (33 %) больше, чем в контроле (без удобрений) и на 3 % (9 ц/га) по сравнению с минеральными удобрениями; увеличение содержания крахмала и белка с 1 га на 1,1 т/га (36 %) и 1,2 ц/га (32 %) соответственно; при возделывании кукурузы на силос обеспечивает статистически значимое увеличение урожайности зеленой массы на 175 ц/га (52 %) по сравнению с контролем (без удобрений) и 85 ц/га (20 %) по сравнению с использованием минеральных удобрений ($N_{90}P_{70}K_{150}$); при возделывании сахарной свеклы способствует увеличению урожайности свеклы на 113 ц/га (17 %) с лучшими показателями качества корнеплодов.

**L. E. Kartyzhova, Z. M. Aleshchenkov, N. V. Korolionok, A. E., Thomson, T. V. Sokolova,
Yu. Yu. Navosh, V. S. Pekhterev, N. E. Sosnovskaya, V. V. Lapa, M. S. Lopukh**

**THE APPLICATION EFFICIENCY OF POLIFYNKYR BIOFERTILIZER
DURING POTATO, MAIZE AND SUGAR BEET CULTIVATION**

The enrichment of aerobically fermented organic substrates with agronomically valuable microflora allows them to be successfully applied in agriculture, contributing to the increase in yield, and also to the improvement of the quality of agricultural products. Research results showed that PoliFynKyr biofertilizer, applied in the doze of 2 t/ha during potato cultivation on soddy-podzolic sandy loamy soil, is equal in effectiveness to organic (40 t of manure/ha) and mineral fertilizers ($N_{90}P_{70}K_{150}$), ensuring the yield of tubers on average for two years of research at 307 c/ha; that is 76 t/ha (33 %) more than in the control (without fertilizers) and 3 % (9 c/ha) compared to mineral fertilizers; an increase in the starch and protein content from 1 ha by 1.1 t/ha (36 %) and 1.2 c/ha (32 %), respectively; when cultivating maize for silage, provides a statistically significant increase in the yield of green weight by 175 c/ha (52 %) compared to the control (without fertilizers) and 85 c/ha (20%) compared to the use of mineral fertilizers ($N_{90}P_{70}K_{150}$); when cultivating sugar beet contributes to an increase in the yield of beet by 113 c/ha (17 %) with the best indicators of the quality of root crops.

**Г. В. Наумова¹, И. К. Володько², Т. В. Шпитальная², Т. Ф. Овчинникова¹,
Н. А. Жмакова¹, Н. Л. Макарова¹**

РЕГУЛЯТОР РОСТА РАСТЕНИЙ ОКСИГУМАТ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ДРЕВЕСНЫХ ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ

Показана высокая эффективность применения регулятора роста растений гуминовой природы Оксигумат при выращивании древесных декоративных растений. Использование препарата стимулирует рост и развитие и повышает декоративные качества растений.

Современное растениеводство трудно представить без применения биологически активных препаратов различного действия. Так, регуляторы роста растений, в том числе гуминовой природы, широко используются в сельскохозяйственной практике для повышения урожайности и улучшения качества получаемой продукции.

Разработанный в Институте природопользования НАН Беларуси регулятор роста растений Оксигумат является продуктом окислительной деструкции торфа, его производство организовано на заводе ферментных препаратов ООО «Фермент». Препарат содержит широкий спектр биологически активных соединений – гуминовые и фульфовые кислоты, пектины, карбоновые кислоты и вещества фенольной природы [1]. Он широко испытан в сельском хозяйстве и разрешен к применению на картофеле, зерновых и овощных культурах [2, 3].

В 2016 г. в ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» проведены регистрационные испытания эффективности применения Оксигумата при выращивании лиственных и хвойных декоративных культур. Вегетационный опыт на однолетних сеянцах можжевельника казацкого, пихты корейской, сосны горной, тиса ягодного, туи западной, барбариса Тумберга и лимонника китайского был заложен в апреле 2016 г. Растения высаживали по одному в контейнеры объемом 5 л, которые разместили на открытой площадке в одинаковых условиях освещенности. Каждый вариант опыта включал по 10 повторностей. В контрольных вариантах растения поливали под корень водой, в опытных – 0,1 %-ным раствором Оксигумата. Расход рабочей жидкости составлял 500 мл на один контейнер. Препарат применяли один раз в месяц трижды в течение вегетации. Эффективность действия Оксигумата оценивали в конце сентября по развитию надземной части растений. Установлено, что Оксигуматоказал положительное влияние на интенсивность ростовых процессов у всех растений (табл. 1).

При этом у можжевельника казацкого и барбариса Тумберга высота надземных органов в опытных вариантах по отношению к контрольным

увеличилась в 1,3 раза, а у пихты корейской, сосны горной, тиса ягодного и лимонника китайского – в 1,2 раза. Отмечено также усиление декоративных свойств хвойных и кустарниковых пород, особенно у можжевельника казацкого, сосны горной, тиса ягодного и барбариса Тумберга.

Вегетационный опыт на однолетних саженцах рододендрона кэтеевинского и рододендрона японского заложен в марте 2016 г. Растения были высажены по одному в контейнеры объемом 0,7 л и размещены в теплицах при одинаковых условиях освещенности и температуре 20–26 °C. Каждый вариант опыта включал 12 растений в контейнерах.

Растения поливали под корень в контрольных вариантах водой, в опытных – 0,1 %-ным раствором Оксигумата, а в эталонном – 0,1 %-ным раствором Гидрогумина. Норма расхода рабочей жидкости составляла 30 мл на один контейнер. Первая обработка препаратами была проведена в мае, последующие три – с интервалом в месяц.

Проведенные испытания показали, что полив растений под корень 0,1 %-ным раствором Оксигуматаоказал положительное влияние на ростовые процессы саженцев, как вечнозеленого, так и листопадного рододендронов. Так, саженцы рододендрона кэтеевинского (вечнозеленого) из опытных вариантов достоверно превосходили контрольные растения по высоте (на 12,2 %), количеству образованных за период наблюдений новых листьев (на 8,7 %) и в меньшей степени по размеру листовой пластинки (на 6,3 и 7,5 %) (табл. 2).

Важно отметить, что влияние Оксигумата на прирост растений (12,2 %) и увеличение длины листовой пластины (6,3 %) было более выраженным, чем у эталонного препарата Гидрогумин – 4,6 и 1,3 % соответственно.

По другим параметрам различия в действии этих препаратов не столь существенны. У рододендрона японского (листопадного) под влиянием Оксигумата средние показатели по высоте растений увеличились на 8,7 %, количество листьев – на 10,0 %, размеры листовой пластиинки – на 6,0 и 18,8 % (табл. 3).

Таблица 1. Влияние регулятора роста растений Оксигумат на биометрические показатели хвойных и лиственных растений (по состоянию на 30.09.2016 г.)

Растение	Вариант опыта	Средняя высота сеянца, см	Отклонение от контроля, %	Средняя длина прироста, см	Отклонение от контроля, %
Можжевельник казацкий	Контроль Оксигумат	25,0 33,0	— +32,0	5,0 9,0	— +80,0
HCP _{0,5}	—	1,7	—	1,3	—
Пихта корейская	Контроль Оксигумат	26,0 30,0	— +15,3	3,0 4,0	— +33,3
HCP _{0,5}	—	1,4	—	1,6	—
Сосна горная	Контроль Оксигумат	12,5 15,0	— +20,0	2,5 4,0	— +60,5
HCP _{0,5}	—	1,3	—	1,4	—
Тис ягодный	Контроль Оксигумат	12,0 14,0	— +16,6	3,0 3,4	— +13,3
HCP _{0,5}	—	2,1	—	1,8	—
Тuya западная	Контроль Оксигумат	25,0 26,0	— +4,0	5,3 8,6	— 62,3
HCP _{0,5}	—	2,3	—	1,8	—
Барбарис Тунберга	Контроль Оксигумат	40,5 52,3	— +29,1	9,8 14,7	— 50,1
HCP _{0,5}	—	1,4	—	1,5	—
Лимонник китайский	Контроль Оксигумат	10,3 12,8	— +24,3	3,0 3,3	— 10,0
HCP _{0,5}	—	1,2	—	1,4	—

Таблица 2. Влияние регулятора роста Оксигумат на биопродукционные параметры саженцев рододендрона кэлевбинского

Вариант опыта	Средняя высота растения, см	Отклонение от контроля, %	Среднее количество листьев на растении, шт.	Отклонение от контроля, %	Средний размер листовой пластинки			
					длина, см	отклонение от контроля, %	ширина, см	отклонение от контроля, %
Контроль	8,33	—	14,9	—	7,57	—	3,72	—
Оксигумат	9,35	+12,2	16,2	+8,7	8,05	+6,3	4,00	+7,5
Эталон	8,71	+4,6	16,5	+10,7	7,67	+1,3	3,91	+5,1
HCP _{0,5}	0,44	—	1,2	—	0,67	—	0,26	—

Таблица 3. Влияние регулятора роста Оксигумат на биопродукционные параметры саженцев рододендрона японского

Биопродукционный параметр	Контроль	Оксигумат	Эталон (Гидрогумин)	HCP _{0,5}
Среднее количество вновь образованных побегов на одно растение	3,72	4,77	4,92	0,34
Отклонение от контроля, %	—	+28,20	+32,3	—
Средняя высота растений, см	6,69	7,27	6,72	0,56
Отклонение от контроля, %	—	+8,70	+0,40	—
Среднее количество листьев на одно растение, шт.	18,00	19,80	18,4	1,80
Отклонение от контроля, %	—	+10,00	+2,20	—
Средняя длина листовой пластинки, см	5,37	6,38	6,21	0,62
Отклонение от контроля, %	—	+18,80	+15,60	—
Средняя ширина листовой пластинки, см	1,83	1,94	1,88	0,22
Отклонение от контроля, %	—	+6,00	+2,70	—

Кроме того, применение Оксигумата при поливе растений значительно стимулировало образование новых побегов. Их количество по сравнению с контролем увеличилось на 28,2 %, что очень важно для декоративности рододендронов, так как повышает кустистость растений.

Как и в опыте с вечнозеленым рододендроном, эффективность действия Оксигумата

сравнима, а по отдельным показателям превосходит эталонный препарат Гидрогумин.

Таким образом, в результате проведенных регистрационных испытаний выявлена высокая эффективность применения Оксигумата для повышения интенсивности ростовых процессов хвойных и лиственных декоративных растений, а также для усиления декоративных свойств хвой-

ных и лиственных кустарниковых пород (можжевельника казацкого, сосны горной, тиса ягодного, барбариса Тумберга, рододендронов).

В связи с этим регулятор роста растений

Оксигумат推薦ован к применению в зеленом строительстве, агропромышленном комплексе и любительском садоводстве при выращивании хвойных и лиственных растений.

Литература

1. **Биологически активные препараты стимулирующего и фунгицидного действия на основе торфа** / Г. В. Наумова [и др.] // Химия твердого топлива. – 1995. – № 2. – С. 82–88.
2. **Ресурсосберегающие технологии получения экологобезопасных биологически активных препаратов на основе торфа и эффективность их применения в сельском хозяйстве** / Г. В. Наумова [и др.] // Природные ресурсы. – 1996. – № 1. – С. 101–107.
3. **Экологобезопасные биологически активные препараты для сельского хозяйства, разработанные в Беларуси на основе торфа и отходов растительного сырья** / Г. В. Наумова [и др.] // Проблемы региональной экологии. – 2006. – № 1. – С. 18–24.

¹Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
²Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 21.04.2017 г.

Г. В. Наумова, И. К. Володько, Т. В. Шпитальная,
Т. Ф. Овчинникова, Н. А. Жмакова, Н. Л. Макарова

РЕГУЛЯТОР РОСТА РАСТЕНИЙ ОКСИГУМАТ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ДРЕВЕСНЫХ ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ

Приведена оценка эффективности применения регулятора роста растений Оксигумат при выращивании на однолетних сеянцах и саженцах древесных (хвойных и лиственных) декоративных растений. В вегетационных опытах на можжевельнике казацком, пихте корейской, сосне горной, тисе ягодном, туе западной, барбарисе Тумберга, лимоннике китайском, рододендронах вечнозеленом кэтибинском и листопадном японском установлено, что полив под корень 0,1 %ным раствором Оксигумата стимулирует рост растений, образование новых побегов и листьев, что заметно улучшает декоративность кустарниковых пород. Полученные данные позволили рекомендовать Оксигумат к применению в зеленом строительстве, агропромышленном комплексе и любительском садоводстве при выращивании древесных декоративных растений.

G. V. Naymova, I. K. Volodko, T. V. Shpitalnaya,
T. F. Ovchinnikova, N. A. Zhmakova, N. L. Makarova

OXIHUMATE PLANT GROWTH REGULATOR AND THE EFFICIENCY OF ITS USE DURING WOOD AND DECORATION PLANT GROWING

The estimation of the effectiveness of oxihumate plant growth regulator use during growing on annual seedlings and seedlings of wood (coniferous and deciduous) decorative plants. It was found that watering at the root with 0.1 % Oxyhumate solution stimulates plant growth, the formation of new shoots and leaves, which significantly improves the ornamental quality of shrubby species in the vegetation experiments on the juniper Cossack, fir Korean, pine mountain, berry yew, thuje western, barberry Tumberg, lemongrass chinese, evergreen catevbin and deciduous Japanese rhododendrons. Data obtained allowed to recommend Oxihumate to a use in green building, agricultural production complex and amateur gardening in the cultivation of wood decorative plants.

УДК 628.381.1; 658.567.5

**А. Н. Лицкевич¹, М. В. Гулькович², О. А. Черничко¹,
А. И. Хинич¹, М. М. Дашкевич¹**

ОСАДКИ СТОЧНЫХ ВОД ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ КАК КОМПОНЕНТЫ ПРОИЗВОДСТВА ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

Рассмотрены проблемы образования, накопления и утилизации осадков сточных вод перерабатывающих предприятий. Приведены данные по качественному составу осадков и органических удобрений на их основе, подтверждающие их высокую удобрительную ценность.

В настоящее время отходы перерабатывающих предприятий играют большую роль в решении продовольственных, экологических и энергетических проблем. Большая часть отходов вывозится на общие свалки или попадает в канализационные стоки. Вследствие этого сырье используется неэффективно, происходит нарушение экологического равновесия.

Отходы перерабатывающих предприятий следует рассматривать как дополнительные источники ценнейших веществ природного происхождения. Из них можно получать кормовые добавки, экологически безопасные удобрения, биогаз.

На локальных очистных сооружениях перерабатывающих предприятий образуются большие массы осадков сточных вод (ОСВ).

В последние годы разработаны методы полезного использования обезвоженных осадков и золы от их сжигания. Наиболее передовые из данных методов, как правило, заключаются в повторном использовании компостиированного или сброшенного осадка в сельском хозяйстве в качестве удобрения и для благоустройства территорий.

В Европе существуют различные стратегии утилизации осадка. В таких странах, как Нидерланды, Бельгия и Швейцария, сельскохозяйственное применение ОСВ запрещено или ограничено, поэтому осадок сжигают. В других странах (например, Финляндии, Эстонии, Норвегии) компостированный осадок используют для благоустройства зеленых зон. В некоторых странах, (например, Исландии, Мальте, Греции), весь осадок вывозят на полигоны твердых бытовых отходов (ТБО). В России и Беларусь распространен сбор осадка в илонакопителях [16, 22].

Во многих странах доля осадка, сбрасываемого на полигоны ТБО, уменьшается. При вывозе на полигон теряется потенциал осадка как источника биогенных элементов и энергии.

Анализ свойств и химического состава осадков, полученных при биологической очистке сточных вод пищевых и перерабатывающих предприятий, показывает, что ОСВ представляют

собой сложную многокомпонентную систему. В частности, осадок молокоперерабатывающих предприятий содержит протеин, жир, клетчатку, широкий спектр микроэлементов. Учитывая это, ОСВ можно использовать для получения кормовой добавки для сельскохозяйственных животных.

В то же время высокое содержание органического вещества в осадке позволяет получать из него эффективное удобрение. Для использования в сельскохозяйственной практике пригодны осадки, в которых массовая доля органических веществ на сухое вещество составляет не менее 20 %. Исследование состава ОСВ рыбо- и молокоперерабатывающих предприятий (ОАО «Щучинский маслосырзавод», ОАО «Березовский сыродельный комбинат», СП «Санта Брэмор» ООО и др.) показывает, что содержание органического вещества заметно больше (более 60 %) [13].

Осадки содержат также большое количество азота, фосфора и других элементов, необходимых растениям, но к ним следует добавлять калий, так как уровень его составляет в среднем 0,6 % сухого вещества [20].

Однако как удобрение со сложным агрохимическим составом ОСВ требуют особой степени изученности. Прежде чем осадок будет использован в сельском хозяйстве в качестве удобрения, он должен быть подвергнут тщательным анализам (химическому, физическому, санитарно-бактериологическому), а также соответствующей переработке.

Заинтересованность в производстве удобрений из ОСВ растет в странах Европы (например, в Норвегии и Нидерландах). Там предлагается обрабатывать осадок путем сушки и гранулирования либо сжигания и использования золы в качестве удобрения или сырья для производства удобрений [16].

Применение удобрений из ОСВ основано на ряде положительных факторов: увеличивается содержание органического вещества в почве, почвы насыщаются основаниями, имеют нейтральную реакцию, характеризуются высокой

обеспеченностю подвижными формами калия и фосфора [3, 22].

Цель исследования – изучить качественные характеристики ОСВ очистных сооружений белорусских перерабатывающих предприятий как потенциальных ингредиентов нетрадиционных органических удобрений.

Рассмотрим агрохимические свойства ОСВ следующих перерабатывающих предприятий: ОАО «Березовский сыродельный комбинат», ОАО «Верхнедвинский маслосырзавод», ОАО «Щучинский маслосырзавод», ОАО «Ляховичский молочный завод», ОАО «Поставский молочный завод», ОАО «Пружанский молочный комбинат», СП «Санта Бремор» ООО.

Анализ ОСВ перерабатывающих предприятий [4, 6–12] показал, что большинство образцов соответствует нормам, установленным к

свойствам ОСВ при использовании их в качестве удобрений (табл. 1).

Для оценки агрохимических характеристик ОСВ перерабатывающих предприятий в табл. 2 представлена информация по содержанию азота, фосфора и калия в осадках водоочистки предприятий и различных органических удобрениях [31] при естественной влажности.

Изученные образцы ОСВ имеют высокий уровень влажности. Наибольших значений он достигает в избыточном активном иле (ИАИ) ОАО «Поставский молочный завод» (99,12 %) и ОАО «Березовский сыродельный комбинат» (98,15 %). Влажность остальных образцов ОСВ находится в диапазоне 67,50–95,92 %. ОСВ характеризуются высоким содержанием органического вещества за исключением ОАО «Ляховичский молочный завод», ОСВ которого включают 61,25–97,00 %.

