ISSN 2079-3928

Природопользование

ВЫПУСК 27

2015

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ»

Природопользование

Сборник научных трудов

Основан в 1996 г.

Выпуск 27

МИНСК

«СтройМедиаПроект»

2015

УДК 504.(476) (082)

В сборнике приведены результаты исследований по проблемам природопользования и охраны окружающей среды, разработки биосферносовместимых технологий переработки и использования твердых горючих ископаемых, растительного сырья и отходов. Серия статей посвящена вопросам природопользования в Припятском Полесье.

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

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

© Институт природопользования НАН Беларуси, 2015

С О Д Е Р Ж А Н И Е

I. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ		
Хомич В. С., Карабанов А. К., Лиштван И. И., Пугачевский А. В., Петрушко И. С., Демянчик В. Т., Кадацкая О. В., Санец Е. В., Струк М. И., Шкутов Э. Н., Юргенсон Н. А., Яковлев А. П.	Природные ресурсы Припятского Полесья и их рациональное использование	5
Кадацкая О. В., Овчарова Е. П., Санец Е. В.	Гидроэкологическая оценка поверхностных водных ресурсов Припятского Полесья	17
Струк М. И.	Оценка средоформирующей роли объектов животноводства в Припятском Полесье	24
Иваненко Е. И.	Возможности расширения природно-заповедного фонда Украинского Полесья	33
Струк М. И., Флерко Т. Г., Кузнецов Д. П.	Геоэкологическая оценка трансформации сельского расселения (на примере Петриковского района)	39
Карабанов А. К., Матвеев А. В., Чунихин Л. А., Дроздов Д. Н., Чеховский А. Л., Жук И. В., Ярошевич О. И., Конопелько М. В.,	Радон и дочерние продукты его распада в воздухе зданий на территории Беларуси	49
Матвеев А. В., Автушко М. И., Нечипоренко Л. А.	Радонопродуцирующий потенциал флювиогляциальных отложений Беларуси	54
Логинов В. Ф.	Оценка неопределенностей в изменении глобальной температуры за период инструментальных наблюдений	61
Камышенко Г. А.	Оценка адаптации структуры посевных площадей к изменяющимся агроклиматическим условиям	68
Селицкая В. В., Санец Е. В.	Разработка показателя качества поверхностных вод по биогенным веществам	77
Романкевич Ю. А.	Комплексная эколого-геохимическая оценка состояния водных объектов малого города Беларуси (на примере г. Несвижа)	85
Волчек А. А., Чезлова О. Е.	Оценка влияния микробиологической составляющей животноводческих стоков земледельческих полей орошения на дренажные воды (на примере СГЦ «Западный»)	95
Козыренко М. И., Кухарчик Т. И.	Содержание тяжелых металлов в лакокрасочной продукции и его регулирование	101
Лукашёв О. В., Жуковская Н. В., Лукашёва Н. Г., Творонович-Севрук Д. Л., Савченко С. В.	Содержание химических элементов в современных донных отложениях рек Беларуси (техногеохимический аспект)	109
Воробьев Д. С.	Оценка состояния и перспективы использования древесного сырья как источника энергии на территории Жлобинского района	118
Тановицкая Н. И., Навоша Ю. Ю., Ратникова О. Н., Леонович Е. П.	Определение направлений использования торфяных месторождений и болот Брестской области с учетом их современного состояния	126
Краковецкий А. В.	Экономическая целесообразность создания модульных мини-заводов при производстве топливного брикета в Республике Беларусь	133
Макаренко Т. И., Лис Л. С., Кунцевич В. Б.,	Актуализация данных о запасах торфа на торфяных месторождениях расчетными методами	138

II. БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ		
Лиштван И. И., Абрамец А. М., Янута Ю. Г., Першай Н. С., Алейникова В. Н.	Капиллярные явления в пористых реологически сложных средах	144
Лиштван И. И., Дударчик В. М., Крайко В. М., Ануфриева Е. В., Смолячкова Е. А.	Пиролиз биомассы и характеристика получаемых продуктов	151
Бровка Г. П., Агутин К. А.	Компьютерное моделирование теплового режима промерзающих торфяных почв	159
Лиштван И. И., Максимова П. М., Феклистова И. Н., Наумова Г. В., Маслак Д. В., Садовская Л. Е., Скакун Т. Л., Жмакова Н. А., Макарова Н. Л., Овчинникова Т. Ф.	Новый комплексный биопрепарат Гулливер бактерицидного и ростстимулирующего действия на основе штамма бактерий *Pseudomonas Sp.* и гуминовых веществ	167
Бамбалов Н. Н., Бачура-Тюликова Д. С.	Изменение поверхностного натяжения растворов гуматов натрия во времени	175
Бамбалов Н. Н., Милевич М. С.	Влияние торфяных структурообразователей на агрегатный состав почв	180
Курзо Б. В., Жуков В. К., Гайдукевич О. М., Кляуззе И. В., Муравьёв А. И., Калилец Л. П., Барановская М. В.	Водопоглощаемость топливных гранул на основе торфа	186
Наумова Г. В., Томсон А. Э., Жмакова Н. А., Макарова Н. Л., Овчинникова Т. Ф., Царюк Т. Я.	Физико-химические свойства и химический состав пектинсодержащей кормовой добавки	192
Кашинская Т. Я.	Влияние технологий добычи на качество торфа как битуминозного сырья	198
Томсон А. Э., Павлюшнева Н. О.	Применение органических сорбентов для сбора нефти с поверхности воды и очистки сточных вод от нефтемаслопродуктов	206
Цыганов А. Р., Прохоров С. Г., Стригуцкий В. П., Соколова Т. В., Томсон А. Э., Пехтерева В. С., Боголицын К. Г., Селянинина С. Б.	О вкладе гуминовых кислот в парамагнетизм торфяных битумов	211
Коврик С. И., Бамбалов Н. Н., Соколов Г. А., Гаврильчик Н. С., Павлов К. А., Крышнев М. М.	Оценка прецизионности методики определения массовой доли гуминовых кислот в жидких гуминовых препаратах	217
НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ		
Какарека С. В., Кухарчик Т. И.	Загрязнение природной среды в районах базирования Антарктических научных станций	222
КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ		
Лицкевич А. Н., Гулькович М. В., Черничко О. А.	Осадки сточных вод молокоперерабатывающих предприятий как вторичное сырье	230
ХРОНИКА		
Хомич В. С., Санец Е. В.	Природные ресурсы Полесья: оценка, использование, охрана	234
ЮБИЛЕИ		
	К 75-летию академика В. Ф. Логинова	239

I. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 504.062(476)

В. С. Хомич[1], А. К. Карабанов[1], И. И. Лиштван[1], А. В. Пугачевский[2], И. С. Петрушко[3], В. Т. Демянчик[4], О. В. Кадацкая[1], Е. В. Санец[1], М. И. Струк[1], Э. Н. Шкутов[5], Н. А. Юргенсон[6], А. П. Яковлев[7]

ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ ПРИПЯТСКОГО ПОЛЕСЬЯ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Приведены основные результаты работ по научному обеспечению рационального природопользования в Припятском Полесье, полученные в рамках выполнения Государственной программы социально-экономического развития и комплексного использования природных ресурсов Припятского Полесья на 2010–2015 годы. Представлена оценка природно-ландшафтных условий региона и использования его природно-ресурсного потенциала. Показаны основные направления оптимизации природопользования по отношению к каждому из видов природных ресурсов.

Устойчивое развитие страны может быть достигнуто не иначе как через устойчивое развитие составляющих ее регионов. Существенную роль при этом играют местные природные ресурсы. В пределах каждого из регионов они характеризуются специфическим набором, запасами, свойствами, условиями и предпосылками освоения. Для их рационального использования необходимо соответствующее научное обоснование. Подобного рода обоснование разрабатывается для региона Припятского Полесья в рамках реализации Государственной программы социально-экономического развития и комплексного использования природных ресурсов Припятского Полесья на 2010–2015 годы (далее – Госпрограмма).

Целью указанной программы является обеспечение устойчивого социально-экономического развития региона на основе комплексного использования природных ресурсов, увеличения экспорта и инвестиций, сохранения условий воспроизводства природно-ресурсного потенциала и создания благоприятных условий для проживания населения. В ее составе предусмотрено около 500 мероприятий. Из них большая часть направлена на развитие сельского хозяйства (29,6 %), социальной сферы (22,1) и туризма (16,8 %).

Научное обеспечение Госпрограммы осуществляется по трем направлениям, включающим рациональное использование природно-ресурсного потенциала региона, фиторекультивацию выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений и развитие мясного скотоводства с использованием кормовой базы пойменных и прилегающих к ним земель. В исследованиях принимают участие 7 учреждений Национальной академии наук Беларуси. Головной из них является Институт природопользования, соисполнителями – Институт мелиорации, НПЦ по биоресурсам, Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича, Полесский аграрно-экологический институт, НПЦ по животноводству, Центральный ботанический сад.

Статья подготовлена по результатам, полученным в ходе выполнения указанных исследований, и посвящена научному обоснованию рационального природопользования в регионе Припятского Полесья. Подобного рода вопросы рассматривались и ранее [10], однако они касались преимущественно оценки природно-ресурсного потенциала рассматриваемого региона как фактора его социально-экономического развития.

В настоящей статье акцент сделан на использовании природных ресурсов. Она состоит из двух частей. В первой части рассмотрены основные направления рационального использования природных ресурсов всего Припятского Полесья – климатических, земельных, водных, биологических, рекреационных, выбывших из эксплуатации торфяных месторождений, а также территориальная организация природопользования. Во второй – проблемы использования пойменных земель региона в связи с развитием мясного животноводства.

Территория Припятского Полесья определена Госпрограммой в границах семи административных районов, в пределах которых расположена пойма р. Припяти. Три из них (Лунинецкий, Пинский и Столинский) находятся в Брестской, четыре (Житковичский, Мозырский, Наров-

лянский и Петриковский) – в Гомельской области. Общая площадь региона – 18 250 км^2 или 8,8 % территории страны и около третьей части территории Белорусского Полесья. В регионе проживает 541 тыс. чел. или 6 % населения Беларуси.

Основные направления рационального использования природных ресурсов и территориальная организация природопользования

Природно-ландшафтные предпосылки природопользования. Регион Припятского Полесья в природно-ландшафтном отношении представляет собой сочетание природных комплексов долины р. Припяти – аллювиальных и озерно-аллювиальных низин и болот поймы и двух надпойменных террас с водно-ледниковыми и моренными равнинами и возвышенностями. В составе покровных отложений низин и равнин преобладают пески и торф, что обуславливает опасность возникновения дефляционных процессов при их сельскохозяйственном использовании. Моренные возвышенности подвержены интенсивной линейной и плоскостной эрозии. Грунтовые воды на большей части территории залегают близко от поверхности и характеризуются слабой защищенностью от загрязнения.

Отмеченные природно-ландшафтные условия территории обусловили относительно низкую ее заселенность, высокую степень сохранности естественных экосистем, повышенную в сравнении с другими регионами долю осушенных земель. Преобладание в регионе низинных природных комплексов долины р. Припяти и ее притоков, занятых естественной луговой растительностью, а также наличие больших площадей мелиорированных земель, для которых оптимальным использованием является выращивание трав, предопределяют благоприятные предпосылки для развития здесь животноводства, ориентированного на разведение крупного рогатого скота. Вместе с тем наличие в его пределах крупных лесных и болотных массивов определяет уникальное значение территории для сохранения биологического и ландшафтного разнообразия. Поэтому основным требованием к организации природопользования в регионе должно быть сочетание его экономической эффективности с бесконфликтным выполнением экологических функций.

Минерально-сырьевые ресурсы. Регион Припятского Полесья богат минерально-сырьевыми ресурсами, представленными месторождениями каменной и калийной солей, горючих сланцев, бурых углей, торфа, сапропеля, различных видов строительных материалов, подземных пресных и минеральных вод. Первоочередной разработке подлежат такие виды минерального сырья, как строительный камень, пески строительные, силикатные, формовочные и стекольные, глины, торф, сапропель, калийная и каменная соли [3].

В настоящее время в регионе начаты работы по строительству двух крупных горнодобывающих предприятий – калийного комбината, создаваемого на базе Петриковского месторождения калийных солей, с проектной мощностью не менее 1,5 млн т хлорида калия в год и горно-обогатительного комбината на базе месторождения строительного камня Ситницкое в Лунинецком районе, производительностью до 8 млн м^3 нерудных материалов в год. Эти предприятия станут точками роста региональной экономики.

На территории Припятского Полесья имеются достаточные запасы минерального сырья не только промышленного назначения, но и применяемого в сельском хозяйстве для улучшения агрохимических свойств почв – сапропеля и торфа. В связи с дегумификацией почв и низким содержанием в них фосфора рекомендовано вовлечь в разработку местные месторождения сапропеля, в том числе из озер Червоного, Дикого, Найда и др. [5]. Расширение объемов добычи сапропелей из озера Червоного позволит не только получить органические удобрения, но и будет способствовать восстановлению экосистемы озера.

Для преодоления отрицательного баланса гумуса в почвах рекомендовано в каждом административном районе осуществить выбор торфяных месторождений, пригодных для добычи торфа с целью приготовления торфо-навозных компостов и их внесения на пахотные угодья под зерновые и пропашные культуры. К настоящему времени в рамках Государственной программы «Торф» и других научных программ разработаны технологические решения по эффективному использованию торфа и продуктов его переработки в сельском хозяйстве, которые могут быть реализованы в Припятском Полесье [6].

Климатические ресурсы. Припятское Полесье в силу своего географического положения характеризуется самой высокой в Беларуси теплообеспеченностью вегетационного и продолжительностью безморозного периода. В регионе, как и в целом на территории Беларуси, под влиянием глобальных изменений климата с конца 1980-х годов отмечается потепление. В результате произошли заметные изменения агроклиматических ресурсов. Повсеместно возросла теплообеспеченность вегетационного периода – сумма активных температур выше 10 ºС за последние 25–30 лет увеличилась на 250–300 ºС [8]. Смягчились условия зимовки растений, что даже в условиях некоторого снижения увлажненности обеспечивает повсеместное повышение биоклиматического потенциала земель.

В связи с потеплением климата на территории Припятского Полесья открываются новые возможности для растениеводства. Для эффективного использования возросших тепловых ресурсов рекомендуется организовать работу по внедрению в регионе более урожайных умеренно

позднеспелых сортов (гибридов) зерновых культур и овощей; расширению посевов под некоторыми традиционными и новыми высокоэффективными культурами (кукуруза, просо, соя, подсолнечник, сахарная свекла, яровой рапс и др.); более широкому выращиванию пожнивных и поукосных культур; закладке садовых насаждений с новым набором видового и сортового состава и др.

Вместе с тем значительные колебания погодных условий приводят к возникновению явлений, оказывающих неблагоприятное влияние на развитие сельскохозяйственных растений и вызывающих иногда их повреждение и даже полную гибель посевов. К наиболее опасным явлениям погоды на территории Припятского Полесья в теплый период относятся заморозки, засушливые явления, связанные с длительным бездождевым периодом и высокими температурами воздуха, обильные ливневые осадки, часто сопровождаемые градом и шквалистыми ветрами, продолжительные дождливые периоды, ухудшающие состояние растений из-за переувлажнения почвы. В холодный период года – это оттепели, сильные морозы, притертая ледяная корка; в ранневесенние периоды – вымокание, выпревание, возвраты холодов и др. Кроме этого происходит улучшение условий перезимовки вредителей и возбудителей болезней растений, роста сорной растительности [7].

В связи с потеплением климата и увеличением повторяемости засушливых явлений прогнозируется снижение влагообеспеченности почв. В данных условиях необходимо расширение площадей под засухоустойчивыми культурами, налаживание их селекции, семеноводства. Для культурных пастбищ и возделывания овощей возрастает потребность в орошении, что обеспечит гарантированное получение высоких урожаев.

В целом для минимизации ущерба в связи с неблагоприятными метеорологическими явлениями и получения выгод от увеличения продолжительности вегетационного периода и теплообеспеченности сельскохозяйственных культур необходима соответствующая адаптация растениеводства. С этой целью Научно-практическим центром НАН Беларуси по земледелию разработаны основные положения такой адаптации применительно к территории страны [2, 4], которые могут быть применены и по отношению к Припятскому Полесью.

Применительно к лесному хозяйству программа адаптации отрасли к изменению климата до 2050 года, включая региональные аспекты структуры лесов и динамики условий их произрастания, разработана Институтом экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси [9].

Почвенно-земельные ресурсы. Для Припятского Полесья характерна низкая сельскохозяйственная и высокая мелиоративная освоенность региона. Сельскохозяйственные земли занимают менее 1/3 территории (в 1,4 раза меньше, чем в целом для Беларуси), при этом более 65 % сельскохозяйственных земель мелиорировано (в 1,9 раз больше, чем в целом для страны). В регионе преобладают почвы легкого гранулометрического состава (песчаные и рыхлосупесчаные). Значительна доля торфяных почв на землях улучшенных сенокосов и пастбищ (36 %). Почвы рассматриваемой территории отличаются повышенной кислотностью (pH 5,73 на пашне и 5,64 на землях улучшенных сенокосов и пастбищ, что ниже, чем на пахотных землях Беларуси – pH 5,90), недостаточным содержанием элементов питания (более 50 % почв слабо обеспечены калием и подвижным фосфором), сравнительно низким баллом почвенного плодородия пахотных земель (на 3,9 единицы ниже, чем средний для страны), отрицательной динамикой содержания гумуса в пахотных почвах.

Дегумификация почв наиболее отчетливо проявилась в Гомельской части Припятского Полесья. Здесь за последние 15 лет содержание гумуса в пахотных почвах снизилось в среднем на 0,20 %, а в луговых почвах – на 0,06–0,11 %. Для улучшения ситуации необходимо проведение комплекса агротехнических мероприятий по повышению плодородия почв, включающего их известкование, внесение органических и минеральных удобрений.

На части мелиорированных земель произошла деградация почв, ухудшились структура и продуктивность травяного покрова. Сработка торфяного слоя сопровождается потерей органического вещества, снижением почвенного плодородия и вызывает ряд негативных процессов и явлений на прилегающих к мелиорированным болотам землях: снижение уровней грунтовых вод, пересыхание малых рек, выпадение ценных растительных ассоциаций, ухудшение микроклимата, увеличение эвтрофирования вод в реках и озерах. В наибольших масштабах деградация торфяно-болотных почв проявилась в Лунинецком и Петриковском районах – соответственно на 13,1 и 8,2 тыс. га, что составляет более половины от площади торфяно-болотных почв, имеющихся на территории этих районов.

Значительная часть осушенных 30–50 лет назад земель вследствие кальматации, заиливания и зарастания каналов и закрытого дренажа, выхода из строя гидротехнических сооружений подверглась подтоплению и повторному заболачиванию как самих объектов, так и прилегающих площадей.

Существенной экологической проблемой земельных ресурсов региона остается их радиоактивное загрязнение. Несмотря на значительное улучшение радиационной обстановки, произошедшее за время после аварии на Чернобыльской АЭС, земли 1/2 территории Припятского Полесья остаются загрязненными радионуклидами. В регионе сельскохозяйственное

производство по состоянию на 1.01.2014 г. ведется на 54,5 тыс. га пашни и 50,1 тыс. га улучшенных сенокосов и пастбищ, загрязненных ^{137}Cs с плотностью 37–1480 кБк/м^2. Основные массивы пахотных земель, загрязненных ^{137}Cs, сосредоточены в Лунинецком (33,7 % общей площади), Столинском (27,3 %), Мозырском (24,2 %) и Наровлянском (78,5 %) районах. В этих же районах в большой степени загрязнены (31,5–100 %) и улучшенные сенокосы и пастбища. Значительные площади пахотных и луговых почв с высокой плотностью загрязнения ^{137}Cs, где требуются систематические меры радиационной защиты, остались только в Наровлянском районе, где 69,4 % площади пашни и 85 % площади луговых земель одновременно загрязнены ^{90}Sr [1].

Наибольший переход радионуклидов из почвы в растительность отмечается на песчаных и торфяных почвах в естественных условиях, наименьший – на окультуренных землях. В целом, спустя 29 лет после катастрофы на Чернобыльской АЭС, основные количества радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr сосредоточены в корнеобитаемом слое и интенсивно включаются в биологический круговорот.

Прогноз радиационно-экологической ситуации в ближайшее время не предполагает существенных изменений. Внешнее гамма-облучение будет по-прежнему определяться цезием-137.

Для территории Припятского Полесья, как и в целом для Беларуси, характерно химическое загрязнение земель в городах, местах размещения локальных источников воздействий и прилегающих территорий (промышленных предприятий, накопителей отходов и др.). Для городских территорий характерно загрязнение почв тяжелыми металлами, преимущественно свинцом, цинком, никелем и медью, а также нефтепродуктами.

Водные ресурсы. Основным источником поверхностных водных ресурсов региона является р. Припять с объемом речного стока 13 100 млн м^3 в средний по водности год и 7010 млн м^3 в маловодный. Прогнозные естественные ресурсы пресных подземных вод составляют 1,85 млн м^3/сут., прогнозные эксплуатационные – 3,30 млн м^3/сут., что многократно превышает современные и перспективные потребности в воде.

Индикатором водообеспеченности территории является коэффициент использования водных ресурсов ($К_{ИВР}$), представляющий собой соотношение величин полного водопотребления и реальных водных ресурсов. $К_{ИВР}$, характеризующий достаточность водных ресурсов, составляет величину до 20 %. В районах Припятского Полесья его значения варьируют от 0,6 до 12,7, свидетельствуя о значительном водоресурсном потенциале территории.

В целом для региона характерно использование воды главным образом в прудовом рыбном хозяйстве (более 50 % забранной воды), на хозяйственно-питьевые нужды идет около 20 %. В то же время в Пинске хозяйственно-бытовое водопотребление достигает 71 %, в то время как в Мозыре 70 % воды расходуется на производственные нужды.

Потери водных ресурсов в регионе обусловлены в основном нерационально организованным водоотливом из Микашевичского карьера строительного камня РУПП «Гранит». В результате этого безвозвратное изъятие подземных вод в Лунинецком районе только в 2013 г. составило 17,24 млн м^3. Потери воды, исключенной из водохозяйственной сферы в результате потерь при транспортировке и неучтенных расходов воды из систем коммунального водоснабжения, не превышают 2,4 % от объема подземных вод, отводимых из карьера

Централизованное хозяйственно-питьевое водоснабжение в городах, поселках городского типа и агрогородках базируется в основном на эксплуатации напорных подземных вод, качество которых ухудшает повышенное содержание железа природного генезиса (в среднем для региона оно составляет 1,53 мг/дм^3), превышая допустимый санитарно-гигиенический норматив более чем в 5 раз. При использовании таких вод для питьевых целей требуется их обязательное обезжелезивание.

Грунтовые воды колодцев в сельских населенных пунктах и на территории городов с индивидуальной застройкой в большинстве случаев загрязнены нитратами. Это свидетельствует о необходимости продолжения работ по обеспечению населения централизованным водоснабжением.

Загрязнение речных вод региона связано преимущественно с азотом аммонийным и фосфатами, избыточные концентрации которых, превышающие ПДК, имеют место в воде практически всех притоков Припяти. Решение проблемы качества и эффективности использования природных вод в регионе лежит, прежде всего, в сфере улучшения управления водными ресурсами с координацией интересов различных водопользователей.

Лесные ресурсы и ресурсы растительного мира сосредоточены в основном на землях лесного фонда, площадь которых на территории региона составляет 1032,8 тыс. га, из которых 79,6 % покрыто лесом. Лесистость Припятского Полесья – 45,6 %. Общий запас древесины в лесах – 142,8 млн м^3. Запас спелых и перестойных насаждений – 20,926 млн м^3, в т.ч. возможных для эксплуатации – 17,617 млн м^3, запас древесины для топливно-энергетических целей – 91,5 тыс. м^3.

В составе лесов преобладают насаждения сосны обыкновенной, занимающие 53,4 % покрытой лесом площади. 13,2 % занимают черноольховые леса, расположенные преимущественно

на первой надпойменной террасе и в поймах рек. Березовые леса занимают 22,0 %, из них 8,8 % представлены коренными пушистоберезовыми лесами на переходных болотах. Дубравы занимают 7,4 % покрытой лесом площади, что в 2 раза больше, чем в среднем по стране.

Основным направлением использования лесных ресурсов на территории Припятского Полесья является лесозаготовка. Объемы рубок главного и промежуточного пользования составили здесь в 2014 г. 1094,1 тыс. м³. Вместе с тем освоение расчетной лесосеки в регионе неполное, особенно в части мягколиственных пород. В среднем за 2011–2014 гг. при объеме расчетной лесосеки 758,6 тыс. м³ вырубалось рубками главного пользования 683,5 тыс. м³, т. е. среднее освоение расчетной лесосеки составило 90,1 %, в т. ч. по хвойным породам – 97,1 %, твердолиственным – 93,4 %, мягколиственным – 80,2 %.

С экологической точки зрения рубки главного пользования ведут к нарушению сложившихся лесных экосистем, поэтому одной из целей лесовыращивания должно быть скорейшее восстановление насаждений, близких по составу и структуре естественным древостоям. Это позволит минимизировать неизбежный ущерб, наносимый биологическому и ландшафтному разнообразию при лесопользовании.

При проведении рубок главного пользования необходимо увеличить долю несплошных рубок главного пользования (равномерно-постепенных и выборочных), сохранять отдельные крупные и дуплистые деревья на лесосеках, живой напочвенный покров, подрост и подлесок. Это позволит не только сократить сроки лесовыращивания и сохранить отдельные элементы биологического разнообразия, но и повысить устойчивость лесов к экстремальным внешним явлениям, что особенно важно в регионе Полесья в условиях климатических изменений. При восстановлении леса предпочтение следует отдавать естественному заращиванию, поскольку именно насаждения естественного происхождения отличаются более высокой устойчивостью к воздействию неблагоприятных факторов. Эти и другие меры по экологизации лесохозяйственной деятельности заложены в нормативных документах «Правила рубок леса Республики Беларусь» и «Санитарные правила в лесах», однако далеко не в полной мере реализуются на практике.

Общий биологический запас сырья хозяйственно полезных дикорастущих растений на территории Припятского Полесья составляет 101,0 тыс. т, в т.ч. лекарственного сырья – 89,7 тыс. т, пищевых растений – 12,3 тыс. т. Расчеты допустимых уровней их изъятия показали, что при потенциале заготовок растительного сырья в объеме более 17 000 т ежегодно реально заготавливается (закупается) не более 11 % от возможного. Это свидетельствует о значительном резерве заготовки грибов, плодов, ягод и лекарственного сырья в регионе. И это без учета кормовых ресурсов природной растительности.

Всего в регионе ежегодно заготавливается 1979,5 т растительного сырья, преимущественно ягод и грибов. Лекарственного сырья заготовлено 18,1 т, что составляет всего 0,02 % от его общего биологического запаса и 0,14 % от рекомендуемых объемов ежегодного изъятия. Пищевых растений заготовлено 1597,4 т (13 % от общего биологического запаса и 36 % от рекомендуемых объемов ежегодного использования). В 2014 г. в регионе заготовлено 363,9 т грибов, что составляет 14 % от допустимых объемов заготовок.

В целом, структура ежегодных заготовок далека от оптимальной, поскольку 96 % заготовок приходится на ягоды и грибы, а лекарственное и техническое сырье почти не используется. В связи с этим разработаны рекомендации по стимулированию предпринимательской деятельности с целью увеличения объемов заготовки ресурсов растительного сырья, которые базируются на анализе современного состояния заготовок и проведенных исследованиях запасов хозяйственно полезных растений с учетом норм изъятия.