Таблица 1. Агрохимические показатели ОСВ перерабатывающих предприятий

ОСВ	Влажность, %	рН	Содержание, % на сухое вещество			
			органического в-ва	N _{общ.}	P ₂ O ₅	K ₂ O
ОАО «Березовский сыродельный комбинат» (флотошлам)	86,12	6,20	79,70	4,15	1,86	2,49
ОАО «Березовский сыродельный комбинат» (ИАИ)	98,15	6,40	97,00	0,90	4,72	3,39
ОАО «Верхнедвинский маслосырзавод»	82,96	5,10	92,59	4,03	1,48	0,87
ОАО «Щучинский маслосырзавод»	94,44	5,64	80,33	4,36	1,96	1,12
ОАО «Ляховичский молочный завод» (пруд-накопитель № 3)	–	6,15	2,72	0,83	0,20	0,06
ОАО «Ляховичский молочный завод» (пруд-накопитель № 6)	–	6,29	0,97	0,53	0,12	0,05
ОАО «Поставский молочный завод» (ИАИ)	99,12	6,20	61,25	–	2,10	1,04
ОАО «Поставский молочный завод» (флотошлам)	95,92	6,60	79,70	–	1,50	1,05
ОАО «Пружанский молочный комбинат» (ИАИ)	95,09	5,45	90,04	7,58	1,33	1,20
СП «Санта Бремор» ООО (флотошлам)	67,50	6,65	63,30	4,36	0,88	8,84
Норма для ОСВ [18]	–	5,50–8,50	–	≥ 0,6	≥ 1,5	–

Таблица 2. Агрономическая ценность органических удобрений и ОСВ

ОСВ / Удобрение	Влажность, %	Содержание, кг/т на естественную влажность		
		N _{общ.}	P ₂ O ₅	K ₂ O
ОСВ ОАО «Щучинский маслосырзавод»	94,44	2,42	1,09	0,62
Флотошлам ОАО «Березовский сыродельный комбинат»	86,12	5,76	2,58	3,46
ИАИ ОАО «Березовский сыродельный комбинат»	98,15	0,17	0,87	0,63
ОСВ «Верхнедвинский маслосырзавод»	82,96	6,87	2,52	1,48
ИАИ ОАО «Пружанский молочный комбинат»	95,09	3,72	0,65	0,59
Полужидкий навоз КРС	90,00	3,50	1,50	4,00
Жидкий навоз КРС	95,00	2,00	1,00	2,50
Жидкий навоз свиней	95,00	2,50	0,90	1,80
Навозные стоки КРС	98,00	0,70	0,40	0,70
Навозные стоки свиней	98,00	0,80	0,50	0,40
Птичий помет жидкий	95,00	3,00	2,50	1,00
Стоки птичьего помета	98,00	1,20	1,10	0,60

Содержание основных элементов питания растений в исследованных образцах ОСВ по азоту колеблется в пределах 0,53–7,58 %, фосфору (P_2O_5) – 0,12–4,72, калию (K_2O) – 0,05–8,84 %.

Существенные отличия в химическом составе имеют ОСВ, отобранные из прудов-накопителей ОАО «Ляховичский молочный завод». Это связано с технологией очистки сточных вод. В пруды-накопители поступают высококонцентрированные, содержащие сыворотку стоки. В илонакопителях происходит уплотнение и обезвоживание ОСВ, а также частичное перемешивание с минеральным грунтом.

Анализ приведенных данных показывает, что по содержанию питательных для растений веществ ОСВ рассматриваемых перерабатывающих предприятий практически не уступают традиционно применяемым органическим удобрениям.

Качество осадков в отношении тяжелых металлов (ТМ) определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии по содержанию следующих элементов: кадмия, хрома, меди, цинка, никеля, свинца, кобальта, марганца (табл. 3).

Содержание цинка и меди в абсолютно сухом ИАИ Поставского молочного завода превышает норму для почвы в 1,9 и 1,8 раза соответственно. При этом концентрации данных элементов соответствуют нормам, установленным для осадков. Содержание меди во флотошламе Поставского молочного завода немногого (в 1,1 раза) превышает ПДК для почв.

Содержание ТМ в остальных осадках не превышает ПДК для почв и ниже разрешенного ГОСТ Р 17.4.3.07–2001 для ОСВ при их использовании в качестве удобрений.

Большинство авторов отмечает, что прямая утилизация ОСВ несет за собой большие

экологические риски, принимая во внимание наличие микробиологического загрязнения и повышенных концентраций ТМ [1, 25, 26, 33].

В ОСВ могут содержаться шигеллы, сальмонеллы, микобактерии, вирусы и др. Поступив в почву вместе с осадками, патогены долго сохраняются в окружающей среде, что приводит к ухудшению санитарно-гигиенических показателей в почве. Кроме того, из-за наличия в составе осадков высокой доли органических веществ, ОСВ быстро загнивают. Поэтому использование ОСВ в качестве удобрений требует предварительной обработки, основными задачами которой являются стабилизация осадков и получение безопасного в санитарном отношении продукта.

Для использования ОСВ в качестве удобрений необходимо стабилизировать органическую составляющую осадков, обеспечить максимальное обеззараживание, снизить содержание ТМ. Применение технологии компостирования, по сравнению с другими видами обработки ОСВ, позволяет решить все перечисленные задачи. Ввиду значительного количества веществ, восприимчивых к процессу биодеградации, ОСВ могут быть субстратом для производства компостов. К тому же такой технологический прием переработки осадков не требует высоких материальных затрат. Правильно прокомпостированные осадки отличаются темным цветом и отсутствием неприятного запаха [15, 20].

ОСВ необходимо компостировать, добавляя различные материалы со структурообразующими свойствами (например, торф, солома, древесные отходы), что благотворно влияет на качество получаемого компоста и ускоряет процесс минерализации органического вещества.

Таблица 3. Содержание ТМ в ОСВ перерабатывающих предприятий

ОПСВ	Концентрация элемента на абсолютно сухую массу, мг/кг							
	Pb	Cd	Zn	Cu	Mn	Ni	Co	Cr
ОАО «Березовский сыродельный комбинат» (флотошлам)	5,77	0,035	38,87	1,21	36,2	6,03	0,85	7,52
ОАО «Березовский сыродельный комбинат» (ИАИ)	1,01	0,015	14,5	1,12	4,68	0,61	0,14	6,78
ОАО «Верхедвинский маслосырзавод»	1,54	–	26,3	18,1	35,62	4,02	–	9,99
ОАО «Щучинский маслосырзавод»	0,76	0,03	31,4	3,79	13,49	1,57	0,28	10,68
ОАО «Ляховичский молочный завод» (пруд-накопитель № 3)	5,60	–	45,08	8,06	28,34	4,05	2,29	8,86
ОАО «Ляховичский молочный завод» (пруд-накопитель № 6)	1,38	–	26,51	2,19	13,19	2,20	1,06	10,70
ОАО «Поставский молочный завод» (ИАИ)	1,44	–	188,96	97,55	658,47	–	–	–
ОАО «Поставский молочный завод» (флотошлам)	–	–	53,04	60,51	50,89	–	–	–
СП «Санта Бремор» ООО (флотошлам)	16,87	0,64	34,18	3,99	77,51	4,63	4,87	6,87
ПДК для почв (валовые формы) [19]	30	0,5	100	55	1500	85	20	100
ПДК для осадков группы I [18]	250	15	1750	750	–	200	–	500

Потенциальными ингредиентами компостов с ОСВ могут являться некоторые нетоксичные и малотоксичные (не выше 4-го класса опасности) отходы пищевой, целлюлозно-бумажной, деревообрабатывающей и других отраслей промышленности. К примеру, смешивание в определенном объемном соотношении ОСВ с органическим компонентом в виде пивной дробины (отход предприятий пивоваренной промышленности) с последующим аэробным компостированием смеси позволяет получить органическое удобрение с невысокой себестоимостью [29, 30].

Древесные опилки обладают полезным свойством поглощать в больших количествах питательные вещества, что позволяет с успехом использовать их для приготовления компостов. Поскольку опилки содержат в себе много углерода, они подходят для компостирования с богатыми азотом ОСВ. При компостировании ОСВ с опилками потери азота сокращаются. Совместная переработка осадков и опилок позволяет получить недорогое экологически безопасное органическое удобрение [27–29].

Древесная кора, как и другие лесные отходы, также находит применение при получении компостов. Существенный ее недостаток состоит в том, что кора содержит мало усвояемого азота, поэтому при внесении ее в почву возникает азотное голодание растений вследствие потребления азота микроорганизмами, разлагающими кору. Именно поэтому древесная кора является хорошим субстратом для компостирования с активным илом из биоотстойников очистных сооружений, который богат азотистыми соединениями [17]. В качестве энергетического материала для микроорганизмов с целью повышения температуры компостируемых компонентов можно использовать костру льна, которая образуется как отход производства при механической обработке сырья на машинах и по химическому составу сходна с древесиной [14, 32]. В костре льна содержится около 0,45 % азота, 0,06 % фосфора и 0,36 % калия. Она практически не инфицирована микроорганизмами. Костра обладает высокой сорбционной способностью, обеспечивающей пролонгированное действие компостов, низкой плотностью, повышенным содержанием гумусообразующих веществ, отсутствием семян сорных растений и повышенной разогреваемостью в компостах.

Еще одним компонентом удобрений на основе ОСВ может служить жом свекловичный – побочный продукт производства сахара из свеклы, представляющий собой обессахаренную свекловичную стружку серого цвета. Свежий свекловичный жом имеет влажность 92–95 %. В его состав входят, % к общей массе: пектиновые вещества – 48–50, целлюлоза – 22–25, гемицеллюлозы – 21–23, азот – 1,8–2,5, зола – 0,8–1,3, сахара – 0,15–0,20. Выход жома составляет 70–90 % от массы переработанной сахарной свеклы. Производство сахара из свеклы осу-

ществляется всего несколько месяцев в году, поэтому за сравнительно короткий период времени образуются десятки и даже тысячи тонн данного отхода [2, 21].

В Полесском аграрно-экологическом институте НАН Беларуси на протяжении нескольких лет проводятся исследования свойств ОСВ и способов их нейтрализации и обеззараживания. Наработанный опыт позволил разработать технические условия на органические удобрения на основе осадков локальных очистных сооружений перерабатывающих предприятий путем компостирования (ТУ BY 200656098.071–2016 – «Экофитограник», ТУ BY 200022701.182–2016 – «Органик-1», ТУ BY 200022701.183–2016 – «Органик-2», ТУ BY 300061219.014–2017 – «Ульянка-Эко») [5, 23].

Для создания пористой структуры и необходимой влажности компостирование ОСВ осуществляют с наполнителями, в качестве которых используют отход сахарного производства (фильтрационный осадок) и доломитовую муку (для компста на основе ОСВ ОАО «Верхедвинский маслосырзавод»).

Фильтрационный осадок (дефекат) образуется в процессе дефекации сахарного сока – очистки сырого свекловичного сока от примесей, которые препятствуют концентрации и кристаллизации сахара. Дефекация осуществляется смешиванием сахарного сока с негашеной известью (CaO), которая, окисляя и коагулируя нежелательные примеси, осаждает их на дно дефекаторов. Выход дефеката составляет 8–12 % от всего объема перерабатываемой свеклы. Состав дефеката варьируется в зависимости от вида сырья и типа производства.

Результаты химического анализа дефеката Жабинковского сахарного завода и Скидельского сахарного комбината (табл. 4) показали, что содержание органического вещества составляет 7,74–19,68 %, общего азота – 0,28–0,45, подвижного фосфора – 0,04–0,19, калия 0,02 %; pH данного вида отходов находится в диапазоне 8,96–9,70.

Таблица 4. Качественный состав дефеката, %

Показатель	ОАО «Жабинковский сахарный завод»	ОАО «Скидельский сахарный комбинат
Влажность	–	30,66
Зольность	92,27	80,32
Органическое вещество	7,74	19,68
pH	9,70	8,96–9,70
Общий азот	0,28	0,45
Подвижный фосфор, P_2O_5	0,19	0,04
Подвижный калий, K_2O	0,02	0,02
Содержание кар- бонатов Ca и Mg	72,88	–

Таблица 5. Агрохимическая характеристика органических удобрений на основе ОСВ

Удобрение	Влажность, %	рН _{KCl}	Содержание, % на абсолютно сухое вещество			
			органического в-ва	N _{общ}	P ₂ O ₅	K ₂ O
«Органик-1»	≤ 75	7,0–7,5	≥ 40	≥ 3,5	≥ 2,0	≥ 2,0
«Органик-2»	≤ 75	7,0–7,5		≥ 3,5	≥ 2,0	≥ 2,0
«Экофитограник»	35–65	6,5–7,5		≥ 3,4	≥ 2,2	≥ 1,8
«Ульянка-Эко»	≤ 80	6,5–8,0		≥ 3,0	≥ 2,0	≥ 1,7
«Эко-Диво»	≤ 80	6,2–8,2		≥ 1,5	≥ 1,2	≥ 0,7

Доломитовую муку получают размолом доломита, который содержит 25–32% CaO и 17–21 % MgO (в среднем 95 % действующего вещества в пересчете на CaCO₃), влажность – менее 1 %. Это основной известковый мелиорант в нашей республике, производимый витебским ОАО «Доломит». Доломитовая мука является очень хорошим известковым удобрением для многих сельскохозяйственных культур (свеклы, клевера, люцерны, гречихи, моркови, лука и др.). Особенno эффективно ее применение на бедных магнием песчаных и супесчаных почвах [24].

Трансформация ОСВ в процессе компостирования – сложный динамический биохимический процесс, при котором происходят минерализация и гумификация органического вещества. Специфика трансформации органического вещества в аэробных условиях заключается в преобладании процесса минерализации [26].

В табл. 5 приведена агрохимическая характеристика органических удобрений, полученных на основе флотошлама («Органик-1» и ИАИ ЛОС ОАО «Березовский сыродельный комбинат» – «Органик-2», ОСВ ЛОС СП «Санта Бремор» ООО – «Экофитограник», ОСВ ЛОС ОАО «Верхнедвинский маслосырзавод» – «Ульянка-Эко», ОСВ ЛОС ОАО «Щучинский маслосырзавод» – «Эко-Диво»), из которой видно, что органические удобрения, полученные вследствие сложных биохимических превращений в процессе компостирования, отличаются по составу от исходного сырья. Результаты анализов химического состава полученных удобрений по обеспеченности питательными веществами подтверждают их удобрительную ценность. В сухом ве-

ществе они содержат не менее 40 % органического вещества, 1,5 % общего азота, 1,2 % подвижных соединений фосфора, 0,7 % подвижных соединений калия и имеют pH 6,2–8,2.

Полученные органические удобрения для сельскохозяйственных культур на основе ОСВ перерабатывающих предприятий обладают последействием в течение 2–3 лет. Их вносят в почву с помощью оборудования для внесения органических удобрений. Удобрения на основе ОСВ содержат все необходимые растениям питательные вещества и микроэлементы, обеспечивают сбалансированное питание сельскохозяйственных культур и создают условия для получения экологически чистой продукции.

Выводы.

1. ОСВ перерабатывающих предприятий характеризуются высоким содержанием органического вещества и ценных питательных компонентов для растений, поэтому могут использоваться как компоненты при производстве органических удобрений.

2. Одним из способов, позволяющих улучшить технологические, физические и физико-химические свойства ОСВ и сделать их наиболее приемлемыми для использования в качестве удобрения, является компостирование.

3. Применение компостов на основе ОСВ рыбо- и молокоперерабатывающих предприятий является экологически безопасным методом утилизации осадков. Такие компости представляют собой эффективные удобрения с содержанием азота не менее 1,5 %, фосфора – 1,2 %, калия – 0,7 % при расчете на абсолютно сухое вещество.

Литература

1. Влияние ОСВ на почву / В. А. Касатиков [и др.] // Химизация сельского хозяйства. – 1991. – № 2. – С. 45–47.
2. Демина, Н. В. Возможность использования вторичных сырьевых ресурсов свеклосахарного производства для дальнейшей переработки / Н. В. Демина, Л. В. Донченко, С. Е. Ковалева // Научный журнал Кубанского ГАУ. – 2006. – № 2. – С. 58–62.
3. Зотов, Н. И. К вопросу об использовании осадков бытовых сточных вод в сельском хозяйстве / Н. И. Зотов, С. Р. Суслов // Вестн. Донбасс. Нац. акад. строительства и архитектуры. – 2010. – № 3 (83). – С. 214–221.
4. Исследование качественных и количественных характеристик обезвоженного осадка локальных очистных сооружений СП «Санта Бремор» ООО с целью разработки способов их применения в качестве

удобрения : отчет о НИР (промежут.) / Нац. акад. наук Беларуси, Полесский аграрно-эколог. ин-т ; рук. А. Н. Лицкевич. – Брест, 2014. – 29 с. – № ГР 20132320.

5. **Исследование** качественных и количественных характеристик обезвоженного осадка локальных очистных сооружений СП «Санта Бремор» ООО с целью разработки способов их применения в качестве удобрения : отчет о НИР (заключит.) / Нац. акад. наук Беларуси, Полесский аграрно-эколог. ин-т ; рук. А. Н. Лицкевич. – Брест, 2016. – 53 с. – № ГР 20132320.

6. **Исследование** осадков производственных сточных вод очистных сооружений ОАО «Щучинский маслосырзавод» и разработка способов их применения в качестве удобрительных компонентов : отчет о НИР (промежут.) / Полесский аграрно-экологический ин-т НАН Беларуси ; рук. А. Н. Лицкевич. – Брест, 2015. – 41 с. – № ГР 20150092.

7. **Исследование** осадков производственных сточных вод очистных сооружений ОАО «Щучинский маслосырзавод» и разработка способов их применения в качестве удобрительных компонентов : отчет о НИР (промежут.) / Нац. акад. наук Беларуси, Полесский аграрно-эколог. ин-т ; рук. А. Н. Лицкевич. – Брест, 2016. – 32 с. – № ГР 20150092.

8. **Исследование** системы очистки производственных сточных вод СОАО «Ляховичский молочный завод» и разработка мероприятий по оптимизации структуры очистных сооружений предприятия : отчет о НИР (заключит.) / Нац. акад. наук Беларуси, Полесский аграрно-эколог. ин-т ; рук. А.Н. Лицкевич. – Брест, 2016. – 33 с. – № ГР 20151939.

9. **Исследование** химического состава и свойств осадков производственных сточных вод и разработка способов его использования в качестве почвоулучшающих добавок : отчет о НИР (промежут.) / Нац. акад. наук Беларуси, Полесский аграрно-эколог. ин-т ; рук. А.Н. Лицкевич. – Брест, 2011. – 43 с. – № ГР 20115534.

10. **Исследование** химического состава и свойств осадков производственных сточных вод и разработка способов его использования в качестве почвоулучшающих добавок : отчет о НИР (заключит.) / Нац. акад. наук Беларуси, Полесский аграрно-эколог. ин-т ; рук. А. Н. Лицкевич. – Брест, 2013. – 44 с. – № ГР 20115534.

11. **Исследование** химического состава и свойств осадков производственных сточных вод и разработка способов его использования в качестве органических удобрений : отчет о НИР (промежут.) / Нац. акад. наук Беларуси, Полесский аграрно-эколог. ин-т ; рук. А. Н. Лицкевич. – Брест, 2014. – 44 с. – № ГР 20132566.

12. **Исследовать** эффективность работы локальных очистных сооружений ОАО «Пружанский молочный комбинат» и разработать рекомендации по их реконструкции и модернизации : отчет о НИР (заключит.) / Нац. акад. наук Беларуси, Полесский аграрно-эколог. ин-т ; рук. В. Н. Яромский. – Брест, 2009. – 58 с. – № ГР 20093312.

13. **Комплексная** научно-техническая программа совершенствования систем водопользования в АПК Белорусского Полесья : отчет о НИР (заключит.) / Нац. акад. наук Беларуси, Полесский аграрно-эколог. ин-т ; рук. В. Н. Яромский. – Брест, 2011. – 191 с. – № ГР 20066089.

14. **Марков, В. В.** Первичная обработка льна и других лубяных культур / В. В. Марков. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 375 с.

15. **Марцуль, В. Н.** Современные методы стабилизации осадков сточных вод : обзорная информ. / В. Н. Марцуль, А. В. Лихачева. – Минск : ОДО «ЛОРАНЖ-2», 2001. – 48 с.

16. **Обработка** осадков сточных вод: полезный опыт и практические советы / Ян-Эрик Люфт [и др.]. – 2012. – 125 с.

17. **Орлов, Д. С.** Экология и охрана биосфера при химическом загрязнении : учеб. пособие для хим., хим.-технол. и биолог. спец. вузов / Д. С. Орлов, Д. К. Садовникова, И. Н. Лозановская. – М. : Вышш. шк., 2002. – 334 с.

18. **Охрана** природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений : ГОСТ Р 17.4.3.07–2001. – Введ. 23.01.01. – М. : Госстандарт России, 2001. – 5 с.

19. **Оценка** природно-хозяйственного потенциала и разработка направлений экологической реабилитации нарушенных и деградированных земель в западной части Полесья на основе рационального использования неопасных отходов : отчет о НИР (заключит.) / Нац. акад. наук Беларуси, Полесский аграрно-эколог. ин-т ; рук. Н. В. Михальчук. – Брест, 2013. – 223 с. – № ГР 20114203.

20. **Пахненко, Е. П.** Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения : учеб. пособие / Е. П. Пахненко. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 311 с.

21. **Погорелова, Ю. Н.** Новые направления использования свекловичного жома в Республике Беларусь / Ю. Н. Погорелова, Ж. В. Бондаренко // Тр. БГТУ. Сер. 4 : Химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2009. – Т. 1, № 4. – С. 266–269.

22. **Прикладная** экобиотехнология : учеб. пособие : в 2 т. / А. Е. Кузнецов [и др.]. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – Т. 1. – 629 с.

23. **Разработка** рекомендаций по применению почвоулучшающих компонентов с использованием осадков производственных сточных вод ОАО «Березовский сыродельный комбинат» и подготовка технических условий для осуществления производства почвоулучшающих добавок : отчет о НИР (заключит.) / Нац. акад. наук Беларуси, Полесский аграрно-эколог. ин-т ; рук. А.Н. Лицкевич. – Брест, 2016. – 31 с. – № ГР 20161594.

24. **Рациональное** применение удобрений : пособие / И. Р. Вильдфлущ. – Горки : Белорус. гос. с.-х. акад., 2002. – 324 с.

25. Садовникова, Л. К. Влияние осадков сточных вод и извести на подвижность соединений тяжелых металлов в дерново-подзолистой почве / Л. К. Садовникова, М. В. Касатиков // Агрохимия. – 1995. – № 6. – С. 81–87.
26. Скрыльник, Е. В. Трансформация органического вещества осадков сточных вод в процессе биоконверсии / Е. В. Скрыльник, В. А. Гетманенко // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 1 (54). – С. 172–179.
27. Способ получения органоминерального удобрения из осадков сточных вод с помощью компостирования: пат. RU 2489414 / С. В. Давлетова, А. В. Калякин, В. И. Левин, Т. В. Хабарова. – Опубл. 10.08.2013.
28. Способ приготовления компоста из осадка сточных вод (варианты) : пат. RU 2513558 / И. Н. Барановский, Т. И. Смирнова ; дата публ.: 20.04.2014.
29. Способ приготовления компоста из осадка сточных вод с применением фототрофных бактерий : пат. RU 2494083 / Г. Н. Ганин, О. А. Кириенко ; дата публ.: 27.09.2013.
30. Способ приготовления органического удобрения из осадка сточных вод (варианты) : пат. RU 2299872 / Х. М. Тен, Г. Н. Ганин ; дата публ.: 27.05.2007.
31. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.] ; под ред. В. В. Лапа. – Минск : Беларус. наука, 2007. – 390 с.
32. Суслов, Н. Н. Проектирование предприятий первичной обработки лубяных волокон / Н. Н. Суслов. – М. : Легкая индустрия, 1973. – 375 с.
33. Sommers, L. E. Chemical composition of sewage sludge and analysis of their potential use as fertilizer / L. E. Sommers // J. Environ. Quality. – 1997. – № 6. – Р. 225–232.

¹Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь

²Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 10.04.2017 г.

А. Н. Лицкевич, М. В. Гулькович, О. А. Черничко,
А. И. Хинич, М. М. Дашкевич

ОСАДКИ СТОЧНЫХ ВОД ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ КАК КОМПОНЕНТЫ ПРОИЗВОДСТВА ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

Рассмотрена возможность использования осадков сточных вод перерабатывающих предприятий в качестве компонентов для производства органических удобрений. Оценена степень загрязненности осадков сточных вод солями тяжелых металлов. Предложены материалы, которые могут служить наполнителями при компостировании осадков сточных вод. Приведены данные по агрономической ценности органических удобрений, полученных из осадков с очистных сооружений перерабатывающих предприятий.

A. N. Litskevich, M. V. Gulkovich, O. A. Chernichko,
A. I. Khinich, M. M. Dashkevich

SEWAGE SEDIMENTS OF PROCESSING PLANTS AS COMPONENTS FOR THE PRODUCTION OF ORGANIC FERTILIZERS

The possibility of using sewage sludge from processing plants as components for the production of organic fertilizers is considered. The degree of sewage sludge contamination by the salts of heavy metals is estimated. Materials that can serve as fillers in the composting of sewage sludge are suggested. Agronomic value data of organic fertilizers obtained from sludge of sewage treatment plant of processing enterprises are given.

**Г. В. Наумова¹, А. Э. Томсон¹, Н. А. Жмакова¹, Н. Л. Макарова¹,
Т. Ф. Овчинникова¹, А. И. Козинец²**

ВЛИЯНИЕ ГУМАТ- И ПЕКТИНСОДЕРЖАЩИХ ПРЕПАРАТОВ НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ И РЕЗИСТЕНТНОСТЬ ОРГАНИЗМА ЖИВОТНЫХ

Исследования биохимических и морфологических показателей крови сельскохозяйственных животных (поросыята-отъемыши и высокопродуктивные коровы), получавших в качестве биологически активной кормовой добавки к основному рациону гумат- и пектинсодержащий препарат, позволили установить их положительное влияние на уровень содержания в ней эритроцитов и общего белка при одновременном повышении бактерицидной и антителообразующей способности сыворотки крови, поднимая иммунитет животных.

В экономике нашей республики важное место занимает животноводство, и основная часть экспорта агропромышленного комплекса приходится на мясомолочную промышленность. Производство молока в 2015 г. в целом по стране достигло 7 млн т, а мяса – 1,2 млн т [6]. К 2020 г. перед животноводством Беларуси поставлена задача существенно повысить достигнутые показатели, что потребует не только увеличения поголовья, но и существенного повышения продуктивности животных. Это в первую очередь требует улучшения качества кормов и применения в животноводстве эффективных кормовых добавок, положительно воздействующих на увеличение привесов животных и качество получаемой продукции.

В настоящее время в мировой практике в качестве кормовых добавок животным используется целый спектр органических и минеральных веществ, пополняющих кормовые рационы микроэлементами, витаминами, сахарами, белками, аминокислотами. Однако многие из них необходимо закупать за рубежом, что существенно повышает себестоимость получаемой продукции.

Особое место среди кормовых добавок занимают вещества, улучшающие усвоение основного рациона и повышающие резистентность организма животных.

В качестве сырья для получения таких кормовых добавок может использоваться торф, богатый гуминовыми веществами, широко распространенный в условиях Беларуси, а также отходы пивоваренного производства – ростки солода, обогащенные пектинами и другими биологически активными веществами.

При оценке торфа как источника биологически активных веществ, способных оказывать положительное воздействие на иммунную систему организма, представлялось целесообразным в первую очередь обратить внимание на его гуминовые вещества, а в ростках солода – на так называемые кислые полисахариды, входящие в

состав их пектинового комплекса. Именно эти компоненты, согласно нашим предыдущим исследованиям, проведенным совместно с Институтом микробиологии и вирусологии Министерства здравоохранения Республики Беларусь и Институтом онкологии и радиационной медицины Министерства здравоохранения Республики Беларусь проявляют противовирусную и противоопухолевую, иммуностимулирующую активность [2–4], а в растениеводстве положительно зарекомендовали себя как регуляторы роста растений [5].

Для выделения гуминовых кислот использовали сфагновый магелланум-торф со степенью разложения 25 %, в котором в значительном количестве присутствовали гуминовые вещества (32,5 %), а для выделения полисахаридов пектиновой природы применяли ростки солода, содержащие до 18 % пектинов.

Как научный, так и практический интерес представляли исследования, направленные на сравнительную оценку влияния гуминовых кислот и пектинов на гематологические показатели периферической крови лабораторных животных.

Гуминовые вещества выделяли методом щелочной экстракции торфа 0,1 н. раствором гидроксида натрия, а затем разделяли на фульво- и гуминовые кислоты путем осаждения последних в кислой среде при pH 2,0. Пектин выделяли из ростков солода в соответствии с методикой, представленной в работе [1].

Иммунологические свойства выделенных фракций изучали совместно с РНПЦ «Научно-практический центр гигиены» на лабораторных животных (белые крысы).

Гуминовые кислоты и пектинги вводили в желудок белых крыс (12 животных в каждой группе) в дозе по 1500 мг на 1 кг живой массы 5 раз в неделю на протяжении 30 суток.

Установлено, что введение этих соединений в желудок белых крыс в указанной дозе в условиях 30-суточного опыта заметно влияет на

гомеостаз их организма. Как видно из данных, приведенных в табл. 1, у опытных животных увеличивается цветной показатель крови на 5,6 % для фракций гуминовых веществ и на 11,1 % для фракций пектинов.

Положительно изменяются и другие показатели крови белых крыс в опытных вариантах. Так, содержание эритроцитов в контроле составляет 5,4 млн/ мм^3 , а в опытах с гуминовыми кислотами и пектинами – 6,5 и 6,2 млн/ мм^3 соответственно. Характерно, что под воздействием этих же фракций в крови повышается содержание лейкоцитов и лимфоцитов. Это более выражено для фракций гуминовых кислот, где содержание лейкоцитов увеличивается на 16,7 %, а лимфоцитов – на 20,9 %, в то время как для пектинов эти показатели составляют 4,1 и 9,9 % соответственно.

Одновременно, как показано на рис. 1, возрастает активность каталазы в сыворотке крови с 28,0 мкг кат/л в контроле до 29,5 мкг кат/л в опытах с пектинами и до 30,2 мкг кат/л в случае применения гуминовых кислот.

Таким образом, лабораторные исследования по изучению гематологических показателей у подопытных животных (белые крысы), которые получали перорально в течение месяца в качестве добавок к кормам гуминовые кислоты и пектин, позволили установить, что под влиянием этих фракций происходят существенные сдвиги в

сторону повышения резистентности животных.

Значительный научный интерес представляло изучение воздействия на гуморальные факторы сельскохозяйственных животных при применении в их рационах в качестве кормовых добавок продуктов гидролиза и окисления торфа, а также гидролизата ростков солода.

Гидролиз торфа и ростков солода проводили на опытном реакторе в две стадии в кислой (серная кислота) и щелочной (едкий натр) средах при повышенной температуре и избыточном давлении с последующим удалением твердого остатка после фильтрации. На указанном реакторе был получен также оксидат торфа. Окисление торфа осуществляли пероксидом водорода в щелочной среде в присутствии катализатора при избыточном давлении и повышенной температуре. Оксидат (жидкая фаза) отделяли путем фильтрования.

Химическая характеристика полученных гидролизатов и оксидата представлена в табл. 2, из которой видно, что продукты гидролитической и окислительной деструкции торфа содержат высокий процент гуминовых кислот (67,9 и 47,6 % на органическую массу соответственно) и незначительный – пектинов (2,1 и 4,3 % на органическую массу соответственно), в то время как гидролизат ростков солода включает в свой состав 10,8 % пектинов. В оксидате торфа также присутствуют карбоновые кислоты (17,2 %).

Таблица 1. Гематологические показатели периферической крови белых крыс при внутрижелудочном введении выделенных фракций

Исследуемая фракция	Гематологические показатели крови					
	Цветной показатель		Эритроциты		Lейкоциты	Лимфоциты
	усл. ед.	% к контролю	млн/ мм^3	% к контролю	$10^9/\text{л}$	
Контроль (дистиллированная вода)	$0,720 \pm 0,009$	–	$5,40 \pm 0,18$	–	$7,78 \pm 0,24$	$5,01 \pm 0,26$
Гуминовые кислоты	$0,760 \pm 0,009$	5,60	$6,50 \pm 0,12$	20,40	$9,08 \pm 0,06$	$6,06 \pm 0,16$
Пектин	$0,800 \pm 0,003$	11,10	$6,20 \pm 0,05$	14,81	$8,10 \pm 0,03$	$5,50 \pm 0,14$

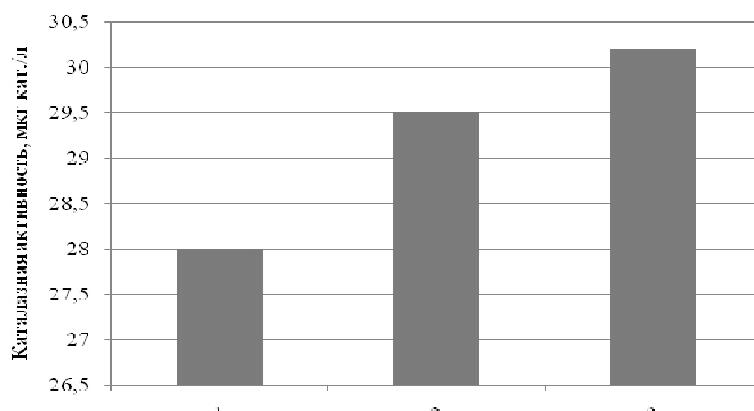


Рис. 1. Каталазная активность сыворотки крови у лабораторных животных:
1 – контроль; 2 – пектин; 3 – гуминовые кислоты

Таблица 2. Химическая характеристика исследуемых гидролизатов и оксидата

Компонент	Гидролизат		Оксидат торфа
	торфа	ростков солода	
	Содержание компонентов, % в препарате		
Органические вещества	5,30	4,80	4,20
Гуминовые кислоты	3,60	—	2,00
Меланоидины	1,10	3,50	—
Свободные фенольные соединения	0,15	0,12	0,21
Фенолкарбоновые кислоты	0,08	0,01	0,12
Карбоновые кислоты	0,16	0,11	0,75
Пектины	0,11	0,52	0,18
Аминокислоты	0,16	0,11	—

Полученные гидролизаты и оксидат были испытаны в качестве биологически активных кормовых добавок для поросят-отъемышей. В опытах оценивалось их влияние на продуктивность и резистентность организма молодых животных. Животные опытных групп (по 10 голов) получали дополнительно к кормам суточного рациона новые препараты в дозе 0,5 мл/кг живой массы.

Было показано, что при введении исследуемых биологически активных препаратов в рацион животных наблюдалась тенденция к более интенсивному росту их массы. Так, у поросят, потреблявших в качестве добавки в комбикорм гидролизаты торфа и ростков солода, среднесуточные привесы за первый месяц опыта составили 570 и 578 г, что на 37 и 45 г выше аналогичного показателя в контрольной группе. В другой опытной группе, где в качестве добавки использовали оксидат торфа, за первый месяц откорма произошло некоторое снижение среднесуточных приростов по сравнению с контролем, что, по-видимому, связано с более длительной адаптацией их к новой добавке, однако случаев отказа от корма и заболеваний не наблюдалось.

Результаты откорма поросят в течение 4 месяцев показали, что наиболее эффективными добавками оказались гидролизаты торфа и ростков солода, живая масса у животных этих групп составляла 63,9 и 63,7 кг соответственно.

Изучение крови подопытных животных выявило, что скармливание поросятам исследуемых биологически активных препаратов не оказалось отрицательного влияния на ее состав.

Морфологические и биохимические показатели крови у подопытных поросят находились

в пределах нормы. При этом отмечена тенденция повышения содержания эритроцитов и глюкозы у животных, получавших гидролизат торфа, на 16,7 и 20,8 % соответственно, а для гидролизатов ростков солода – 15,6 и 20,3 % соответственно (табл. 3).

Обращает на себя внимание более высокое содержание белка в крови поросят опытных групп (47,9 г/л – в контроле и 55,9–57,9 г/л – в опытных группах), что также является положительным фактором.

Содержание мочевины, кальция и фосфора в крови поросят в контрольном и опытных вариантах после окончания эксперимента находились в пределах нормы и заметных изменений в их составе не происходило.

О положительном влиянии исследуемых гидролизатов и оксидата на резистентность организма опытных животных можно говорить, судя по таким гуморальным показателям крови, как бактерицидная активность ее сыворотки, а также антителообразующая активность. Как видно из приведенных на рис. 2 и 3 данных, бактерицидная активность крови испытуемых животных после четырех месяцев эксперимента имела наиболее высокий показатель у опытных поросят, получавших в составе кормового рациона гидролизат торфа и составляла 54,7 %, в то время как в контроле он находился на уровне 50,8 %. Сравнительно высокий показатель бактерицидной активности крови был также у поросят, получавших с кормом гидролизат ростков солода (53,7 %), в то время как в опытах с оксидатом торфа он составлял не более 52,2 %, хотя существенно превышал этот показатель в контрольной группе.

Таблица 3. Морфологические показатели крови подопытных поросят

Показатель	Группы			
	1 (контроль)	2 (гидролизат торфа)	3 (гидролизат ростков солода)	4 (оксидат торфа)
Эритроциты, млн/мм ³	5,36 ± 0,88	6,2 ± 0,58	6,7 ± 0,58	6,7 ± 0,92
Гемоглобин, г/л	10,90 ± 1,45	7,62 ± 1,18	9,50 ± 1,71	8,23 ± 1,65
Общий белок, г/л	47,90 ± 5,0	57,90 ± 6,7	57,40 ± 8,0	55,90 ± 3,3
Глюкоза, мг%	21,60 ± 3,30	19,20 ± 2,67	17,20 ± 2,33	39,20 ± 6,30
Мочевина, мг%	8,39 ± 0,28	7,36 ± 0,42	8,03 ± 0,13	7,94 ± 0,18
Кальций, мг%	10,32 ± 0,10	10,44 ± 0,07	10,08 ± 0,05	10,64 ± 0,07
Фосфор, мг%	4,90 ± 0,56	5,60 ± 0,67	4,40 ± 0,23	4,40 ± 0,13

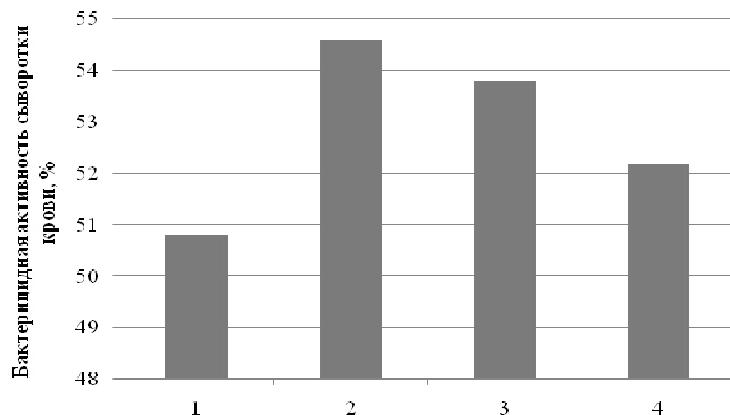


Рис. 2. Бактерицидная активность сыворотки крови поросят: 1 – контроль; 2 – гидролизат торфа; 3 – гидролизат ростков солода; 4 – оксидат торфа

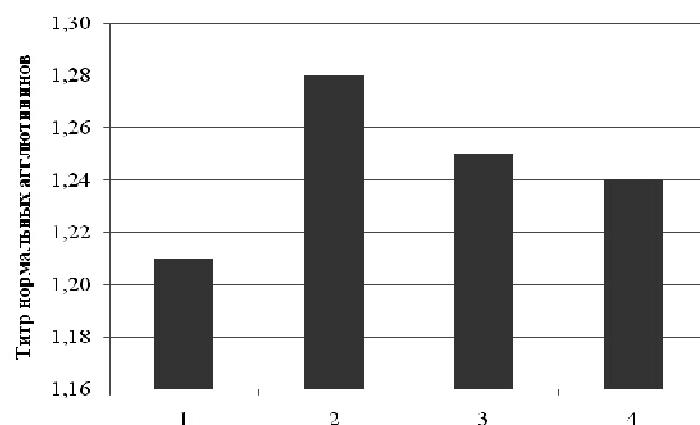


Рис. 3. Антилогообразующая способность сыворотки крови подопытных животных: 1 – контроль; 2 – гидролизат торфа; 3 – гидролизат ростков солода; 4 – оксидат торфа

Показатель антилогообразующей способности сыворотки крови после окончания эксперимента у контрольных и опытных животных также заметно отличался (см. рис. 3). Если в контрольном варианте сыворотка крови поросят, судя по титру нормальных агглютининов, антилогообразующая способность составляла 1,21, то в случае с подкормкой животных гидролизатом торфа и ростков солода этот показатель находился на уровне 1,28 и 1,25 соответственно. Немного ниже он оказался при подкормке животных оксидатом торфа – 1,24.