Неблагоприятное влияние на растительность Припятского Полесья оказывает широкое проникновение (инвазия) на его территорию чужеродных для аборигенной флоры видов дикорастущих растений. В ходе работ по научному обеспечению Госпрограммы проведено полевое обследование популяций инвазивных видов растений в регионе. Выделена группа наиболее опасных видов: борщевик Сосновского, золотарник канадский, эхиноцистис лопастной, клен ясенелистный и робиния псевдоакация. С целью ограничения распространения и борьбы с гигантскими борщевиками и другими наиболее опасными инвазивными видами растений в регионе разработаны рекомендации с обоснованием технологических решений, составлены соответствующие технологические карты.

Ресурсы животного мира. Припятское Полесье обладает значительными ресурсами животного мира. Наиболее значимыми для охотничьего хозяйства видами являются копытные – лось, олень, косуля, кабан. По данным учетов 2013 г. в природных угодьях Припятского Полесья обитают 2523 лося, 7259 косуль, 7954 кабана, 609 благородных оленей. В Национальном парке «Припятский» сформирована популяция европейского зубра. В экспериментальном лесоохотничьем хозяйстве «Ляскoвичи» создан и успешно функционирует Сафари-парк, в вольерах которого обитает стадо европейской лани.

Вместе с тем современная плотность копытных видов животных, несмотря на рост их численности, на территории Припятского Полесья ниже средней для Беларуси в целом. Она также значительно ниже оптимальной для рас-

сматриваемой территории: лося – в 4 раза, косули – в 1,6, благородного оленя – в 24 раза. Основной причиной такого положения является низкий уровень ведения охотничьего хозяйства. Исключение составляет Национальный парк «Припятский». Также в направлении интенсификации развивается охотничье хозяйство ОАО «Туровщина» и Житковичское лесоохотничье хозяйство.

С учетом уровня развития инфраструктуры для организации охоты и охотничьего туризма выполнена интегральная оценка региона по условиям развития охотхозяйственной деятельности. Предложен комплекс мероприятий по интенсификации охотничьего хозяйства, который включает подкормку дичи, посадку и посев кормовых полей, акклиматизацию и реакклиматизацию дичи, проведение санитарно-профилактических мероприятий, искусственное дичеразведение и создание охотничьих вольеров. В частности, предложен экономичный вариант вольера для разведения благородного оленя, минимальная площадь которого может составлять 100 га, что может обеспечить содержание 70–100 животных, позволяющее проводить в нем охоты. В соответствии с рекомендациями НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам запланировано строительство такого охотничьего вольера в угодьях ОАО «Туровщина». В качестве перспективного направления деятельности вольерное содержание благородного оленя рассматривается Столинской РОС РГОО «БООР», Лунинецкой ЛОХ, КУП «Охотничье-рыболовное хозяйство «Лунинец», Наровлянской РОС «БООР».

Проведение биотехнических мероприятий в сочетании с регулированием количества хищников создает возможность дальнейшего увеличения численности и добычи ценных видов копытных в 1,5–2 раза.

В отношении промысловых видов птиц ситуация в Припятском Полесье весьма неблагополучна: снижается численности тетерева, популяция глухаря находится в катастрофическом состоянии, наблюдается устойчивая депрессия численности водоплавающей дичи.

По отношению к рыбным ресурсам природные условия региона оцениваются как благоприятные. В то же время рыбопродуктивность р. Припяти зависит от состояния нерестилищ, многие из которых нарушены гидротехнической мелиорацией и строительством польдерных систем. Поэтому рекомендовано включение в проекты их реконструкции специальных мер по реабилитации нерестилищ.

Сохранение биологического и ландшафтного разнообразия. В составе флоры Припятского Полесья насчитывается около 1300 видов сосудистых растений, более 180 видов мохообразных, около 190 видов лишайников и 321 вид водорослей. 131 вид растений (86 видов сосудистых растений, 11 мохообразных, 14 лишайников, 1 вид водорослей и 19 грибов) занесен в Красную книгу Республики Беларусь. В составе фауны насчитывается около 60 видов млекопитающих, 260 видов птиц, 20 видов амфибий и рептилий, 53 видов рыб, в т. ч. не менее 40 видов беспозвоночных и 70 видов позвоночных животных, занесенных в Красную книгу Республики Беларусь.

Наиболее богато биологическое разнообразие представлено на особо охраняемых природных территориях (ООПТ), общая площадь которых по состоянию на 01.03.2015 г. составила 340 тыс. га или 18,6 % территории региона (в среднем для Беларуси – 8,2 %). Сеть ООПТ Припятского Полесья включает Национальный парк «Припятский», 10 заказников республиканского и 13 заказников местного значения, а также 30 памятников природы. Значительная часть ООПТ региона имеет международный природоохранный статус.

В результате исследований, однако, выявлен ряд негативных тенденций в динамике биологического разнообразия Припятского Полесья: увеличение площади ксерофитных лесных сообществ и видов флоры при одновременном сокращении распространения уникальных сообществ широколиственных лесов; обеднение флоры за счет сокращения ареалов или исчезновения редких реликтовых видов; насыщение флоры культивируемыми, интродуцированными и дичающими видами, широкое распространение чужеродных вредоносных растений; появление в составе фауны значительного числа южных видов птиц за счет расширения их ареалов обитания; снижение численности популяций редких видов, обитающих на болотах и пойменных угодьях, в результате их прогрессирующего зарастания, а также охотничьих видов водно-болотных птиц в результате перепромысла.

Наиболее эффективным мероприятием по охране ресурсов биологического и ландшафтного разнообразия Припятского Полесья является создание трансграничного биосферного резервата ЮНЕСКО «Припятское Полесье» (Беларусь–Украина) на базе Национального парка «Припятский», заказников «Ольманские болота» и «Старый Жаден». Со стороны Украины в состав резервата должны войти Ровенский и Полесский заповедники. В соответствии с требованиями ЮНЕСКО основной целью создания биосферных резерватов является содействие устойчивому равновесию между целями сохранения биологического разнообразия, экономическим развитием и сбережением культурных ценностей, что полностью согласуется с целями Госпрограммы «Припятское Полесье».

Природные рекреационно-туристические ресурсы. Выполненные НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам исследования показали, что во всех административных районах Припятского Полесья имеются достаточные природные ре-

сурсы для полного обеспечения основными рекреационно-туристическими услугами местного населения и развития въездного туризма.

Суммарная расчетная емкость зон отдыха в регионе составляет 132,1 тыс. человек, при этом освоена она незначительно. Вместимость объектов туристско-рекреационной инфраструктуры в общей сложности составляет всего 1000 человек или 0,8 % от допустимой емкости территории.

Наличие в регионе крупных ООПТ создает благоприятные предпосылки для развития здесь экологического туризма. Сдерживающим фактором является слабо развитая рекреационная инфраструктура. Она нуждается в расширении и качественном улучшении. Наиболее перспективные территориальные оси ее развития выделены вдоль автодорог Иваново–Пинск–Житковичи–Калинковичи, Невель–Пинск–Столин–Туров–Лельчицы–Мозырь–Наровля, а также вдоль р. Припяти. Для более эффективного использования имеющихся природных рекреационных ресурсов рекомендуется создавать не просто агроусадьбы и иные объекты туризма, а дополнять их «зелеными маршрутами», что применяется в странах Европейского Союза и доказало свою действенность.

Исходя из анализа зарубежного и отечественного опыта создания туристских стоянок на прибрежных территориях, показавшего неэффективность этих объектов, рекомендовано скорректировать мероприятия Госпрограммы по их организации в пойме р. Припяти и строить вместо них стационарные объекты – туристические базы, хостелы, приюты и др.

Полесским аграрно-экологическом институтом НАН Беларуси разработаны рекомендации по активизации въездного туризма и местной рекреации. Исходя из региональных особенностей, одним из приоритетных направлений формирования туристического продукта следует считать агроэкотуризм в разных организационных формах: кластер, дестинация, отдельный субъект. Для всех административных районов актуально создание новых объектов и расширение сферы услуг на основе национальных традиций природопользования и культуры с широким ценовым диапазоном.

Для предотвращения безвозвратных потерь регионального наследия, сохранения природной и культурно-этнографической основы национального и международного туризма необходимо осуществить неотложную инвентаризацию аутентичных природно-селитебных комплексов (кварталов, сегментов, хуторских и иных элементов традиционной архитектуры в сочетании с рекреационно емкими природными комплексами).

Фиторекультивация выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений. В настоящее время площадь выведенных из хозяйственного оборота и требующих рекультивации земель на месте выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений в Припятском Полесье превышает 55 тыс. га. Одним из наиболее эффективных приемов восстановления их природного потенциала, сохранения остаточного слоя торфа и повышения уровня его плодородия является создание на данных территориях локальных агроценозов ягодных растений – голубики и клюквы.

Центральным ботаническим садом НАН Беларуси разработана технология рекультивации выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений. Она прошла экспериментальную апробацию на торфяном месторождении «Морочно» в Столинском районе. На основании полученных результатов разработаны и изданы методические рекомендации «Научное обоснование сортимента таксонов рода *Vaccinium* для фиторекультивации выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений южной части Припятского Полесья» (Минск, 2013), одобренные Научно-техническим советом Минсельхозпрода Республики Беларусь и предназначенные для практического использования в работе хозяйств разных форм собственности для формирования сортимента этих ягодных культур при закладке производственных плантаций.

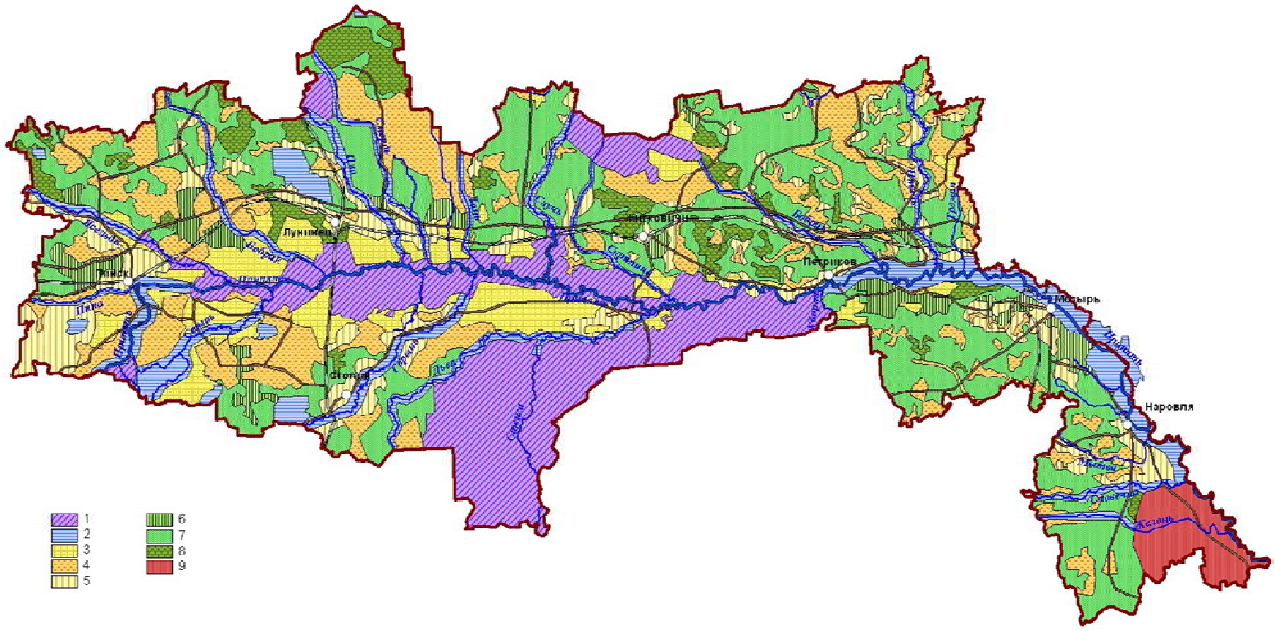
Рассчитана прогнозная эффективность такого вида рекультивации. При возделывании клюквы она составляет свыше 100 млн руб./га, голубики – 150 млн руб./га. Срок окупаемости затрат: на пятый год после посадки голубики, на шестой – клюквы.

Территориальная организация природопользования. С целью совершенствования территориальной организации природопользования в регионе Припятского Полесья Институтом природопользования НАН Беларуси совместно с НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам и Институтом мелиорации разработана схема его эколого-хозяйственного зонирования, отражающая наиболее существенные эколого-хозяйственные свойства территории и ориентирующая на выбор оптимальных вариантов природопользования. В основу зонирования положены две группы критериев – экологические и хозяйственные. Экологические критерии включают показатели природного строения территории, ее устойчивости к внешним воздействиям, экологического состояния природных комплексов и компонентов, их роли в поддержании природного равновесия, сохранении биологического и ландшафтного разнообразия и др. Хозяйственные критерии отражают хозяйственную специализацию территории, ее природно-ресурсный и производственный потенциал, производимую продукцию и др.

Поскольку отобразить на одной схеме всю совокупность показателей невозможно эколого-хозяйственное зонирование территории включает несколько схем, каждая из которых отражает

определенные частные признаки: по мелиоративным, зоогеографическим, геоботаническим и природно-ландшафтным критериям, а также по рекреационному потенциалу и его использованию. Вместе с тем набор подобных частных схем не снимает потребности в разработке объединяющей их интегральной схемы, которая отражает наиболее существенные эколого-хозяйственные свойства территории. В качестве самого общего критерия интегрального зонирования выбрано преимущественное функциональное назначение территориальных выделов. По данному критерию в регионе выделены три зоны: 1) преимущественно природоохранного назначения, 2) преимущественно хозяйственного назначения, 3) радиоактивного загрязнения (см. рисунок).

Две из указанных зон разделены на подзоны. В зоне преимущественно природоохранного назначения выделены две подзоны: 1) очень высокой, 2) высокой природоохранной ценности. В зоне преимущественно хозяйственного назначения выделены три подзоны: 1) сельскохозяйственного, 2) лесохозяйственного, 3) смешанного сельскохозяйственно-лесохозяйственного назначения. В свою очередь в подзоне сельскохозяйственного назначения выделены следующие ареалы угодий: 1) с осушительной мелиорацией самотечного типа, 2) с осушительной мелиорацией польдерного типа, 3) без осушительной мелиорации. В подзоне лесохозяйственного назначения выделены два ареала: 1) лесов незаболоченных, 2) лесов заболоченных.



Эколого-хозяйственное зонирование Припятского Полесья.
Территории: *1* – очень высокой экологической ценности (естественные леса, луга, болота, водоемы); *2* – высокой экологической ценности; *3* – сельскохозяйственного назначения с польдерными мелиоративными системами; *4* – сельскохозяйственного назначения с самотечными мелиоративными системами; *5* – сельскохозяйственного назначения без осушительной мелиорации; *6* – с сочетанием мелкоконтурных угодий сельско- и лесохозяйственного назначения; *7* – лесохозяйственного назначения; *8* – с сочетанием лесов и болот; *9* – с радиоактивным загрязнением

Полученные ареалы отражают типичные по условиям природопользования территориальные выделы в регионе и обеспечивают возможность разработки типовых рекомендаций по оптимальному использованию их природно-ресурсного потенциала.

Проблемы использования пойменных земель

Общая площадь пойменных земель в пределах Припятского Полесья составляет 382,7 тыс. га или 1/5 территории региона. Под лесами и кустарниками находится 45 % данной площади, под водой, лугами и болотами – 20 %, под польдерными системами – 35 %.

Пойменные луга. Естественные луга в Припятском Полесье занимают около 9,5 % площади пойменных земель. В прошлом они выступали важным источником травяных кормов, хотя их использование ограничивалось длительными паводками во все времена года, продолжительность которых могла достигать 90 суток, а в отдельные годы – до 180 суток. За последние 50 лет продолжительные паводки, затапливающие более 550 тыс. га в пойме р. Припяти, случались 12 раз.

Луга поймы и прилегающих земель отличаются значительной неоднородностью, обусловленной особенностями геоморфологических и почвенных условий местности и гидрологического режима реки. Лучшие естественные луга для потенциального выпаса скота и сенокошения приурочены к землям с оптимальным и временно избыточным увлажнением. Здесь в настоящих (эумезофильных) лугах зафиксировано большое видовое разнообразие травостоев, высокая урожайность и кормовая ценность не ниже 2 класса. Основные массивы таких лугов приурочены к пойме р. Горыни в Столинском районе, широко представлены они также в Житковичском и Пинском районах.

Наиболее бедными в флористическом отношении являются болотистые (гидромезофитные) луга, составляющие более 40 % лугов центральной поймы р. Припяти. Они занимают постоянно переувлажненные земли и отличаются высокой продуктивностью биомассы. Их кормовая ценность изменяется от 2-го (двукисточниковые) до 3-го (остроосоковые) и 4-го (большеманниковые) классов.

Культуртехническое состояние преобладающей части пойменных земель с природной луговой растительностью со временем ухудшается. Из-за прекращения сенокошения и выпаса скота происходит их интенсивное закустаривание. Кроме этого имеет место проникновение на эти земли инвазивных видов растений, а также их антропогенная трансформация.

Полевые исследования показали, что закустаривание пойменных лугов в регионе имеет место на 86,3 % их общей площади, а на 45,3 % занимаемой ими площади этот процесс привел к средней и высокой степени их зарастания древесно-кустарниковой растительностью. Использование таких лугов в качестве кормовой базы животноводства затруднено, а их восстановление и возврат в хозяйственный оборот в качестве кормовых угодий требует значительных затрат.

В данной ситуации для экономии финансовых средств и максимальной эффективности проводимых мероприятий целесообразно сосредоточить усилия на предотвращении негативных процессов закустаривания луговых земель, обладающих высокой кормовой ценностью и характеризующихся приближенным к оптимальному режимом увлажнения, а также редких и уникальных растительных ассоциаций травяных фитоценозов. Это позволит сохранить их продуктивность и кормовую ценность при минимальных затратах, предотвратить деградацию редких луговых биотопов. Существенным фактором сохранения пойменных лугов может стать при правильной организации запланированное в регионе развитие мясного животноводства на свободном выгуле.

При этом следует учитывать, что динамичный уровенный режим р. Припяти в естественных условиях при часто повторяющихся половодьях и паводках в сочетании с периодическими и все чаще повторяющимися засухами не позволяет стабильно заготавливать корма на естественных лугах незащищенной поймы. Поэтому в большинстве случаев они могут рассматриваться лишь как дополнительный, ненадежный источник кормов.

Мелиорированные земли. Припятское Полесье отличается значительными площадями мелиорированных земель, которые занимают около 20 % всех земель региона и более 65 % сельскохозяйственных земель, тогда как в среднем по стране доля осушенных сельскохозяйственных земель в 1,9 раз ниже и составляет около 30 %. В регионе построено 132,4 тыс. га польдерных мелиоративных систем, большинство из которых (более 88 %) являются незатапливаемыми и могут использоваться для возделывания хозяйственно ценных сельскохозяйственных культур, чувствительных к затоплению.

Выполненная Институтом мелиорации оценка потенциальной кормовой продуктивности сельскохозяйственных культур на мелиорированных землях поймы р. Припяти и прилегающих участков показала, что уровень потенциальной продуктивности этих земель в пойме за счет ряда агробиотехнологических мероприятий может достигать 6–8 т к.ед./га. Их биоклиматический и почвенный потенциал позволяет получать 2–3 урожая в год за счет насыщения севооборотов пожнивными и поукосными культурами. Кроме того, данные мероприятия позволяют значительно продлить пастбищный период.

Результаты обследований мелиоративных систем в пойме р. Припяти и характера их использования, а также анализ динамики численности и продуктивности поголовья сельскохозяйственных животных показали, что осушенных площадей при современном уровне интенсивности производства достаточно для содержания удвоенного по сравнению с имеющимся поголовья крупного рогатого скота. Кроме того имеется определенный резерв в использовании естественных заливных лугов.

Для мелиоративных систем региона разработаны мероприятия, технологические предложения и рекомендации по эффективному и экологобезопасному обеспечению кормовой базы животноводства. В их составе определены оптимальные структуры посевных площадей для сельхозпредприятий с различным уровнем продуктивности растениеводства, обеспечивающие необходимое количество кормовых единиц, переваримого протеина и обменной энергии для увеличения продуктивности молочного стада от 4,5 тыс. кг молока с коровы в год до 6 тыс. кг молока в год только за счет оптимизации структуры севооборотов при интенсификации растениеводства.

Развитие мясного скотоводства на пойменных землях. В ходе работ по научному сопровождению создания отрасли мясного скотоводства в зоне Припятского Полесья НПЦ НАН

Беларуси по животноводству установлено, что для разведения в зоне Припятского Полесья наиболее приемлемыми являются лимузинская и абердин-ангусская породы мясного скота.

Изучение акклиматизационных способностей импортированных животных абердин-ангусской породы показало высокую адаптационную способность скота к изменяющимся условиям внешней среды. Это подтверждается основными биохимическими и гематологическими показателями крови завезенных животных. Они находились в пределах физиологической нормы и не имели существенных различий по сравнению с аналогичными показателями крови животных белорусской селекции. Завезенные животные и их потомство по экстерьерным показателям, росту, развитию и уровню продуктивности соответствовали показателям, характерным для данных пород при обеспеченном уровне кормления.

Для практического решения задач по организации отрасли мясного скотоводства в регионе разработана целевая Программа создания племенных и товарных стад мясного скота в зоне пойменного земледелия Припятского Полесья (одобрена НТС Минсельхозпрода, протокол № 3 от 27 января 2012 г.). Одним из результатов ее реализации явилось создание к концу 2013 г. в сельскохозяйственных организациях региона маточных стад мясного скота общей численностью 6821 голова.

По результатам исследований разработана Технология получения конкурентоспособной говядины от мясного скота в условиях пойменного земледелия (одобрена НТС Минсельхозпрода, протокол № 23 от 27 марта 2015 г.). Она включает основные принципы ведения мясного скотоводства: туровое получение молодняка, беспривязное содержание поголовья в стойловый период в помещениях облегченного типа по ресурсосберегающей технологии, для чего разработаны модельные площадки, содержание основного поголовья мясного скота в летний период на пастбищах, включая пойменные земли. Для выращивания скота по интенсивным технологиям рекомендуется создание крупных откормочных площадок, как например, в РСУП «Агро-Лясковичи».

На 2015 г. запланировано создание 6 племенных стад мясного скота и разработка перспективных планов селекционной работы с ними, что обеспечит возможность планомерного улучшения племенных и продуктивных качеств разводимого в Припятском Полесье скота.

Выводы

Природно-ландшафтные условия Припятского Полесья, характеризующиеся преобладанием низинных заболоченных природных комплексов долины р. Припяти, осложняют использование местных природных ресурсов в связи с регулярно повторяющимися затоплениями больших площадей во время поводков на реке и ее притоках. Ситуация усугубляется повышенной частотой засушливых явлений, что особенно неблагоприятно для сельского хозяйства. Вместе с тем регион в силу своего южного положения обладает самой высокой в Беларуси теплообеспеченностью и продолжительностью вегетационного периода, что обеспечивает его конкурентные преимущества, для реализации которых нужна соответствующая адаптация растениеводства.

На территории Припятского Полесья имеются запасы разнообразных полезных ископаемых. На базе месторождений калийных солей и строительного камня создаются крупные производства, которые выступят перспективными точками экономического роста региона.

Для Припятского Полесья характерна пониженная степень сельскохозяйственного освоения (1/3 территории) и повышенная – осушительной мелиорации (2/3 сельскохозяйственных земель). Почвы характеризуются сравнительно низким плодородием, недостаточным содержанием элементов питания (фосфора, калия), отрицательным балансом гумуса (в районах Гомельской области). С целью улучшения их агрохимических свойств рекомендуется задействовать местные запасы сапропеля и торфа в качестве сырья для приготовления органических удобрений.

Перспективным направлением хозяйственного использования выработанных торфяных месторождений определена их фиторекультивация, ориентированная на выращивание ягодных растений – клюквы и голубики. Применительно к условиям региона разработана и апробирована на конкретном объекте технология такого вида рекультивации, показана ее экономическая эффективность.

Использование водных ресурсов региона не превышает допустимых уровней и имеет большой резерв роста. Основные проблемы связаны с их качеством: поверхностные воды практически повсеместно подвержены биогенному загрязнению, в подземных водах содержатся повышенные концентрации железа, грунтовые воды загрязнены нитратами.

Территория Припятского Полесья отличается высокой лесистостью. Объем рубок древесины составляет здесь около 1,1 млн м^3, однако освоение расчетной лесосеки неполное, неосвоенной остается примерно десятая ее часть. Заготовки недревесного растительного сырья (в основном ягод и грибов) достигают примерно 2 тыс. т, что значительно ниже допустимых объемов. Соответственно, в регионе имеются существенные резервы увеличения использования растительных ресурсов без ущерба для лесных экосистем.

Ресурсный потенциал естественной луговой растительности Припятского Полесья со

временем ухудшается. Из-за прекращения использования лугов для выпаса скота и сенокошения усиливаются процессы их закустаривания. Кроме этого они регулярно подвергаются затоплению, исходя из чего данные луга могут рассматриваться лишь как вспомогательный источник кормов. Основное значение в данном отношении принадлежит лугам на мелиорированных землях.

Мелиорированные земли в Припятском Полесье составляют основу сельскохозяйственного производства. Их площадь достаточна для обеспечения кормами не только нынешней численности скота, но и его удвоенного количества. Разработаны технологические решения, позволяющие увеличить продуктивность этих земель при проводимой реконструкции мелиоративных систем.

Природные условия региона пригодны для разведения мясного скота лимузинской, абердин-ангусской и других пород. Разработана адаптированная к зоне пойменного земледелия Программа создания племенных и товарных стад мясного скота, сформированы маточные стада мясного скота численностью 6821 голова. В разработанной технологии получения конкурентоспособной говядины отражены основные принципы ведения мясного скотоводства: туровое получение молодняка, беспривязное содержание поголовья в стойловый период в помещениях облегченного типа по ресурсосберегающей технологии, содержание основного поголовья мясного скота в летний период на пастбищах, включая пойменные земли.

Высокая степень сохранности естественных экосистем Припятского Полесья создает благоприятные предпосылки для обитания здесь промысловых видов животных. Вместе с тем из-за низкого уровня ведения охотничьего хозяйства их численность значительно ниже оптимальной величины. Принятие мер по его интенсификации способно повысить ее в 1,5–2 раза. Для увеличения рыбопродуктивности рек следует реализовать меры по восстановлению нерестилищ.

Регион Припятского Полесья крайне важен для сохранения биологического и ландшафтного разнообразия. Доля особо охраняемых природных территорий в его пределах в 2,3 раза превышает средний для страны уровень. В качестве эффективной меры по закреплению экологической значимости региона рекомендовано создание на базе имеющихся особо охраняемых природных территорий совместного с Украиной трансграничного биосферного резервата ЮНЕСКО «Припятское Полесье».

Для успешного выполнения в Припятском Полесье хозяйственных и экологических функций разработана схема его эколого-хозяйственного зонирования, которая создает основу формирования оптимальной пространственной организации природопользования.