Обобщение результатов проведенного эксперимента позволяет утверждать, что биологически активные препараты гуминовой и пектиновой природы положительно влияют не только на продуктивность молодняка животных, но и на их резистентность (за счет улучшения гуморальных показателей крови).

Учитывая положительные результаты проведенных опытов, Институтом природопользования НАН Беларуси совместно с РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству» была разработана

кормовая добавка, получаемая методом совместной гидролитической деструкции торфа и ростков солода, испытание которой на коровах показало ее положительное влияние на их продуктивность. Новая кормовая добавка вводилась в рацион животных в дополнение к комбикорму в количестве 100 мл в сутки. Так использование новой кормовой добавки в рационах высокопродуктивных коров способствовало увеличению среднесуточного удоя на 8,3 %, повышению качества молока по жиру на 0,2 %, по белку – на 0,05 % при одновременном снижении нитратов в молоке на 19,5 %, что было ниже контрольных результатов на 18,8 %.

При изучении морфологических и биохимических показателей крови у опытных животных в период раздоя установлено, что к концу эксперимента заметно снижается содержание эритроцитов в крови как у опытных ($6,10 \text{ млн}/\text{мм}^3$), так и у контрольных животных ($5,92 \text{ млн}/\text{мм}^3$), однако у опытных оно остается на более высоком уровне (табл. 4).

Таблица 4. Морфологические и биохимические показатели крови коров

Показатель	Группа					
	контрольная			опытная		
	начало	один месяц	два месяца	начало	один месяц	два месяца
Эритроциты, млн/мм ³	6,45 ± 0,59	5,23 ± 0,11	5,92 ± 0,24	6,30 ± 0,54	5,50 ± 0,06	6,10 ± 0,44
Гемоглобин, г/л	14,3 ± 0,64	10,1 ± 0,50	9,7 ± 0,55	12,9 ± 0,38	9,95 ± 0,36	10,9 ± 0,66
Общий белок, г/л	86,7 ± 1,68	81,2 ± 2,39	82,2 ± 2,39	86,9 ± 2,53	84,7 ± 3,16	89,6 ± 3,74
Глюкоза, мкМ/л	5,45 ± 0,272	3,83 ± 0,103	3,82 ± 0,103	5,43 ± 0,240	3,98 ± 0,280	4,82 ± 0,190**
Мочевина, мкМ/л	4,38 ± 0,35	6,65 ± 1,05	6,65 ± 0,15	4,83 ± 0,33	6,50 ± 0,49	6,22 ± 0,81
Кислотная емкость, мг%/л	450 ± 10,0	420 ± 8,2	455 ± 17,1	440 ± 8,2	450 ± 23,8*	465 ± 9,8
Билирубин, мкМ/л	5,10 ± 0,48	6,60 ± 0,93	6,60 ± 0,93	9,08 ± 1,27	5,18 ± 0,78	6,33 ± 0,73
Холестерин, мкМ/л	3,90 ± 0,23	4,68 ± 0,70	4,67 ± 0,70	4,03 ± 0,27	5,40 ± 0,62	5,08 ± 0,64
Витамин А, мг%	1,94 ± 0,09	1,63 ± 0,04	1,69 ± 0,06	2,06 ± 0,05	1,64 ± 0,03	1,54 ± 0,06
Каротин, мг%	0,58 ± 0,17	0,77 ± 0,06	1,06 ± 0,18	0,71 ± 0,12	0,82 ± 0,13	0,79 ± 0,02

* P < 0,05.

** P < 0,01.

Применение новой кормовой добавки существенно не влияет на содержание гемоглобина, что свидетельствует о нормальном течении биохимических процессов, однако после двух месяцев эксперимента этот показатель у опытных коров составляет 10,9 г/л, а у контрольных – лишь 9,7 г/л.

Как правило, у коров в период раздоя с возрастанием интенсивности молокообразования падает уровень белкового обмена в крови, что и наблюдалось у контрольных животных. Если до начала эксперимента показатель протеина у крови контрольных животных соответствовал биохимической норме (86,7 г/л), то в конце эксперимента он составлял только 82,2 г/л, в опытной же группе этот показатель увеличивался с 86,9 до 89,6 г/л.

Содержание протеина у контрольных и опытных животных определено также через месяц после окончания эксперимента. Установлено, что у контрольных животных содержание протеина сохраняется на прежнем уровне, а у опытных коров возрастает на 9,0 %, что свидетельствует о последействии кормовой добавки.

Как известно, к ядовитым веществам, образующимся в организме животных в качестве метаболита, относится билирубин. Результаты эксперимента показали, что у опытных коров содержание билирубина в крови после двух месяцев получения новой кормовой добавки составляло 6,33 мкМ/л, в то время как в начале оно находилось на уровне 9,08 мкМ/л, а в контрольной существенно увеличилось – с 5,1 до 6,6 мкМ/л.

Необходимо отметить, что до начала эксперимента у коров было обнаружено повышенное содержание глюкозы в крови: 5,45 и 5,43 мкМ/л, однако к концу эксперимента уровень сырого сахарного сахара стабилизировался как в контрольном, так и в опытном вариантах, не превышая 3,8 мкМ/л.

Уровень мочевины в сыворотке крови подопытных коров с течением лактации увеличивался в обеих группах, в связи с характерным явлением для высокопродуктивных коров – повышенным вводом в рацион комбикормов в период раздоя. Отмечено, что введение животным добавки в рацион способствовало некоторому снижению концентрации мочевины в сравнении с контролем.

Анализ кислотной емкости крови указывает на то, что введение изучаемого препарата способствовало повышению щелочного буфера в сравнении с началом опыта. С течением лактации у животных контроля кислотная емкость крови снизилась на 6,6 %, тогда как при введении новой кормовой добавки отмечалось ее повышение на 5,7 % относительно данных до введения добавки, что в сравнении с контролем было выше на 10,7 %. Отмечено, что через месяц после скармливания добавки уровень кислотной емкости крови контрольных животных повысился на фоне снижения уровня продуктивности, тогда как повышение кислотной емкости крови коров из опытной группы сопровождалось и повышением уровня продуктивности. Это связано с обогащением корма коров опытной группы гуминовыми веществами, пектинами, которые богаты кислородсодержащими группами и способствуют нормализации кислотно-щелочного равновесия внутренней среды организма.

Уровень каротина в сыворотке крови животных опытной группы по окончании опыта был ниже нормативных показателей (0,9–2,8 мкМоль/л). Однако при рассмотрении результатов послеопытного периода наблюдалось повышение этого показателя относительно прошлого периода на 3,2 %.

Содержание витамина А в сыворотке крови после скармливания добавки согласуется с тенденцией накопления в ней каротина. Следует отметить, что при уровне каротина в крови

контрольных животных 0,77 мг/л количество витамина А находится на уровне 1,63 мг%, тогда как при содержании каротина 0,67 мг% концентрация витамина А составляет 1,64 мг%, что свидетельствует о положительном действии вводимой добавки на расщепляемость каротина до витамина А.

Об изменении резистентности организма животных во время эксперимента судили по лизоцимной, β -лизинной активности сыворотки крови, ее бактерицидной активности и реакции агглютинации. Анализ данных табл. 5 показывает, что под влиянием кормовой добавки у опытных животных повышается лизоцимная активность крови, которая имеет более высокие показатели даже через

месяц после окончания эксперимента. Если в контроле она составляет 5,12 %, то в опытном варианте – 6,48 %. Это, по-видимому, сказывается на бактерицидной активности сыворотки крови животных, которая к концу эксперимента у опытных коров возрастает с 48,4 до 50,4 %, а в контроле – с 46,6 до 47,9 %. Через месяц после завершения эксперимента показатели бактерицидной активности, как у опытных, так и у контрольных животных остаются на прежнем уровне, т. е. 47,8 и 50,3 %. Соответственно, это свидетельствует не только о положительном воздействии новой кормовой добавки на бактерицидную активность крови, но и о ее последействии.

Таблица 5. Показатели естественной резистентности подопытных животных

Показатель	Период опыта		
	начало опыта	конец опыта	один месяц после опыта
Лизоцимная активность сыворотки крови, %: контрольная опытная	3,25 ± 0,15 3,63 ± 0,30	5,13 ± 0,54 4,95 ± 0,35	5,12 ± 0,06 6,48 ± 0,55
Бактерицидная активность сыворотки крови, %: контрольная опытная	46,6 ± 0,21 48,4 ± 0,45	47,90 ± 0,64 50,40 ± 0,34	47,80 ± 1,05 50,30 ± 1,99
β -лизинная активность сыворотки крови, %: контрольная опытная	12,80 ± 0,29 12,70 ± 0,44	12,45 ± 0,16 13,35 ± 0,52	12,45 ± 0,16 12,34 ± 1,31
Реакция агглютинации, средний титр, %: контрольная опытная	42,50 ± 2,50 57,50 ± 7,50	50,00 ± 0,00 47,50 ± 2,50	50,00 ± 0,00 42,50 ± 2,50

Отмечено положительное влияние кормовой добавки на реакцию агглютинации. Если в контроле варианте к концу эксперимента она существенно возрастает от среднего титра 42,5 до 50,0, то в опытном варианте снижается с 57,5 до 47,5 %, что также является благоприятным фактором при оценке состояния крови опытных животных.

Таким образом, использование в рационах высокопродуктивных коров в период раздоя биологически активной кормовой добавки гуминово-пектиновой природы оказывает разносторонний стимулирующий эффект на функции организма и способствует нормализации обмена веществ, активизации гемопоэза и неспецифических факторов защиты организма.

Литература

- Голубев, В. Н. Пектин: химия, технология, применение / В. Н. Голубев. – М. : Изд-во АТН, 1995. – 378 с.
- Изучение интерферонной активности препаратов, полученных из торфа / Т. В. Воронцова [и др.] // Проблемы и перспективы изучения нуклеозидов, бицилогептана, адамантана и других противовирусных соединений в эксперименте и клинике : материалы заседания пробл. комис. «Химиотерапия и химиопрофилактика вирус. инфекций» АМН СССР и объед. науч. сессии. – Минск, 1982. – С. 87–90.
- О противоопухолевых свойствах препаратов, выделенных из торфа / И. И. Лиштван [и др.] // Докл. Акад. наук БССР. – 1981. – Т. 25, № 9. – С. 815–817.
- Противовирусные свойства веществ природного происхождения / Г. В. Владыко // Антивирусные вещества : тез. докл. Междунар. симп. – Рига, 1982. – С. 114.
- Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. – Минск, 2009. – 328 с.
- Шейко, И. П. Качество – залог успеха: [вопросы развития сельского хозяйства, и в частности животноводства] / И. П. Шейко // Наука. – 2016. – № 31. – С. 6.

¹Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

²НПЦ НАН Беларуси по животноводству, Жодино, Минская область, Беларусь

Г. В. Наумова, А. Э. Томсон, Н. А. Жмакова, Н. Л. Макарова,
Т. Ф. Овчинникова, А. И. Козинец

**ВЛИЯНИЕ ГУМАТ- И ПЕКТИНСОДЕРЖАЩИХ ПРЕПАРАТОВ
НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ
И РЕЗИСТЕНТНОСТЬ ОРГАНИЗМА ЖИВОТНЫХ**

В современном животноводстве все большее применение находят биологически активные препараты, которые используются в качестве кормовых добавок к основному рациону сельскохозяйственных животных. К сожалению, наша Республика закупает многие из них за рубежом, что существенно повышает себестоимость получаемой продукции.

Особое место среди кормовых добавок занимают вещества, повышающие продуктивность животных и одновременно обеспечивая их устойчивость к стрессам, заболеваниям и неблагоприятным факторам окружающей среды. К таким препаратам относятся субстанции, включающие в свой состав гуминовые вещества и пектини. Их можно получать на основе местного доступного сырья – торфа и отхода пивоваренного производства – ростков солода, богатых источников природных биологически активных соединений. Проведены гематологические исследования сельскохозяйственных животных в опытах на поросятах-отъемышах и высокопродуктивных коровах, получавших дополнительно к основному рациону добавки гуматсодержащих и пектинсодержащих препаратов на фоне контрольных животных, поедавших только основной рацион.

Показано положительное воздействие разработанных кормовых добавок как на продуктивность животных (повышение суточных приростов у поросят и молочной продуктивности у коров), так и на улучшение гуморальных показателей их крови, в совокупности улучшая их иммунный статус.

G. V. Naumova, A. E. Tomson, N. A. Zhmakova, N. L. Makarova,
T. F. Ovchinnikova, A. I. Kozinets

**THE EFFECTS OF HUMATE AND PECTINSUMANTED PREPARATIONS
ON THE BIOCHEMICAL INDICATORS OF BLOOD
AND THE RESISTANCE OF THE ANIMAL'S ORGANISM**

In modern animal husbandry, biologically active preparations are increasingly used as feed additives to the basic diet of farm animals. Unfortunately our Republic purchases many of them from abroad, which significantly increases the cost of production.

A special place among feed additives is occupied by substances that increase the productivity of animals and, at the same time, ensure their resistance to stresses, diseases and unfavorable environmental factors. These substances include substances that include humic substances and pectins. They can be obtained on the basis of locally available raw materials – peat and waste brewing – malt sprouts, the rich sources of natural biologically active compounds. Hematological studies of farm animals in experiments on weaned pigs and high-yielding cows were conducted supplementing the main diet with supplements of humate-containing and pectin-containing preparations against the background of control animals that ate only the basic diet.

The positive effect of the developed feed additives on the productivity of animals (increase in daily increments in piglets and milk productivity in cows) and on the improvement of humoral parameters of their blood, together improving their immune status are shown.

Т. Я. Кашинская, И. В. Агейчик, М. А. Журко, Л. П. Калилец, И. В. Кляуззе

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ ИЗ ТОРФА И САПРОПЕЛЯ

В статье представлены результаты разработки методики тестирования образцов торфа и сапропеля на биологическую активность с целью выбора пригодного торфяного и сапропелевого сырья для получения биологически активных препаратов

Торф и сапропель обладают биологической активностью, что и определяет многочисленные направления их использования в растениеводстве, животноводстве, бальнеологии и других отраслях.

Эффективно использование в медицинской практике торфяных и сапропелевых грязей для лечения болезней опорно-двигательного аппарата, сердечно-сосудистой системы, периферической нервной системы и желудочно-кишечного тракта, что обусловлено комплексным воздействием на организм человека теплового, химического и механического факторов. Хорошо себя зарекомендовали в медицинской практике и различные вытяжки из торфяного и сапропелевого сырья. Благодаря наличию разнообразных физиологически активных соединений торф и сапропель, а также продукты их переработки широко применяются в сельском хозяйстве в качестве стимуляторов роста, средств защиты растений, кормовых добавок для животных. Во многом высокую физиологическую активность торфа и сапропеля связывают с наличием в их составе гуминовых веществ. Согласно существующим представлениям о механизме действия гуминовых веществ на живые организмы, они непосредственно участвуют в метаболических и биоэнергетических реакциях организма, обладают гормоноподобным действием на проявление регуляторных процессов, действуют на структуру биологических мембран и их проницаемость для разных субстанций. Это в конечном итоге приводит при применении препаратов гуминовой природы к увеличению продуктивности сельскохозяйственного производства как за счет коррекции обменных процессов в живых организмах, так и повышения их адаптационной способности к технологическим и климатическим стрессам.

Эффективность торфяных и сапропелевых препаратов при их применении в растениеводстве, животноводстве и медицине привлекает интерес производственников, способствует расширению сфер внедрения и увеличению объемов производства. Однако торф и сапропель различных видов из разных месторождений существенно различающиеся по составу и генезису, содержат количественно и качественно различающиеся наборы биологически активных ве-

ществ. В соответствии с этим препараты, полученные из различных торфов и сапропелей, могут отличаться как по вызываемым ими спектрам биологических эффектов на растительные и животные организмы, так и по уровню потенциальной токсичности. В связи с этим выбор месторождений в качестве сырьевой базы для производства тех или иных препаратов должен базироваться на исследовании биологической активности и оценке токсичности торфа и сапропеля.

При разработке обосновывающей документации по выпуску той или иной продукции из торфа и сапропеля производится подбор подходящего сырья по кадастровым сведениям с точки зрения его видового состава, что отражается в технологическом регламенте на производство. Однако первичные кадастровые данные о сырье являются теоретической основой для организации производства определенной продукции. Содержащихся в кадастрах сведений (влажность, зольность, видовой состав, степень разложения) явно недостаточно для прогнозирования биологической активности получаемых препаратов, их безопасности и полезности для живых организмов. В данном вопросе особенно актуально с позиций оптимального выбора сырьевой базы производства биологически активных препаратов из торфа и сапропеля для нужд сельского хозяйства, медицины и бальнеологии, фармакологии, микробиологической промышленности является проведение практической оценки сырья, его пригодности к данному направлению использования.

Вопросам определения биологической активности торфов и сапропелей, а также разнообразных вытяжек из них в литературе уделялось и уделяется большое внимание [1, 7, 9, 14–16]. Это связано как с многообразием направлений воздействия препаратов на живые организмы, так и методов установления производимых воздействий.

Как свидетельствуют литературные данные, при определении биологической активности имеет значение огромное количество факторов, которые следует учитывать. Среди можно отметить следующие.

1. Трофический уровень тестируемого организма (простейшие, микроорганизмы, бактерии, растения, животные) [12, 13, 16].

2. Определение ответной реакции организма [3, 5, 8, 13].

3. Условия подготовки тестируемого продукта [6, 10, 11]:

- а) условия выделения
- б) применяемая концентрация.

Определенные шаги в этом направлении выполнены в Украине и разработана концепция создания «Биокадастра торфов Украины», куда должен входить реестр данных, объединенных в разделы:

- ботанический состав торфа;
- физико-химические свойства торфа (влажность, зольность, степень разложения, активная, обменная и гидролитическая кислотность и др.);
- содержание гуминовых кислот;
- содержание некоторых минеральных веществ;
- уровень потенциальной токсичности (по биотестам с парамециями, содержанию тяжелых металлов, радионуклидов);
- биологическая активность (по биотестам на энергомодулирующую способность, ростовую активность, фитобиопродуктивность, антистрессовые свойства и др.);
- ферментативная активность торфов разрабатываемых месторождений Украины [4].

Несомненно, столь обстоятельное обследование торфяных месторождений потребует значительных трудовых и материальных затрат, однако позволит выявить наиболее пригодные сырьевые базы для производства препаратов биологического назначения.

Принимая во внимание, что наиболее широким потребителем биологически активных препаратов, получаемых на основе торфа и сапропеля, является сельское хозяйство, и, в частности, растениеводство, нами проведено сравнительное исследование различных приемов оценки ростостимулирующего воздействия торфяных и сапропелевых препаратов.

С целью установления наиболее информативного метода оценки ростостимулирующего воздействия торфяных и сапропелевых препаратов изучено воздействие препаратов, выделенных из торфа и сапропеля различными реагентами (вода, гидроксид калия, гидроксид

натрия, аммиак) и примененных в различных концентрациях на разных культурах (кукуруза, ячмень, редис).

В качестве объектов исследований выбраны по два вида торфа и сапропеля. Общетехнические характеристики этих проб представлены в табл. 1.

Для оценки биологической активности выбранных образцов торфа и сапропеля были получены водные и щелочные вытяжки. Такой выбор растворителей обусловлен тем, что основной вклад в биологическую активность данных объектов вносят гуминовые вещества, растворяющиеся в основном в щелочной среде. Использованы 0,25 %-ный раствор гидроокиси калия, 0,25 %-ный раствор гидроокиси натрия и 2,5 %-ный раствор аммиака. Щелочные вытяжки получены следующим образом: 100 мл торфа естественной влажности заливали 300 мл вышенназванных растворов щелочей и оставляли на ночь. В случае сапропелей 100 мл образца заливали 200 мл растворов щелочей. Далее производили центрифугирование образовавшихся суспензий. Для получения водных вытяжек 200 мл пробы торфа или сапропеля заливали 500 мл воды. Было получено два вида водных вытяжек: при комнатной температуре образцы настаивали в течении суток и при 100 °C в течение 2 ч.