Природа Припятского Полесья обладает высочайшим потенциалом для развития внутреннего и въездного туризма. Сдерживающим фактором выступает низкая обеспеченность территории туристско-рекреационной инфраструктурой. Рекомендовано ее развитие в первую очередь вдоль основных транспортных путей и р. Припяти. В качестве наиболее перспективных видов туризма для региона определен экологический туризм на особо охраняемых природных территориях и агроэкотуризм. Для повышения туристско-рекреационной ценности территории предложены меры по инвентаризации и сохранению оставшихся в ее пределах аутентичных природно-селитебных комплексов.

Литература

1. **Богдевич, И. М.** Проблемы воспроизводства плодородия почв Припятского Полесья / И. М. Богдевич // Природные ресурсы Полесья: оценка, использование, охрана : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Пинск, 8–11 июня 2015 г. – Пинск, 2015. – Ч. 1. – С. 3–7.

2. **Гусаков, В. Г.** Стратегия национальной продовольственной независимости / В. Г. Гусаков // Наука и инновации. 2007. № 1 (47). – С. 25–28.

3. **Грибик, Я. Г.** Структура и проблемы освоения минерально-сырьевых ресурсов недр Полесья / Я. Г. Грибик, А. К. Карабанов // Природные ресурсы Полесья: оценка, использование, охрана : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Пинск, 8–11 июня 2015 г. – Пинск, 2015. – Ч. 1. – С. 92–94.

4. **Кадыров, М. А.** Стратегия экономически целесообразной адаптивной интенсификации системы земледелия Беларуси / М. А. Кадыров. – Минск, 2004.

5. **Курзо, Б. В.** Ресурсы сапропеля Припятского Полесья и перспективы их использования / Б. В. Курзо, О. М. Гайдукевич // Природные ресурсы Полесья: оценка, использование, охрана : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Пинск, 8–11 июня 2015 г. – Пинск, 2015. – Ч. 1. – С. 166–173.

6. **Лиштван, И. И.** Торфяные ресурсы и их использование, в том числе в Припятском Полесье / И. И. Лиштван // Природные ресурсы Полесья: оценка, использование, охрана : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Пинск, 8–11 июня 2015 г. – Пинск, 2015. – Ч. 1. – С. 21–26.

7. **Логинов, В. Ф.** Глобальные и региональные изменения климата: причины, последствия и адаптация хозяйственной деятельности / В. Ф. Логинов // География и природные ресурсы. – 2014. № 1. – С. 13–24.

8. **Логинов, В. Ф.** Изменение площадей агроклиматических областей на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, Т. Г. Табальчук // Природопользование. – Вып. 25. – Минск, 2014.– С. 47–52.

9. **Пугачевский, А. В.** Растительность в новых природных условиях / А. В. Пугачевский, И. М. Степанович, М. В. Ермохин // Наука и инновации. – 2011. № 4 (98). – С. 21–24.

10. **Хомич, В. С.** Природно-ресурсное обеспечение социально-экономического развития Припятского Полесья / В. С. Хомич [и др.] // Природопользование. – Вып. 22. – Минск, 2012. – С. 170–187.

[1] Институт природопользования НАН Беларуси,
[2] Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси,
[3] НПЦ НАН Беларуси по животноводству,
[4] Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси,
[5] РУП «Институт мелиорации»,
[6] Центральный ботанический сад НАН Беларуси,
[7] НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам

Поступила в редакцию 22.06.2015 г.

В. С. Хомич, А. К. Карабанов, И. И. Лиштван, А. В. Пугачевский, И. С. Петрушко, В. Т. Демянчик, О. В. Кадацкая, Е. В. Санец, М. И. Струк, Э. Н. Шкутов, Н. А. Юргенсон, А. П. Яковлев

ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ ПРИПЯТСКОГО ПОЛЕСЬЯ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Оценены природно-ландшафтные условия природопользования в Припятском Полесье, которые, с одной стороны, создают сложности для региона, вызванные частыми паводками в бассейне р. Припяти, а также засухами, с другой стороны, обеспечивают конкурентные преимущества, обусловленные высокой теплообеспеченностью территории.

Показаны особенности современного использования природных ресурсов в регионе. Установлено, что по многим их видам (минерально-сырьевым, водным, биологическим, туристско-рекреационным) имеются существенные резервы, которые могут быть вовлечены в хозяйственный оборот без ущерба для экосистем.

Определены приоритетные направления оптимизации природопользования, которые предусматривают для отдельных видов ресурсов повышение продуктивности (земельные ресурсы, ресурсы животного мира), улучшение качества (водные ресурсы, кормовые ресурсы естественных и осушенных лугов), создание необходимой производственной инфраструктуры (рекреационные ресурсы, растительные ресурсы). Выполнено эколого-хозяйственное зонирование территории. Отмечена возможность и указаны технологические решения по разведению мясного скота в регионе, а также фиторекультивации выработанных торфяных месторождений с выращиванием на них клюквы и голубики.

V. S. Khomich, A. K. Karabanov, I. I. Lishtvan, A. V. Pugachevsky, I. S. Petrushko, B. T. Demjianchick, O. V. Kadatskaja, E. V. Sanets, M. I. Struck, E. N. Shkutov, N. A. Yurgenson, A. P. Yakovlev

NATURAL RESOURCES OF PRIPJAT POLESJE AND THEIR RATIONAL USE

Natural landscape conditions of Pripjat Polesje from the point of nature management have been estimated. These conditions, on the one hand, create difficulties for the development of the region due to the frequent floods in the basin of Pripjat and droughts, on the other hand, provide a competitive advantage due to the high heat supply of the area.

The features of the modern use of natural resources in the region are shown. It was found that many of their types (mineral raw materials, water, biological, tourism and recreation) has substantial reserves that may be involved in the economic turnover without any damage to ecosystems.

Priority directions of optimization of nature management that provide increase of productivity for specific types of resources (land resources, wildlife resources), improvement of the quality (water recourses, feed resources of natural and drained meadows), creation of necessary production infrastructure (recreational resources, plant resources). Ecological-economic zoning of the territory of region have been determined. The possibility for the breeding of beef cattle in the region has been notified and the technological solutions for that has been developed as well as the technology of phyto-remediation of developed peat deposits by growing cranberry and blueberry.

УДК 504.4.062.2 (476-13)

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

ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ПРИПЯТСКОГО ПОЛЕСЬЯ

Приведены результаты гидроэкологической оценки поверхностных водных ресурсов территории Припятского Полесья (Лунинецкий, Пинский, Столинский, Житковичский, Петриковский, Мозырский, Наровлянский районы), базирующейся на анализе гидрохимического статуса водных объектов, индекса загрязненности вод (ИЗВ) и содержания биогенных веществ в воде рек. Анализ позволил выявить неблагоприятные экологические ситуации, характеризующие состояние речных экосистем региона.

Гидроэкологическая оценка предполагает выявление различных ситуаций, касающихся водных ресурсов, в том числе и неблагоприятных как для здоровья и условий жизнедеятельности людей, так и для экологического состояния водоемов и водотоков.

В отношении поверхностных вод Н. И. Коронкевич с соавт. [1, 2] считают целесообразным выделять пять градаций их состояния по экологической напряженности:

удовлетворительная ситуация (относительно благополучная); напряженная (ситуация риска); конфликтная (тяжелая); кризисная (чрезвычайная); катастрофическая (ситуация экологического бедствия).

Наиболее очевидными при этом являются первая и последняя градации. При удовлетворительной ситуации нарушения в функционировании водных объектов практически незаметны. Катастрофическая ситуация сопряжена с полной деградацией водных систем с качественным или количественным истощением водных ресурсов, принявшим необратимый характер.

Напряженная ситуация обусловлена появлением отдельных неблагоприятных симптомов, конфликтная – широким распространением этих симптомов, которые можно снять при осуществлении сравнительно недорогих природоохранных мер. Кризисная ситуация представляет собой картину далеко зашедших негативных изменений, но ситуацию еще можно исправить при проведении кардинальных мероприятий.

В рамках временного масштаба признаются два вида воздействия: острое (краткосрочное) и хроническое. Острое влияние заявляет о себе довольно быстро, в пределах часов или нескольких дней, как, например, в случае снижения концентрации растворенного кислорода в результате токсичного или фекального загрязнения. Хроническое воздействие характеризуется длительным отрезком времени и формированием природно-антропогенных ситуаций «фонового» загрязнения водных объектов, которые значительно отличаются от естественного гидрохимического фона [3].

Естественно, что ключевым вопросом выявления негативных гидроэкологических ситуаций является наличие критериев и показателей, адекватно отражающих сложившуюся обстановку. В настоящее времени, как известно, для оценки качества поверхностных водных ресурсов в Беларуси применяются специально разработанные нормативы – предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов рыбохозяйственного использования, хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, соблюдение которых должно гарантировать безопасность водных ресурсов в указанных направлениях. Исходя из сказанного, ПДК загрязняющих веществ являются базовыми показателями состояния природных вод, превышение которых указывает на возникновение риска при их использовании.

Для всех контролируемых в системе мониторинга водных объектов ежегодно рассчитывается индекс загрязненности вод (ИЗВ), применяемый для оценки класса их качества. Расчет ИЗВ производится по среднегодовым концентрациям шести ингредиентов – растворенного кислорода, органических веществ, нормируемых по $БПК_5$, азота аммонийного, азота нитритного, фосфатов и нефтепродуктов, исходя из кратности их превышения ПДК.

По величине ИЗВ качество воды дифференцируется на семь классов: I класс – чистая вода (ИЗВ≤0,3), II – относительно чистая (0,3<ИЗВ≤1,0), III – умеренно загрязненная (1,0<ИЗВ≤2,5), IV – загрязненная (2,5<ИЗВ≤4,0), V – грязная (4,0<ИЗВ≤6,0), VI – очень грязная (6,0<ИЗВ≤10,0), VII – чрезвычайно грязная (ИЗВ>10,0).

Сегодня в мировой практике оценки состояния водных экосистем и загрязнения поверхностных вод имеет место смещение акцентов от оценки качества воды как ресурса в направлении оценки вод рек и водоемов как среды обитания. При этом главной целью является предотвращение ухудшения состояния всех водных объектов и достижение ими «хорошего состояния» [4].

Для поверхностных вод «хорошее состояние» определяется «хорошим экологическим состоянием» и «хорошим химическим состоянием», последнее является составной частью оценки

экологического статуса водных объектов. Вместе с тем степень отклонения водного объекта от «хорошего химического состояния» может идентифицировать характер гидроэкологической напряженности в зависимости от уровня трансформации химического состава речных вод.

Определение гидрохимического статуса рек и озер базируется на установлении референсных (эталонных, условно-фоновых) условий их функционирования, согласно которым предлагаются критерии для классификации их состояния [5]. Причем эталонные условия могут отражать воздействие человека, если оно оказывает незначительное влияние на физико-химические, гидроморфологические и гидробиологические показатели состояния водного объекта, идентифицируя его «хорошее состояние».

Определение гидрохимического статуса речных экосистем проводится для рек или их участков, отнесенных к одному из четырех типов водных объектов в пределах основных речных бассейнов страны [6], в основу типизации которых положены абсолютная высота и площадь водосбора реки или ее участка. Опираясь на указанные критерии, водотоки относят к одному из четырех типов: 1-й тип – малые реки (площадь водосбора менее 100 км^2), 2-й – средние (100–1 000 км^2), 3-й – большие (1 000–10 000 км^2) и 4-й тип – очень большие реки (площадь водосбора более 10 000 км^2). Для каждого типа установлены диапазоны значений химических показателей, соответствующие пяти классам состояния водных экосистем (отличный, хороший, удовлетворительный, плохой и очень плохой гидрохимический статус). Первому классу соответствуют «условно-фоновые» значения показателей.

Гидрохимический статус речных экосистем Беларуси определяется путем сравнения значений физико-химических показателей, полученных в системе мониторинга поверхностных вод для исследуемых водных объектов, с диапазоном концентраций, установленных экспертным путем для каждой группы водных объектов в бассейнах основных рек Беларуси, значения которых для рек рассматриваемого региона представлены в табл. 1.

Таблица 1. **Диапазоны значений гидрохимических показателей для водотоков бассейна Припяти, отнесенных к типу 4 [6]**

Показатель, ед. измерения	Класс качества				
	отличный	хороший	удовлетворительный	плохой	очень плохой
1. Газовый состав					
Растворенный кислород, мгO_2/дм^3	≥ 6,5	6,0–6,4	5,0–5,9	2,0–4,9	2,0
2. Ионы водорода					
Водородный показатель (pH), ед.:					
минимум	7,0	6,5–6,9	6,0–6,4	5,5–5,9	5,5
максимум	8,0	8,1–8,5	8,6–9,0	9,1–9,5	9,5
3. Органические вещества					
Биохимическое потребление кислорода БПК$_5$, мгO_2/дм^3	≤ 3,0	3,1–4,5	4,6–6,0	6,1–9,0	9,0
Бихроматная окисляемость, мгO_2/дм^3	≤ 30,0	30,1–45,0	45,1–60,0	60,1–90,0	90,0
4. Азотсодержащие вещества					
Аммоний-ион, мгN/дм^3	≤ 0,39	0,40–0,59	0,60–0,78	0,79–1,17	1,17
Нитрит-ион, мгN/дм^3	≤ 0,024	0,025–0,038	0,039–0,048	0,049–0,072	0,072
Нитрат-ион, мгN/дм^3	≤ 3,0	3,1–5,0	5,1–6,0	6,1–9,0	> 9,0
Азот общий по Кьельдалю, мг/дм^3	≤ 5,0	5,1–7,5	7,6–10,0	10,1–15,0	15,0
5. Фосфорсодержащие вещества					
Фосфат-ион, мгP/дм^3	≤ 0,066	0,067–0,099	0,100–0,132	0,133–0,198	0,198
Фосфор общий, мг/дм^3	≤ 0,20	0,21–0,30	0,31–0,40	0,41–0,60	0,60
6. Металлы					
Медь, мг/дм^3	≤ 0,0030	0,0031–0,0043	0,0044–0,0050	0,0051–0,0060	0,0060
Цинк, мг/дм^3	≤ 0,011	0,012–0,015	0,016–0,018	0,019–0,025	0,025
Железо (общее), мг/дм^3	≤ 0,345	0,346–0,515	0,516–0,620	0,621–0,740	0,740
Марганец, мг/дм^3	≤ 0,030	0,031–0,040	0,041–0,050	0,051–0,060	0,060
Никель, мг/дм^3	≤ 0,0100	0,0101–0,0150	0,0151–0,0200	0,0201–0,0300	0,0300
Хром (общий), мг/дм^3	≤ 0,0050	0,0051–0,0075	0,0076–0,0100	0,0101–0,0150	0,0150
7. Загрязняющие вещества					
Нефть и нефтепродукты в растворенном и эмульгированном состоянии, мг/дм^3	≤ 0,050	0,051–0,075	0,076–0,100	0,101–0,150	0,150
СПАВ анионоактивные, мг/дм^3	≤ 0,100	0,101–0,150	0,151–0,200	0,201–0,300	0,300

Следует отметить, что предложенные «условно-фоновые» концентрации для большинства ингредиентов достаточно субъективны и отражают в принципе современное фоновое загрязнение рек, маркером которого являются ПДК химических веществ.

По степени отклонения физико-химических показателей от «фоновых величин загрязнения», характеризующих отличное состояние реки, устанавливается гидрохимический статус водного объекта за годовой период наблюдений, выбранный период времени в пределах года, а также по результатам разовых исследований [6].

С точки зрения формирования негативных экологических ситуаций рассмотренный подход позволяет в определенной мере ранжировать водные объекты по степени риска их возникновения

Удовлетворительный статус водных экосистем свидетельствует о начальной стадии деградации их состояния, плохой – о напряженной ситуации, очень плохой – о конфликтной экологической ситуации.

Вместе с тем гидрохимический статус, характеризующий общее состояние речных экосистем, в ряде случаев нивелирует негативные экологические ситуации, вызванные повышенным содержанием в воде рек отдельных химических ингредиентов. К ним можно отнести ситуации, способствующие развитию процессов эвтрофирования, а также формированию техногенных гидрохимических аномалий [3, 7].

Возникновение напряженной экологической ситуаций в связи с возможностью развития процессов эвтрофирования водотоков устанавливается по превышению в воде рек концентраций соединений азота и фосфора их экологически допустимой величины [9, 10], конфликтной – при устойчивом превышении одним из рассматриваемых компонентов ПДК.

Принимая во внимание сказанное, оценка состояния рек базировалась на определении гидрохимического статуса и ИЗВ водных объектов, контролируемых в пунктах наблюдений НСМОС, а также пространственно-временном анализе содержания азота аммонийного и фосфатов в речной воде.

Гидрохимический статус рек Припятского Полесья, рассчитанный с использованием среднегодовых концентраций химических веществ, свидетельствовал о хорошем, а для Припяти выше г. Пинска – об отличном состоянии речных экосистем (табл. 2).

Таблица 2. **Гидрохимический статус водных экосистем в бассейне Припяти в пределах Припятского Полесья в 2013 г. (тип водного объекта – 4)**

Река	Населенный пункт	Местонахождение пункта наблюдения	Сумма баллов	Гидрохимический статус
Припять	г. Мозырь	45,0 км ниже города	40	Хороший
Горынь	пгт. Речица	3,0 км выше поселка	40	>>
Горынь	пгт. Речица	0,5 км ниже поселка	38	>>
Пина	г. Пинск	11,2 км выше города	40	>>
Припять	г. Пинск	1,0 км выше города	44	Отличный
Припять	г. Пинск	3,5 км ниже города	42	Хороший
Припять	г. Мозырь	1,0 км выше города	42	>>
Припять	г. Мозырь	1,0 км ниже города	42	>>
Ясельда	н.п. Сенин	1,0 км выше населенного пункта	38	>>
Бобрик	н.п. Лунин	12,0 км ЮЗ населенного пункта	38	>>
Цна	н.п. Дятловичи	1,0 км выше населенного пункта	36	>>
Случь	н.п. Ленин	0,5 км выше населенного пункта	38	>>
Ореса	н.п. Андреевка	0,4 км выше населенного пункта	36	>>

Аналогичный результат получен и в результате анализа ИЗВ, согласно которому вода рассматриваемых рек по качеству относится к категории «относительно чистая» [8].

Таким образом, гидрохимический статус рек, так же как и ИЗВ, указывает на отсутствие негативных экологических ситуаций в регионе.

Вместе с тем данное оптимистическое доказательство экологического благополучия водных объектов вступает в противоречие с хорошо выраженным «аммонийным» загрязнением рассматриваемых притоков Припяти, о чем свидетельствуют среднегодовые концентрации аммонийного азота в воде рек, превышающие ПДК. Причем, согласно [11], наблюдаемое «аммонийное» загрязнение проявляется устойчиво в течение длительного отрезка времени.

Отчетливо выраженный техногенный режим аммонийного азота выявлен для малых рек-водоприемников сточных вод, в воде которых содержание загрязняющего вещества больше ПДК обнаруживается в течение года. В качестве примера может служить годовой режим аммонийного азота, зафиксированный для р. Наути (длина 31 км, площадь водосбора 269 км^2) водоприемника сточных вод г. Житковичи. Как видно из рис. 1, во все гидрологические фазы концентрация рассматриваемого ингредиента превышала нормативную величину, причем максимальная из концентраций достигала 4 ПДК.

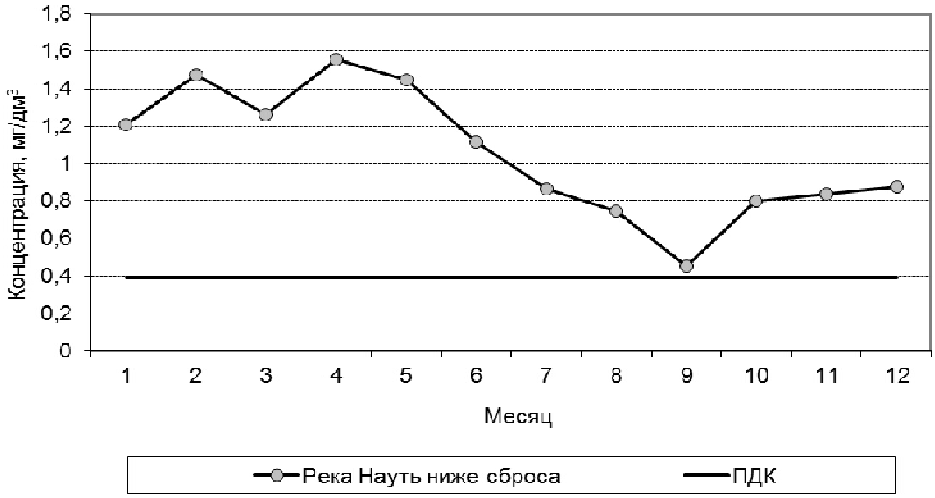


Рис. 1. Годовая динамика концентраций аммонийного азота в воде р.Наути в 2013 г.

Аналогичная ситуация установлена и в отношении фосфатов. В 2013 г. «фосфатное» загрязнение отмечено для всех рассматриваемых притоков Припяти – Пины, Ясельды Бобрика, Цны, Оресы и Горыни [11], однако в многолетнем разрезе оно оказалось устойчивым только для рек, представленном на рис. 2.

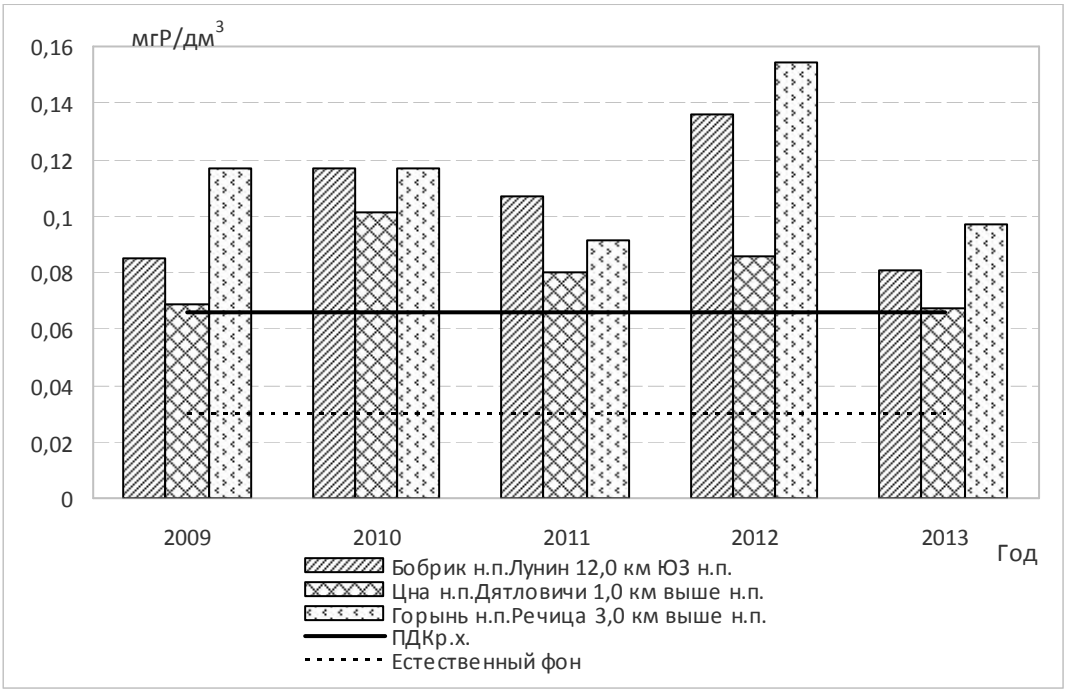


Рис. 2. Динамика концентраций фосфатов в воде притоков Припяти за 2009–2013 гг.

Вместе с тем с позиций возможного эвтрофирования водных объектов важен факт превышения содержания фосфатов в воде притоков экологически допустимой величины в течение всех рассматриваемых лет, что видно из рис. 2 и табл. 3.

Наиболее четко негативная экологическая ситуация в отношении фосфатов, так же как и азота аммонийного, проявляется для малых рек, о чем свидетельствует содержание загрязняющего вещества в воде р. Наути больше ПДК на протяжении всего годового цикла. Иными словами, режим фосфатов в 2013 г. имел хорошо выраженные антропогенные черты, способствующие развитию процессов эвтрофирования (рис. 3).

Таблица 3. **Среднегодовое содержание фосфатов в воде притоков Припяти в 2009–2013 гг., мгР/дм^3 [10]**

Река, пункт	Год				
	2009	2010	2011	2012	2013
Бобрик, н.п. Лунин 12,0 км ЮЗ н.п.	0,085	0,117	0,107	0,136	0,081
Горынь, н.п. Речица 3,0 км выше н.п.	0,117	0,117	0,091	0,154	0,097
Ореса, н.п. Андреевка 0.4 км выше н.п.	0,062	0,075	0,046	0,060	0,068
Ясельда, н.п. Сенин 1,0 км выше н.п.	0,047	0,060	0,049	0,082	0,088
Цна, н.п. Дятловичи1,0 км выше н.п.	0,069	0,101	0,080	0,086	0,067
Пина, г. Пинск 11,2 км выше города	0,045	0,054	0,048	0,096	0,087
$ПДК_{р.х.}$	0,066				
Экологически допустимая величина	0,030				

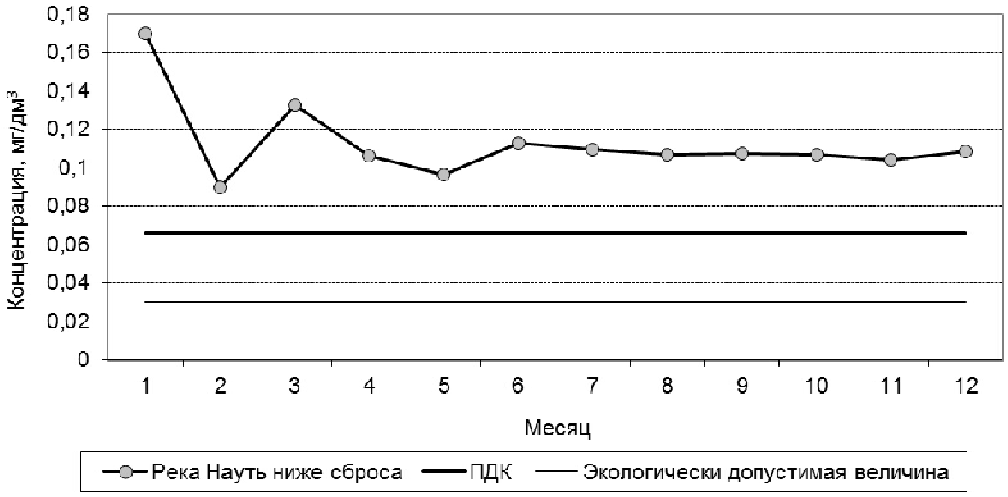


Рис. 3. Годовая динамика концентраций фосфатов в воде р. Наути в 2013 г.

Среди малых водных объектов, принимающих сточные воды, Лунинецкий канал, длина которого составляет 29 км, подвержен самому значительному химическому прессу: качество воды канала свидетельствует о серьезных нарушениях в функционировании водной экосистемы ниже выпуска нормативно-очищенных сточных вод Лунинецким КУП ВКХ «Водоканал».