Полученные вытяжки использовали для оценки ростстимулирующей активности проб торфа и сапропеля. Результаты определения концентрации выделенных растворов представлены в табл. 2.

Биологическую активность препаратов оценивали как по определению энергии прорастания и всхожести семян, замоченных в исследуемых препаратах, так и методом водных культур по показателям массы корней и зеленой массы.

Для определения влияния препаратов на энергию прорастания и всхожесть семена редиса, предварительно охлажденные в холодильной камере при температуре 2–4 °C в течение суток, замачивали на 12 ч в рабочих растворах исследуемых препаратов. Проращивание семян производили в термостате при 25 °C. По количеству проросших семян на 3-и сутки определяли энергию прорастания, на 6-е сутки – всхожесть.

Таблица 1. Общетехнические характеристики образцов торфа и сапропеля

Номер пробы	Место отбора	Вид торфа, тип сапропеля	Ботанический состав, %	Влажность, %	Зольность, %
1	Туршовка, ПОП 12, <i>h</i> – 4–4,5 м	Пушицево-сфагновый, <i>R</i> – 30 %	Кустарник – 5, пушица – 35, сфагновые мхи – 45	92,3	2,82
2	Туршовка, ПОП 13, <i>h</i> – 2,0–2,5 м	Шейхцериево-сфагновый, <i>R</i> – 20%	Пушица – 10, шейхцерия – 35, сфагновые мхи – 55	93,8	1,15
3	оз. Святое	Органический	–	94,8	8,90
4	оз. Мено	Кремнеземистый	–	93,2	40,70

Таблица 2. Концентрация выделенных растворов из проб торфа и сапропеля

Образец	Экстрагент	Концентрация, %	
		на с. в.	на о. в.
Проба № 1 (пушицево-сфагновый торф)	NH ₄ OH	0,08	0,08
	KOH	0,21	0,18
	NaOH	0,30	0,26
	H ₂ O (20 °C)	0,03	0,03
	H ₂ O (100 °C)	0,03	0,03
Проба № 2 (шнейхцериево-сфагновый торф)	NH ₄ OH	0,14	0,14
	KOH	0,16	0,12
	NaOH	0,23	0,18
	H ₂ O (20 °C)	0,002	0,002
	H ₂ O (100 °C)	0,06	0,06
Проба № 3 (сапропель оз. Святое)	NH ₄ OH	0,18	0,18
	KOH	0,20	0,15
	NaOH	0,26	0,20
	H ₂ O (100 °C)	0,01	0,01
Проба № 4 (сапропель оз. Мено)	NH ₄ OH	0,08	0,07
	KOH	0,17	0,09
	NaOH	0,24	0,14
	H ₂ O (100 °C)	0,02	0,02

Вегетационные опыты (водная культура) проведены с тест-культурами ячменя и кукурузы. Исследовали действие торфяных и сапропелевых вытяжек на растения в начальной стадии их развития. В качестве питательного фона использовали смесь Прянишникова (контрольный вариант). В опытных вариантах к стандартной среде Прянишникова добавляли испытуемые препараты. Предварительно проращивали семена растений, замоченные в дистиллированной воде. Проростки с достаточной длиной корней высаживали в стеклянные сосуды объемом 0,5 л, закрытые полиэтиленовыми крышками с отверстиями, по 6 проростков на сосуд. Повторность опытов – четырехкратная. Растение выращивали в течение 14 суток, после чего определяли вес корневой и надземной массы.

Результаты, полученные при проращивании семян и выращивании растений в вегетационных опытах без добавок испытуемых препаратов, принимали за 100 %.

В одной серии опытов использовали однотипно приготовленные растворы, т. е. вытяжки, полученные из торфа с помощью щелочей, разбавляли в соотношении 1 : 100, полученные из сапропеля – 2 : 100, водные торфяные – 2,5 : 100, водные сапропелевые – 5 : 100. Далее эти растворы применяли для определения энергии прорастания и всхожести семян редиса. При изучении влияния торфяных и сапропелевых вытяжек на процессы роста и развития ячменя и кукурузы методом водных культур в смесь Прянишникова добавляли по 5 мл щелочных вытяжек из торфа или сапропеля и по 10 мл водных.

Во второй серии опытов сравнивали результаты воздействий торфяных и сапропелевых вытяжек на ростовые процессы в семенах и растениях, примененных в одинаковых концентрациях. Были испытаны концентрации 0,0025 и 0,0050 %.

Результаты первой серии опытов по определению влияния торфяных и сапропелевых вытяжек на энергию прорастания и всхожесть семян редиса представлены в табл. 3.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что выделенные различными реактивами вытяжки проявляют разную ростстимулирующую активность.

Так, вытяжки из пушицево-сфагнового торфа, хотя и не в большой степени, увеличивают энергию прорастания семян редиса (за исключением вытяжки, полученной при обработке торфа аммиаком – не оказывает влияния) и существенно воздействуют на всхожесть семян редиса. Причем наиболее активной является вытяжка, выделенная гидроокисью натрия, увеличивая всхожесть семян редиса на 55 %. Высокую биологическую активность также проявила и водная вытяжка, несмотря на значительно меньшую ее концентрацию в испытуемом растворе (см. табл. 3).

Вытяжки из шнейхцериево-сфагнового торфа практически не увеличивают энергию прорастания, а в случае вытяжек, полученных с помощью гидроокиси натрия и воды, даже сдерживают этот процесс. Всхожесть же семян редиса под влиянием вытяжек, полученных различными испытуемыми реагентами из шнейхцериево-сфагнового торфа, возрастает, хотя и в несколько меньшей степени, чем при использовании препаратов, выделенных из пушицево-сфагнового торфа. По воздействию на всхожесть семян редиса вытяжки, полученные гидроокисью натрия и калия из шнейхцериево-сфагнового торфа, оказались практически равноценны, хотя вытяжка, полученная при обработке торфа гидроокисью натрия, сдерживает начало ростовых процессов – энергия прорастания у семян, замоченных в этом растворе ниже, чем в контроле.

Сапропелевые вытяжки показали слабую биологическую активность. При этом вытяжка, полученная из сапропеля оз. Святое (проба № 3) с помощью гидроокиси калия, уменьшила энергию прорастания и всхожесть семян редиса на 6 %, тогда как вытяжка, полученная обработкой сапропеля гидроокисью натрия, уменьшила энергию прорастания семян редиса на 9 %, но всхожесть увеличилась на 5 %. Водная же вытяжка увеличила и оба показателя на 6–7 %.

Вытяжки, полученные из сапропеля оз. Мено (проба № 4), еще в меньшей степени влияют на

ростовые процессы семян редиса. Только вытяжка, полученная обработкой сапропеля гидроокисью натрия, уменьшает энергию прорастания семян редиса опять же на 9 %, практически не влияя на всхожесть.

Результаты, полученные при проведении второй серии опытов, т. е. при испытании действия торфяных и сапропелевых вытяжек в одинаковой концентрации (0,005 %) на энергию прорастания и всхожесть семян редиса, приведены в табл. 4.

Таблица 3. Влияние торфяных и сапропелевых вытяжек на энергию прорастания и всхожесть семян редиса (серия № 1)

Номер пробы	Образец	Условия выделения препарата (реактив)	Добавка в испытуемый раствор		Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
			мл/100 мл воды	Концентрация, %		
1	Пушицево-сфагновый торф	NH ₄ OH	1	0,0008	100,0	106,4
		KOH	1	0,0021	103,8	109,7
		NaOH	1	0,003	103,8	154,8
		H ₂ O	2,5	0,00085	103,8	125,8
2	Шейхцериево-сфагновый торф	NH ₄ OH	1	0,0014	98,1	119,3
		KOH	1	0,0016	101,9	138,7
		NaOH	1	0,0023	94,2	135,5
		H ₂ O	2,5	0,00005	94,2	103,2
3	Сапропель (оз. Святое)	NH ₄ OH	2	0,0036	100,0	100,0
		KOH	2	0,0040	94,2	94,3
		NaOH	2	0,0052	90,8	105,5
		H ₂ O	5	0,0005	105,8	107,3
4	Сапропель (оз. Мено)	NH ₄ OH	2	0,0016	96,5	94,3
		KOH	2	0,0034	104,0	101,7
		NaOH	2	0,0048	90,8	101,7
		H ₂ O	5	0,0010	102,3	97,7
–	Контроль	–	–	–	100,0	100,0

Таблица 4. Влияние торфяных и сапропелевых вытяжек на энергию прорастания и всхожесть семян редиса (серия № 2)

Номер пробы	Образец	Условия выделения препарата (реактив)	Концентрация добавки в испытуемом растворе, %	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
1	Пушицево-сфагновый торф	NH ₄ OH	0,005	3,8	28,8
		KOH	0,005	98,1	107,7
		NaOH	0,005	101,9	94,2
		H ₂ O	0,005	100,0	98,1
2	Шейхцериево-сфагновый торф	NH ₄ OH	0,005	48,0	75,0
		KOH	0,005	94,2	100,0
		NaOH	0,005	105,8	107,7
		H ₂ O	0,005	90,4	101,9
3	Сапропель (оз. Святое)	NH ₄ OH	0,005	78,9	82,4
		KOH	0,005	86,6	94,1
		NaOH	0,005	98,1	100,0
		H ₂ O	0,005	103,8	103,9
4	Сапропель (оз. Мено)	NH ₄ OH	0,005	71,1	72,4
		KOH	0,005	109,6	109,8
		NaOH	0,005	100,0	107,8
		H ₂ O	0,005	105,8	107,7
–	Контроль	–	–	100,0	100,0

В этом случае наибольшую ростовую активность демонстрируют препараты, выделенные из сапропеля оз. Мено, хотя это воздействие не приводит к увеличению энергии прорастания и всхожести семян редиса более, чем на 10 %. Наибольшее влияние оказала вытяжка, выделенная гидроокисью калия. В случае торфяных вытяжек небольшое влияние оказывает вытяжка, полученная обработкой пущево-сфагнового торфа гидроокисью калия (увеличивает всхожесть на 7 %), и вытяжка из шейхцериево-сфагнового торфа, полученная обработкой гидроокисью натрия, (также увеличивает всхожесть семян редиса на 7 %). Вытяжки, полученные как из образцов торфа, так и сапропеля гидроокисью аммония, существенно тормозят ростовые процессы, уменьшая энергию прорастания семян редиса на 21–96 %, а всхожесть на 18–71 %.

Биологическая активность торфяных и сапропелевых вытяжек была также оценена методом водных культур по приросту биомассы стеблей и корней ячменя и кукурузы. Проведено две серии опытов: 1-я – в опытные сосуды добавляли по одинаковому количеству препаратов (щелочных – 5 мл, водных – по 10 мл); 2-я – добавляли препараты таким образом, чтобы их концентрация в сосудах с питательной смесью Прянишникова была одинаковой.

Результаты 1-й серии опытов по росту биомассы ячменя представлены в табл. 5. Со-гласно полученным данным, введение в питательный раствор вытяжек, извлеченных из пущево-сфагнового торфа (проба № 1) разными экстрагентами, в основном в разной степени, но стимулирует процессы роста ячменя. Исключением является вытяжка, полученная обработкой торфа гидроокисью аммония. Наибольшим стимулирующим воздействием, как на рост стеблей, так и корней ячменя, отличается препарат, выделенный из пущево-сфагнового торфа водой, несмотря на очень малую концентрацию в питательном растворе (прибавка составляет от 23 до 39 %). Несколько в меньшей степени, но также эффективно действует и вытяжка, полученная раствором гидроокиси калия (прибавка веса растений составляет от 17 до 28 %; особенно существенно увеличивается прирост корней).

Если сравнить эти результаты с воздействием выделенных препаратов на энергию прорастания и всхожесть семян редиса, то следует констатировать, что полного согласия в них нет (см. табл. 3 и 5). Близки результаты влияния водных вытяжек – увеличивают как прирост биомассы ячменя, так всхожесть семян редиса приблизительно на 25 %. На всхожесть семян редиса существенно воздействует вытяжка из пущево-сфагнового торфа, выделенная гидроокисью натрия (увеличение составляет 55 %), тогда как на рост ячменя она практически не влияет.

Более эффективна в данном случае вытяжка, полученная гидроокисью калия.

Сравнение результатов ростостимулирующей активности вытяжек из шейхцериево-сфагнового торфа, полученных методом водных культур на ячмене, свидетельствует о том, что наибольшее влияние оказывает препарат, выделенный гидроокисью калия (результат сопоставим с воздействием препарата, выделенного гидроокисью калия из пущево-сфагнового торфа) – урожайность ячменя выросла на 16 и 19 % соответственно. Увеличивает, но не столь значительно, как для пробы № 1, урожайность ячменя и водный препарат (на 6 % по сравнению с 26 % для пробы № 1). Как и для пробы № 1, так и для пробы № 2 вытяжка, полученная обработкой образцов торфа гидроокисью натрия, практически не влияет на рост ячменя, тогда как при оценки ее ростостимулирующей активности по влиянию на энергию прорастания и всхожесть семян редиса эти вытяжки являлись очень эффективными: увеличивали всхожесть семян редиса на 55 % (препарат из пробы № 1) и на 36 % (препарат из пробы № 2) (см. табл. 3 и 5).

Все вытяжки из сапропеля (как из пробы № 3, так и № 4) ингибируют рост, как стеблей, так и корней ячменя, определенный методом водной культуры (табл. 5). Определение же биологической активности вытяжек из сапропеля по энергии прорастания и всхожести семян редиса свидетельствует о небольшой (в пределах 6–7 %) ростостимулирующей активности вытяжек, полученных из пробы № 3 гидроокисью натрия и водой, и незначительном влиянии на биологические процессы вытяжек из пробы № 4 (табл. 3).

Сравнение результатов проверки воздействия торфяных и сапропелевых препаратов, выделенных различными реагентами, по энергии прорастания и всхожести семян редиса и приросту биомассы кукурузы (метод водных культур), проведенной с добавками одного и того же количества разных препаратов в испытательные растворы (серия № 1), свидетельствует о том, что и в этом случае сопоставимых результатов немного (см. табл. 3 и 6).

Для препаратов, выделенных из пущево-сфагнового торфа, совпадением является лишь то, что наибольшую стимулирующую активность на семенах редиса проявил препарат, выделенный гидроокисью натрия, и только он стимулирует ростовые процессы в кукурузе (на 18 % увеличил биомассу). Остальные препараты из этого торфа угнетали рост кукурузы. Из препаратов, полученных из шейхцериево-сфагнового торфа, только водный экстракт не угнетал рост кукурузы, тогда как на энергию прорастания и всхожесть редиса все вытяжки из этого торфа оказали ростостимулирующее воздействие. Для препаратов из сапропеля оз. Святое (проба № 3)

совпали лишь результаты для вытяжки, полученной с помощью гидроокиси натрия (небольшой прирост биомассы кукурузы – на 3 %, а всхожесть семян редиса увеличилась на 5 %). Вытяжка же, полученная гидроокисью калия, показала противоположное действие (повысила прирост биомассы кукурузы на 15 % и снизила всхожесть семян редиса на 6 %). Под влиянием водной вытяжки прирост биомассы кукурузы уменьшился на 5 %, тогда как всхожесть семян редиса выросла на 7 %. Наибольшее совпадение тен-

денций наблюдается на сапропелевых препаратах, полученных из пробы № 4 (см. табл. 3 и 6).

В табл. 7 представлены результаты сравнения воздействия препаратов, выделенных из торфа и сапропеля различными реагентами и примененными в одинаковых концентрациях при определении их ростостимулирующей активности, при разных методах оценки (по энергии прорастания семян редиса и методом растительного теста по приросту биомассы кукурузы в водной культуре) (серия № 2).

Таблица 5. Оценка биологической активности торфяных и сапропелевых вытяжек методом водных культур по приросту биомассы ячменя (серия № 1)

Номер пробы	Образец	Условия выделения препарата (реактив)	Добавка в испытуемый раствор		Прирост биомассы, %		
			мл/на сосуд	Концентрация, %	стеблей	корней	всего
1	Пушицево-сфагновый торф, R – 30 %	NH ₄ OH	5	0,00080	52,8	67,6	55,5
		KOH	5	0,00210	116,5	128,1	118,6
		NaOH	5	0,00300	105,0	96,2	103,4
		H ₂ O(20 °C)	10	0,00069	123,3	138,9	126,2
2	Шейхцериево-сфагновый торф, R – 20 %	NH ₄ OH	5	0,00140	49,5	52,2	49,9
		KOH	5	0,00160	118,0	104,4	115,5
		NaOH	5	0,00230	101,7	94,3	100,4
		H ₂ O(20 °C)	10	0,00004	105,4	108,6	106,0
3	Сапропель (оз. Святое)	NH ₄ OH	5	0,00180	37,9	44,5	39,1
		KOH	5	0,00200	90,2	94,7	90,9
		NaOH	5	0,00260	95,4	95,8	95,5
		H ₂ O(100 °C)	10	0,00020	84,6	89,0	85,4
4	Сапропель (оз. Мено)	NH ₄ OH	5	0,00080	41,2	39,5	40,8
		KOH	5	0,00170	85,9	81,7	85,2
		NaOH	5	0,00240	79,5	75,5	78,8
		H ₂ O(100 °C)	10	0,00040	79,2	76,4	78,7
–	Контроль	–	–	–	100,0	100,0	100,0

Таблица 6. Влияние торфяных и сапропелевых вытяжек на рост биомассы кукурузы (серия № 1)

Номер пробы	Образец	Условия выделения препарата (реактив)	Добавка в испытуемый раствор		Прирост биомассы, %		
			мл/на сосуд	Концентрация, %	стеблей	корней	всего
1	Пушицево-сфагновый торф, R – 30 %	NH ₄ OH	5	0,00080	29,1	25,7	28,5
		KOH	5	0,00210	97,2	93,7	96,6
		NaOH	5	0,00300	118,5	115,3	117,9
		H ₂ O(100°C)	10	0,00069	76,7	99,5	80,7
2	Шейхцериево-сфагновый торф, R – 20 %	NH ₄ OH	5	0,00140	32,7	29,0	32,1
		KOH	5	0,00160	87,2	93,9	88,3
		NaOH	5	0,00230	95,7	107,3	97,7
		H ₂ O(100°C)	10	0,00004	102,1	102,9	102,2
3	Сапропель (оз. Святое)	NH ₄ OH	5	0,00180	63,3	56,4	61,9
		KOH	5	0,00200	116,9	109,8	115,5
		NaOH	5	0,00260	102,2	106,7	103,1
		H ₂ O(100°C)	10	0,00020	93,2	99,6	94,5
4	Сапропель (оз. Мено)	NH ₄ OH	5	0,00080	73,5	62,8	71,4
		KOH	5	0,00170	112,1	92,6	108,2
		NaOH	5	0,00240	101,0	96,9	100,2
		H ₂ O(100°C)	10	0,00040	95,3	97,9	95,8
–	Контроль	–	–	–	100,0	100,0	100,0

Таблица 7. Влияние торфяных и сапропелевых вытяжек на энергию прорастания и всхожесть семян редиса и прирост биомассы кукурузы (серия № 2)

Номер пробы	Образец	Условия выделения препарата (реактив)	Концентрация добавки, %	Редис		Прирост биомассы кукурузы, %		
				Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	стеблей	корней	всего
1	Пушицево-сфагновый торф	KOH	0,0050	98,1	107,7	98,3	89,3	98,3
2	Шейхцериево-сфагновый торф	KOH	0,0050	94,2	100,0	105,5	102,9	105,1
		H ₂ O	0,0025	90,4	101,9	103,7	98,9	102,9
3	Сапропель (оз. Святое)	KOH	0,0050	86,6	94,1	100,5	81,2	97,0
4	Сапропель (оз. Мено)	KOH	0,0050	109,6	109,8	115,1	94,0	111,3
		H ₂ O	0,0050	105,8	107,7	112,2	118,9	113,4
–	Контроль	–	–	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Полученные данные свидетельствуют о том, что в большинстве случаев примененные в одинаковой концентрации 0,005 % вытяжки оказывают примерно одинаковое воздействие как на всхожесть семян редиса, так и на ростовые процессы в кукурузе. Вытяжки, как водные, так и полученные гидроокисью калия из шейхцериево-сфагнового торфа, слабо влияют на ростовые процессы редиса и кукурузы. Вытяжки из сапропеля оз. Мено (проба № 4) проявляют ростостимулирующую активность, как судя по результатам, полученным по энергии прорастания, так и по росту кукурузы на водном растворе Прянишникова. Вытяжки из сапропеля оз. Святое ингибируют ростовые процессы, судя как по тесту на семенах редиса, так и вегетационному тесту по приросту биомассы кукурузы. Вытяжка из пушицево-сфагнового торфа ингибирует рост корней кукурузы (на 10 % относительно контроля), но увеличивает всхожесть редиса на 8 %.

Для сравнения результатов проявления биологической активности вытяжек из торфа и сапропеля, выделенных как различными реагентами, так и из разных образцов торфа и сапропеля, были проведены эксперименты по выращиванию методом водных культур в течение 14 дней двух разных культур: ячменя и кукурузы. Определялся прирост биомассы стеблей и корней. При этом в опытные сосуды добавлялось одинаковое количество вытяжек. Результаты этих экспериментов приведены в табл. 5 и 6.

Однаковое воздействие на процессы роста, как ячменя, так и кукурузы, демонстрируют все вытяжки, полученные при обработке всех четырех проб аммиаком – угнетают рост растений. Вытяжки из торфа, полученные гидроокисью калия, увеличивают прирост ячменя на 15 и 18 %, тогда как на кукурузе эти вытяжки угнетают рост растений (прирост биомассы уменьшился на 4 и 12 % по сравнению с контролем). Увеличивающая прирост биомассы ячменя на 25 % водная вытяжка из пушицево-сфагнового торфа

в случае кукурузы уменьшает прирост ее биомассы на 10 %. Вытяжки как из одного, так и из другого сапропеля не оказывают стимулирующего действия на рост ячменя, скорее в той или иной мере его угнетают. На кукурузе же вытяжки, полученные с помощью гидроокиси калия, демонстрируют стимулирующий эффект на уровне 8 и 15 % прироста биомассы по сравнению с контролем. Вытяжки, полученные гидроокисью натрия, если не стимулируют, то и не угнетают рост кукурузы.

Многочисленные данные свидетельствуют о том, что условия подготовки торфяного сырья (способ добычи, условия сушки и хранения) существенно влияют на химический и компонентный состав торфа, что оказывает влияние на количество и качество продукции, получаемой на его основе [2]. В связи с этим нами исследовано влияние сушки на биологическую активность препаратов, получаемых из торфяного и сапропелевого сырья. С этой целью были выделены препараты водой и гидроокисью калия из образцов естественной влажности (более 90 %) и образцов, высущенных до воздушно-сухого состояния, т. е. до влажности менее 20 %. Далее методом водных культур изучено влияние этих препаратов в одной и той же концентрации (0,005 %) на рост биомассы кукурузы.

На основе полученных данных (табл. 8) можно сделать следующие выводы. Биологическая активность препаратов, выделенных как из торфа, так и сапропеля гидроокисью калия, практически не зависит от влажности исходных проб. Для водных вытяжек сушка проб перед выделением препаратов оказывает разное влияние на вытяжки. Так, для пушицево-сфагнового торфа (проба № 1) после его сушки до воздушно-сухого состояния выделенный из него препарат угнетал рост кукурузы (приблизительно на 5 % относительно контроля), тогда как препарат, выделенный из торфа естественной влажности, увеличил урожайность на 7 %.

Таблица 8. Влияние условий подготовки сырья, используемого для получения препаратов, на их ростостимулирующую активность (по росту биомассы кукурузы)

Номер пробы	Образец	Условия выделения препарата		Концентрация добавки, %	Прирост биомассы, %		
		реактив	влажность пробы, %		стеблей	корней	всего
1	Пушицево-сфагновый торф, R – 30%	КОН	92,3	0,0050	98,3	89,3	96,9
			11,8	0,0050	95,5	79,0	92,8
		H ₂ O	92,3	0,0025	107,2	106,8	107,1
			11,8	0,0025	100,6	83,1	94,8
2	Шейхцериево-сфагновый торф, R – 20%	КОН	93,8	0,0050	105,5	102,9	105,1
			21,8	0,0050	100,1	86,3	97,9
		H ₂ O	93,8	0,0025	103,7	98,9	102,9
			21,8	0,0025	98,8	123,7	102,8
3	Сапропель (оз. Святое)	КОН	94,8	0,0050	100,5	81,2	97,0
			12,2	0,0050	101,1	85,8	98,4
		H ₂ O	94,8	0,0050	105,4	91,9	103,0
			12,2	0,0050	115,3	125,1	117,0
4	Сапропель (оз. Мено)	КОН	93,2	0,0050	115,1	94,0	111,3
			11,2	0,0050	110,0	85,8	105,7
		H ₂ O	93,2	0,0050	112,2	118,9	113,4
			11,2	0,0050	90,5	76,9	88,0
–	Контроль	–	–	–	100,0	100,0	100,0

На активность водной вытяжки шейхцериево-сфагнового торфа (проба № 2) сушка практически не оказала влияния. Водная вытяжка из высушенного сапропеля оз. Святое (проба № 3) проявляет большую ростостимулирующую активность – повысила урожайность кукурузы на 17 % по сравнению с вытяжкой из сапропеля естественной влажности (урожайность повысилась только на 3 %). Водная вытяжка из сапропеля оз. Мено (проба № 4), высушенного до влажности 11 %, уменьшила урожайность кукурузы на 12 % по сравнению с контролем, тогда водная вытяжка, полученная из сапропеля есте-

ственной влажности, увеличила урожайность кукурузы на 13 %.

Методом водных культур было также испытано влияние концентрации вытяжек, добавленных в питательный раствор Прянишникова на рост биомассы кукурузы (табл. 9). Получены неоднозначные результаты. Так, препарат, выделенный из пушицево-сфагнового торфа (проба № 1) гидроокисью калия, в обеих исследованных концентрациях не стимулирует рост кукурузы, тогда как водная вытяжка в концентрации 0,0025 % стимулирует рост кукурузы, а в 3,0 раза меньшей концентрации – тормозит.

Таблица 9. Влияние концентрации торфяных и сапропелевых вытяжек на урожайность кукурузы

Номер пробы	Образец	Условия выделения препарата (реактив)	Добавка в испытываемый раствор		Прирост биомассы, %		
			Концентрация, %	мл/на сосуд	стеблей	корней	всего
1	Пушицево-сфагновый торф, R – 30%	КОН	0,00500	11,9	98,3	89,3	96,9
			0,00210	5,0	97,2	93,7	96,6
		H ₂ O	0,00250	43,1	107,2	106,8	107,1
			0,00069	10,0	76,7	99,5	80,7
2	Шейхцериево-сфагновый торф, R – 20%	КОН	0,00500	15,6	105,5	102,9	105,1
			0,00160	5,0	87,2	93,9	88,3
		H ₂ O	0,00250	21,1	103,7	98,9	102,9
			0,00120	10,0	102,1	102,9	102,2
3	Сапропель (оз. Святое)	КОН	0,00500	12,5	100,5	81,2	97,0
			0,00200	5,0	116,9	109,8	115,5
		H ₂ O	0,00500	190,0	105,4	91,9	103,0
			0,00020	10,0	93,2	99,6	94,5
4	Сапропель (оз. Мено)	КОН	0,00500	14,5	115,1	94,0	113,3
			0,00170	5,0	112,1	92,6	108,2
		H ₂ O	0,00500	100,0	112,2	118,9	113,4
			0,00040	10,0	95,3	97,9	95,8
–	Контроль	–	–	–	100,0	100,0	100,0

Для шейхцериево-сфагнового торфа водные вытяжки в концентрации 0,0025 и 0,0012 % практически в одинаковой мере не проявляют ростостимулирующей активности. Вытяжка, полученная из шейхцериево-сфагнового торфа (проба № 2) гидроокисью калия, в концентрации 0,005 % слегка стимулирует рост кукурузы (на 5 %), тогда как в концентрации 0,0016 % сокращает прирост биомассы на 12 %.

Вытяжка, полученная из сапропеля оз. Святое (проба № 3) гидроокисью калия, с концентрацией 0,002 % стимулирует рост кукурузы (на 15 %), тогда как с концентрацией 0,005 % существенно угнетает рост корней (на 18 %), что приводит к сокращению прироста биомассы кукурузы на 3 %. Подобная вытяжка, полученная из сапропеля оз. Мено (проба № 4), в обеих концентрациях одинаково стимулирует рост кукурузы. Водная же вытяжка из этого сапропеля в концентрации 0,005 % стимулирует рост кукурузы, увеличивая прирост биомассы на 13 %, тогда как в концентрации 0,0004 % уменьшает. Примерно также действует водная вытяжка из сапропеля оз. Святое (проба № 3), только стимулирующее воздействие в концентрации 0,005 % несколько меньше, чем для водной вытяжки из сапропеля оз. Мено (только 3 %).

Таким образом, проведенные исследования по разработке методических приемов по подбору сырья для использования его для получения биологически активных препаратов позволяют сделать следующие выводы.

1. Результаты, полученные по влиянию выделенных препаратов на ростовые процессы для семян и прирост биомассы растений, не совпадают. Так, согласно результатам, полученным методом водных культур на ячмене, наибольшую ростовую активность продемонстрировал препарат, представляющий собой водную вытяжку из пущево-сфагнового торфа со степенью разло-

жения 30 %, обеспечив 45 %-ную прибавку биомассы проростков ячменя. В то же время, согласно тесту по энергии прорастания семян редиса, наибольшее воздействиеоказал препарат, полученный обработкой пущево-сфагнового торфа гидроокисью натрия, увеличив всхожесть семян редиса на 55 %. Все вытяжки из сапропелей ингибируют рост, как стеблей, так и корней ячменя, что приводит к уменьшению урожайности ячменя. Однако при определении биологической активности препаратов из сапропелей по энергии прорастания и всхожести семян редиса некоторые вытяжки показали небольшую ростостимулирующую активность. Большее сходство тенденций проявления биологической активности наблюдается при сравнении результатов по определению влияния торфяных и сапропелевых вытяжек на энергию прорастания и всхожесть редиса с результатами по определению их влияния на ростовые процессы кукурузы (метод водных культур).

2. Наши эксперименты подтвердили ранее установленный факт, что проявление биологической активности зависит от концентрации биологически активных соединений.

3. Условия подготовки сырья (в частности, используются ли образцы торфа и сапропеля естественной влажности либо высушенные до воздушно-сухого состояния) также влияют на результат определения биологической активности.

4. Подбор сырья для производства препаратов биологического назначения является крайне сложной проблемой в связи с неоднозначностью откликов, получаемых при определении биологической активности, проявляемой разными вытяжками из различных образцов торфа и сапропеля, как и определения биологической активности различными методами и на разных культурах.

Л и т е р а т у р а

1. **Взаимосвязь** фрагментного состава гуминовых кислот с их физиологической активностью / Б. Бямбагар [и др.] // Химия твердого топлива. – 2003. – № 1. – С. 83–90.
2. **Гаврильчик, А. П.** Трансформация свойств торфа при антропогенном воздействии / А. П. Гаврильчик, Т. Я. Кашинская. – Минск, 2013.
3. **Инишева, Л. И.** Метод исследования биологической активности гуминовых кислот торфов и сапропелей / Л. И. Инишева, Р. Т. Тухватулин, М. В. Гостищева // Вестн. Алтайского гос. аграр. ун-та. – 2008. – № 6 (44). – С. 29–32.
4. **Концептуальные** подходы к созданию биокадастра торфов /Л. М. Степченко [и др.] // Гумінові речовини і фітогормони в сільському господарстві : матеріали 5-ї Міжнар. конф. Radostim 2009, Дніпропетровськ, 16–18 лютого 2010 р. – Дніпропетровськ, 2010. – С. 52.
5. **Марухно, А. В.** Влияние различных вытяжек из торфа на рост и гематологические показатели крови крыс / А. В. Марухно, Л. М. Степченко, В. Г. Ефимов // Гумінові речовини і фітогормони в сільському

господарстві : материалы 5-й Междунар. конф. Radostim 2009, Днепропетровск, 16–18 февр. 2010 г. – Днепропетровск, 2010. – С. 278–279.

6. **Орлов, Д. С.** Химические свойства и физиологическая активность ГК торфа и лечебных грязей (пелоидов) / Д. С. Орлов, Я. М. Аммосова, Э. Ф. Касьянова // Тр. КПИ. – Калинин ; Москва, 1989.

7. **Осипова, О. А.** Сравнительное биотестирование Лигногумата как новая методика для диагностики биологической активности стимуляторов роста / О. А. Осипова, О. А. Гладков // Фитогормоны, гуминовые вещества и другие биорациональные пестициды в сельском хозяйстве : материалы 7-й Междунар. конф. Radostim 2011, Минск, 2–4 ноября 2011 г. – Минск, 2011. – С. 129–130.

8. **Оценка** специфической фармакологической активности гуминовых веществ сапропеля Омской области / И. А. Савченко [и др.] // Тихоокеанский мед. журн. – 2014. – № 4. – С. 51–55.

9. **Параметры** оценки биологической активности органического вещества сапропелей / Н. В. Юдина [и др.] // Химия растительного сырья. – 1998. – № 4. – С. 33–38.

10. **Способ** определения биологической активности гуминовых кислот торфов (RU 2300103) / Л. И. Инишева, Р. Т. Тухватулин, М. В. Гостищева.

11. **Сравнительная** оценка биологической активности гуминовых веществ, выделенных разными способами / О. Г. Красноберская [и др.] // Природопользование. – Минск, 2012. – Вып. 21. – С. 249–255.

12. **Сравнительная** характеристика биологической активности ряда гуминовых препаратов по отношению к культуре бактерий / А. А. Изосимов [и др.] // Фитогормоны, гуминовые вещества и другие биорациональные пестициды в сельском хозяйстве : материалы 7-й Междунар. конф. Radostim 2011, Минск, 2–4 ноября 2011 г. – Минск, 2010. – С. 77–78.

13. **Тухватулин, Р. Т.** Физикохимия и биология торфа. Оценка биологической активности гуминовых кислот (по изменению показателей обратимой агрегации эритроцитов крови) б метод. пособие / Р. Т. Тухватулин, Л. И. Инишева, М. В. Гостищева // Методическое пособие. – Томск : Томский ЦНТИ, 2011. – 20 с.

14. **Федъко, И. В.** К вопросу об использовании биологически активных гуминовых веществ в медицине / И. В. Федъко, М. В. Гостищева, Р. Р. Исматова // Химия растительного сырья. – 2005. – № 1. – С. 49–52.

15. **Юдина, Н. В.** Оценка биологической активности гуминовых кислот торфов / Н. В. Юдина, С. И. Писарева, А. С. Саратиков // Химия твердого топлива. – 1996. – № 5. – С. 31–37.

16. **Якименко, О. С.** Гуминовые препараты и оценка их биологической активности для целей сертификации / О. С. Якименко, В. А. Терехова // Почвоведение. – 2011. – № 11. – С. 1334–1343.

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 11.04.2017 г.

**Т. Я. Кашинская, И. В. Агейчик, М. А. Журко,
Л. П. Калилец, И. В. Кляуззе**

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ ИЗ ТОРФА И САПРОПЕЛЯ

В статье представлены результаты разработки методики тестирования образцов торфа и сапропеля на биологическую активность с целью выбора пригодного сырья для получения биологически активных препаратов.

Принимая во внимание, что наиболее широким потребителем биологически активных препаратов, получаемых на основе торфа и сапропеля, является сельское хозяйство, в частности растениеводство. Соответственно, наиболее часто употребляемыми тестами для оценки их биологически активных свойств являются растительные тесты. Проведено сравнительное исследование различных приемов оценки ростостимулирующего воздействия торфяных и сапропелевых препаратов. Использованы препараты, выделенные из двух видов торфа и двух типов сапропеля различными реагентами (вода, гидроксид калия, гидроксид натрия, аммиак), примененные в различных концентрациях на разных культурах (кукуруза, ячмень, редис). Ростостимулирующее действие препаратов оценено двумя методами (по влиянию на энергию прорастания и всхожесть семян и методом водных культур).

*T. Y. Kashinskaya, I. V. Ageichik, M. A. Zhyrko,
L. P. Kalilets, I. V. Klyayzze*

THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF EXTRACTS FROM PEAT AND SAPROPEL

The results of the development of the testing method of peat and sapropel samples on biological activity with the aim of nature raw material choosing for biologically active preparation obtaining are shown in the article.

Taking into account the fact that the most widespread consumer of biologically active preparations obtained on the basis of peat and sapropel is agriculture and plant growing in particular the most frequently used tests for evaluation their biologically active properties are plant tests. The comparative study of various methods of the evaluation of the growth-stimulating effects of peat and sapropel were performed. Preparations isolated from two types of peat and two types of sapropel with various reagents (water, potassium hydroxide, sodium hydroxide, ammonia) applied in different concentrations to different cultures (corn, barley, radish). The growth stimulation activity of the preparations are estimated with two methods (the effect on germination energy and seed germination and with the method of aquatic cultures).

УДК. 550.8.02 (476)

Р. Е. Айзберг

СИСТЕМНОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ В БЕЛАРУСИ: ОБЪЕКТЫ, МЕТОДОЛОГИЯ, БАЗОВАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

Для создания новой базовой геологической инфраструктуры в Беларуси взамен устаревшей необходимо осуществить новый этап государственной геологической съемки масштабов 1:200 000 и 1:50 000 по номенклатурным листам. Полевые работы, помимо картирования приповерхностных отложений, должны в обязательном порядке включать бурение картировочных и параметрических скважин и проведение геофизических работ.

Системное геологическое картирование применительно к территории Беларуси включает два основных вида исследований:

– геолого-съёмочные работы среднего и крупного масштабов с целью составления и издания **государственных** геологических карт, соответственно, масштабов 1 : 200 000 или 1 : 50 000 по номенклатурным листам с пояснительными записками;

– специальные картосоставительские и картоиздательские работы на основе обобщения существующих геологических (в широком смысле) данных с возможным доизучением конкретных участков отдельными полевыми маршрутами, скважинами или геофизическими методами. Было показано [1, 2], что результаты проведенных во второй половине прошлого века геолого-съёмочных работ М 1 : 200 000 по всей территории Беларуси устарели, и изданные по номенклатурным листам государственные геологические карты с пояснительными записками не соответствуют современным кондициям, уровню геологических знаний и требованиям практики.

Объектами государственного системного геологического картирования Республики Беларусь (как и иных «закрытых» платформенных территорий) на основе съёмки поверхностных отложений, бурения, геофизических, дистанционных, гидрогеологических и иных работ должны быть основные страты платформенного чехла и верхняя часть фундамента. При такой съемке геологические карты четвертичных и дочетвертичных отложений являются неотъемлемой, но лишь составной частью комплекса отчётных карт геологического содержания. Только картографические модели, отражающие геологическое строение поверхностных, приповерхностных и глубинных (1–5 км) зон создают необходимую основу для выявления минерально-сырьевых ресурсов недр и безопасного использования геологической среды.

В настоящее время Геологической службой Минприроды РБ выдвинут план по реализации нового этапа регионального геологического изучения страны. Методологической основой реали-

зации этого плана становятся, по-видимому, основные положения статьи одного из руководителей Геологической службы страны С. О. Мамчика [3]. Понятно, что в условиях запредельно низкого бюджетного финансирования всех работ Геологической службы трудно развернуть в сколько-нибудь значимом объёме региональные геологические исследования с абсолютно необходимыми, согласно **апробированным кондициям, полевыми работами – бурением и геофизическими исследованиями**. В этой связи в целях тотальной минимизации расходов С. О. Мамчик рекомендует резкое сокращение одного из двух главных элементов государственной геологической съёмки в условиях Беларуси – буровых и геофизических работ. Основным направлением предложено сделать не **реальное выявление новых геологических данных о недрах**, а обработку на основе IT-технологий уже имеющихся геологических карт второй половины прошлого века. Утверждение, что «компьютерные технологии привели к революционным изменениям в геологическом картировании» [3, стр. 108] может быть отнесено только к картированию поверхностных и приповерхностных отложений. Но представление карт в цифровом виде не имеет отношения к геологическому картированию как таковому! В цифровом виде сейчас можно представить всё, что угодно: от генома человека до карты видимой Вселенной. Безусловно, перевод старых карт на электронные носители является важнейшей (давно назревшей и перезревшей) задачей. Однако это, по существу, **картосоставительская работа** на новой технической основе, которая имеет лишь косвенное отношение к текущей геологической съёмке, при этом компьютерная съемка, несомненно, позволяет выполнить глубокий анализ **фактического материала** по результатам картирования недр.