Химический состав воды канала имеет хорошо выраженные техногенные черты: полностью нарушен режим растворенного кислорода, высокое содержание аммонийного азота (10 $ПДК_{р.х.}$), нитритного азота (5,8 $ПДК_{р.х.}$) и фосфатов (12,6 $ПДК_{р.х.}$), повышенная концентрация нефтепродуктов (1,6 $ПДК_{р.х.}$). Показатель бихроматной окисляемости (ХПК) указывает на загрязнение воды органическими веществами. Содержание сульфатов и хлоридов существенно превышает природно-антропогенный гидрохимический фон. В данном случае можно говорить о наличии конфликтной экологической ситуации как по отдельным гидрохимическим показателям, так и по величине ИЗВ, равной 5,8.

Проведенная оценка состояния рек на территории Припятского Полесья позволяет констатировать следующее.

Гидрохимический статус рек региона, так же как и ИЗВ, дает общее представление о состоянии речных экосистем, нивелируя в большинстве случаев частные негативные экологические ситуации, выявление которых возможно при детальном изучении режима отдельных химических ингредиентов.

На территории Припятского Полесья выявлены два вида негативных гидроэкологических ситуаций – напряженная и конфликтная, которые установлены для притоков Припяти, в том числе для малых рек-водоприемников сточных вод.

Напряженная экологическая ситуация в регионе диагностируется для основных притоков Припяти, в воде которых среднегодовые концентрации аммонийного азота и фосфатов устойчиво превышают $ПДК_{р.х.}$, конфликтная – для малых рек-водоприемников сточных вод, которые характеризуются отчетливо выраженным техногенным режимом аммонийного азота и фосфатов, так как их содержание, превышающее $ПДК_{р.х.}$, наблюдается в речной воде во все гидрологические фазы.

Конфликтная экологическая ситуация, установленная также и для Лунинецкого канала, идентифицируется как по высокому содержанию в воде канала ряда загрязняющих веществ, так и по ИЗВ. Согласно ИЗВ, вода канала является грязной (V класс) и свидетельствует о серьезных

нарушениях в функционировании водной экосистемы.

В создавшейся ситуации канал Лунинецкий следует рассматривать, по нашему мнению, как часть водоотведения г. Лунинца, поскольку его природные функции, в том числе и функция самоочищения, находятся в подавленном состоянии. Он может также использоваться в качестве индикатора эффективности работы городских очистных сооружений.

Литература

1. **Коронкевич, Н. И.** Негативные гидроэкологические ситуации / Н. И. Коронкевич, И. С. Зайцева, Л. М. Китаев // Изв. АН. – 1995. – № 1. – С. 43–53.
2. **Коронкевич, Н.И.** Экстремальные гидрологические явления / Н. И. Коронкевич [и др.] // Изв. АН. – 2005. – № 2. – С. 45–57.
3. **Кадацкая, О. В.** Ландшафтные воды в условиях техногенеза / О. В. Кадацкая [и др.]. – Минск, 2005.
4. **Directive 2000** /60/ EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for European Community action in the field of water policy // Official Journal of the European Communities. – L. 327, 22.12.2000. – 72 p.
5. **Управление** трансграничным бассейном Днепра: суббассейн реки Припяти ; под. ред. А. Г. Ободовского, А. П. Станкевича, С. А .Афанасьева. – Киев, 2012.
6. **ТКП 17.13-08-2013**. Правила определения химического (гидрохимического) статуса речных экосистем.
7. **Кадацкая, О. В.** Техногенная гидрохимическая аномалия сульфатов в воде реки Березины (бассейн Днепра) / О. В. Кадацкая [и др.] // Тез. докл. VI Всерос. гидролог. съезда. – СПб., 2004. – С. 82–84.
8. **Состояние** природной среды Беларуси : экологический бюллетень, 2013 год ; под ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2014. – 364 с.
9. **Комплексная** экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О. П. Оксиюк [и др.] // Гидробиол. журн. – 1993. – Т. 29, № 4. – С. 62–72.
10. **Оксиюк, О. П.** Экологические нормативы качества воды для р.Россь / О. П. Оксиюк, В. Н. Жукинский // Гидробиол. журн. – 1999. – Т. 35, № 6. – С. 16–22.
11. **Кадацкая, О. В.** «Аммонийное» и «фосфатное» загрязнение рек Припятского Полесья / О. В. Кадацкая, Е. П. Овчарова, Е. П. Санец // Географические аспекты устойчивого развития регионов : материалы Междунар. науч.-практ. конференции, 23–24 апреля 2015 г., в 2 ч. Ч. 2 ; редкол.: А. И. Павловский (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2015. – С. 74–77.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 27.05.2015 г.

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

ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ПРИПЯТСКОГО ПОЛЕСЬЯ

Рассматриваются подходы к выявлению различных гидрохимических ситуаций, в том числе и неблагоприятных для экологического состояния рек на территории Припятского Полесья. Гидроэкологическая оценка территории базируется на анализе гидрохимического статуса водных объектов, индекса загрязненности вод (ИЗВ) и содержания в воде рек биогенных элементов.

Показано, что гидрохимический статус рек региона, так же как и ИЗВ, дает общее представление о состоянии речных экосистем, нивелируя в большинстве случаев негативные экологические ситуации, выявление которых возможно при детальном изучении режима отдельных химических ингредиентов.

На территории Припятского Полесья выявлены два вида негативных экологических ситуаций – напряженная и конфликтная, которые установлены для притоков Припяти, в том числе для малых рек-водоприемников сточных вод.

Напряженная экологическая ситуация в регионе диагностируется для основных притоков Припяти, в воде которых среднегодовые концентрации азота аммонийного и фосфатов устойчиво превышают $ПДК_{р.х.}$, конфликтная – для малых рек-водоприемников сточных вод. Последние ха-

рактеризуются отчетливо выраженным техногенным режимом азота аммонийного и фосфатов, содержание которых больше ПДК$_{р.х.}$ наблюдается в воде в течение года.

Конфликтная экологическая ситуация, установленная для Лунинецкого канала, идентифицируется как высоким содержанием в воде канала ряда загрязняющих веществ, так и по ИЗВ. Согласно ИЗВ, вода канала является грязной (V класс) и свидетельствует о серьезных нарушениях в функционировании водной экосистемы.

O. Kadatskaya, A. Aucharova, E. Sanets

HYDRO-ECOLOGICAL ASSESSMENT OF SURFACE WATER RESOURCES OF PRIPYAT POLESIE

In the article approaches to identifying different hydrochemical situations, including adverse to the ecological state of rivers on the territory of Pripyat Polesie are discussed. Hydro-ecological assessment of area is based on the analysis of hydro-chemical status of water bodies, water pollution index (WPI) and content of nutrient in the river water.

It is shown that the hydrochemical status of rivers, as well as WPI, give a general idea the state of the river ecosystems, leveling in most cases the negative ecological situation, the identification of which is possible with a detailed study of the regime of individual chemical ingredients.

On the territory of Pripyat Polesie identified two types of adverse ecological situations (stressful and conflict situations), which are found on the tributaries of the Pripyat, and especially on small rivers in which the waste water is discharged.

*Stressful ecological situation is diagnosed for the main tributaries of the Pripyat River and It is identified by mean annual concentrations of ammonia nitrogen and phosphates in river water steadily exceeding the maximum permissible concentration (MPC), conflict situation – for small rivers (*receiving waters*), hydrochemical regime of which have well-marked anthropogenic features.*

The conflict environmental situation is also revealed for Luninets channel and is identified as the high content of a number of pollutants in the water and the WPI. According to the WPI, the channel water is dirty (V class) and it is evidence of serious irregularities in the functioning of aquatic ecosystems.

УДК 504.54.05

М. И. Струк

ОЦЕНКА СРЕДОФОРМИРУЮЩЕЙ РОЛИ ОБЪЕКТОВ ЖИВОТНОВОДСТВА В ПРИПЯТСКОМ ПОЛЕСЬЕ

Рассмотрено влияние животноводческих ферм и комплексов на формирование окружающей среды в Припятском Полесье с учетом динамики численности скота за многолетний период. Определена их роль в образовании органических удобрений, используемых для восполнения гумуса в пахотных почвах, а также сохранении луговых экосистем. Оценены ландшафтно-экологические условия размещения данных объектов и связанная с ними опасность загрязнения грунтовых вод.

Животноводческие фермы и комплексы относятся к числу производственных объектов, для которых характерно особенно тесное взаимодействие с окружающей средой. Они, подобно иным производственным объектам, выступают источниками загрязняющих воздействий на нее. Кроме того, их функционирование опирается на использование местных природных ресурсов – земельных, биологических, водных, в силу чего данные объекты оказывают также организующее влияние на близлежащие территории, определяя структуру землепользования в их пределах.

Исследования взаимодействия объектов животноводства с окружающей средой активизировались в 70–80-е годы XX в., на которые приходится перевод животноводства на промышленную основу. В это время вместо сравнительно небольших по размерам ферм по разведению крупного рогатого скота и свиней стали строиться крупные комплексы с поголовьем в несколько тысяч (крупного рогатого скота) и десятков и даже сотен тысяч (свиней).

Создание указанных комплексов резко обострило проблему загрязнения окружающей среды образующимися на них отходами, что стимулировало проведение исследований по ее решению. При этом центральное место заняли три взаимосвязанных направления. Первое из них касается оценки загрязняющего влияния рассматриваемых объектов на окружающую среду, вызываемого преимущественно животноводческими стоками [3, 4, 8, 10, 12, 20] и др.; второе – экономически эффективного и экологически безопасного использования отходов животноводства, в том числе жидких, в качестве удобрений [9, 16, 18, 19] и др.; третье – получения биогаза из отходов животноводства [2, 7] и др.

Значимость проблемы загрязнения окружающей среды со стороны животноводческих комплексов нашла отражение также в том, что для ее оценки был разработан специальный нормативный документ [11]. Данная разработка в сочетании с полученными результатами изучения взаимодействия объектов животноводства с окружающей средой обеспечила создание необходимой научно-методической базы подобного рода исследований.

В Беларуси животноводческие фермы и комплексы повсеместно оказывают существенное влияние на использование природных ресурсов и состояние окружающей среды вследствие мясо-молочной специализации сельского хозяйства страны. Отсюда важность его оценки для планирования природопользования на различных пространственных уровнях.

Исследование указанной направленности выполнено применительно к региону Припятского Полесья, для которого реализуется специальная государственная программа социально-экономического развития на основе использования местных природных ресурсов [5]. Его целью выступила оценка средоформирующей роли объектов животноводства с учетом динамики поголовья содержащегося на них скота. Решаемые задачи включали получение трех видов оценок: во-первых, роли данных объектов в образовании органических удобрений; во-вторых, их значения как фактора сохранения луговых экосистем; в-третьих, вызываемой ими опасности загрязнения окружающей среды.

Роль животноводческих комплексов и ферм в образовании органических удобрений. Общая численность крупного рогатого скота в Припятском Полесье во всех категориях хозяйств в 2013 г. составила около 324 тыс. голов, свиней 190 тыс. голов или в 1,7 раза меньше. Абсолютное большинство поголовья крупного рогатого скота сосредоточено на животноводческих фермах и комплексах сельскохозяйственных организаций – 95 %. Остальные 5 % приходятся на хозяйства населения.

Поголовье свиней распределяется между сельскохозяйственными организациями и хозяйствами населения примерно равномерно. Так, на долю первых из них приходится 52 %, а вторых – 48 %.

В составе животноводческих комплексов и ферм в Припятском Полесье численно преобла-

дают хозяйства по разведению крупного рогатого скота. Их общее количество в 2013 г. составило 312 объектов, против 14 свиноводческих. Средние размеры ферм крупного рогатого скота – 960, свиней – около 7 тыс. голов.

Ландшафтная структура региона благоприятна для развития животноводства. В ней преобладают низинные ландшафты (пойменные, аллювиальные и озерно-аллювиальные речных террас, а также болотные), на долю которых приходится вместе 77 % территории [17]. Эти ландшафты в большей степени пригодны для формирования луговых угодий, что нашло отражение в их повышенном распространении в составе сельскохозяйственных земель, где их доля составляет 50 %.

Объемы образования органических удобрений зависят от численности скота [13]. Ее изменения, очевидно, должны сказаться на их величине. Для выявления зависимости образования органических удобрений от поголовья скота в рассматриваемом регионе, выполнено сопоставление динамики показателей его численности в сельскохозяйственных организациях с показателями объемов вносимых органических удобрений за период с 1990 по 2013 г. Учитывались животные, которые оказывают преобладающее влияние на выход навоза, – крупный рогатый скот и свиньи. Из-за отсутствия статистических данных по районам использованы соответствующие материалы для областей, в состав которых эти районы входят – Брестской и Гомельской (рис. 1).

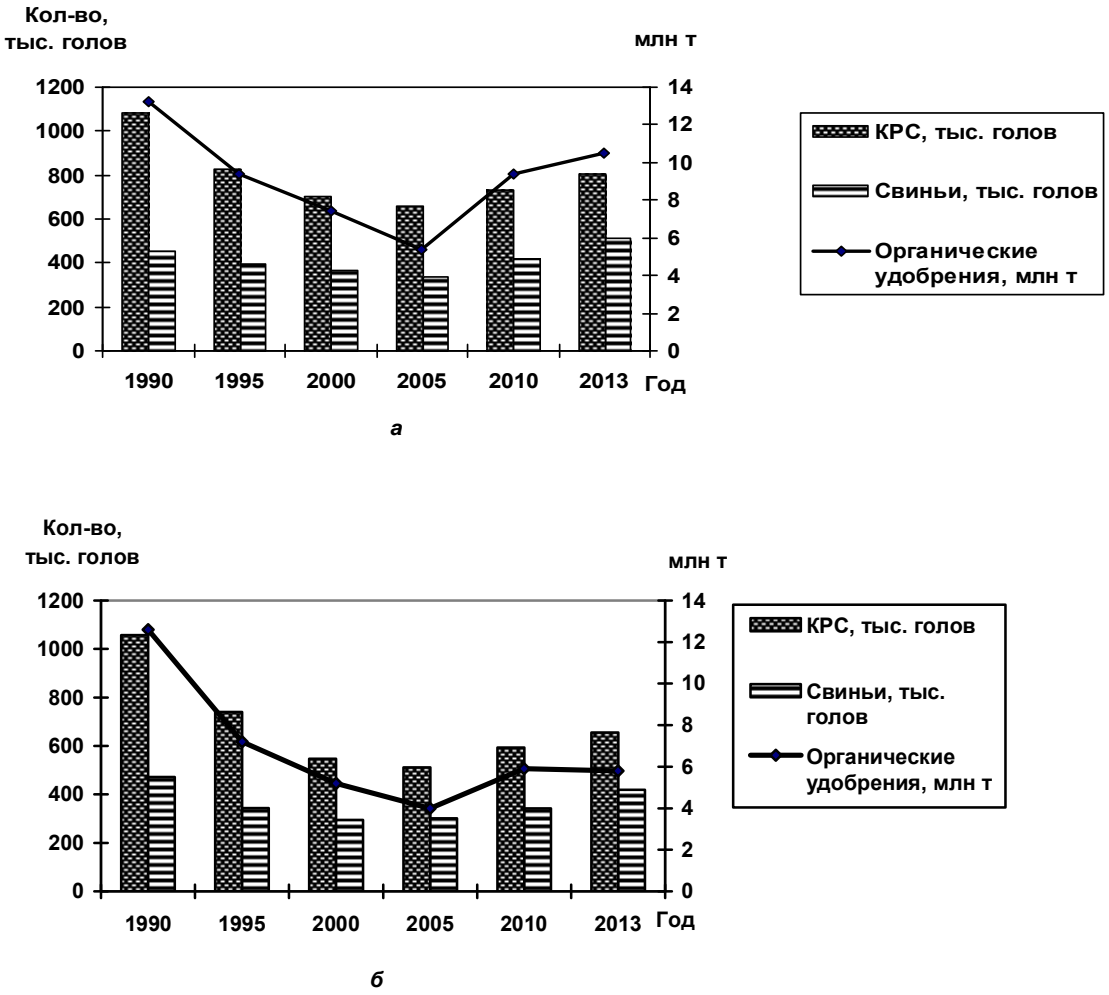


Рис. 1. Динамика поголовья крупного рогатого скота и внесения органических удобрений в сельскохозяйственных организациях Брестской (*а*) и Гомельской (*б*) областей за 1990–2013 гг.

Из приведенных диаграмм следует, что в первой половине анализируемого временного интервала в обеих областях имело место последовательное сокращение поголовья крупного рогатого скота и свиней. Так, численность крупного рогатого скота достигла минимального значения в 2005 г., снизившись по сравнению с 1990 г. в Брестской области в 1,7 раза, в Гомельской в

2,1 раза. Затем начался ее рост. Однако и в 2013 г. поголовье крупного рогатого скота в Брестской области составило лишь 74 %, в Гомельской – 62 % от уровня 1990 г.

Изменения численности свиней были не столь существенны. Их поголовье уменьшилось к 2005 г. в Брестской области на 75 %, в Гомельской – на 64 %. Впоследствии к 2013 г. в Брестской области оно не только восстановилось, но и превысило показатель 1990 г. на 13 %, в Гомельской области составило 89 % от данного показателя.

График, отражающий образование органических удобрений, согласуется с динамикой численности скота. Уменьшение его поголовья сопровождалось снижением объемов удобрений и наоборот. Их максимальный спад, так же как и сокращение численности скота, пришелся на 2005 г.: в 2,4 раза в Брестской области и в 3,2 раза в Гомельской.

В последующие годы образование органических удобрений стало увеличиваться, но темпы такого роста существенно различались по областям. Так, в Брестской области они были более высокими, в результате чего объем образования удобрений здесь в 2013 г. достиг 80 % от уровня 1990 г. В Гомельской области такие темпы оказались значительно ниже, и объем образования удобрений составил в ней лишь 46 % от аналогичного уровня.

Отмеченные различия в росте образования органических удобрений между двумя рассматриваемыми областями недостаточно объяснить лишь неодинаковыми темпами наращивания поголовья скота в них. В Брестской области отмечаются также более высокие удельные показатели образования органических удобрений. В частности, при увеличении здесь поголовья крупного рогатого скота за период 2005–2013 гг. на 23 % и свиней на 40 % образование органических удобрений возросло на 94 %. В Гомельской области соответствующие показатели составили 28, 39 и 45 %.

Следовательно, при сопоставимых величинах роста численности сельскохозяйственных животных в обеих областях показатель увеличения образования органических удобрений в Брестской области в 2 раза превысил таковой в Гомельской. Подобное несоответствие, по-видимому, связано с различиями в технологиях содержания скота. В Брестской области они обеспечивают более высокое удельное образование удобрений.

Органические удобрения пополняют запасы гумуса в почве, соответственно изменения этих запасов во времени могут выступить индикатором достаточности их внесения [15]. Для выявления подобных изменений в пахотных почвах районов Припятского Полесья рассмотрены показатели средневзвешенного содержания в них гумуса, а также доли слабообеспеченных гумусом почв (содержание менее 1,5 %) в общей площади пахотных земель. Сравнение выполнено за два временных интервала, соответственно, 2007–2010 и 2003–2006 гг. (табл. 1).

***Таблица 1*. Распределение пахотных почв районов Припятского Полесья по содержанию гумуса за 2007–2010 гг. по сравнению с 2003–2006 гг. (по данным [1])**

Район	Средневзвешенное содержание, %		Слабообеспеченные почвы, %	
	2007–2010 гг.	(+) или (–) к 2003–2006 гг.	2007–2010 гг.	(+) или (–) к 2003–2006 гг.
Лунинецкий	2,78	+0,04	4,1	–3,4
Пинский	2,46	+0,04	13,0	–3,6
Столинский	2,70	+0,02	7,5	–1,3
Брестская область	**2,65**	**+0,06**	**8,8**	**–2,8**
Житковичский	2,62	–0,08	3,7	+2,0
Мозырский	2,04	–0,17	12,2	+6,8
Наровлянский	2,25	–0,05	4,6	–1,1
Петриковский	2,43	–0,16	7,4	+4,3
Гомельская область	**2,37**	**–0,13**	**7,2**	**+3,6**
Припятское Полесье	**2,54**	**–0,01**	**8,1**	**–0,2**

Как следует из таблицы, по региону в целом показатели содержания гумуса в почве, а также доли слабообеспеченных гумусом почв за рассмотренный промежуток времени практически не изменились. Однако направленность их динамики в районах Брестской и Гомельской областей была противоположной. В первых из них средневзвешенное содержания гумуса увеличилось, а доля слабообеспеченных гумусом почв уменьшилась, во вторых – наоборот.

Снижение обеспеченности почв гумусом в районах Гомельской области следует рассматривать как признак наличия в их пределах конфликтной экологической ситуации, связанной с уменьшением почвенного плодородия. Ее причиной, очевидно, является недостаточное для простого воспроизводства гумуса внесение органических удобрений, что, в свою очередь, по-видимому, обусловлено недостаточными объемами их образования на животноводческих комплексах и фермах.

Обеспечить увеличение указанных объемов можно различными способами: во-первых,

наращиванием поголовья скота, во-вторых, повышением удельного образования органических удобрений на животноводческих объектах. Последнее может быть достигнуто, в частности, путем формирования компостов на основе полужидкого навоза и торфа.

Применение торфа для отмеченных нужд предусмотрено, в частности, реализуемой в Беларуси государственной программой «Торф» на 2008–2010 гг. и на период до 2020 г. [6]. Согласно этой программе, потребность организаций сельского хозяйства Беларуси в торфе для утилизации полужидкого навоза составляет около 3 млн т в год.

Исходя из указанной общей для страны потребности в торфе, можно предварительно рассчитать аналогичные потребности в нем применительно к рассматриваемым районам. Соответствующие расчеты выполнены исходя из той доли, которую составляет численность скота в каждом из них от ее общей численности в стране. В результате получено, что для Пинского и Столинского районов эти потребности находятся на уровне 50–60 тыс.т, Лунинецкого, Петриковског, Житковичского, Мозырского – 20–30 и Наровлянского – до 5 тыс. т. Во всех перечисленных районах имеются пригодные для разработки торфяные месторождения, которые создают необходимую сырьевую базу для производства компостов на животноводческих комплексах и фермах.

Животноводческие комплексы и фермы как фактор сохранения луговых экосистем. При оценке роли животноводческих комплексов и ферм как фактора сохранения луговых экосистем следует исходить из того, что между численностью крупного рогатого скота, с одной стороны, и площадью, а также экологическим состоянием луговых угодий, с другой, складываются определенные равновесные соотношения. Активная регулирующая роль при этом принадлежит крупному рогатому скоту. Изменение его численности в сторону увеличения или уменьшения при прочих равных условиях приводит к негативным изменениям луговых экосистем. В первом случае они выражаются в развитии процессов пастбищной дигрессии луговой растительности, во втором – в ее закустаривании, залесении, заболачивании.

Следовательно, для выявления предпосылок возникновения конфликтных экологических ситуаций, связанных с состоянием луговых экосистем необходимо рассмотреть динамику численности крупного рогатого скота и сопоставить ее с изменениями площади луговых угодий. Подобное сопоставление выполнено для региона Припятского Полесья за период с 1970 по 2013 г. (рис. 2).

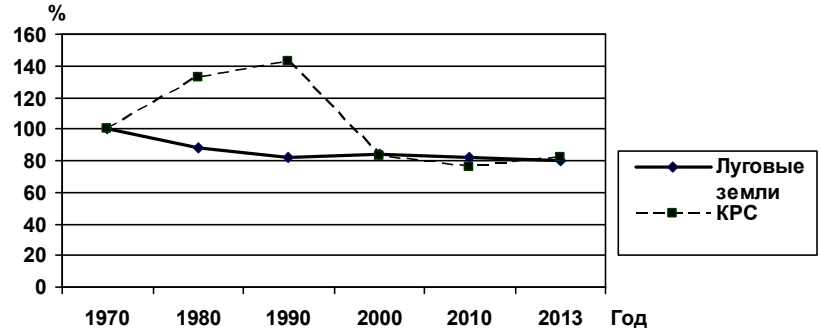


Рис. 2. Динамика численности крупного рогатого скота и луговых земель в Припятском Полесье за 1970–2013 гг., %

Приведенные на рисунке графики отражают существенные различия в динамике рассматриваемых показателей на временном интервале с 1970 по 1990 г. Так, поголовье крупного рогатого скота за это время увеличилось на 42 %, а площадь луговых земель уменьшилась на 18 %. Затем площадь луговых земель стабилизировалась, а в численности крупного рогатого скота за десятилетие (1990–2000 гг.) произошел существенный спад (в 1,7 раза), после чего она также практически стабилизировалась на уровне 82 % от величины 1970 г.

Из представленных различий в динамике поголовья крупного рогатого скота и площади луговых угодий на разных временных интервалах следует, что на первом из них (1970–1990 гг.) происходил общий рост нагрузок на данные угодья, что способствовало их максимально полному использованию, а также созданию предпосылок дигрессии луговой растительности. После 1990 г. ситуация изменилась. Нагрузки на луговые угодья в целом существенно снизились. Так, если в 1970 г. на одну голову крупного рогатого скота приходилось 0,9 га их площади, то в 1990 г. – лишь 0,5 га (рис. 3).

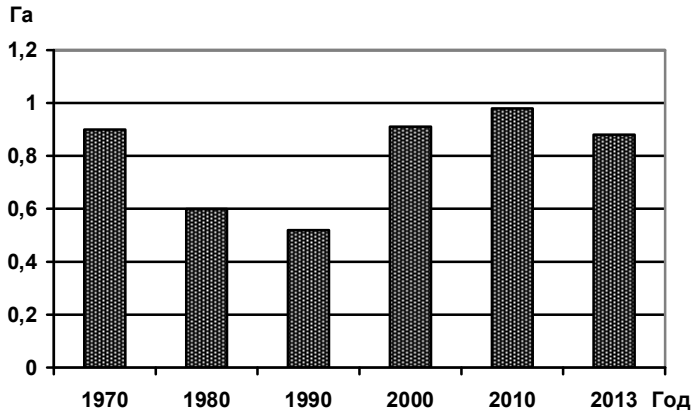


Рис. 3. Динамика площади луговых угодий на одну голову крупного рогатого скота за 1970–2013 гг. в Припятском Полесье

После 1990 г. по мере снижения поголовья крупного рогатого скота при сохранении практически неизменной площади луговых земель удельный показатель обеспеченности ими на одну голову скота стал увеличиваться и к 2000 г. вернулся к уровню 1970 г. Примерно на этом уровне он оставался и в последующие годы.

Часть луговых земель после 1990 г. вообще перестала использоваться для сенокошения и выпаса скота, в результате чего в их пределах стали развиваться процессы закустаривания, залесения, заболачивания. В максимальной степени эти процессы затронули угодья, которые ранее использовались для выпаса крупного рогатого скота, находящегося в собственности сельского населения, что обусловлено резким снижением его поголовья (рис. 4).

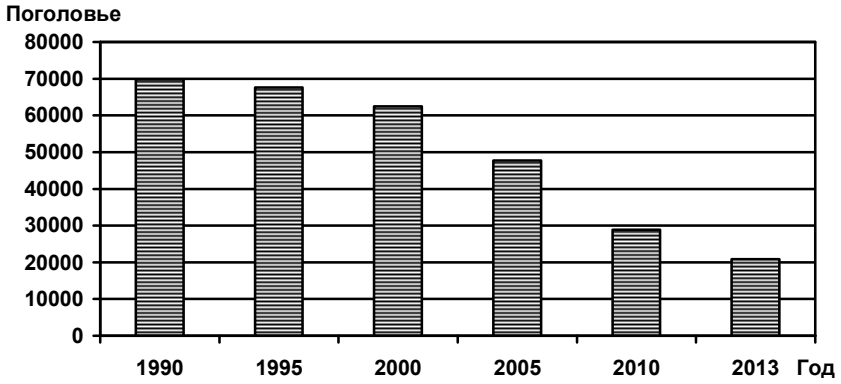


Рис. 4. Динамика поголовья крупного рогатого скота в хозяйствах населения Припятского Полесья за 1990–2013 гг.