Я не могу согласиться с утверждением С. О. Мамчика, что одним из возможных направлений региональных работ по геологическому изучению недр может быть «комплексная многоцелевая геологическая съёмка всей территории Беларуси с составлением в качестве **базовых**

(выделено мною – Р.А.) геологической карты четвертичных и дочетвертичных отложений в масштабе, определённом по опросам потенциальных потребителей» [3, стр. 113]. Таким образом, во-первых, комплексная многоцелевая (т. е. государственная) геологическая съёмка территории Беларуси сведена к картированию и составлению карт четвертичных и дочетвертичных (точнее – предчетвертичных) отложений. Так где же здесь комплексность и многоцелевой характер съёмки? Во-первых, еще раз отмечу, что важные и необходимые карты четвертичных и предчетвертичных отложений геологически закрытых платформенных территорий, к которым относится Беларусь, не могут по определению быть **базовыми** для изучения геологического строения всего платформенного чехла и верхней части фундамента. А, во-вторых, глубинное геологическое картирование, о котором автор цитируемой статьи пишет также как о «возможном направлении региональных работ по геологическому изучению недр» вообще является одним из видов поисковых работ на полезные ископаемые на конкретных участках. В связи с изложенными подходами С. О. Мамчика к региональному изучению недр Беларуси возникает вопрос: О какой «съёмке нового поколения» идёт речь? О так называемой «**интенсивной** съёмке» с резко уменьшенным количеством буровых точек вопреки требованиям и соответствующим кондициям? Ведь последние возникли на основе полуторавекового опыта картирования геологически «закрытых» территорий древних и молодых платформ с малодислоцированными приповерхностными отложениями.

В заключение считаю необходимым напомнить о проблемах базовой инфраструктуры государственной геологической съёмки, составления и издания карт геологического содержания – актуализации стратиграфических, тектонических и литолого-петрографических основ геологической картографии, а также состоянии ана-

литических исследований горных пород. Применительно к неотложной проблеме стратиграфии необходимо отнести определение позиции специалистов в отношении возраста метаморфических комплексов, слагающих основные структуры фундамента. Уже в течение 10–15 лет существуют принципиально противоположные взгляды на возраст указанных архейских и палеопротерозойских комплексов равно авторитетных и компетентных геологов. Вследствие этих противоречий в официальных общегеологических изданиях (учебниках, справочниках, картах геологического содержания) имеет место полный разнобой в трактовке важнейших особенностей строения и истории геологического развития структур фундамента, их корреляции с геологическим строением сопредельных территорий, и, естественно, в обосновании подходов к поискам полезных ископаемых.

Нормативной тектонической основой государственной геологической съёмки масштабов 1 : 200 000 и 1 : 50 000 должна стать новая Тектоническая карта Беларуси М 1 : 500 000, включающая районирование платформенного чехла и фундамента. Чиновники Минприроды РБ явно недооценивают значимость единой тектонической основы для всех видов геологоразведочных работ, особенно – геологической съёмки. Составление Тектонической карты Беларуси было предусмотрено в прошёлшей пятилетке, однако, затем эта работа была исключена из планов. Изданная в БГУ в 2013 г. Тектоническая карта Республики Беларусь М 1 : 500 000 является учебным пособием для студентов и предназначена, соответственно, для учебных целей. Наконец, нельзя не отметить ещё раз, что аналитическая база геологической службы Беларуси предельно устарела, а без использования современных физико-химических методов изучения горных пород и флюидов геологическая съёмка теряет в значительной степени своё значение как важнейшее направление поисков полезных ископаемых.

Литература

1. Айзберг, Р. Е. Проблемы геологического изучения недр Беларуси / Р. Е. Айзберг, Р. Г. Гарецкий, А. В. Кудельский, А. В. Матвеев // Літасфера. – 2010. – № 1 (32). – С. 3–19.
2. Махнач, А. А. О дальнейшем региональном геологическом изучении территории Беларуси / А. А. Махнач [и др.] // Природные ресурсы. – 2010. – № 2. – С. 5–15.
3. Мамчик, С. О. Обоснование подходов и направлений по региональному изучению недр территории Беларуси / С. О. Мамчик // Літасфера. – 2015. – № 1 (42). – С. 106–115.

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 12.06.2017 г.

К 215-летию со дня рождения И. И. Домейко

В 2017 г. исполняется 215 лет со дня рождения Игната Домейко (31.07.1802, Большая Медведка Гродненской области, Беларусь – 23.01.1889, Сантьяго, Чили) – всемирно известного ученого и общественного деятеля, геолога, минералога, географа, этнографа, языковеда, педагога, реформатора образования, национального героя Чили, члена многих научных обществ.

По случаю этого события 31 июля – 03 августа 2017 г. в Минске в Национальной академии наук Беларусь была проведена Международная научная конференция «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Запада Восточно-Европейской платформы: проблемы изучения и рационального использования», посвященная 215-летию со дня рождения И. Домейко. Конференция была организована Национальной академией наук Беларусь совместно с Академией наук Литвы, Министерством иностранных дел Республики Беларусь и Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

На конференции обсуждались проблемы изучения и рационального использования минерально-сырьевых ресурсов, вопросы устойчивого развития Беларусь и сопредельных государств на

основе эффективного использования природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Для участия в конференции зарегистрировалось 163 человека, 11 ученых из Украины, 9 – России, 11 – Литвы, 4 – Польши, 2 – Великобритании и 5 прямых потомков И. Домейко, прибывших из Австралии, Чили и США.

В рамках конференции 31.07.2017 г. в Министерстве иностранных дел Республики Беларусь прошли выставка и прием, посвященные И. Домейко, с участием Министра иностранных дел Республики Беларусь В. В. Макея, Министра информации Республики Беларусь Л. С. Ананич, дипкорпуса (более 40 послов), родственников И. Домейко и группы сотрудников НАН Беларусь (А. В. Кильчевский, А. К. Карабанов и др.).



Открытие конференции и первое пленарное заседание. Выступление Председателя Президиума НАН Беларусь академика В. Г. Гусакова с приветственной речью (фото В. А. Раковича)

Во время открытия конференции с приветственным словом к участникам конференции обратился Председатель оргкомитета конференции, Председатель Президиума Национальной академии наук Беларусь, академик НАН Беларусь В. Г. Гусаков. Участников конференции также приветствовали Председатель комиссии по образованию, культуре и науке Палаты представителей Национального Собрания Республики Беларусь И. А. Марзалик, представители Министерства иностранных дел Республики Беларусь и Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

В ходе пленарного заседания заслушаны шесть докладов. Доклад академика НАН Беларусь В. Г. Гусакова, академика НАН Беларусь А. А. Махнача и академика НАН Беларусь А. К. Карабанова был посвящен научному наследию Игната Домейко и проблемам развития геологических наук на современном этапе.

В докладе профессора А. И. Мальдиса была изложена подробная биография И. Домейко и его научные достижения. Вопросы наследия Игната Домейко в Беларуси и Литве рассмотрены в докладе академика Академии наук Литвы А. Гриляса. В докладах потомков юбиляра И. Домейко – Мигеля Заушкевича Домейко из Чили и Пас Домейко из Австралии – рассматривались вопросы гармонии науки и веры, а также вопросы семейных ценностей в жизни Игната Домейко.

Особенностям сырьевых ресурсов Украины и переходу к новой модели устойчивого развития был посвящен доклад академика НАН Украины Л. Г. Руденко.

Во второй день конференции были проведены секционные заседания по следующим темам:

1. Жизнь и деятельность И. Домейко и его времена.
2. Современные проблемы геологии, минерально-сырьевые ресурсы и их рациональное использование.
3. Современные проблемы геоэкологии и охраны окружающей среды.

Всего по материалам конференции опубликовано 87 докладов. На пленарном и секционных заседаниях было представлено 49 докладов.

В рамках конференции 2–3 августа 2017 г. проведены две научные полевые экскурсии по Гродненской области (Кореличский, Новогрудский, Лидский, Щучинский и Дятловский административные районы), с посещением объектов, связанных с жизнью и деятельностью И. Домейко.

Первая экскурсия проходила по маршруту: г.п. Мир, н.п. Большая Медведка Кореличского района и г.п. Кореличи; г. Новогрудок и оз. Свитязь Новогрудского района. В рамках данного маршрута были проведены экскурсии по экспозициям школьного музея г.п. Мир и Мирскому замку, посвященным И. Домейко, и дому-музею Адама Мицкевича в г. Новогрудке.



**Выступление профессора А. И. Мальдиса –
Міжнародная асацыяцыя беларусістай.
Мінск, Беларусь (фота В. А. Раковіча)**



**Выступление г-жи Пас Домейко (правнучки
И. Домейко). Австралия (фото В. А. Раковіча)**

Вторая экскурсия проходила по маршруту: н.п. Дворец, г. Дятлово, бывшая усадьба Жибуртовщина (Дятловский район); г. Щучин.; г. Лида, н.п. Заполье, и Крупово (Лидский район). В рамках экскурсии были организованы посещение экспозиций школьного музея Круповской средней школы Лидского района и экспозиций, посвященных И. Домейко в г. Щучине и г. Дятлово.

Головной организацией, ответственной за подготовку и проведение конференции, являлся Институт природопользования НАН Беларуси. Информация о конференции широко освещалась в СМИ (телевидение, радио).



**Бюст И. Домейки в д. Большая Медвядка
(фото В. А. Раковица)**



**В музее, посвященном И. Домейко,
в г.п. Мир. 2 августа 2017 г. (фото В. А. Раковица)**



**Встреча участников конференции с хлебом-солью на границе Корелического и
Столбцовского районов. 2 августа 2017 г. (фото В. А. Раковица)**



Участники конференции у Мирского замка. 2 августа 2017 г. (фото В. А. Раковица)



**Участники конференции у камня с барельефом И. Домейко
(Круповская средняя школа, Лидский р-н). 3 августа 2017 г.**

Осознавая необходимость сохранения памяти об Игнате Домейко – великом соотечественнике, ученом и общественном деятеле Беларуси, Литвы, Польши и Чили, участники конференции разработали и одобрили ряд рекомендаций по изучению и развитию его научного наследия, популяризации жизни и деятельности:

1. Национальной академии наук Беларуси и Министерству иностранных дел Республики Беларусь:

1.1. Выступить с инициативой создания Международного общества Игната Домейко, которое бы объединяло исследователей, ученых, дипломатов, предпринимателей, всех тех, кому важно и дорого имя великого соотечественника;

1.2. Предусмотреть комплекс мер и мероприятий, нацеленных на сохранение и защиту объектов историко-культурного наследия, связанных с жизнью и деятельностью Игната Домейко.

2. Национальной академии наук Беларуси и Белорусскому Республиканскому фонду фундаментальных исследований выступить с инициативой поддержки и реализации научных проектов по исследованию научного наследия И. Домейко, инвентаризации и картированию объектов материальной и духовной культуры, связанных с жизнью и деятельностью И. Домейко.

3. Департаменту по архивам и делопроизводству Министерства юстиции Республики Беларусь при содействии Национальной академии наук Беларуси и Министерства иностранных дел Республики Беларусь создать

фонд архивных материалов И. Домейко, включая копии документов, хранящихся в зарубежных странах.

4. Министерству образования Республики Беларусь:

4.1. Для увековечивания памяти И. Домейко присвоить его имя Мирской школе в Кореличском районе и Круповской школе в Лидском районе (в школах имеются музеи И. Домейко), а также одной из кафедр географического факультета Белорусского государственного университета;

4.2. Совместно с Национальной академией наук Беларуси учредить стипендии имени Игната Домейко для студентов и аспирантов в области наук о Земле.

5. Министерству культуры Республики Беларусь переиздать книгу И. Домейко «Мае падарожжы» и снять на ее основе художественный или документальный фильм с целью популяризации жизни и деятельности знаменитого соотечественника.

6. Отделению химии и наук о Земле и Отделению гуманитарных наук и искусств НАН Беларуси:

6.1. Подготовить и издать монографию (брошюру): «Ігнат Дамейка: беларускія старонкі жыцця» с библиографией статей и книг об И. Домейко, изданных в Беларуси;

6.2. Обеспечить научное сопровождение проекта восстановления и археологические изыскания на территории усадьбы Жибуртовщина в Дятловском районе Гродненской области и прилегающей территории, оказать помощь в создании музеиной экспозиции;

6.3. Один раз в пять лет проводить научные чтения (конференции) посвященные И. Домейко.

Представленные на конференции научные доклады опубликованы в сборнике докладов конференции: Геология и минерально-сырьевые ресурсы запада Восточно-Европейской платформы: проблемы

изучения и рационального использования : материалы Международной научной конференции, посвященной 215-летию со дня рождения И. Домейко, г. Минск, 31 июля – 3 августа 2017 г. / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]; редакция: А. К. Карабанов [и др.]. – Минск : СтройМедиаПроект, 2017. – 372 с.

**А. К. Карабанов – академик, доктор геол.-минер. наук, профессор,
В. А. Ракович – кандидат техн. наук,
В. С. Хомич – доктор геогр. наук**

**О Международной научной конференции
«Современные проблемы геохимии, геологии и
поисков месторождений полезных ископаемых»,
посвященной 110-летию со дня рождения академика К. И. Лукашёва**

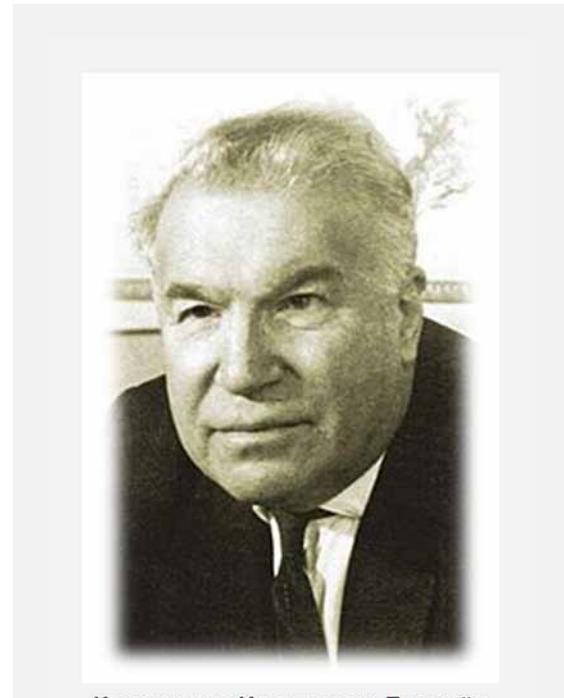
23–24 мая 2017 г. на географическом факультете Белорусского государственного университета состоялась Международная научная конференция «Современные проблемы геохимии, геологии и поисков месторождений полезных ископаемых», посвященная 110-летию со дня рождения видного ученого в области наук о земле академика К. И. Лукашёва. Научная деятельность К. И. Лукашёва многогранна и связана с такими научными направлениями, как грунтоведение, физическая и экономическая география, четвертичная геология, геохимия, рациональное природопользование и охрана окружающей среды.

В начале своей научной деятельности Константин Игнатьевич вел инженерно-геологические исследования в Забайкалье и Амурской области, исследуя территорию вдоль трассы Байкало-Амурской магистрали, что легло в основу его работ по генетическому грунтоведению. Опыт работы в США позволил ему написать ряд работ по экономике США, проблемам минеральных ресурсов и geopolитике.

Вернувшись в Беларусь, К. И. Лукашёв основал белорусскую геохимическую школу. Проведенные под его руководством исследования позволили выполнить геохимическое районирование территории Беларуси, выявить закономерности миграции химических элементов в зоне гипергенеза, а также решить ряд прикладных задач геохимии и природопользования. Ученым разработана зональная геохимическая классификация коры выветривания, предложена геохимическая теория лессообразования, изучены и классифицированы различные генетические типы четвертичных отложений.

Исследования в области геологии, проводимые К. И. Лукашёвым и его коллегами, были направлены на обоснование перспектив поисков месторождений полезных ископаемых, в частности, решению проблем нефтегазоносности Припятского прогиба, развитию геохимических аспектов нефтеобразования, геохимических критериев нефтеносности и поисков нефти.

В серии монографий, опубликованных в последние годы жизни, представлены научные основы охраны окружающей среды и биосферы. Под руководством К. И. Лукашёва создан первый в истории страны долгосрочный прогноз изменения окружающей среды под влиянием техногенеза в последней четверти XX века.



**Константин Игнатьевич Лукашёв
(1907–1987)**

Научные направления и тематика докладов, представленных на юбилейной конференции, охватывали широкий круг современных проблем геологии, минералогии, поисков полезных ископаемых, геохимии и геоэкологии. Всего в работе конференции приняли участие более 200 ученых и специалистов из 74 научных, образовательных, производственных и ведомственных организаций Беларуси, России, Украины, Польши, Чехии, Венгрии и Испании.

Конференция включала пленарное заседание, тематические секции, а также круглый стол и полевую геологическую экскурсию.

Работу конференции открыл проректор Белгосуниверситета по научной работе В. Г. Сафонов. С приветственным словом выступили декан географического факультета Н. В. Клебанович и начальник управления по геологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь С. О. Мамчик. Своими воспоминаниями об академике К. И. Лукашёве поделился академик Р. Г. Гарецкий. На пленарном заседании выступили также доцент О. В. Лукашёв, проф. В. Б. Кадацкий, канд. геол.-мин. наук Я. Г. Грибик,

проф. А. Ф. Санько. Докладчики отметили различные аспекты жизни, научной, общественной и организационной деятельности К. И. Лукашёва, а также свое видение развития направлений, входящих в тематику конференции.

После пленарного заседания 23 и 24 мая состоялась работа секций: «Геохимия и минералогия», «Инженерная геология» «Экологическая геохимия и экологическая геология», «Геология и полезные ископаемые» и «Четвертичная геология». Работа каждой сессии завершалась дискуссией и принятием решений. Часть докладов была представлена в виде стендовых сообщений. Всего за время конференции было прочитано более 50 докладов.

Круглый стол был посвящен актуальным проблемам геологии Беларуси, на котором с тематическими докладами выступили академик А. К. Карабанов, С. О. Мамчик, Л. И. Мурашко. Состоялся обмен мнениями по возможному решению обсуждаемых проблем.

В заключительный день конференции профессором А. Ф. Санько была проведена полевая геологическая экскурсия «Поздний плейстоцен в окрестностях г. Минска».

По результатам конференции был принят ряд решений, которые будут способствовать дальнейшему развитию различных направлений геохимических, геологических и экологических исследований в нашей стране.

В частности, необходимо интенсифицировать работы по изучению трансграничных экологических процессов и выявлению роли техногенеза в формировании геохимических потоков за-

грязняющих веществ, разработке экологических критериев и нормативов содержания загрязняющих веществ в различных природных средах, влияния химического загрязнения на состояние окружающей среды Беларуси и сопредельных регионов.

Требуется активизировать научные исследования в области геологии, направленные на последующее практическое использование полученных результатов. В частности, необходимо развивать региональные геологические и инженерно-геологические работы, включающие геологическую съемку платформенного чехла и кристаллического фундамента территории Беларуси с использованием геофизических, дистанционных, гидрогеологических и иных методов, что будет способствовать выявлению новых месторождений полезных ископаемых.

Результаты современных исследований по экологической геохимии, инженерной геологии, четвертичной геологии и другим направлениям, рассмотренным на конференции, рекомендовано более активно внедрять в учебный процесс, что позволит на современном научном уровне подготовить высококвалифицированных специалистов в области геохимии и геологии.

Результаты конференции показали, что необходимо углублять межгосударственное научное сотрудничество в области геохимии, геологии и геоэкологии, проводить обмен научным опытом и учебными материалами, организовывать совместные мероприятия в рамках деятельности Белорусско-Российского центра наук о Земле.

*С. В. Савченко – кандидат геол.-минерал. наук,
В. С. Хомич – доктор географических наук
22.08.2017*



К 85-летию академика И. И. Лиштвана

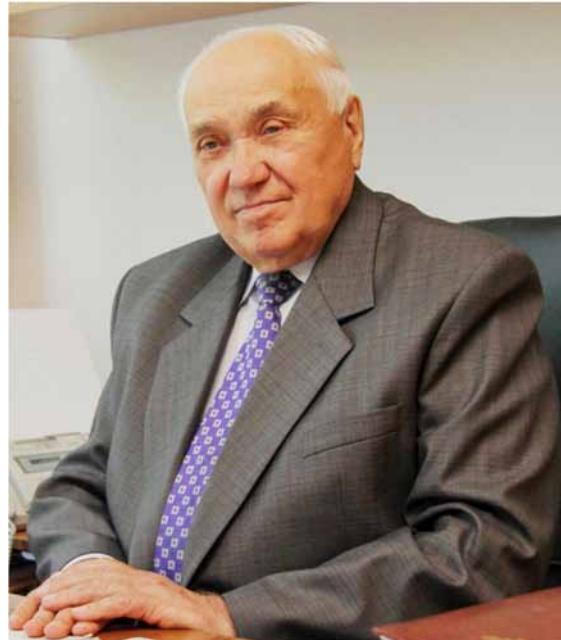


Иван Иванович Лиштван

*академик,
доктор технических наук,
профессор, Заслуженный деятель
науки и техники Республики Беларусь,
Лауреат Государственной премии,
главный научный сотрудник
Института природопользования
НАН Беларуси*

3 ноября 2017 г. исполняется 85 лет выдающемуся ученому в области физикохимии торфа и пламенному патриоту своей Родины – главному научному сотруднику лаборатории физикохимической механики природных дисперсных систем Института природопользования Национальной академии наук Беларусь доктору технических наук, профессору, академику НАН Беларуси, Заслуженному деятелю науки и техники Республики Беларусь Ивану Ивановичу Лиштвану.

И. И. Лиштван в 1956 г. окончил с отличием торфяной факультет Белорусского политехнического института (ныне Белорусский национальный технический университет). В 1958 г. он поступил в целевую аспирантуру при кафедре физики Московского торфяного института, где его научным руководителем был известный физико-реолог профессор М. П. Воларович. Одновременно с обучением в аспирантуре прослушал курс коллоидной химии при кафедре коллоидной химии МГУ им. М. В. Ломоносова под руководством академика П. А. Ребиндера. В 1961 г. И. И. Лиштван защитил кандидатскую диссертацию на тему «Физико-химические основы управления структурно-реологическими свойствами торфа и гуминовых веществ». После перевода торфяного института из г. Москвы в г. Калинин работал в Калининском торфяном институте (ныне Тверской государственный технический университет), где под руководством профессоров М. П. Воларовича и Н. В. Чураева вместе с известным ученым-теплофизиком Н. И. Гамаюновым создал лабораторию по изучению физикохимических свойств торфа, руководил лабораторией радиоактивных методов исследования



дисперсных систем, а затем – проблемной лабораторией по комплексному использованию торфа в народном хозяйстве. В 1969 г. И. И. Лиштван защитил докторскую диссертацию на тему «Исследование физико-химической природы торфа и процессов структурообразования в природных системах с целью регулирования их свойств» и создав кафедру физики и химии торфа, возглавил ее. В 1971 г. ему было присвоено звание профессора.

В 1973 г. И. И. Лиштван был приглашен в Академию наук БССР на должность директора Института торфа, что положило начало новому наиболее яркому и плодотворному этапу его научной и организаторской деятельности. В 1974 г. И. И. Лиштван был избран членом-корреспондентом, а в 1980 г. – академиком АН БССР. С 1987 по 1992 г. являлся вице-президентом АН БССР (АН Беларусь), а с 1992 по 2002 г. – академиком-секретарем Отделения химии и наук о Земле НАН Беларусь.

Академик И. И. Лиштван являлся сопредседателем комиссии Парламентского собрания Союза Беларусь и России по вопросам экологии, природопользования и ликвидации последствий аварий, был избран иностранным членом Польской академии наук, Горной академии наук России, почетным членом Международного торфяного общества, имеет звание почетного выпуск-

ника БПИ и является почетным профессором ряда университетов.

Академик И. И. Лиштван широко известен в стране и за рубежом как крупный ученый в области коллоидной химии и физико-химической механики природных дисперсных систем, природопользования, охраны окружающей среды и экологии. Под его руководством и при непосредственном участии выполнены важнейшие работы по физикохимии торфа, гуминовых веществ, битумов и биологически активных соединений. Большое научное и практическое значение имеют работы в области ионного обмена, гидрофильности, тепломассопереноса и реологии органогенных природных дисперсных материалов при положительных и отрицательных температурах. Он впервые предложил и обосновал факторы, определяющие структуру торфа как сложной многокомпонентной полуколлоидно-высокомолекулярной системы с признаками полиэлектролитов и микромозаичной гетерогенности, а также возможность применения сапропелей в технологии геологоразведочного и промыслового бурения скважин и других областях экономики.

По результатам исследований И. И. Лиштваном лично и в соавторстве опубликовано более 1200 научных работ, в их числе 46 монографий, учебные пособия, брошюры, научные статьи, им получено 98 авторских свидетельств на изобретения и патентов. Он подготовил 7 докторов и 45 кандидатов наук.

В 1978 г. ему было присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки и техники Белорусской ССР». В 1997 г. за выдающиеся результаты, полученные при выполнении совместного научного исследования «Новые углеродные адсорбенты из местного сырья для решения проблем экологии и медицины» ему была присуждена премия Президентов академий наук Украины, Беларуси, Молдовы. В 1998 г. он был награжден орденом Франциска Скорины, в 1982 г. – орденом Дружбы народов. В 2002 г. за цикл работ по диагностике состояния природной среды на основе аэрокосмических, лидеарных, наземных и химико-аналитических методов и средств И. И. Лиштван был удостоен Государственной премии Республики Беларусь. В 2009 г. был награжден медалью «За трудовые заслуги». Является почетным экологом Республики Беларусь. Награжден межотраслевым знаком «Горняцкая слава» первой, второй и третьей степеней, золотой медалью научно-промышленной палаты Евросоюза, Почетными грамотами правительства Республики Беларусь, ряда министерств и органов государственного управления.

В настоящее время И. И. Лиштван является научным руководителем базовых программ, выполняемых созданной им (1974 г.) лабораторией физико-химической механики природных

дисперсных систем, по трем основным направлениям:

– процессы взаимосвязанного тепло- и массопереноса и преобразования структуры природных дисперсных сред под воздействием температурных и влажностных полей;

– физико-химические методы регулирования реологических, сорбционных и мелиоративных свойств гуминовых соединений торфа;

– процессы термохимической переработки торфа, бурых углей, растительных отходов для получения жидких, твердых и газообразных высококалорийных энергоносителей.

В сфере постоянного внимания и научных интересов И. И. Лиштвана, как и в предыдущие годы, находятся проблемы коллоидной химии гуминовых веществ.

Так, коллектив лаборатории под руководством и при непосредственном участии И. И. Лиштвана выполнил исследования механизма трансформации молекулярных фрагментов гуминовых веществ, их миграционной и сорбционной активности в модельных и природных средах, а также их воздействия на процессы структурообразования в реологических системах. Впервые была доказана взаимосвязь между топографией функциональных групп молекулярных фрагментов гуминовых соединений в водных средах и комплексообразующей активностью их как сорбентов ионов поливалентных металлов в средах разной кислотности и засоленности, а также регуляторов реологии буровых минеральных дисперсий и регуляторов влагопереноса в пористых засоленных грунтах.

Большое внимание И. И. Лиштван уделяет решению проблемы использования местных твердых горючих ископаемых в энергетике Республики Беларусь. Под его руководством были выполнены исследования процессов термохимической переработки бурых углей и горючих сланцев, в результате чего были разработаны термохимические способы получения жидких, твердых и газообразных энергоносителей из каустобиолов и их смесевых композиций.

На основе базовых теоретических и лабораторных исследований выполнен ряд важнейших договорных работ, в частности, по заказам ОАО «Белгорхимпром» и ООО «К-Поташ Сервис» – обоснования проектов строительства горно-обогатительных комбинатов в Беларусь и Туркменистане.

Одним из приоритетных направлений исследований И. И. Лиштвана является решение такой острой проблемы как утилизация зольных отходов. В последние годы под его руководством был выполнен комплекс исследований по этой тематике, в результате чего были разработаны технологии получения из золы различных материалов: новых бетонных сме-

сей, включая высокопрочные, смесей дорожных технических вяжущих и мелиорантов грунтов органоминеральных для применения местными предприятиями.

В настоящее время по инициативе и под руководством И. И. Лиштвана выполняются работы по созданию комбината по глубокой комплексной переработке торфа с получением новых продуктов и материалов с высокой добавленной стоимостью для промышленного, сельскохозяйственного и природоохранного использования (активированных

углеродных адсорбентов из торфа, гуминовых препаратов широкого спектра действия, комплексных гранулированных удобрений, кипованого верхового торфа, торфяных грунтов и субстратов, сорбционных материалов).

Накануне своего юбилея И. И. Лиштван полон грандиозных планов, идей и замыслов, энергичен и целеустремлен. Сердечно поздравляем его и искренне желаем крепкого здоровья, творческих успехов, долгих лет служения любимому делу для процветания Беларуси.

С уважением, ученики и коллеги



Галина Васильевна Наумова

*доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник
Института природопользования
НАН Беларусь*

Доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института природопользования НАН Беларусь Галина Васильевна Наумова более 50-ти лет посвятила торфяной науке, став известным специалистом в области химической технологии твердых горючих ископаемых. Так сложилась ее творческая судьба, что свой юбилей она отмечает одновременно с юбилеем Института торфа АН БССР (ныне Институт природопользования НАН Беларусь), ровесником которого она является. О событиях, связанных с его многогранной деятельностью, с его успехами и достижениями она может рассказать с гордостью и не понаслышке, ибо научно-исследовательская работа в стенах этого института стала главным делом ее жизни.

Г. В. Наумова родилась 20 ноября 1932 г. в Москве, в семье студента, который после окончания учебы (1935 г.) был направлен на работу в Беларусь, где прошла вся его трудовая деятельность, связанная со спиртовой отраслью промышленности.

Ее довоенное детство не было радужным, так как в начале 1937 г. отец был репрессирован, а мать вместе с детьми бедствовала без жилья и работы. В 1939 г. он был реабилитирован, а в 1941 г. – ушел на фронт.

В первые дни войны они стали беженцами, товарными поездами под бомбежками добираясь в тыл (Горьковская область), где Гая училась в сельской школе, а летом в возрасте 10–12 лет трудилась в колхозе на полевых работах вместе с мамой.

В 1945 г. вернулся с войны ее отец – участник обороны Сталинграда, освобождения Польши и Пруссии, о чем свидетельствуют его фронтовые награды.

Семья родителей возвращается в Белоруссию, где Галина в 1950 г. в г. п. Ивацевичи в числе лучших учеников оканчивает среднюю школу и в этом же году поступает в Белорусский



политехнический институт (г. Минск) на химико-технологический факультет, желая, как и ее отец, стать специалистом в области спиртового производства.

В 1955 г., закончив обучение, она получает диплом инженера-технолога бродильных производств. Однако стать потомственным «спиртовиком» ей не пришлось.

В 1957 г. она поступает на работу на Опытную станцию Института торфа АН БССР, где начала функционировать первая опытная химическая установка по производству торфяного воска, и нужны были специалисты химического профиля. Так решилась ее дальнейшая судьба, приведшая в науку о торфе. На опытной установке отрабатывались основные оптимальные режимы воскового производства, что легло в основу исходных данных для проектирования и создания будущего завода горного воска.

Для Галины Васильевны указанные работы явились хорошей школой по освоению новых технологий в опытном масштабе с выходом на создание более крупного производства, что не раз в дальнейшем ей пришлось осуществлять вместе с сотрудниками в качестве руководителя новых разработок. В 1958 г. она возглавила лабораторию Торфяной опытной станции, где под ее руководством проводился весь комплекс технических анализов торфа.

Г. В. Наумова одновременно принимала участие в научно-исследовательских работах института по изучению изменения битумов торфа

при саморазогревании. В результате исследований было показано, что саморазогревание торфа приводит к существенным потерям битуминозной части, что связано с окислением его смолистых веществ.

Увлеченность Галины Васильевны научно-исследовательской работой, умение четко наладить дела в лаборатории опытной станции не остались без внимания руководства института. Ей было предложено поступление в аспирантуру.

Сдав с оценкой «отлично» все кандидатские минимумы, в 1962 г. она поступает в очную аспирантуру Института торфа АН БССР по специальности «Химическая технология топлива и газа», представив досрочно в 1965 г диссертационную работу «Изменение химического состава сфагновых торфов и мхов при саморазогревании».

После окончания аспирантуры и успешной защиты диссертации (в начале 1967 г.) Г. В. Наумова работает на должности младшего научного сотрудника, а затем – старшего научного сотрудника в лаборатории саморазогревания торфа. Ее исследованиями выявлена важная роль ферментов торфа на начальной стадии его саморазогревания. Показано, что энзимами богата торфянная залежь первых лет добычи торфа. Установлено затухание ферментативной активности в глубине залежи, а в погребенных торфах жизнедеятельность ферментов вовсе не обнаружена. Результаты этих работ опубликованы в монографии «Превращение торфа и его компонентов в процессе саморазогревания при хранении» (1972 г.), где предложено рассматривать ферментативную активность торфа как диагностический показатель его склонности к саморазогреванию при хранении.

В 1972 г. в должности старшего научного сотрудника Галина Васильевна переведена в лабораторию физико-химии торфа, где под ее руководством создается научно-исследовательская группа для разработки импортозамещающих антиадгезионных (разделительных) составов на основе восковых композиций для формования изделий из пенополиуретана, используемых в автомобилестроении, в частности, в производстве легковых автомобилей. Такие восковые композиции, в первую очередь, были необходимы ВАЗу, закупавшему эти составы в Италии и Германии.

Первым удачным решением коллектива разработчиков (П. И. Белькевич, Г. В. Наумова, Д. А. Хоняк, А. И. Некрашевич) явился отечественный антиадгезив ИТАН, для производства которого по заданию Минхимпрома ССР в 1973 г. была создана промышленная установка по его выпуску на заводе Горного воска. Затем были разработаны антиадгезивы Свислочь, Белка и др. для формования изделий из полужесткого и интегрального полиуретана. За разработку и внедрение импортозамещающих антиадгезивов на предприятиях страны (Волжский автозавод, Сызранский завод пластмасс, Московский АЗЛК,

Ижевский автозавод, Запорожский автозавод) коллектив разработчиков института неоднократно поощрялся премиями Минхимпрома ССР и награждался золотыми, серебряными и бронзовыми медалями ВДНХ ССР.

С 1975 г. на протяжении 18 лет Г. В. Наумова занимала должность заведующего лабораторией биотехнологий. В 1980-х годах в связи с недостатком кормов в республике этой лабораторией разработана серия кормовых добавок для животноводства с использованием продуктов переработки малоразложившегося сфагнового торфа, в том числе, торфяной мелассы, осахаренного торфа, торфобордяного корма, а также амидоконцентратных добавок, включающих мочевину, сапропель и торф, которые позволяли пополнить кормовые рационы крупного рогатого скота, особенно в неурожайные годы. Это явилось основанием для защиты в 1987 г. диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук по теме «Углеводно-гуминовый комплекс торфа, его переработка и использование».

Одновременно в этот период в лаборатории начаты исследования по оценке торфа и продуктов его химической деструкции, как источника биологически активных веществ. В результате проведения этих работ были разработаны эффективные биологически активные препараты для биотехнологии (Биосин), для медицины, растениеводства, животноводства, птицеводства и других областей. Совместно с Одесским НИИ глазных болезней и тканевой терапии МЗ УССР был разработан эффективный способ получения лекарственного средства Торфот для офтальмологии и гинекологии, выпускаемого заводом «Биостимулятор» (г. Одесса), экспортруемый в 20 стран мира. Разработаны также способы получения противовирусных и противоопухолевых препаратов, защищенные авторскими свидетельствами ССР.

С использованием методов окислительно-гидролитической деструкции торфа, бурых углей, сапропелей и отходов растительного сырья в 1990-е годы разработаны технологии производства регуляторов роста растений Оксидат торфа, Гидрогумат, Оксигумат, Мальтамин, Мальтамин LX, Феномелан, Таболин, Аминогумат. Производство большинства из них освоено на ряде промышленных установок и предприятий Беларуси и широко используется в АПК республики и других отраслях.

На основе гуминовых регуляторов роста в содружестве с РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларусь» разработаны гуматы содержащие минеральные удобрения (МАГ-рапс и МАГ-кукуруза), используемые при выращивании этих культур, а также новые формы азотных, фосфорных, калийных и комплексных удобрений, включающие регуляторы роста Гидрогумат и Оксигумат. Так, ОАО «ГродноАзот» выпускало в течение многих лет ежегодно до 30–40 тыс. т гуматодержащего карбамида.

Она принимала активное участие в оценке торфяных отложений практически значимых торфяных месторождений Беларуси, в том числе, месторождения «Туршовка-Чертова», где намечено создание комбината по глубокой комплексной переработке торфа с получением новых продуктов и материалов.

В последние годы совместно НПЦ по животноводству НАН Беларуси и РУП «Институт экспериментальной ветеринарии им. С. Н. Вышелесского», разработаны технологии и освоено производство новых эффективных биологически активных кормовых добавок для животноводства и птицеводства Гумосил, Эколин, Ипан, повышающих продуктивность, иммунитет и сохранность поголовья животных.

На основе продуктов окисления торфа разработаны и выпускаются предприятиями «БелУниверсалПродукт» и «ЧервеньАГРО» импортозамещающие консерванты влажного зерна (Гумоплюс) и зеленых кормов (Консил-УНИ), пользующиеся спросом в хозяйствах республики.

В настоящее время разработаны технологии и завершены испытания регулятора роста

растений, обогащенного азотом, Гуморост и пектинодержащей кормовой добавки ПКД, производство которой начато на предприятии «БелУниверсалПродукт».

За время научной деятельности Г. В. Наумовой подготовлено 6 кандидатов наук, за что ей в 2010 г. присвоено звание профессора. Творческий багаж юбиляра составляет 3 монографии, более 450 научных статей, отдельные из которых опубликованы за рубежом. Она является автором 40 авторских свидетельства СССР, за что она награждена медалью «Изобретатель СССР», 16 патентов РБ и 2 евразийских патентов.

Галина Васильевна неоднократно поощрялась Почетными грамотами Минсельхозпрода РБ, концерна «Белнефтехим РБ», Президиума Национальной академии наук Беларуси, Института торфа АН БССР и Института природопользования НАН Беларуси.

В связи с юбилеем от всего сердца желаем Галине Васильевне крепкого здоровья, новых творческих успехов и достижений!

*А. К. Карабанов, А. Э. Томсон,
Н. А. Жмакова, Н. Л. Макарова, Т. Ф. Овчинникова*

Научное издание
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Сборник научных трудов
Выпуск 31

Редактор *Н. Т. Гавриленко*
Компьютерная верстка *Т. Н. Козловская*
Переводчик *М. Ю. Козловская*

Подписано в печать 27.09.17. Формат 60×90/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Ариал. Печать цифровая. Усл. печ. л. 24,03. Уч.-изд. л. 19,36.
Тираж 110 экз. Заказ № 1188.

Издатель и полиграфическое исполнение
Государственное предприятие «СтройМедиаПроект».
Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/43 от 03.10.2013,
№ 2/42 от 13.02.2014.
Ул В. Хоружей, 13/61, 220123, г. Минск