Темпы указанного снижения особенно заметно увеличились в 2000-е годы. По-видимому, это можно увязать со снижением численности и постарением сельского населения, а также с уменьшением мотивации в содержании крупного рогатого скота. В результате за период с 1990 по 2013 г. его поголовье в хозяйствах населения сократилось в 3,4 раза, и на перспективу можно прогнозировать продолжение данной тенденции.

Животноводческие комплексы и фермы как источник загрязнения окружающей среды. Наиболее значимыми источниками загрязняющих воздействий на окружающую среду выступают крупные животноводческие комплексы. Высокая концентрация поголовья скота на ограниченных площадях, использование гидравлических систем уборки и удаления экскрементов животных приводят к образованию больших объемов жидкого навоза, а также связанных с эксплуатацией производственных помещений значительных количеств вредных летучих химических веществ, неприятных запахов, интенсивного шума и др. [11].

Условия образования навоза и навозных стоков, их количественный и качественный состав зависят от вида животных, мощности жи-

вотноводческих комплексов, вида кормов, а также от принятых систем удаления навоза из производственных помещений. В случае бесподстилочного содержания скота и системы гидроудаления навоза навозные стоки выступают в виде полидисперсной массы, состоящей из воды, твердых включений (различных органических и минеральных веществ) и газов.

В навозные стоки могут поступать остаточные количества биологически активных соединений (лекарственные препараты, инсектициды, дезинфекционные растворы, гормоны, соединения меди, цинка и др.), широко применяемых в современном животноводстве для лечения и стимуляции роста животных, дезинфекции и дезинсекции производственных помещений. В них могут содержаться также микробы сальмонеллезной группы, культуры патогенных серотипов кишечной палочки, возбудители бруцеллеза, туберкулеза, чумы и др., а также жизнеспособные яйца гельминтов.

Основным веществом – загрязнителем атмосферного воздуха со стороны животноводческих комплексов выступает аммиак. Кроме того, в районе их размещения фиксируется специфический запах, может отмечаться также повышенное содержание сероводорода, меркаптанов, микробов.

В химическом загрязнении почв, грунтовых и поверхностных вод навозными стоками принимают участие главным образом соединения азота аммиачного, нитритного, нитратного, органического, а также хлориды, сульфаты, фосфаты. Кроме того, существует угроза бактериологического и гельминтологического загрязнения данных природных компонентов.

Наряду с численностью скота и условиями его содержания загрязняющие воздействия животноводческих комплексов и ферм на окружающую среду зависят также от природно-ландшафтных условий их размещения. Поэтому данный фактор также следует учитывать при оценке этих воздействий.

Животноводческие комплексы и фермы являются основными производственными объектами сельских населенных пунктов. Доля таких поселений, в которых имеются данные объекты, по региону в целом составляет 43 %. При этом прослеживаются заметные различия между районами Брестской и Гомельской областей по отмеченному показателю. В первой из них он в 1,8 раза выше. В районах Брестской области доля сельских населенных пунктов с фермами находится в диапазоне 54–58 %, Гомельской – 23–35 %.

Различные животноводческие комплексы и фермы располагаются в специфических природно-экологических условиях, занимая определенное положение относительно водоемов и водотоков, населенных пунктов; места их размещения отличаются неодинаковой степенью защищенности грунтовых вод. Поэтому для оценки загрязняющих воздействий каждого из данных объектов нужны специальные исследования.

Вместе с тем наряду с оценкой реального загрязняющего влияния конкретных животноводческих ферм и комплексов, важна также оценка вызываемой ими потенциальной опасности. Последняя позволит ранжировать эти объекты по данному критерию и определить приоритетные из них для формирования необходимой экологической инфраструктуры.

Для оценки потенциальной опасности загрязнения атмосферного воздуха со стороны животноводческих комплексов Припятского Полесья использованы соответствующие формулы, содержащиеся в [11]:

$$X = (M + 1862) : 4{,}274 – \textit{для комплексов крупного рогатого скота;} \quad (1)$$

$$X = (M + 10202) : 23{,}64 – \textit{для свиноводческих комплексов,} \quad (2)$$

где X – ориентировочная граница распространений загрязнения; M – мощность комплекса (количество голов); 1862; 10202; 4,274; 23,64 – расчетные параметры формул.

Выполненные с применением приведенных формул расчеты показали, что ориентировочная зона загрязняющего влияния на атмосферный воздух комплекса крупного рогатого скота мощностью 1 тыс. голов составит 670 м, 2 тыс. – 900 м и самого крупного из имеющихся в регионе мощностью 2,8 тыс. голов (Пинский район) – 1,1 км. Аналогичная зона для крупнейшего свиноводческого комплекса региона численностью около 49 тыс. голов (Мозырский район) достигнет 2,1 км.

Наряду с загрязнением атмосферного воздуха животноводческие комплексы и фермы относятся к наиболее существенным источникам загрязнения грунтовых вод. На прилегающих к ним территориях в этих водах, содержащихся в колодцах, фиксируется повышенное содержание нитратов [14].

Вероятность загрязнения грунтовых вод в решающей степени зависит от свойств располагающейся над ними зоны аэрации, которые определяются ландшафтным строением территории. В целом в рассматриваемом регионе Припятского Полесья имеет место повышенная опасность загрязнения грунтовых вод, что обусловлено преобладанием в его ландшафтной структуре низинных природных комплексов, сложенных легко проницаемыми песчаными отложениями с близким к поверхности залеганием данных вод.

Для выявления степени указанной опасности применительно к конкретным животноводческим комплексам и фермам определялись природно-ландшафтные условия их размещения с подразделением ландшафтов по степени устойчивости к загрязнению грунтовых вод на три группы. К первой группе (высокая устойчивость) отнесены ландшафты моренных возвышенностей, а также моренных и водно-ледниковых равнин, ко второй (умеренная устойчивость) – аллювиально-аккумулятивных низин первой надпойменной террасы, а также аллювиально-аккумулятивных и озерно-аллювиальных низин второй надпойменной террасы; к третьей – пойменные и болотные ландшафты.

Выполненное совместное картографирование ландшафтов и рассматриваемых объектов животноводства позволило оценить вызываемую каждым из них опасность загрязнения грунтовых вод. Для оценки уровня подобного рода опасности по региону в целом и составляющим его районам, а также для сравнения районов между собой по данному признаку рассчитаны суммарные показатели, характеризующие распределение рассматриваемых объектов по территориям с различной устойчивостью к загрязнению грунтовых вод (табл. 2).

Таблица 2. **Распределение животноводческих ферм и комплексов по территории с различной устойчивостью к загрязнению грунтовых вод в районах Припятского Полесья, %**

Район	Устойчивость территории к загрязнению грунтовых вод		
	высокая	умеренная	низкая
Лунинецкий	2,0	88,0	10,0
Пинский	37,8	50,0	14,2
Столинский	18,6	69,5	11,9
Брестская область	**23,4**	**64,2**	**12,4**
Житковичский	5,6	80,5	13,9
Мозырский	90,3	–	9,7
Наровлянский	45,5	54,5	–
Петриковский	67,4	27,9	4,7
Гомельская область	**52,9**	**38,8**	**8,3**
Припятское Полесье	**34,3**	**54,8**	**10,9**

Приведенные в таблице данные показывают, что по всему Припятскому Полесью более половины животноводческих объектов размещаются на территориях с умеренной устойчивостью к загрязнению грунтовых вод, третья часть – с высокой и десятая – с низкой устойчивостью. Внутри региона прослеживаются различия между его западной и восточной частями.

В западной части, объединяющей все районы Брестской и Житковичский район Гомельской области доля животноводческих комплексов и ферм, располагающихся на территориях с низкой устойчивостью к загрязнению грунтовых вод, выше, чем в восточной, а с высокой устойчивостью – ниже. Отсюда и опасность возникновения в ее пределах конфликтных экологических ситуаций, связанных с загрязнением грунтовых вод со стороны указанных объектов, будет более высокой.

Выводы. Во взаимодействии животноводческих ферм и комплексов с окружающей средой в Припятском Полесье проявляются как положительные, так и отрицательные последствия. Первые из них связаны с образованием органических удобрений, необходимых для восполнения гумуса в почве, а также с сохранением луговых экосистем как самостоятельного типа природных комплексов, вторые – с загрязнением окружающей среды.

Происходившее в регионе в период с 1990 по 2005 г. уменьшение поголовья крупного рогатого скота и свиней сопровождалось снижением образования органических удобрений, затем начался их обоюдный рост. Вместе с тем он оказался недостаточным для простого воспроизводства гумуса в пахотных почвах районов, относящихся к Гомельской области, где фиксируется его отрицательный баланс. Увеличение образования органических удобрений может быть обеспечено за счет использования на животноводческих объектах торфа из местных месторождений для приготовления на его основе компоста в смеси с полужидким навозом.

Уменьшение поголовья крупного рогатого скота имело место при сохранении стабильной площади луговых земель, что привело к снижению интенсивности их использования в 1,7 раза и создало предпосылки для развития процессов закустаривания, залесения и заболачивания на тех из них, где прекратился выпас скота и сенокошение. В наибольшей степени эти процессы затронули луговые угодья, которые использовались ранее для нужд населения, поскольку снижение поголовья скота в хозяйствах населения было особенно значительным (в 3,4 раза). При сохранении тенденции к росту концентрации крупного рогатого скота на крупных фермах и комплексах и одновременном сокращении не-

больших стад, востребованными окажутся только большие по площади, удобные для механизированной обработки, расположенные вблизи животноводческих объектов луга. Для рационального использования луговых земель, выбывших из хозяйственного оборота, следует провести их инвентаризацию с оценкой современного состояния и выработки оптимальных направлений использования.

Загрязняющее влияние расположенных в Припятском Полесье животноводческих комплексов и ферм на атмосферный воздух в соответствии с полученными ориентировочными расчетными данными, как правило, не превышает расстояния в 1 км и только для одного самого крупного свиноводческого комплекса (Мозырский район) достигает 2,1 км. Из выявленных особенностей размещения указанных объектов на территориях с различной устойчивостью к загрязнению грунтовых вод следует, что наиболее высокую опасность такого загрязнения представляет десятая их часть. Территориально они приурочены преимущественно к западной части региона, включая три района Брестской и Житковичский район Гомельской области, где доля таких объектов составляет 10–14 %. Данные объекты являются приоритетными для создания вокруг них санитарно-защитных зон и контроля за соблюдения должного санитарного состояния на непосредственно занимаемой ими территории.

Литература

1. **Агрохимическая** характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2007–2010) / Под ред. И. М. Богдевича. – Минск, 2012.

2. **Баадер, В.** Биогаз: Теория и практика / В. Баадер, Е. Донэ, М. Брендерфельд. – М., 1982.

3. **Брезгунов, В. С.** Проблемы охраны окружающей среды на мелиорируемых водосборах с животноводческими комплексами / В. С. Брезгунов [и др.] // Мелиорация переувлажненных земель. Ее социально-экономические и экологические последствия : матер. конф., Минск, 28–29 июня, 1990. – Минск, 1990. – С. 110–121.

4. **Ворошилов, Ю. И.** Животноводческие комплексы и охрана окружающей среды / Ю. И. Ворошилов [и др.]. – М., 1991.

5. **Государственная** программа социально-экономического развития и комплексного использования природных ресурсов Припятского Полесья на 2010–2015 годы. Утв. Указом Президента Республики Беларусь 29.03.2010 г., № 161.

6. **Государственная** программа «Торф» на 2008–2010 годы и на период до 2020 года. Утв. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 23.01.2008, № 94.

7. **Залудяк, Н. И.** Экологические проблемы крупных сельскохозяйственных комплексов / Н. И. Залудяк, В. Г. Шевчук // 15 Менделеевский съезд по общей и прикладной химии, Минск, 24–29 мая, 1993. Т. 1. – Минск, 1993. – С. 409–410.

8. **Коплан-Дикс, В. А.** Организация наблюдений за изменением природной среды в районах действия животноводческих комплексов, ферм и птицефабрик / В. А. Коплан-Дикс // Вопросы охраны природы при мелиоративном строительстве. – Л., 1987. – С. 64–77.

9. **Леснікоў, М. Ф.** Прымяненне жывёлагадоўчых сцёкаў на тарфяна-балотных глебах / М. Ф. Леснікоў, А. Ф. Вярэніч // Весці Акад. навук БССР. Сер. сельскагаспадарчых навук. – 1983. – № 3. – С. 23–29.

10. **Мастик, А. А.** Оценка загрязнительного потенциала животноводческих ферм / А. А. Мастик // Уч. зап. Тарт. ун-та. – 1985. – № 701. – С. 153–158.

11. **Методические** рекомендации по изучению влияния животноводческих комплексов на окружающую среду. Утв. начальником Главного санитарно-эпидемиологического управления Министерства здравоохранения СССР В. Е. Ковшило 9 февр. 1981 г., № 2289-81.

12. **Мироненко, М. А.** Крупные животноводческие комплексы и окружающая среда (гигиенические аспекты) / М. А. Мироненко [и др.]. – М: Медицина, 1980.

13. **Никончик, П. И.** Пути пополнения органического вещества и гумуса в пахотных землях Республики Беларусь / П. И. Никончик // Земледелие и растениеводство. – 2008. – № 7. – С. 37–40.

14. **Пашкевич, В. И.** Качество пресных подземных вод Беларуси / В. И. Пашкевич // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Минерально-сырьевые ресурсы Беларуси – 2002: состояние и перспективы освоения». – Минск, 2002. – С. 170–173.

15. **Привалов, Ф. И.** Плодородие почв и применение удобрений – основа стабильности земледелия / Ф. И. Привалов, В. В. Лапа // Земляробства і ахова раслін. – 2007. – № 6. – С. 4–9.

16. **Соколов, Г. А.** Ресурсосберегающие аспекты технологии приготовления и использования сбалансированных органических удобрений / Г. А. Соколов, Р. Ф. Братишко, Н. С. Гаврильчик // Природные ресурсы. – 1996. – № 1. – С. 27–32.

17. **Струк, М. И.** Пойменные ландшафты и организация природопользования в Припятском Полесье / М. И. Струк // Рациональное использование пойменных земель : материалы науч.-практ. семинара. ГПУ «Национальный парк «Припятский», 19–21 июня 2013 г. – Минск, 2013. – С. 15–20.

18. **Тиво, П. Ф.** Экологические проблемы крупных животноводческих комплексов / П. Ф. Тиво // Весці Акадэміі аграрных навук Рэспублікі Беларусь. – 1994. – № 4. – С. 60–65.

19. **Тишкович, А. В.** Эколого-безопасная технология приготовления органо-минеральных удобрений на основе торфа и полужидкого навоза / А. В. Тишкович, В. Г. Шныриков, В. А. Ковалевский // Проблемы Полесья. – Вып. 14. – Минск, 1991. – С. 127–132.

20. **Шляхтуноў, У. І.** Праблемы буйных жывёлагадоўчых комплексаў і шляхі іх вырашэння / У. І. Шляхтуноў, С. І. Пляшчанка // Весці АН БССР. Сер. сельскагаспадарчых навук. – 1988. – № 4. – С. 69–73.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 6.04.2015 г.

М. И. Струк

ОЦЕНКА СРЕДОФОРМИРУЮЩЕЙ РОЛИ ОБЪЕКТОВ ЖИВОТНОВОДСТВА В ПРИПЯТСКОМ ПОЛЕСЬЕ

Выполнена оценка влияния животноводческих ферм и комплексов на формирование окружающей среды в Припятском Полесье с учетом динамики численности скота за многолетний период, включая образование органических удобрений, сохранение луговых экосистем, а также опасность загрязнения атмосферного воздуха и грунтовых вод.

Установлено, что происходившее в регионе в период с 1990 по 2005 г. уменьшение поголовья крупного рогатого скота и свиней сопровождалось снижением образования органических удобрений, затем начался их взаимный рост, который, однако, оказался недостаточным для простого воспроизводства гумуса в пахотных почвах районов, относящихся к Гомельской области.

Выявлено снижение интенсивности использования луговых угодий региона в 1,7 раза, что создало предпосылки их закустаривания, залесения и заболачивания.

Рассчитаны ориентировочные размеры загрязняющего влияния животноводческих ферм и комплексов на атмосферный воздух, которые в основном не превысили расстояние в 1 км. Определены ландшафтно-экологические условия размещения рассматриваемых объектов и обусловленная ими опасность загрязнения грунтовых вод. Установлено, что 34 % этих объектов располагаются на территориях с высокой устойчивостью к данному виду загрязнения, 55 % – средней и 11 % – низкой.

M. I. Struck

THE ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL-FORMED ROLE OF LIVESTOCK OBJECTS IN PRIPJAT'S POLESJE

The evaluation of the impact of livestock farms and complexes to environmental design in the Pripjat Polesje considering the population dynamics of livestock for long period, including the formation of organic fertilizers, preservation of meadow ecosystems as well as the risk of contamination of air and ground waters

It was established that the decrease in the number of cattle and pigs what was happening in the region from 1990 to 2005 was accompanied by a decrease in the production of organic fertilizers, and then their mutual growth began, which, however, was not sufficient for the simple reproduction of humus in arable soils, areas related to Homel region.

There was a reduction of the intensity of use of grasslands in the region by 1.7 times, which created the preconditions of bush encroachment, forestation and water logging.

The approximate sizes of the contaminating influence livestock farms and complexes on the air, which basically did not exceed a distance of 1 km are calculated. Identified landscape-ecological conditions of the placement of these objects and the resulting risk of contamination of groundwater are identified. It was found that 34 % of these facilities are located in areas with a high resistance to this type of contamination, 55 % – medium and 11 % – low.

УДК 911.8

Е. И. Иваненко

ВОЗМОЖНОСТИ РАСШИРЕНИЯ ПРИРОДНО-ЗАПОВЕДНОГО ФОНДА УКРАИНСКОГО ПОЛЕСЬЯ

Рассмотрены показатели, характеризующие природно-заповедный фонд Украинского Полесья с использованием авторской методики. Обоснованы возможности его расширения в соответствии с Законом «О стратегии государственной экологической политики Украины на 2020 год», одним из положений которого предусмотрено увеличение площади природно-заповедного фонда до 15 %.

Расширение (увеличение площади) природно-заповедного фонда (ПЗФ) – одно из главных направлений его развития на данном этапе. Это актуально как для мировой, так и для украинской системы заповедных территорий.

Сторонами Конвенции об охране биологического разнообразия в 2010 г. в Айти (Япония) были приняты целевые задачи по сохранению и устойчивому развитию биоразнообразия, среди которых – обеспечение эффективной охраны природы на 17 % площади суши и внутренних вод и 10 % площади моря и побережья к 2020 г. На 2014 г. природоохранные территории мира составляли 14 % от площади суши и 3,41 % от площади моря [13].

В 2011 г. в Украине был принят Закон «О стратегии государственной экологической политики Украины на 2020 год», одним из положений которого предусмотрено увеличение площади ПЗФ до 15 % к 2020 г. По данным Министерства экологии и природных ресурсов Украины в настоящее время площадь ПЗФ Украины составляет 6,5 % территории государства. Кроме того, один объект площадью 402 500 га (Филлофорное поле Зернова) существует в морской экономической зоне Украины в Черном море.

Украинское Полесье. Природный регион Полесье разделен государственными границами. Одной из его частей является Украинское Полесье, но для пространственной динамики природных процессов регион остается целостным. Государственная граница Украины в пределах Полесья является пределом распространения прямой природоохранной деятельности Украины, поэтому Украинское Полесье целесообразно рассматривать как в национальном, так и в межгосударственном контексте.

Отличительными природными чертами Украинского Полесья, важными для расширения ПЗФ, являются:

1) лесистый характер региона. Лесные участки на практике легче заповедовать, чем степные;

2) низкое плодородие почв и высокая заболоченность в сравнении с другими равнинными регионами Украины. Это сдерживает развитие земледелия, вследствие чего сохраняется больше нетронутых природных участков;

3) значительный безлюдный регион в Чернобыльской зоне отчуждения. Фактически эта территория является заповедником, хотя и не вся она входит в ПЗФ.

Все эти факторы способствуют наилучшему, по сравнению с другими равнинными регионами Украины, развитию ПЗФ. В Украинском Полесье имеются достаточные предпосылки для заповедования природных участков. Главная задача – правильно организовать в пространстве систему заповедных территорий.

Границы и площадь Украинского Полесья. Природная (южная и юго-восточная) граница Украинского Полесья описана в научной литературе с некоторыми разногласиями, которые нужно согласовать для проведения последующих расчетов. Основной проблемной частью границы является регион Малого Полесья на западном ее участке (рис. 1). При районировании Украины Малое Полесье причисляли к зоне хвойно-широколиственных лесов [5], лесостепной зоне [8] или зоне широколиственных лесов [6]. По природным условиям Малое Полесье наиболее сходно с большим Полесьем зоны хвойно-широколиственных лесов, поэтому, при типологическом районировании следовало бы его рассматривать как часть этой провинции. Но, так как провинции выделяются по принципам индивидуального районирования, то Малое Полесье целесообразно отнести к провинции, находящейся южнее Полесья. Подробно вопрос типологического и индивидуального районирования раскрыт у Д. Л. Арманда [1], В. Б. Сочавы [10], Б. Б. Родомана [9] и др.

На других участках природная граница Украинского Полесья определена достаточно четко. Эта граница является частью одного из главных рубежей Восточноевропейской равнины [2], расположение которого определяли еще на первом этапе природного районирования: Ф. П. Кеппен определял его по границе распространения лесной растительности [4], Г. И. Танфильев – по границе распространения ели и песчаных отложений [11],

П. А. Тутковский – по бывшей южной границе ледника [12]. Согласно комплексному физико-географическому районированию природная граница Украинского Полесья совпадает с южной границей хвойно-широколиственной лесной зоны. Последняя официальная схема физико-географического районирования представлена в Национальном атласе Украины [7]. Именно она использована для расчетов в данной работе.

Рис. 1. Границы Украинского Полесья

При измерении величина площади региона может отличаться до 3 % в зависимости от выбранной географической проекции. Площадь Украинского Полесья составляет 91 000 км^2 – это самый большой природный регион такого уровня (уровня физико-географической провинции) в Украине.

Площадь ПЗФ Украинского Полесья. Географические параметры ПЗФ рассчитаны с помощью цифровой карты Министерства экологии и природных ресурсов Украины. Площадь ПЗФ Украинского Полесья составляет 7660 км^2 – 8,4 % от площади региона (в среднем для Украины – 6,5 %). Это самый высокий реальный показатель доли ПЗФ среди равнинных регионов Украины, хотя номинально он немного выше в западно-украинской провинции широколиственных лесов (9,1 %).

На территории региона созданы 4 природных заповедника, 6 национальных природных парков, 4 региональных ландшафтных парка, а также особый объект – заказник «Чернобыльский специальный». Это объекты, которые имеют собственную администрацию. Их площадь составляет 5020 км^2 – 66 % от ПЗФ региона (в среднем по Украине площадь объектов с собственной администрацией составляет 63 %). Чем выше этот показатель, тем эффективней осуществляется охрана заповедных территорий.

Как указывалось ранее, доля заповедных территорий в Украине должна быть доведена до 15 % к 2020 г. Учитывая практические предпосылки, допустимо некоторое превышение этого показателя до 17–20 % в горных и лесных регионах и уменьшение до 12–13 % в степных и лесостепных регионах и до 10 % в морских. Таким образом, площадь ПЗФ в Украинском Полесье должна быть увеличена не меньше чем в 2 раза.

Доля государственной границы в пределах заповедных территорий. На заповедные территории вдоль государственной границы должно быть направлено особое внимание ввиду усложнения процессов управления ими на международном уровне по сравнению с внутригосударственным.

Заповедные объекты прилегают к государственной границе в Украинском Полесье на протяжении 300 км – это 29 % всей ее длины. Для охранного эффекта по другую сторону границы необходимо обеспечивать соответствующие природоохранные условия. Также и украинская сторона должна учитывать расположение заповедных территорий соседних стран при организации и развитии ПЗФ.

Размещение и связанность заповедных территорий. Система заповедных территорий должна быть организована в пространстве максимально выгодно для сохранения биораз-

нообразия – в первую очередь, для сохранения животных, как наиболее уязвимой группы. Она должна образовывать функционально связанную сеть. Уровень связанности основан на оптимальном расстоянии между заповедными участками, а также на минимальном размере модельного заповедного участка. Расстояние между заповедными участками должно быть доступным для совершения миграций мелкими животными. Это расстояние взаимосвязано с размером заповедных участков – оно должно быть достаточным для существования в их пределах животных с большой площадью местообитаний.

В качестве пространственной модели выбрана сетка из одинаковых правильных шестиугольников, в каждом из которых находится один модельный заповедный участок. При доле заповедных территорий в 15 %, площадь заповедного участка составляет 330 га, расстояние между участками – 3 км, площадь одной ячейки сетки – 22 км^2.

Выбранные показатели основаны на результатах исследований по известным темам: ключевых видов [15], миграции от места рождения к месту размножения [17], выбора «одной большой или нескольких маленьких» (англ. акроним SLOSS) заповедных территорий [14], теории диаграмм [16] и др.

Трехкилометровый буфер вокруг каждого заповедного участка является зоной позитивного влияния заповедного режима, ощутимого для большинства видов. Десятикилометровая зона находится в пределах досягаемости большинства птиц, хищных и крупных травоядных млекопитающих. Более отдаленные участки разделены на две зоны: 10–20 км и более 20 км.

На рис. 2 белым цветом отображены заповедные участки и трехкилометровые буферные зоны вокруг них, оттенками серого – зоны соответственно расстоянию к ближайшему заповедному участку: 3–10 км – светло-серым, 10–20 км – серым, более 20 км – темно-серым.

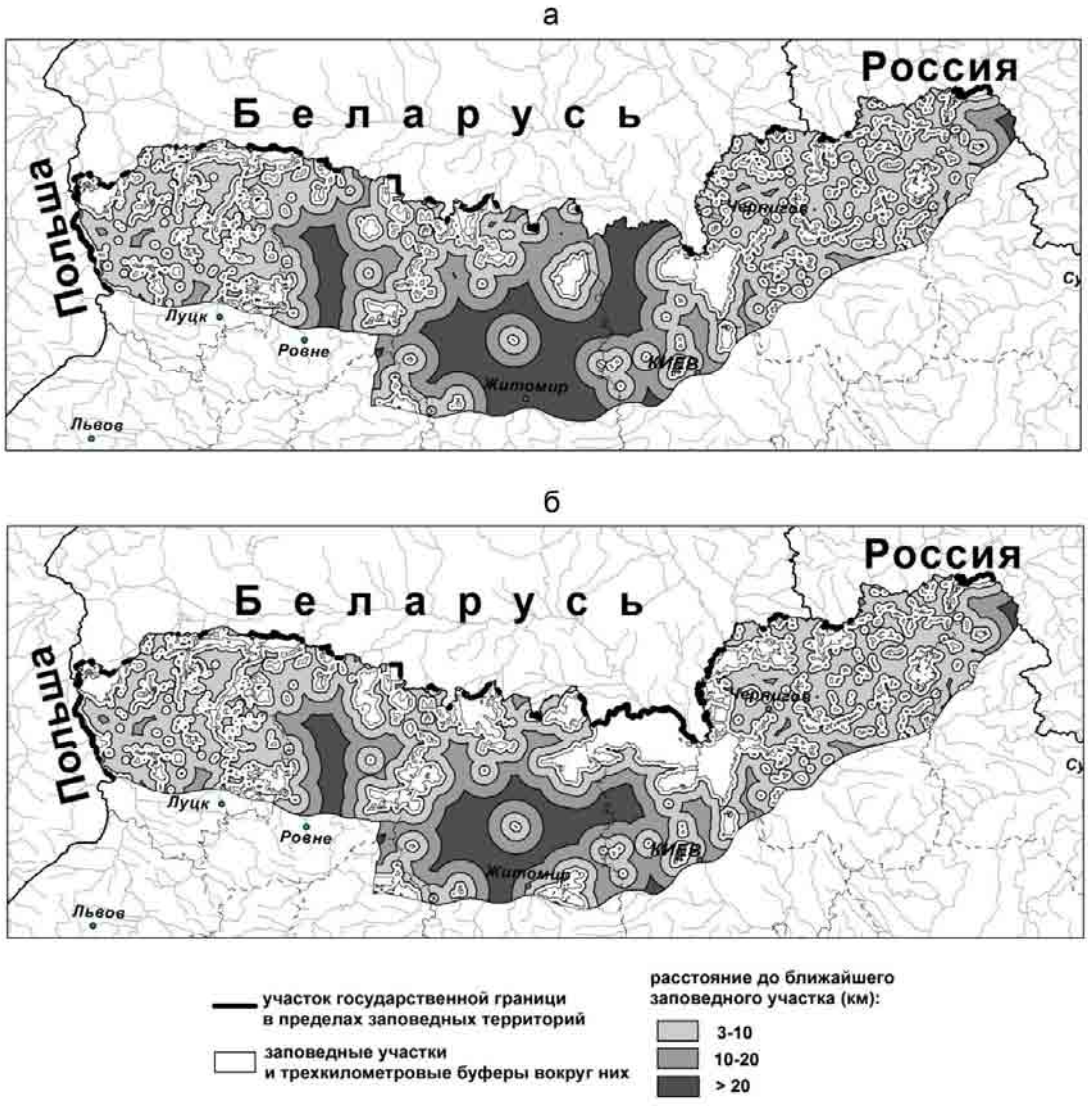


Рис. 2. Размещение и связанность заповедных территорий Украинского Полесья: *а* – по состоянию на 2015 г.; *б* – с учетом предложенных объектов

Заповедные территории наиболее равномерно размещены в западной и восточной частях Украинского Полесья. Значительные пробелы в связанности заповедной сети характерны для центральной части региона. Отличительной природной характеристикой этой части региона является близкое залегание к поверхности кристаллических пород Украинского кристаллического щита. Можно предположить, что это отразилось на более широком хозяйственном освоении территории и, соответственно, уменьшении площади сохранившихся природных участков, хотя эту закономерность следует рассмотреть отдельно.

Потенциальные заповедные территории были отобраны из числа объектов проектируемой на протяжении 2011–2015 гг. Изумрудной сети, территории которых полностью или частично не входят в ПЗФ. Изумрудная сеть в Украине находится на стадии разработки и преследует цель охраны ценных видов флоры и фауны и природных местообитаний международного значения. Введение этих территорий в состав ПЗФ поможет сохранить их природное состояние для Украины и международного сообщества.

Границы объектов Изумрудной сети были проведены с учетом следующих принципов [3]:

1. Природность территории: состояние территории должно быть природным или близким к природному.

2. Охват биотопов: объект должен максимально полностью охватывать биотоп, чтобы не создавать искусственных преград на пути перемещения живых организмов и комплексно охранять среду их обитания.

3. Согласование границ с землепользователями: на успех создания заповедного объекта влияет желание или нежелание землепользователя ограничивать деятельность на своей территории для блага природы. Чем меньше землепользователей, тем легче создать заповедный объект. Также желательно не включать в объект земли, находящиеся в частной собственности.

4. Привязка границ к ориентирам: границы объектов должны четко просматриваться на плановом фотоснимке и на местности во избежание случайного нарушения заповедного режима или при спорных земельных вопросах; их нужно проводить вдоль природных или антропогенных барьеров: вдоль рек, обрывов, дорог, оград и др.

16 объектов Изумрудной сети Украинского Полесья (рис. 3, таблица) полностью или частично размещаются за пределами ПЗФ и являются потенциальными заповедными территориями. Некоторые из них (Полесский, Шацкий, Стоход-Нобель, Овручский) значительной своей частью уже находятся под охраной ПЗФ. На территории объекта «Полесско-Чернобыльский» и заказника «Чернобыльский специальный» планируется к созданию Чернобыльский биосферный заповедник. Один полесский объект Изумрудной сети – Деснянский биосферный резерват – не предлагается для расширения ПЗФ, так как его территория, которая не входит в ПЗФ, в значительной мере не является природной территорией. Еще один объект – Днепровско-Тетеревский национальный природный парк – проектируется для ПЗФ, хотя он не входит в состав Изумрудной сети.

Рис. 3. Размещение потенциальных заповедных объектов на территории Украинского Полесья (названия объектов приведены в таблице)

Потенциальные заповедные объекты на территории Украинского Полесья

N	Название объекта	Площадь объекта, га
1	Полесский	36 465
2	Шацкий	54 128
3	Овручский	71 152
4	Западно-Овручский	33 452
5	Пакульский	18 257
6	Полесско-Чернобыльский	208 619
7	Щорсовский	19 725
8	Дубровицко-Сарнинский	29 377
9	Изяславско-Славутичский	29 427
10	Городнянский	27 206
11	Репкинский	29 494
12	Сосинский	15 893
13	Любечский	21 052
14	Городницкий	54 260
15	Коростышевский	39 883
16	Западное Побужье	14 222
17	Стоход-Нобель	37 827
18	Днепровско-Тетеревский	30 400

Таким образом, ПЗФ Украинского Полесья вместе с предложенными для его расширения объектами составит 15 % (13 700 км^2) от площади региона, что соответствует запланированной доле ПЗФ на 2020 г. При этом 42 % (440 км) государственной границы попадет в пределы заповедных территорий. Как было сказано выше, доля ПЗФ в регионе может быть увеличена еще на 2–5 % (1800–4500 км^2). Новые территории следует заповедовать в наиболее отдаленных от ПЗФ регионах, показанных на рис. 2 темно-серым цветом.

Литература

1. **Арманд, Д. Л.** Наука о ландшафте / Д. Л. Арманд. – Москва, 1975.
2. **Денисик, Г. І.** Український сектор серединного ландшафтного поясу Східноєвропейської рівнини / Г. І. Денисик, О. П. Чиж, Л. І. Стефаник // Географія, картографія, географічна освіта: історія, методологія, практика : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – Чернівці, 2014. – С. 45–48.
3. **Іваненко, Є. І.** Методичні підходи до визначення меж перспективних заповідних об'єктів (на прикладі ділянок степової зони) / Є. І. Іваненко // Український географічний журнал. – 2014. – № 88. – С. 63–68.
4. **Кеппен, Ф.** Географическое распространение хвойных деревьев в Европейской России и на Кавказе / Кеппен, Ф. – СПб., 1885.
5. **Маринич, А. М.** Природа Украинской ССР. Ландшафты и физико-географическое районирование / А. М. Маринич, В. М. Пащенко, П. Г. Шищенко. – Киев, 1985.
6. **Маринич, О. М.** Фізична географія України / О. М. Маринич, П. Г. Шищенко. – Київ, 2005.
7. **Національний** атлас України. Національна академія наук Україні. – Київ, 2007.
8. **Попов, В. П.** Физико-географическое районирование Украинской ССР / В. П. Попов, А. М. Маринич, А. И. Ланько (ред.). – Киев, 1968.
9. **Родоман, Б. Б.** География, районирование, картоиды : сб. тр. / Б. Б. Родоман. – Смоленск, 2007.
10. **Сочава, В. Б.** Введение в учение о геосистемах / В. Б. Сочава. – Новосибирск, 1978.
11. **Танфильев, Г. И.** Географические работы / Г. И. Танфильев. – Москва, 1953.
12. **Тутковський, П. А.** Природна районізація України / П. А. Тутковський. – Київ, 1922.
13. **Deguignet, M.** United Nations List of Protected Areas / M. Deguignet [et al.]. – Cambridge, UNEP-WCMC, 2014.
14. **Ovaskainen, O.** Long-Term Persistence of Species and the SLOSS Problem / O. Ovaskainen // Journal of Theoretical Biology. – 2002. – 218. – P. 419–433.
15. **Sutherland, G. D.** Scaling of natal dispersal distances in terrestrial birds and mammals / G. D. Sutherland, [et al.] [Electronic resource]. – Conservation Ecology [online]. – Vol. 4. No. 1. Art. 16. – 2000. – Mode of access : http://www.consecol.org/vol4/iss1/art16. – Date of access : 13.02.2015.

16. **Mills, L. S.** The keystone-species concept in ecology and conservation / L. S. Mills, M. E. Soule, D. F. Doak // BioScience. – 1993. – 43 (4). – P. 219–224.
17. **Minor, E. S.** Graph-Theory Framework for Evaluating Landscape / E. S. Minor, D. L Urbana // Conservation Biology. – 2008/ – 22 (2). – P. 297–307.

Институт географии Национальной академии наук Украины

Поступила в редакцию 8.06.2015 г.

Е. И. Иваненко

ВОЗМОЖНОСТИ РАСШИРЕНИЯ ПРИРОДНО-ЗАПОВЕДНОГО ФОНДА УКРАИНСКОГО ПОЛЕСЬЯ

В статье обоснованы предложения по расширению природно-заповедного фонда (ПЗФ) Украинского Полесья. 17 из них отобраны из числа объектов проектуриемой Изумрудной сети (ИС) Украины, которые полностью или частично не входят в ПЗФ, один – из проектируемых объектов ПЗФ. В Украине пока еще нет прямых средств охраны природы в пределах ИС. Координируя расширение ПЗФ и ИС можно эффективней выполнить план по увеличению площади ПЗФ Украины до 15 % в 2020 г. и предоставить средства охраны видов флоры и фауны и природных местообитаний международного значения в пределах ИС. Предложенные территории позволят увеличить площадь ПЗФ на 6000 км^2 и заполнить ряд пробелов в распределении заповедных территорий.

E. I. Ivanenko

POSSIBLE EXPANSION OF NATURE RESERVE OF UKRAINIAN FUND POLESJE

Expansion of Nature Reserve Fund (NRF) of Ukrainian Polesje is proposed in this article. 17 among them were selected among the objects of the Emerald network (EN) of Ukraine, which are completely or partly are not in the NRF, 1 – among the objects, which are under designation for the NRF. There are no direct means for nature protection within the EN in Ukraine. By coordinating the NRF and EN expansion it is more likely to fulfill the plan of NRF area increasing up to 15 % in 2020, and to provide the means of species and habitats of international importance within the EN. The proposed areas will help to increase the area of NRF by 6000 km^2 and to fill the gaps of the protected areas distribution.

УДК 504.54.05(476)

М. И. Струк[1], Т. Г. Флерко[2], Д. П. Кузнецов[1]

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ СЕЛЬСКОГО РАССЕЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ПЕТРИКОВСКОГО РАЙОНА)

Представлено методическое обоснование геоэкологической оценки сельского расселения, которое базируется на модели природно-технической системы сельского поселения. Оценены ландшафтно-экологические условия размещения сельских поселений Петриковского района. Определены экологические последствия их изменений, связанных со снижением численности населения и поголовья крупного рогатого скота в хозяйствах населения.

Сельское расселение относится к числу значимых факторов, которые оказывают влияние на использование природных ресурсов и состояние окружающей среды. От численности, размещения и образа жизни сельского населения зависит пространственная организация природопользования, характер и интенсивность нагрузок на окружающую среду.

Системе сельского расселения присущ динамизм, со временем в ней происходят количественные и качественные преобразования. Эти преобразования, очевидно, должны повлечь за собой соответствующие изменения в распределении воздействий на окружающую среду и использовании природных ресурсов.

Вместе с тем экологические последствия трансформации сельских поселений изучены недостаточно. Имеющиеся в данном направлении работы связаны главным образом с оценкой зарастания рудеральной растительностью выбывших из использования приусадебных земель [1, 9], а также предпосылок закустаривания, залесения и заболачивания луговых экосистем из-за прекращения на них сенокошения и выпаса крупного рогатого скота в связи со снижением его поголовья в хозяйствах населения [13].

Спектр подобного рода исследований следует расширить, что вытекает из специфики современных требований к природопользованию в Беларуси. Суть их заключается в повышении роли местных природных ресурсов в социально-экономическом развитии, прежде всего сельских территорий, при одновременном обеспечении экологических интересов населения.

Для эффективной реализации указанных требований следует учитывать экологические последствия изменений в сельском расселении, что и явилось целью исследования. Для ее достижения решались задачи по методическому обоснованию исследования, оценке геоэкологических условий размещения сельских поселений, выявлению происходящих с ними изменений и оценке их влияния на природные ресурсы и окружающую среду.

Исследование выполнено по отношению к Петриковскому району. Данный район относится к сельскохозяйственному функционально-планировочному типу районов, который является наиболее распространенным в Беларуси [3]. Он входит в состав региона Припятского Полесья, для которого реализуется государственная программа социально-экономического развития, предусматривающая более полное вовлечение в использование местного природно-ресурсного потенциала.

Методическое обоснование оценки. Систему сельского расселения образуют сельские населенные пункты. Соответственно последние и должны выступить объектами геоэкологической оценки.

Сельские населенные пункты представляет собой сложные по составу образования, в которых сочетаются природные и технические элементы. Поэтому для изучения их взаимодействия с окружающей средой можно использовать наработанную в рамках конструктивной географии концепцию природно-технической системы [11].

Природно-техническая система – это совокупность природных и технических объектов, формирующихся в результате строительства и эксплуатации инженерных и иных сооружений и технических средств, взаимодействующих с природной средой [5]. Она состоит из трех основных элементов: природной подсистемы, технической подсистемы и блока управления. Данная система является открытой, имеющей вещественно-энергетические связи с прилегающими (а иногда и более удаленными) территориями.

Природно-техническая система сельского поселения имеет свою специфику. Ее целостность обеспечивается единством выполнения социально-экономических функций. Суть этих функций отражена в определении населенного пункта как компактно заселенной части территории (места постоянного жительства граждан), имеющей необходимые для обеспечения их жизнедеятельности жилые и иные здания и сооружения, собственное наименование и установ-

ленные в соответствующем порядке территориальные пределы [6].

Сельское поселение является внутренне неоднородной природно-технической системой. Для характеристики такой неоднородности по отношению к данному поселению можно использовать применяемый в районной планировке подход, ориентированный на планирование территории города, поскольку городские и сельские населенные пункты обладают функциональным единством: как одни, так и другие выступают местами проживания и трудовой деятельности людей.

Согласно градостроительной нормативной документации, основной территориальной единицей планировки города является функциональная зона [4]. Именно применительно к данным зонам устанавливаются градостроительные (в том числе экологические) требования, режимы и ограничения.

В пределах города выделяются следующие функциональные зоны: жилые, общественные, производственные, ландшафтно-рекреационные, транспортной инфраструктуры, инженерной инфраструктуры, сельскохозяйственного использования, специального назначения. Однако не все из них имеются в каждом городе. Из приведенного перечня обязательным для всех городских поселений являются жилые, производственные, общественные и ландшафтно-рекреационные зоны; остальные выделяются только для отдельных городов.

Приведенная функциональная дифференциация территории, очевидно, применима и для сельского поселения. Вместе с тем ему в силу существенно меньших размеров будут присущи не все из выделяемых для города обязательных зон. Это касается прежде всего зон общественного и ландшафтно-рекреационного назначения.

Соответственно базовая схема функциональной организации сельского поселения будет характеризоваться более простой по сравнению с городом структурой, состоящей из двух зон: жилой и производственной. При этом в отдельных поселениях при наличии в их пределах парковых комплексов могут выделяться и ландшафтно-рекреационные зоны. То же самое относится и к общественным зонам. В случае компактного размещения в сельском населенном пункте объектов общественного назначения (административных, учебных, торговых, культовых и иных зданий) такие зоны также могут выделяться. Если же они рассредоточены по территории, то данные объекты целесообразно рассматривать совместно с жилыми зонами, поскольку они обладают сходным с жилыми постройками влиянием на окружающую среду.

Производственная зона сельских поселений состоит из двух частей. Одну из них образуют приусадебные земли, вторую – производственные объекты. Последние, в свою очередь, представлены, во-первых, производственными предприятиями преимущественно сельскохозяйственного профиля – животноводческими фермами и комплексами, а также ремонтными мастерскими и в некоторых случаях промышленными предприятиями; во-вторых, хозяйственными постройками населения, в которых содержится домашний скот.

Наряду с указанными жилой и производственной зонами для геоэкологической оценки сельских поселений следует учитывать имеющиеся в их составе объекты водоснабжения. Эти объекты наиболее уязвимы к загрязнению, и от их состояния зависит здоровье населения.

Отмеченные особенности внутреннего строения сельского поселения должны найти отражение при построении базовой модели его изучения как природно-технической системы. Как и любая иная система подобного рода, она будет включать в себя природную составляющую, техническую составляющую и блок управления.

Природную составляющую указанной системы образует природный ландшафт, в пределах которого размещается рассматриваемое поселение (рис. 1). Влияние ландшафтных условий на его экологическое состояние проявляется прежде всего в том, что они определяют устойчивость занимаемой им территории к внешним воздействиям. Эти условия могут быть однородными, если населенный пункт находится в пределах одного типа ландшафта, или разнородными, если таких типов несколько.

Техническую составляющую сельского поселения формируют его жилая и производственная зоны (приусадебные земли и производственные объекты), а также объекты водоснабжения. Между этими зонами и объектами существуют функциональные связи, которые обеспечивают функционирование данного поселения. Также выделяются вещественно-энергетические связи, которые отражает возможность загрязняющих воздействий со стороны одних объектов и зон на другие. Они направлены от жилой зоны и производственных объектов к приусадебным землям и от производственных объектов и приусадебных земель к объектам водоснабжения.

Экологические последствия внешних вещественно-энергетических связей сельского поселения с окружающими территориями зависят от двух факторов. Одним из них являются ландшафтные условия самого поселения и этих территорий, вторым – вид угодий, занимающих данные территории. Последние могут быть представлены природными экосистемами (лесными, луговыми, болотными, водными), сельскохозяйственными землями или производственными объектами.

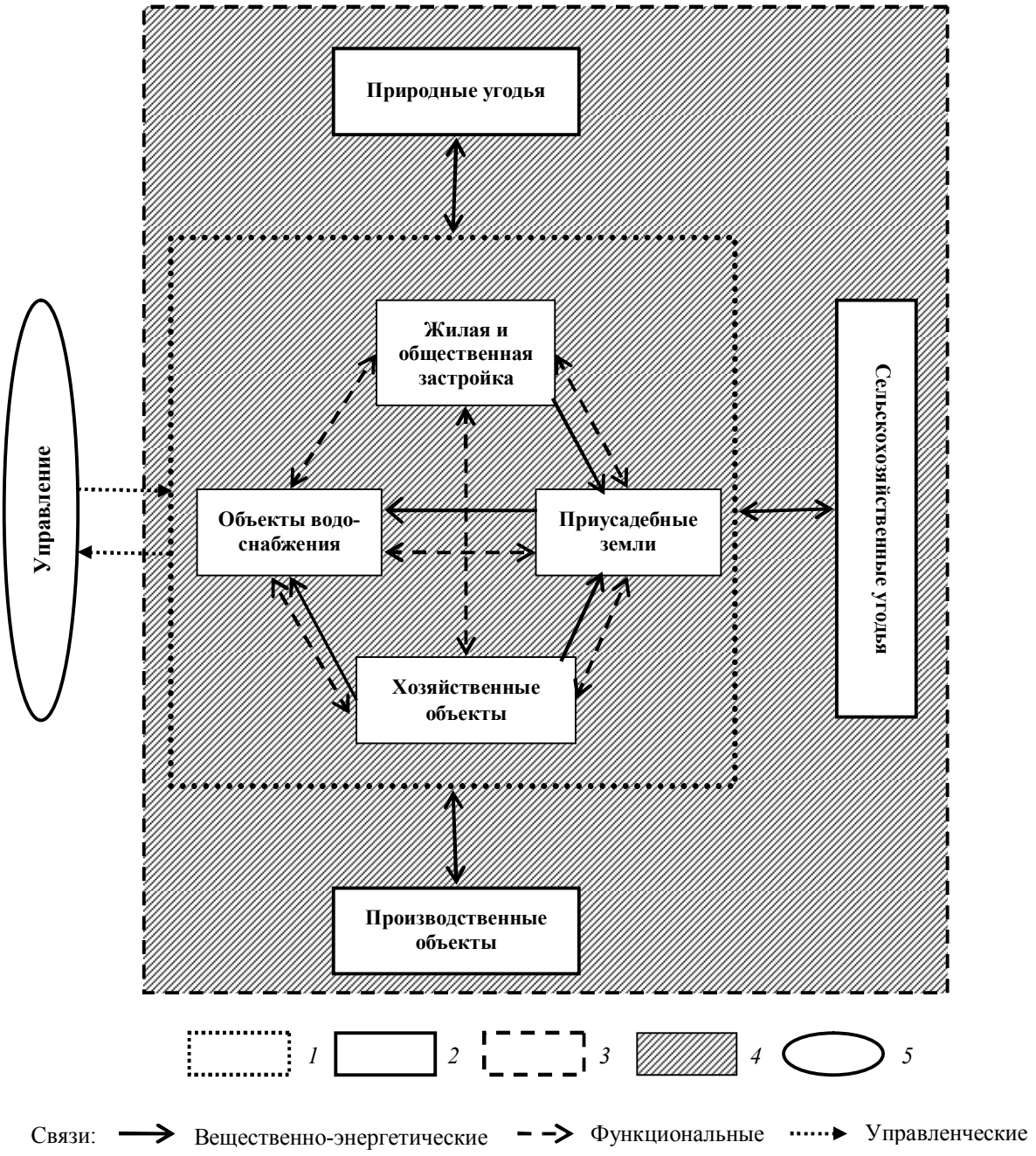


Рис. 1. Модель природно-технической системы сельского поселения:
***1* – граница населенного пункта; *2* – функциональные зоны и объекты; *3* – зона взаимного влияния поселения и прилегающих территорий; *4* – ландшафт; *5* – блок управления**

Блок экологического управления природно-технической системой сельского поселения формируют нормативные природоохранные документы, а также соответствующие государственные органы, ответственные за состояние окружающей среды. К таковым относятся в первую очередь организации санитарной службы и инспекции природных ресурсов и окружающей среды. Территориально они располагаются вне сельских поселений.

Исходя из приведенной базовой модели геотехнической системы сельских поселений, выделяются основные направления исследований по их геоэкологической оценке, включающие:

оценку ландшафтных условий размещения этих поселений с определением устойчивости занимаемой ими территории к внешним воздействиям;

анализ внутренних вещественно-энергетических связей в пределах сельского поселения с выявлением воздействий жилой зоны и производственных объектов на приусадебные земли и объекты водоснабжения, а также приусадебных земель на объекты водоснабжения;

анализ внешних вещественно-энергетических связей данных поселений с определением их влияния на экологическое состояние прилегающих территорий и наоборот.

Для анализа внутренних и внешних вещественно-энергетических связей сельских поселений и оценки оказываемого ими влияния на окружающую среду нужны детальные экспериментальные работы. Вместе с тем важна и оценка потенциальной экологической опасности в связи с происходящими изменениями данных поселений, на что и было направлено настоящее исследование.

Ландшафтно-экологические условия размещения сельских поселений. Ландшафт является комплексной физико-географической единицей дифференциации территории, обеспечивающей получение целостного представления относительно ее природных свойств. Поэтому оценка ландшафтных условий размещения сельских поселений должна отразить степень их благоприятности по природному критерию.

Для выполнения указанной оценки применительно к Петриковскому району использована составленная в ходе выполнения работ по научному обеспечению государственной программы социально-экономического развития Припятского Полесья ландшафтная карта М 1:200 000. Кроме того, для уточнения некоторых характеристик сельских поселений, в частности занимаемого ими высотного положения, преобладающего типа почв и глубины залегания грунтовых вод, использовались соответствующие общегеографические и отраслевые карты. Таковыми явились топографическая карта М 1:100 000, почвенная карта М 1:50 000, составленная РУП «Белгипрозем», карта глубин залегания первого от поверхности водоносного горизонта М 1:500 000, составленная Институтом геохимии и геофизики АН БССР.

В ландшафтном строении Петриковского района принимают участие шесть типов ландшафтов. По занимаемому высотному положению четыре из них относятся к низинным и два к равнинным. Весь перечень ландшафтов включает следующие типы.

1. Пойменные низины со старичными озерами, плоские, слабонаклонные, местами крупногривистые, заболоченные, сложенные аллювиальными разнозернистыми песками, заиленными супесями и суглинками со злаковыми и злаково-гидромезофитными лугами и дубравами на дерново-глеевых и дерново-заболоченных почвах, разнотравно-злаково-осоковыми и гипново-осоковыми лугами, черноольховыми и пушисто-березово-черноольховыми лесами на торфяных и торфяно-глеевых почвах, сосновыми лесами на песчаных дерново-подзолистых почвах, пахотными землями (занимают 12 % территории).

2. Аллювиальные аккумулятивные низины первой надпойменной террасы, плоские, местами грядово-холмистые, частично заболоченные, осложненные эоловыми холмами, сложенные средне- и мелкозернистыми песками с широколиственно-сосновыми лесами и дубравами на дерново-подзолистых глееватых почвах, низинными гипново-осоковыми болотами с черноольховыми и пушисто-березово-черноольховыми лесами на торфяных и торфяно-глеевых почвах, пахотными землями (7 %).

3. Аллювиальные аккумулятивные и озерно-аллювиальные эрозионно-аккумулятивные низины второй надпойменной террасы, плоские, местами холмистые, частично заболоченные, осложненные эоловыми холмами и грядами, сложенные песками с широколиственно-сосновыми лесами на дерново-подзолисто-глееватых почвах, низинными разнотравно-злаково-осоковыми и гипново-осоковыми болотами с черноольховыми и пушисто-березово-черноольховыми лесами на торфяных и торфяно-глеевых почвах, пахотными землями (20 %).

4. Плоские низины с отложениями торфа (болота) низинные разнотравно-злаково-осоковые и гипново-осоковые с пушисто-березово-черноольховыми лесами на торфяных и торфяно-глеевых почвах, пахотными землями; верховые кустарничково-пушициево-сфагновые с сосновыми, пушистоберезовыми и черноольховыми лесами на торфяных и торфяно-глеевых почвах и сосновыми лесами на дерново-подзолистых почвах; переходные кустарничково-травяно-осоково-сфагновые с сосновыми, пушистоберезовыми и черноольховыми лесами на торфяных и торфяно-глеевых почвах и сосновыми лесами на дерново-подзолистых почвах (24 %).

5. Водно-ледниковые равнины, плоские и пологонаклонные, осложненные эоловыми грядами, с поверхностным залеганием песчаных и песчано-гравийных отложений с сосновыми и широколиственно-сосновыми лесами на дерново-подзолистых слабооподзоленных и дерново-подзолисто-глееватых почвах, пахотными землями (36 %).

6. Моренные равнины, пологоволнистые и грядово-холмистые с поверхностным залеганием песчаных, песчано-гравийных и супесчаных отложений с сосновыми лесами на дерново-палево-подзолистых и дерново-подзолисто-глееватых почвах, пахотными землями (1 %).

По распространению на рассматриваемой территории преобладают низинные ландшафты, которые вместе занимают 63 % площади района. Среди отдельных типов ландшафтов самая высокая доля приходится на водно-ледниковые равнины – более трети территории, далее следуют болотные ландшафты – четверть территории.

Повышенное распространение в Петриковском районе болотных ландшафтов, которое здесь в 1,4 раза выше по сравнению с Полесской ландшафтной провинцией в целом, дает основа-

ние оценивать природные предпосылки сельского расселения в районе как менее благоприятные. Очевидно, с этим связана относительно низкая плотность сельского населения в его пределах, составляющая 6 чел/км^2, что в 1,5 раза ниже аналогичного среднего показателя для всей Гомельской области.

Всего в районе насчитывается 124 сельских населенных пункта. Абсолютное их большинство (67 %) относится к малым (с численностью жителей до 100 человек), 21 % – к средним (с населением 100–500 человек) и 12 % – к большим (с населением свыше 500 человек).

Сельские поселения размещаются в пределах четырех из шести имеющихся типов ландшафтов (табл. 1). Их распределение по каждому из этих типов согласуется с площадью распространения последних. Так, наибольшее количество рассматриваемых поселений приходится на ландшафты водно-ледниковых равнин, занимающих самую большую площадь в районе. Далее оно убывает по мере уменьшения данной площади – от аллювиальных и озерно-аллювиальных равнин 2-й надпойменной террасы к пойменным низинам и затем к аллювиальным низинам 1-й надпойменной террасы.

Таблица 1. **Распределение сельских поселений и сельского населения Петриковского района по типам ландшафтов**

Тип ландшафтов	Количество сельских поселений, ед.	Плотность	
		сельских поселений, ед/100 км^2	сельского населения, чел/км^2
Пойменные низины	17	4,7	10
Аллювиальные низины 1-й надпойменной террасы	14	6,5	15
Аллювиальные и озерно-аллювиальные низины 2-й надпойменной террасы	38	6,7	7
Водно-ледниковые равнины	55	5,2	9

Распределение сельских поселений по различным типам ландшафтов отражает природно-ландшафтные условия их размещения. Вместе с тем оно не показывает степени заселенности ландшафтов, которая в обобщенном виде характеризует оказываемую на них нагрузку со стороны сельского расселения. Для ее оценки нужно использовать относительные показатели плотности сельских населенных пунктов и сельского населения.

Согласно приведенным в таблице данным, максимальные значения первого из указанных показателей отмечаются для ландшафтов первой и второй надпойменной террас, второго – первой террасы. С учетом обоих показателей следует, что в Петриковском районе самым высоким уровнем заселенности будут характеризоваться ландшафты аллювиальных низин первой надпойменной террасы.

Различные типы ландшафтов, в пределах которых размещаются сельские поселения, отличаются неодинаковой устойчивостью к внешним воздействиям. Исходя из приведенной выше базовой модели природно-технической системы сельского поселения, особенно важное значение имеет устойчивость его территории к загрязнению подземных вод, которые используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения.

Для оценки устойчивости ландшафтов, занимаемых сельскими поселениями, к указанному виду загрязнения определяли их высотное положение по значениям абсолютных высот, глубина залегания грунтовых вод, а также механический состав почв. Выполненные расчеты абсолютных высот сельских населенных пунктов позволили составить следующий ряд их распределения в порядке возрастания данного показателя:

поселения на аллювиальных низинах 1-й надпойменной террасы имеют средний показатель абсолютной высоты 122 м;

поселения на пойменных низинах – 124 м.;

поселения на аллювиальных и озерно-аллювиальных низинах 2-й надпойменной террасы – 128 м;

поселения на водно-ледниковых равнинах – 135 м.

Приведенные показатели указывают на заметную разницу в высотном положении поселений, располагающихся на низинных и равнинных ландшафтах. Внутри самих низинных ландшафтов она является не столь существенной. При этом поселения на первой надпойменной террасе и пойме имеют сходные показатели. Несколько более высокие их значения на пойме, по-видимому, объясняются тем, что находящиеся на ней населенные пункты занимают повышенные ее участки.

В соответствии с указанным распределением сельских поселений по высотному положению при равенстве прочих условий будет изменяться и устойчивость их территории к загрязнению грунтовых вод. Она должна повышаться от ландшафтов пойм и первой надпойменной террасы к таковым второй надпойменной террасы и далее водно-ледниковых равнин.

С высотным положением рассматриваемых населенных пунктов согласуется глубина

залегания грунтовых вод. По району в целом неглубокий уровень такого залегания (до 2 м) имеют 30 % сельских поселений. При этом у поселений, расположенных на водно-ледниковых равнинах, данный показатель в 1,5 раза ниже.

Механический состав почв определяет их проницаемость, а следовательно, и защищенность грунтовых вод от загрязнения. В Петриковском районе в силу особенностей его ландшафтного строения преобладают песчаные и торфяные отложения. Почвы сельских населенных пунктов почти повсеместно песчаные, развивающиеся на связных песках. Они обладают повышенной проницаемостью и не создают барьера для проникновения загрязняющих веществ в грунтовые воды.

С учетом приведенных свойств ландшафтов, занимаемых сельскими поселениями – их высотного положения, залегания грунтовых вод, характера почвенного покрова, они разделены на три группы по устойчивости к загрязнению грунтовых вод, соответственно с ее относительно высокой, умеренной и низкой степенью. К первой из этих групп отнесены ландшафты водно-ледниковых равнин, ко второй – 2-й надпойменной террасы и к третьей – поймы и 1-й надпойменной террасы.

Отмеченная группировка является достаточно условной. Она применима лишь к специфическим природным условиям Петриковского района. В частности, грунтовые воды ландшафтов водно-ледниковых равнин имеют гораздо меньшую степень защищенности по сравнению, например, с моренными возвышенностями. Однако последние на территории рассматриваемого района отсутствуют, а относительно остальных из имеющихся в его пределах ландшафтов защищенность этих вод на водно-ледниковых равнинах будет более высокой. То же относится и к отнесению ландшафтов первой надпойменной террасы к группе с умеренной устойчивостью грунтовых вод к загрязнению.

Для отображения пространственного распределения сельских поселений по устойчивости к загрязнению грунтовых вод составлена соответствующая картосхема (рис. 2). Показанное на ней размещение данных поселений отражает общую зависимость степени устойчивости от их удаленности от р. Припяти: чем больше такая удаленность, тем выше защищенность. Подобная зависимость, очевидно, является следствием ландшафтного строения территории. Непосредственно вблизи Припяти размещается ее пойма, которая затем сменяется 1-й и 2-й надпойменными террасами и водно-ледниковыми равнинами.

Из общего числа сельских поселений 44 % относятся к группе устойчивых к загрязнению грунтовых вод, 31 % – относительно устойчивых и 25 % – неустойчивых. Если принять во внимание, что категории «устойчивых» и «относительно устойчивых» по отношению к ландшафтам Петриковского района являются достаточно условными, то в целом опасность их загрязнения здесь можно оценить как особенно высокую.

Обусловленная ландшафтными условиями размещения сельских поселений высокая опасность загрязнения их грунтовых вод проявляется в повышенном уровне концентрации нитратов в расположенных на территории Петриковского района колодцах. Доля таких колодцев с содержанием этих веществ, превышающим санитарно-гигиенические нормы, составляет в районе 57 %, что почти на четверть выше, чем в среднем по Гомельской области [14].

Управление качеством питьевых вод Петриковского района, как и Беларуси в целом, осуществляется в рамках выполнения Государственной программы по водоснабжению и водоотведению «Чистая вода» на 2011 – 2015 гг. [2]. Данная программа направлена на совершенствование систем питьевого водоснабжения и водоотведения, повышение качества подаваемой потребителям питьевой воды и очистки отводимых сточных вод, улучшение защиты подземных и поверхностных источников питьевого водоснабжения от загрязнения.

Программой предусмотрено к 2015 г. полностью обеспечить централизованным водоснабжением с питьевой водой нормативного качества не только жителей городов и поселков городского типа, но и крупнейших сельских поселений, которые относятся к агрогородкам. В Петриковском районе насчитывается 13 агрогородков. Остальные сельские населенные пункты программой не затронуты. Для них, очевидно, нужны отдельные специальные решения по обеспечению должного качества питьевых вод. Особенно это касается поселений, расположенных на ландшафтах с низкой устойчивостью к загрязнению грунтовых вод.

Изменения сельских поселений и их экологические последствия. Основные экологически значимые изменения сельских поселений связаны прежде всего с динамикой численности проживающего в них населения, а также с преобразованием их производственной составляющей. От численности населения зависит интенсивность использования природных ресурсов самих поселений и прилегающих к ним территорий, а также образование отходов. Производственные объекты определяют характер природопользования и воздействия на окружающую среду.

Для динамики численности сельского населения Петриковского района характерна та же тенденция, что и для всех остальных районов Беларуси, за исключением Минского. Она выражается в его последовательном сокращении (рис. 3). При этом темпы такого сокращения в рассматриваемом районе выше, чем в Беларуси и в Гомельской области в целом. Так, за период

с 1970 по 2013 г. количество сельских жителей здесь уменьшилось в 3,1 раза, в то время как в стране – в 2,3 и в области – в 2,6 раза. Повышенные темпы снижения численности сельского населения в Петриковском районе, по-видимому, можно объяснить его периферийным по отношению к крупным городам положением.

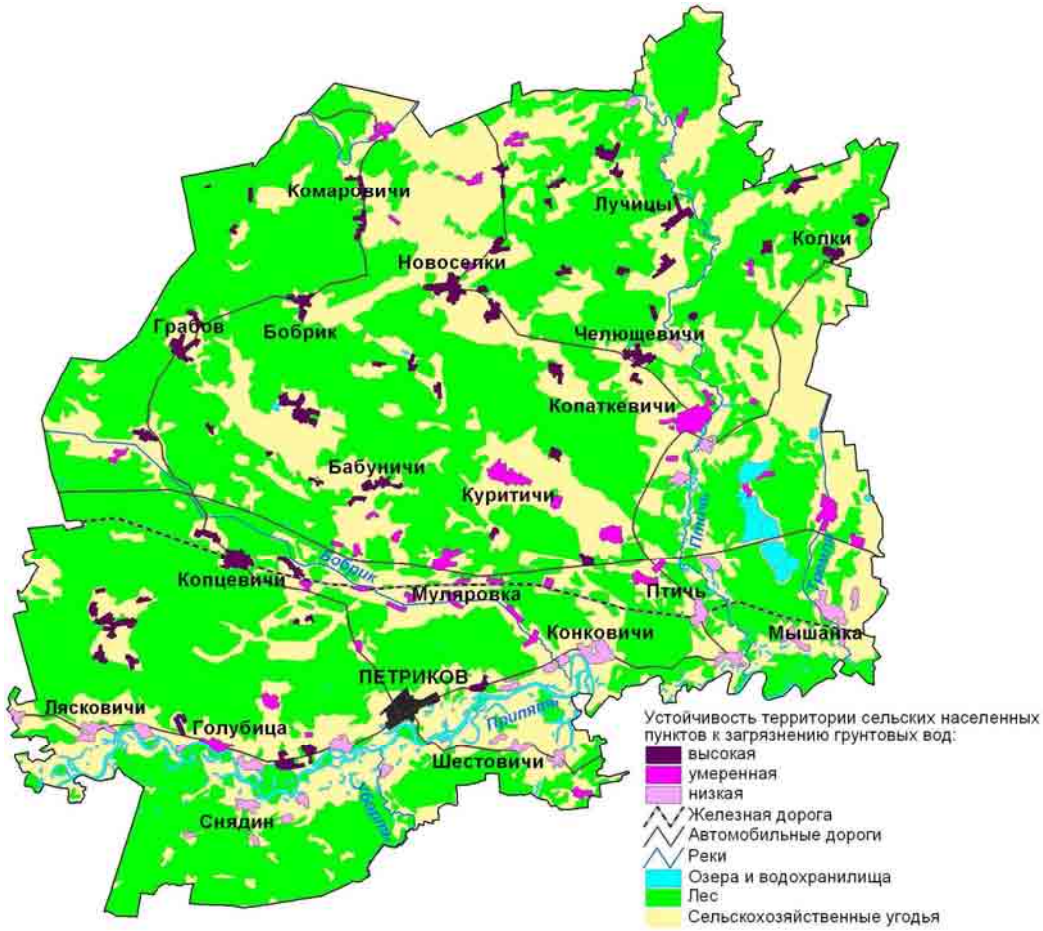


Рис. 2. Устойчивость территории сельских населенных пунктов Петриковского района к загрязнению грунтовых вод

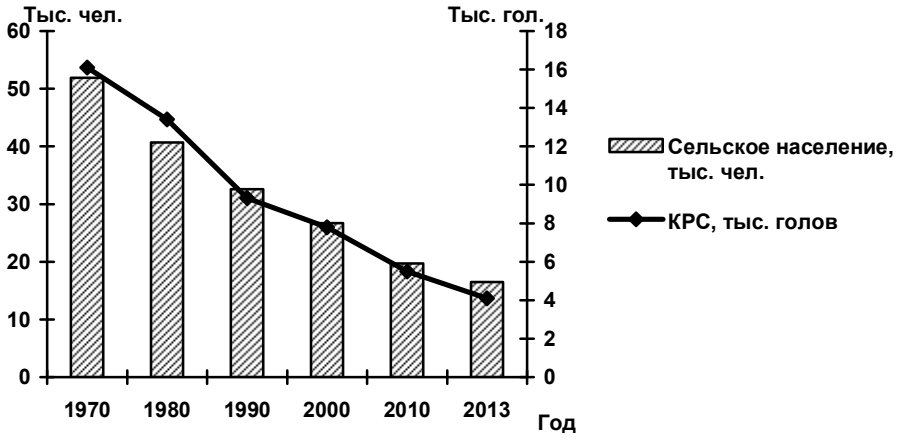


Рис. 3. Динамика численности сельского населения и поголовья крупного рогатого скота в хозяйствах населения Петриковского района за 1970–2013 гг.

Сокращение количества жителей в сельских поселениях объективно способствует снижению использования природных ресурсов и нагрузки на окружающую среду с их стороны. Однако такое снижение не затронуло степень застройки территории. В рассматриваемом районе процесс уменьшения численности сельского населения происходил параллельно с увеличением площади застроенных земель. Если в 1970 г. последняя составляла 2,3 тыс. га, то в 2000 г. – 2,6 и в 2013 г. – 2,8 тыс. га.

Указанное общее увеличение застроенной территории в районе связано, очевидно, с ростом застройки главным образом г. Петрикова и агрогородков при сохранении площадей тех сельских населенных пунктов, в которых количество населения снижалось. Для последних характерной особенностью стало чередование жилых построек, в которых проживают люди, с таковыми без проживания, зачастую находящимися в ветхом состоянии, что ухудшает эстетический вид этих поселений.

С сокращением численности и старением сельского населения, а также с наличием необитаемых жилых построек связано появление в сельских поселениях неиспользуемых приусадебных земель, которые утрачивают признаки окультуренности и где происходит самовосстановление исходных естественных экосистем. На тех же землях, которые обрабатываются, основной сельскохозяйственной культурой является картофель. Посевные площади под него занимают более половины всех посевных площадей.

Картофель относится к культурам, которые требуют особенно большого внесения органических удобрений. В сельскохозяйственных организациях в 2000-е годы объемы такого внесения составляли от 55 до 71 т/га, что в 6 раз выше, чем в целом на пахотных землях и выше, чем под любые остальные культуры [12]. Соответственно количество данных удобрений является решающим фактором выращивания картофеля и на приусадебных землях.

Источником органических удобрений для приусадебных земель выступает скот, содержащийся в хозяйствах населения. При этом более значимым в данном отношении является крупный рогатый скот. Удельное образование органических удобрений от одной головы крупного рогатого скота в 3–4 раза выше, чем от свиньи [8]. Поэтому поголовье крупного рогатого скота имеет основное значение в образовании органических удобрений.

В динамике указанного поголовья прослеживается та же тенденция, что и в численности сельского населения – со временем происходит его снижение (рис. 3). За период с 1970 по 2013 г. оно уменьшилось в 4 раза. Причем темпы такого уменьшения были в 1,3 раза выше по сравнению с сокращением населения, что свидетельствует о снижении содержания крупного рогатого скота сельскими жителями.

В соответствии с уменьшением численности крупного рогатого скота, очевидно, происходило и аналогичное снижение образования органических удобрений. Тем самым ухудшались возможности восполнения гумуса на приусадебных землях, а следовательно, и выращивания на них картофеля.

Для сельских поселений Петриковского района сокращение внесения органических удобрений на приусадебных землях является особенно неблагоприятным, поскольку почти повсеместно на них распространены песчаные почвы, которые обладают пониженной способностью к восстановлению гумуса [10]. При сохранении тенденции к снижению поголовья крупного рогатого скота в хозяйствах населения условием для предотвращения дегумификации почв приусадебных земель может быть их вовлечение в севообороты сельскохозяйственных организаций.

Помимо отмеченных негативных экологических последствий сокращения поголовья крупного рогатого скота в хозяйствах населения, связанных с уменьшением образования органических удобрений и дегумификацией почв приусадебных земель, имеются и позитивные последствия. Они касаются снижения опасности загрязнения подземных вод сельских поселений со стороны таких источников, как хозяйственные объекты.

Основные изменения во внешних связях сельских поселений вызваны также сокращением поголовья крупного рогатого скота в хозяйствах населения, которое привело к прекращению его выпаса и сенокошения на естественных луговых землях, прилегающих к этим поселениям и как следствие их закустариванию, залесению и заболачиванию [13]. Если принять в качестве оптимальной потребность обеспеченности данными землями одной головы крупного рогатого скота в 1 га [7], то получается, что за период с 1990 по 2013 г. ее общая величина в Петриковском районе уменьшилась примерно на 5 тыс. га, что составляет четвертую часть от расположенных на его территории естественных лугов.

Указанная величина отражает довольно высокую значимость проблемы трансформации луговых экосистем в районе. Для ее решения нужны специальные проработки по выбору наиболее эффективных направлений использования выбывших из оборота луговых земель.

Выводы. Разработано научно-методическое обоснование геоэкологической оценки сельского расселения, основанное на модели природно-технической системы сельского поселения и предполагающее проведение комплексного исследования, включающего оценку ланд-

шафтных условий размещения сельских поселений, а также анализ присущих им внешних и внутренних вещественно-энергетических связей, определяющих экологическое состояние самих поселений и прилегающих к ним территорий.

Оценены ландшафтно-экологические условия размещения сельских поселений Петриковского района. Установлена их пониженная в целом устойчивость к загрязнению грунтовых вод. Выполнено ранжирование этих поселений по данному критерию, согласно которому 44 % от их общего количества относятся к группе устойчивых к загрязнению грунтовых вод, 31 % – относительно устойчивых и 25 % – неустойчивых. Выявлено возрастание степени такой устойчивости по мере удаления от р. Припяти в соответствии с последовательной сменой в данном направлении ландшафтов пойм таковыми первой надпойменной террасы, затем 2-й надпойменной террасы и после этого водно-ледниковых равнин.

Определены экологические последствия изменений сельских поселений Петриковского района, связанных с трехкратным снижением численности населения и четырехкратным – поголовья крупного рогатого скота в хозяйствах населения за период с 1970 по 2013 г., которые имеют как негативное, так и позитивное значение. К негативным последствиям относится, во-первых, рост неиспользуемых приусадебных земель, во-вторых, снижение образования органических удобрений, что в условиях преобладания песчаных почв на приусадебных землях повышает опасность их дегумификации, в-третьих, масштабная деградация прилегающих к сельским поселениям луговых экосистем из-за прекращения на них выпаса скота и сенокошения; к позитивным – уменьшение угрозы нитратного загрязнения грунтовых вод со стороны хозяйственных построек.

Литература

1. **Гарцуева, Е. Я.** Экспериментальная схема землеустройства Браславского района: стратегия устойчивого землепользования / Е. Я. Гарцуева [и др.] // Земля Беларуси. – 2009. – № 3. – С. 39–48.

2. **Государственная** программа по водоснабжению и водоотведению «Чистая вода» на 2011–2015 гг. Утв. постановлением СМ Республики Беларусь 15.09.2011, № 1234.

3. **Государственная** схема комплексной территориальной организации Республики Беларусь. Утв. Указом Президента Республики Беларусь 12.01.2007, № 19.

4. **Градостроительство**. Населенные пункты. Нормы планировки и застройки: ТКП45-3.01-116-2008. Минск, 2008.

5. **Дьяконов, К. Н.** Экологическое проектирование и экспертиза / К. Н. Дьяконов, А. В. Дончева. – М., 2002.

6. **Закон** Республики Беларусь «Об административно-территориальном делении и порядке решения вопросов административно-территориального устройства Республики Беларусь» от 05.05.1998 г., № 154-3.

7. **Ларин, И. В.** Луговодство и пастбищное хозяйство / И. В. Ларин. – Л., 1964. – С. 514.

8. **Никончик, П. И.** Пути пополнения органического вещества и гумуса в пахотных землях Республики Беларусь / П. И. Никончик. – Земледелие и растениеводство. – 2008. – № 7. – С. 37–40.

9. **Пилецкий, И. В.** Современные проблемы качества земель культурных ландшафтов сельских агломераций Белорусского Поозерья / И. В. Пилецкий // Земля Беларуси. – 2008. – № 3. – С. 46–48.

10. **Привалов, Ф. И.** Плодородие почв и применение удобрений – основа стабильности земледелия / Ф. И. Привалов, В. В. Лапа // Земляробства і ахова раслін. – 2007. – № 6. – С. 4–9.

11. **Природа**, техника, геотехнические системы. – М., 1978.

12. **Статистический** ежегодник Республики Беларусь, 2011 / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2011.

13. **Струк, М. И.** Изменения в сельском расселении восточной части Припятского Полесья и их влияние на природопользование / М. И. Струк, Т. Г. Флерко // Природопользование. – Минск, 2014. – Вып. 25. – С. 147–156.

14. **Флерко, Т. Г.** Ландшафтно-экологические условия размещения сельских поселений Гомельской области и химическое загрязнение вод колодцев / Т. Г. Флерко, О. В. Шершнев // Природопользование. – Минск, 2012. – Вып. 21. – С. 166–173.

[1]Институт природопользования НАН Беларуси,
[2]Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины

Поступила в редакцию 20.03.2015 г.

М. И. Струк, Т. Г. Флерко, Д. П. Кузнецов

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ СЕЛЬСКОГО РАССЕЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ПЕТРИКОВСКОГО РАЙОНА)

Приведено научно-методическое обоснование геоэкологической оценки сельского расселения, основанное на представлении о сельском поселении как природно-технической системе.

Оценены ландшафтно-экологические условия размещения сельских поселений Петриковского района. Выполнено их ранжирование по устойчивости к загрязнению грунтовых вод, согласно которому 44 % этих поселений отнесены к группе с относительно высокой, 31 % – умеренной и 25 % – низкой ее степенью.

Определены негативные и позитивные экологические последствия изменений сельских поселений, связанных с уменьшением численности населения и поголовья крупного рогатого скота в хозяйствах населения. Первые из них заключаются в росте неиспользуемых приусадебных земель, снижении образования органических удобрений, а также в масштабной деградации прилегающих к сельским поселениям естественных луговых экосистем из-за прекращения на них выпаса скота и сенокошения; вторые – в уменьшение угрозы нитратного загрязнения грунтовых вод со стороны хозяйственных построек.

M. I. Struck, T. G. Flerko, D. P. Kuznetsov

GEO-ECOLOGICAL ASSESSMENT OF RURAL SETTLEMENT TRANSFORMATION (ON THE EXAMPLE OF PETRIKOVSKIJ AREA)

Scientific and methodological substantiation of geo ecological assessment of rural settlement, based on the concept of rural settlement as a natural-technical system are given.

Landscape and environmental conditions of rural settlements accommodation of Petrikoskijv district are evaluated. The ranking by their resistance to the contamination of ground water is done according to which the 44 % of the settlements referred to the group with a relatively high, 31 % – temperate and 25 % – its lowest degree.

Negative and positive environmental impacts of the changes of rural settlements associated with a decrease in population and the number of cattle in households are determined. The first is the growth of the unused homestead land, reduction of formation of organic fertilizers, as well as large-scale degradation of the surrounding rural settlements of natural grassland ecosystem due to the termination of them grazing and haying; the second - reduction of the threat of nitrate contamination of ground water by the farm buildings.

УДК 546.296:553.981(491)

А. К. Карабанов[1], А. В. Матвеев[1], Л. А. Чунихин[2], Д. Н. Дроздов[3], А. Л. Чеховский[3], И. В. Жук[4], О. И. Ярошевич[4], М. В. Конопелько[4]

РАДОН И ДОЧЕРНИЕ ПРОДУКТЫ ЕГО РАСПАДА В ВОЗДУХЕ ЗДАНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Впервые в Беларуси проведен широкомасштабный мониторинг радона в воздухе зданий с использованием наиболее представительной интегральной пассивной радиометрии с твердотельными трековыми детекторами α-частиц. Описаны метод и результаты проведения мониторинга радона и дочерних продуктов распада в воздухе зданий в Беларуси с 2004 – I полугодие 2015 г., аппаратура комплекса средств измерений объемной активности радона. Проведен контроль погрешности результатов измерений. Приведены основные результаты мониторинга объемной ($\overline{OA}_{Rn}$) и среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности радона ($\overline{ЭРОА}_{Rn}$), средних и максимальных значений эффективных годовых доз облучения населения, обусловленных радоном и его дочерними продуктами распада (ДПР) по всем регионам Беларуси.

В цепочках распада естественных долгоживущих радионуклидов ^{235}U, ^{238}U и ^{232}Th присутствует инертный радиоактивный газ радон: ^{219}Rn, ^{222}Rn и ^{220}Rn соответственно, который ввиду наличия щелей, трещин, сколов и других проводящих путей эманирует из этих пород и попадает в поровое пространство. Впоследствии радон частично растворяется в подземных водах, а также эксхалирует в атмосферу, попадая в помещения построенных зданий через различные негерметичные отверстия. В закрытых помещениях радон способен накапливаться преимущественно в подвалах и на нижних этажах зданий – вследствие более высокой, чем у воздуха, плотности. Концентрация радона в жилых и рабочих помещениях нормируется в большинстве стран мира по объемной активности (ОА) ^{222}Rn как наиболее распространенного изотопа радона, в России, Беларуси и других странах – по значению ЭРОА – взвешенной ОА ^{222}Rn и ^{220}Rn, – продуктов распада ^{238}U и ^{232}Th.

По данным ВОЗ, воздействие радона повышает риск возникновения и развития рака легких [8]. Это происходит вследствие попадания радона с воздухом в легкие и влияния его высокоэнергетического альфа-излучения на чувствительные клеточные структуры. Эпидемиологические подтверждения возникновения рака легких вследствие ингаляции радона были получены в результате нескольких когортных исследований и исследований с индивидуальным контролем шахтеров подземных рудников, преимущественно урановых. Выводы, полученные при исследовании шахтеров, были экстраполированы согласно линейной беспороговой концепции на более низкие концентрации радона [13].

Были проведены 13 эпидемиологических исследований в 9 европейских странах, в которых получены количественные значения для рисков рака легких в зависимости от концентрации радона, курения, возраста и пола. Было установлено, что в среднем абсолютный риск заболеванием раком легкого до 75 лет при активностях радона A_{Rn} = 0, 100, 200, 400 Бк/м^3 для некурящих равен соответственно 0,41, 0,47, 0,55, 0,67 %. Для курильщиков этот риск соответственно составляет 10, 12, 13, 16 [12, 14]. Эпидемиологические исследования в жилищах и исследования шахтеров предоставляют надежную и согласованную оценку риска возникновения рака легкого, статистически значимую при среднегодовой объемной активности радона около 200 Бк/м^3 для жилищ и суммарных уровнях профессионального облучения шахтеров приблизительно в 50 рабочих уровней в месяц (РУМ) [12, 13]. Характерной особенностью полученных результатов является то, что во всех подвыборках с объемной активностью радона $C_{Rn} > 50$ Бк/м^3 зависимость доза – эффект хорошо описывается линейной функцией [9].

Наблюдаемая на территории Беларуси неравномерность поступления радона в помещения зданий обусловлена в основном различием содержания урана и тория в почвах и породах и их проницаемостью для радона. Точное определение концентрации радона в помещениях зданий требует существенных денежно-временных затрат. В публикации МКРЗ № 65 один из основных принципов исследований по радону заключается в нахождении критических зон, позволяющих сконцентрировать усилия по проведению противорадонных мероприятий [2]. К критическим зонам, согласно [2], относят территории, на которых 1 % помещений имеет десятикратное превышение среднереспубликанского значения объемной концентрации радона. Для выявления критических зон применяют картирование радонового риска при использовании в качестве параметра объемной концентрации в помещениях зданий или ра-

донового потенциала при использовании ОА в почвенном воздухе или радонового индекса [11].

Республика Беларусь является значительно пострадавшей в результате аварии на ЧАЭС, хотя спустя почти 30 лет после аварии радиационная обстановка на территории республики существенно улучшилась – средняя доза облучения, согласно Каталогу-1992, составляла 0,97 мЗв/год, согласно Каталогу-2014 – 0,34 мЗв/год. Количество населенных пунктов со средним значением дозы 1 мЗв/год и более только за пять последних лет снизилось со 193 до 72 [3, 4].

Метод и результаты проведения мониторинга радона в Беларуси. В ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны» с 2004 г. совместно с Институтом природопользования НАН Беларуси и некоторыми областными и городскими ЦГЭиОЗ начаты систематические исследования по мониторингу радона в воздухе помещений. Для исследований был выбран метод твердотельных трековых детекторов [6]. Суть этого метода состоит в том, что в некоторых диэлектрических материалах альфа-частицы радона и его ДПР (как и другие тяжелые ядерные частицы) производят радиационные повреждения (латентные треки), которые после протравливания в химических реагентах могут быть подсчитаны с помощью оптического микроскопа или другими методами. В наших исследованиях в качестве детекторов использовалась нитроцеллюлозная пленка LR-115 типа 2 производства фирмы DOSIRAD (Франция), позволяющая применить относительно простой искровой способ подсчета треков на детекторах.

Измеряемой величиной при мониторинге радона в воздухе помещений является усредненная за время экспозиции радонометров с трековыми детекторами в воздухе исследуемых помещений ОА радона для каждого i-помещения:

$$\left(\overline{OA}_{Rn}\right)_i = \left(\overline{n}_i - n_0\right)\left(\varepsilon_0 T_Э\right)^{-1}, \qquad (1)$$

где $\left(\overline{OA}_{Rn}\right)_i$ – объемная активность радона в *i*-м помещении, Бк·м$^{-3}$; n_i – плотность треков на i-детекторе, трек·см$^{-2}$; $T_Э$ – длительность экспозиции, сут; n_o – уровень собственного фона трекового детектора, трек·см$^{-2}$; ε_o – чувствительность комплекса средств измерений объемной активности радона КСИОАР, трек·см$^{-2}$·Бк$^{-1}$·сут$^{-1}$ (значения ε_o и n_o указаны в свидетельстве о метрологической поверке комплекса КСИОАР, проводимой в Федеральном ГУП ВНИИМ им. Д. И. Менделеева (г. С.-Петербург) с периодичностью 1–2 года).

Комплекс средств измерений интегральной объемной активности радона (ОА) в воздухе трековым методом (КСИОАР-01) включает ИРРТ с трековым детектором на основе пленки Kodak LR-115 Type 2; прибор для травления трековых детекторов – термостат ТРАЛ-1; прибор для автоматического электроискрового счета треков АИСТ-2В. Затем используя измеренные значения $\left(\overline{OA}_{Rn}\right)_i$, согласно [7], определяли среднегодовые значения $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ для каждого *i*-го помещения по формуле:

$$\left(\overline{ЭРОА}_{Rn}\right) = \left(OA_{Rn}\right) \cdot \left\{V_{Rn}(t)\right\}_i \cdot F_{Rn} \cdot (1+\delta) + 4{,}6 \cdot \overline{ЭРОА}_{Th}, \qquad (2)$$

где F_{Rn} – коэффициент, характеризующий сдвиг радиоактивного равновесия между радоном и его ДПР в воздухе, принятый равным 0,5; $\left\{V_{Rn}(t)\right\}_i$ – коэффициент вариации, зависящий от продолжительности экспозиции радонометров в воздухе помещений и сезона года, в котором проводилась эта экспозиция; δ – основная погрешность измерения, принимаемая по свидетельству о метрологической аттестации средств измерений и равная 30 %. Последний член в (2) – вклад ^{220}Rn (торона) и оцененный в 3,2 Бк·м^3.

Следует отметить, что в [7] и других публикациях указывалось, что значения $V_{Rn}(t)$ зависит от геолого-географических характеристик грунтов под зданием. Однако новейшие данные, полученные А.М. Маренным и др. [1], показывают, что закономерности сезонных изменений плотности потока радона (ППР) с поверхности почв, выявленные на территориях гг. Москвы, Миасса (Ю. Урал) и Ростова н/Д, схожи для регионов, отличающихся как географическим положением, так и геологическим строением.

Затем, используя коэффициенты сдвига равновесия между радоном и его ДПР, коэффициент вариации, зависящий от продолжительности экспозиции радонометров в воздухе помещений и сезона проведения измерений, а также основную погрешность измерений по свидетельству о метрологической аттестации КСИОАР (30 %), определяется среднегодовая эквивалентная равновесная активность радона $\left(\overline{ЭРОА}_{Rn}\right)$ – нормируемый в Санитарных нормах и правилах «Требования к радиационной безопасности» Минздрава РБ по радону параметр. Полученные значения используются затем для расчета среднегодовых эффективных доз облучения населения радоном и его ДПР $\left(E_{эф}\right)$. Более подробно методика описана в [5].

Контроль погрешности результатов измерений. Контроль погрешности результатов измерений проводится для предотвращения

получения недостоверной информации. В процессе внутреннего оперативного контроля определяется соответствие результатов анализа показателям сходимости и воспроизводимости.

Контроль сходимости результатов анализа проводят путем сравнения расхождения результатов параллельных определений ОА радона по отношению к среднеарифметическому значению при сравнении с нормативом контроля сходимости *d* по формуле

$$\left|A_{\max} - A_{\min}\right| A_{cp}^{-1} \cdot 100\% \le d\,, \qquad (3)$$

где A_{max}, A_{min}, A_{cp} – максимальное, минимальное и среднее значения параллельных определений ОА радона, Бк·м$^{-3}$; *d* – норматив контроля сходимости, %.

При превышении норматива сходимости определение ОА радона повторяют. В случае повторного превышения указанного норматива необходимо выяснить и устранить причины, приводящие к неудовлетворительным результатам.

Контроль воспроизводимости результатов измерений проводят путем сравнения расхождения между средними значениями ОА радона по отношению к их среднему арифметическому значению в двух сериях параллельных измерений с нормативом контроля воспроизводимости. Воспроизводимость признавалась удовлетворительной, если

$$\left|A_{1cp} - A_{2cp}\right| A_{cp}^{-1} \cdot 100\% \le D\,, \qquad (4)$$

где A_{1cp}, A_{2cp} – средние значения ОА радона в двух сериях параллельных измерений, Бк·м$^{-3}$; A_{cp} – их среднее арифметическое значение, Бк·м$^{-3}$; *D* – норматив контроля воспроизводимости, %.

Нормативы оперативного внутреннего контроля качества измерений ОА радона при P = 0,95 составляют величины: контроль сходимости (*d*) – 52 %, контроль воспроизводимости (*D*) – 49 % при погрешности измерений 30 %.

Картограмма была построена при помощи прикладного пакета MAPINFO.

Результаты мониторинга радона в воздухе помещений и эффективной радоновой годовой дозы приведены в табл. 1 и 2 [10].

Таблица 1. Основные результаты мониторинга радона в воздухе помещений в различных регионах Беларуси

Регион Беларуси	Население, *Q* (x10^3) чел.	Объем обследованных помещений N, шт. (всего/на 1 млн населения)	Усредненные по регионам уровни радона, Бк/м^3		Превышение значений $\overline{ЭРОА_{Rn}}$, %	
			$\overline{ОА_{Rn}}$	$\overline{ЭРОА_{Rn}}$	>100 Бк/м^3	>200 Бк/м^3
Брестская область	1390,2	178/128	47	31	2,8	0,6
Витебская область	1208,0	371/307	88	76	22,4	2,2
Гомельская область	1427,7	904/633	62	35	3,4	0,7
Гродненская область	1058,3	598/565	98	66	18,1	4,5
г. Минск	1900,8	397/209	86	74	19,6	5,3
Минская область	1401,8	198/141	99	84	18,7	6,1
Могилевская область	1076,5	919/854	98	57	10,7	1,4
По всем областям	9463,3	3565/377	84	57	12,4	2,5

Таблица 2. Эффективные годовые дозы облучения населения за счет радона и его ДПР (E_{Rn}) в различных регионах Беларуси

Регион Беларуси	E_{Rn}, мЗв·год$^{-1}$	
	Среднее значение	Максимальное значение
Брестская область	2,0	13,9
Витебская область	4,8	32,4
Гомельская область	2,2	31,9
Гродненская область	4,1	50,9
г. Минск	4,7	86,9
Минская область	5,3	66,3
Могилевская область	3,6	19,7
По всем областям	3,6	86,9

Заключение. Впервые в Беларуси проведен широкомасштабный мониторинг радона в воздухе зданий во всех регионах Беларуси с использованием наиболее представительной методики интегральной пассивной радиометрии с твердотельными трековыми детекторами альфа-частиц. Проведенные радоновые исследования имеют важную социальную направленность: уменьшение доз радиоактивного облучения от управляемого радонового компонента – основного дозообразующего фактора в Беларуси в настоящее время, их результаты будут являться основой для создания базы данных по годовым эффективным дозам облучения жителей Беларуси, в том числе для использования в проекте 571 Международной программы геологической корреляции, курируемой ЮНЕСКО, а также для разработки дальнейших радоновых исследований на период 2016–2020 гг.

Литература

1 **Временные** флуктуации плотности потока радона на территории Москвы / А. М. Маренный [и др.] // АНРИ. – 2011. – № 1 (64). – С. 23–35.

2 **Защита** от радона-222 в жилых помещениях и на рабочих местах. Публикация № 65 МКРЗ : пер. с англ. – М., 1995.

3 **Каталог** средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь / Н. Г. Власова [и др.] ; утв. М-стром здравоохранения Республики Беларусь 7.07.2009 г. – Гомель, 2009.

4 **Каталог** средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь / Н. Г. Власова [и др.] ; утв. М-стром здравоохранения Республики Беларусь 17.09.2014 г. – Гомель, 2014.

5 **Методика** определения объемной активности радона в воздухе жилых и производственных помещений с использованием интегральных радонометров на основе твердотельных трековых детекторов альфа-частиц. МВИ. – Минск, 2002.

6 **Николаев, В. А.** Твердотельные трековые детекторы в радиационных исследованиях / В. А. Николаев. – СПб., 2012.

7 **Проведение** радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий. Методические указания МУК РБ № 11-8-6-2002. – Минск, 2002.

8 **Радон** и рак : информационный бюллетень / Всемирная организация здравоохранения. – М., 2005. – № 291.

9 **Риск** возникновения рака легкого при облучении радоном и продуктами его распада. Заявление по радону / под ред.: М. В. Жуковского, С. М. Киселева, А. Т. Губина // Перевод публикации 115 МКРЗ. – М., 2013.

10 **Ярошевич, О. И.** Радон в воздухе зданий и радоновая составляющая дозы радиоактивного облучения населения в различных областях Беларуси / О. И. Ярошевич [и др.] // Докл. НАН Беларуси. – 2012. – Т. 56, № 6.– С. 92–97.

11 **Akerblom, G.** The Radon Book / G. Akerblom, R. Clavensjo. – Stockholm: SSM, 1994.

12 **Darby, S.** Radon in home and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from European case-control studies / S. Darby, D. Hill, etc., Br. Med. Jornal, 2005. – № 330. – P. 223–227.

13 **Doll, R.** Cancer Incidence in Five Continents / R. Doll, P. Payne, J. A. H. Waterhouse. – Geneva: Vice: Berlin: Springer, 1966.

14 **Friedmann, H.** Final results of the Austrian radon project // Health Physics. – 2005. – Vol. 89, № 4.– P. 339–348.

[1] Институт природопользования НАН Беларуси,
[2] Гомельский государственный медицинский университет,
[3] Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
[4] Объединенный институт энергетических и ядерных исследований НАН Беларуси, Сосны

Поступила в редакцию 3.06.2015 г.

А. К. Карабанов, А. В. Матвеев, Л. А. Чунихин, Д. Н. Дроздов, А. Л. Чеховский, И. В. Жук, О. И. Ярошевич, М. В. Конопелько

РАДОН И ДОЧЕРНИЕ ПРОДУКТЫ ЕГО РАСПАДА В ВОЗДУХЕ ЗДАНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Охарактеризованы методы исследования мониторинга содержания радона и дочерних продуктов его распада в воздухе зданий в период 2004–2015 гг., а также параметры оборудования для измерения объемной активности радона ($\overline{OA}_{Rn}$) с использованием контроля за погрешностью измерений. Статья содержит основные результаты мониторинга объемной активности радона и эквивалентной равновесной объемной активности радона ($\overline{ЭРОА}_{Rn}$). Определены эффективные среднегодовые и максимальные дозы облучения населения, обусловленные радоном и дочерними продуктами его распада в воздухе зданий по всем регионам Беларуси. Впервые в Беларуси на всей площади страны проведен широкомасштабный мониторинг радона в воздухе зданий с использованием наиболее представительной интегральной пассивной радиометрии с твердотельными трековыми детекторами α-частиц.

A. K. Karabanov, A. V. Matveev, L. A. Chunichin, D. N. Drozdov, A. L. Chechovsky, I. V. Zhuk, O. I. Jaroshevich, M. V. Konopelko,

RADON AND ITS DAUGHTERS IN THE BUILDINGS AIR WITHIN THE TERRITORY OF BELARUS

The article describes methods of monitoring of radon and its daughters in the buildings air within the territory of Belarus during the period of 2004–2015, as well as system equipment for measurement of radon volume activity ($\overline{OA}_{Rn}$). Error control of the measurement results was carried out. The article contains principal results of the monitoring of the radon volume activity and of radon annual average equivalent equilibrium volume activity, as well as average and maximum values of the effective annual doses of the population exposure due to radon and its daughters in all regions of Belarus. For the first time in Belarus, wide-ranging monitoring of radon in the buildings air was carried out using integrated passive radiometry with solid-state tracking detectors of alpha-particles.

УДК 550.42 (476)

А. В. Матвеев[1], М. И. Автушко[2], Л. А. Нечипоренко[1]

РАДОНОПРОДУЦИРУЮЩИЙ ПОТЕНЦИАЛ ФЛЮВИОГЛЯЦИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БЕЛАРУСИ

По результатам изучения образцов, отобранных в разных районах Беларуси, установлено, что объемная активность «местного» (грунтового) радона варьируется в почвенном воздухе зандровых фаций флювиогляциальных отложений в интервале 3600–15 300 Бк/м^3 (среднее 7900 Бк/м^3), а флювиогляциальных краевых ледниковых образований – 2000–20 800 Бк/м^3 (среднее 7800 Бк/м^3). Полученные данные свидетельствуют о том, что исследованные отложения в основном являются радонобезопасными.

Исследования, выполненные в разных странах, показали, что радон и дочерние продукты его распада (ДПР) являются одной из основных причин ряда онкологических заболеваний [10, 15, 16]. Этим объясняется важность для любого региона выявления и понимания причин формирования радоновых аномалий, прежде всего в зданиях и сооружениях. Проводятся подобные исследования и в Беларуси. Этими работами установлено, что концентрация радона в жилых помещениях нередко (от 5 до 15 %, единично до 30 % от обследованных строений) превышает 200 Бк/м^3 [13, 14]. Одной из причин повышенного содержания радона в воздухе зданий может быть концентрация этого газа в почвенном воздухе, так как между этими параметрами коэффициент корреляции иногда достигает 0,8 [12]. Поэтому выявление аномальных (повышенных) содержаний радона в почвенном воздухе имеет важное значение для оценки экологической обстановки на соответствующей территории. В частности, по данным Инспекции Госатомнадзора Российской Федерации к радоноопасным (неблагоприятным для проживания) следует относить площади застройки, в пределах которых объемная активность радона в грунтах превышает 50 000 Бк/м^3 [5].

Выполненными на территории Беларуси исследованиями [1, 2, 7, 8] установлено, что в почвенном воздухе объемная активность радона достигает 50 000–70 000 Бк/м^3 (а по отдельным измерениям превышает 100 000 Бк/м^3). Такие значения концентраций радона чаще всего связаны с активностью геодинамических процессов в зонах разломов. Однако иногда радоновые аномалии, например, в районе д. Замошье Любанского района, д. Слобода Минского района, д. Нагорное Ляховичского района и некоторые другие [1, 8] могут быть обусловлены и составом покровных отложений.

В целом в перечисленных выше публикациях сделан вывод, что в суммарной величине объемной активности радона в почвенном воздухе в основном 30–50 % (от 15 до 85 %) приходится на долю «местного» (грунтового) радона. Это и послужило причиной постановки специальных исследований по оценке радонопродуцирующего потенциала различных генетических типов покровных отложений Беларуси, наиболее распространенными среди которых являются флювиогляциальные отложения. Анализу объемной активности «местного» (грунтового) радона в почвенном воздухе этих отложений и посвящена представляемая статья.

Методика и объект исследований. Количество «грунтового» радона в покровных отложениях рассчитывалось на лабораторном гамма-спектрометре по методике, описанной в [1]. При этом необходимо иметь в виду, что концентрация радона, которая определялась в процессе анализа, включает газ, который находится как в свободном состоянии (поровом воздухе), так и в твердом веществе грунта. Оценить соотношение этих величин довольно трудно. После измерения объемной активности радона различными методами в одних и тех же пунктах авторы пришли к заключению, что содержание радона, которое определяется по потоку гамма-квантов от дочерних продуктов его распада, необходимо уменьшать с учетом значений пористости отложений, которая для флювиогляциальных отложений варьируется в основном в интервале 30–45 % [3].

Рассматриваемый генетический тип представлен различными фациями, но по площади распространения абсолютно преобладают зандровые аккумуляции (встречаются на 35 % территории) и флювиогляциальные отложения краевых ледниковых образований (занимают примерно 14 % площади региона) [4, 11]. Мощность этих отложений на территории Беларуси чаще всего составляет 10–20 м, но местами их толща возрастает до 40–70 м и более. Особенности продуцирования радона определяются прежде всего составом отложений, которые сло-

жены разнозернистыми песками и в меньшей степени песчано-гравийно-галечным материалом [6]. При этом в зандровых отложениях на фракцию менее 0,05 мм обычно приходится не более нескольких процентов, содержание зерен 0,1–0,05 мм изменяется от 2–3 до 15–20 %, реже более, 0,25–0,1 мм – от 1,5–2 до 55–63 %, 0,5–0,25 мм – от 3–5 до 40 %, 2,0–0,5 мм – от 2–3 до 25–30 %, более 2 мм – от 0 до 70 %. Минерально-петрографический состав отдельных фракций характеризуется следующими особенностями. Среди крупных обломков преобладают граниты, гнейсы, карбонатные породы, кварц, полевые шпаты. Среди песчано-алевритовых зерен чаще всего встречаются кварц, полевые шпаты, карбонаты, во фракции тяжелых минералов – гранаты, амфиболы, ильменит, магнетит, эпидот, фосфаты. Вариации содержаний отдельных пород и минералов достаточно велики. Например, доля кварца в различных фракциях варьируется от первых процентов до 70–80 %, полевых шпатов – от 0 до 20 %, гранитов – от 0 до 60–70 %, гнейсов – от 0 до 20 % и т. д.

В составе флювиогляциальных краевых образований количество частиц менее 0,1 мм обычно составляет 5–10 %, но может изменяться от долей процента до 70–80 %, пределы колебаний зерен 0,25–0,1 мм – 1–70 % (чаще 10–30 %), 0,5–0,25 мм – доли процента – 40–50 % (8–25 %), 2,0–0,5 мм – доли процента – 60–65 %, крупнее 2 мм – 0,2–5 % – 50–60 % [6]. По минерально-петрографическому составу характеризуемая толща близка зандровым образованиям.

Концентрация «местного» (грунтового) радона в почвенном воздухе на площадях распространения зандровых отложений. Способность зандровых отложений продуцировать радон исследовалась на Слуцком ключевом участке и по отдельным образцам из других районов Беларуси. Ключевой участок вытянут от юго-восточной окраины г. Слуцка в юго-восточном направлении на 9 км. Толща песков на этой территории имеет мощность до 70 м, причем нижние 10–30 м образованы в днепровское время, а вышезалегающие – в сожское. Подстилаются песчаные образования нерасчлененными палеоген-неогеновыми песчано-глинистыми породами. Среди флювиогляциальных отложений встречаются чаще всего небольшие по площади участки заболоченных аллювиальных аккумуляций. Абсолютные отметки земной поверхности варьируются в интервале 155–170 м и понижаются в юго-восточном направлении.

Флювиогляциальные отложения представлены довольно однородными мелко-среднезернистыми песками с небольшой примесью мелкого гравия и маломощными прослоями (до 1 м) супесей и суглинков. Сравнительно однородный состав отложений и наличие в них прослоев глинистого материала обусловлены удалением от полосы краевых ледниковых образований не менее чем на 20 км. К тому же в проксимальном направлении от ключевого участка формы краевого ледникового рельефа представлены только небольшими по площади массивами.

На характеризуемой территории выполнены замеры и рассчитаны концентрации «местного» (грунтового) радона в 16 точках, расположенных друг от друга на расстоянии от 200–300 м до 1,2 км. Фоновые значения объемной активности «местного» радона составляют около 9000 Бк/м^3, а пределы колебаний – 6000–15 000 Бк/м^3. Причем наибольшие значения рассматриваемого показателя установлены в северо-западной части профиля, что может быть связано с распространением здесь на небольших глубинах моренных отложений. Общий характер распределения объемной активности «местного» (грунтового) радона (ОАР) в почвенном воздухе представлен на рис. 1, *а*.

Помимо определений объемной активности «местного» (грунтового) радона на ключевом участке проведены соответствующие измерения еще на 72 образцах, которые были отобраны из разных мест региона (рис. 2). Полученные результаты (табл. 1) с учетом данных по ключевому участку свидетельствуют, что среднее (фоновое) значение концентрации «местного» радона во флювиогляциальных отложениях составляет 7900 Бк/м^3 при колебаниях от 3600 до 15 300 Бк/м^3. Максимальные величины (свыше 14 000 Бк/м^3) в большинстве случаев связаны со значительным содержанием в песках алевритовых фракций (образец Сороги), реже – с увеличением примесей гравийно-галечных фракций (образцы 27в, 55в, 84в), в составе которых преобладают кислые породы, характеризующиеся повышенными концентрациями радиоактивных элементов [9].

Учитывая полученные данные, можно сделать заключение, что объемная активность «местного» (грунтового) радона в почвенном воздухе зандровых отложений чаще всего (более 90 % всех полученных результатов) приурочена к интервалу 4300–12 900 Бк/м^3. Поэтому эти отложения с учетом данных Инспекции Госатомнадзора Российской Федерации [5] в основном не могут рассматриваться как радоноопасные. Исключение составляют только локальные участки в зонах активных разломов с концентрациями «местного» радона более 15 000 Бк/м^3.

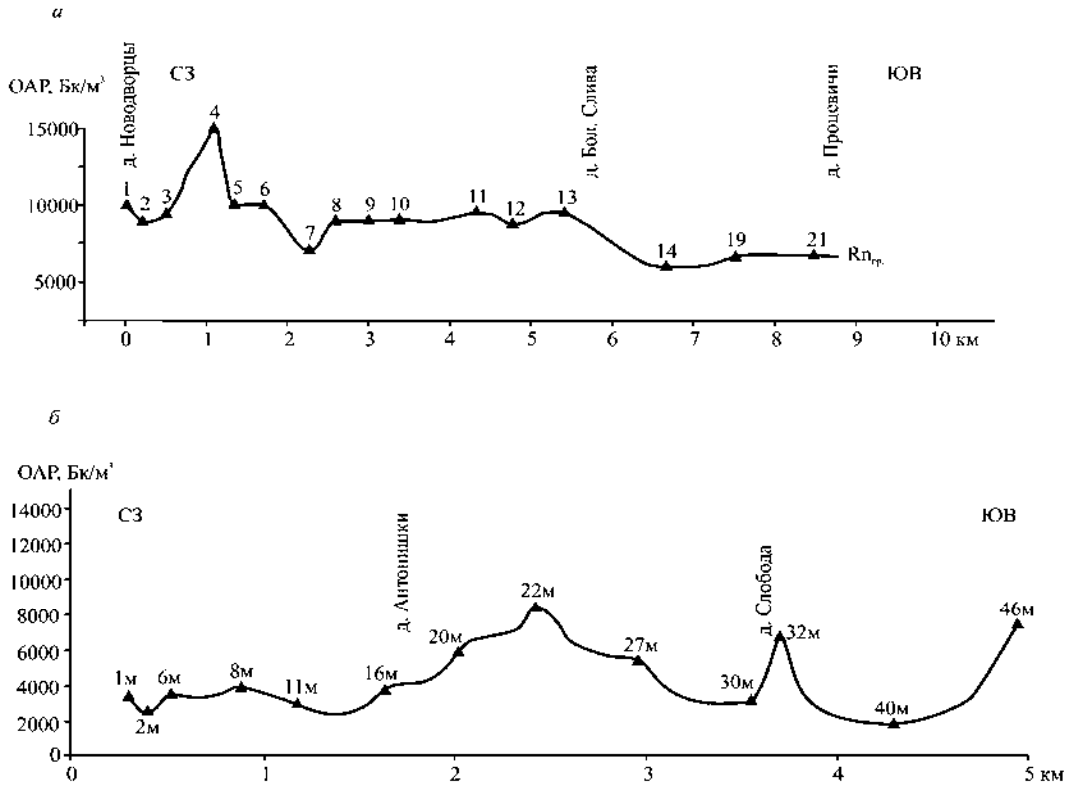


Рис. 1. График распределения объемной активности «местного» (грунтового) радона в почвенном воздухе на территории Слуцкого (*а*) и Минского (*б*) ключевых участков

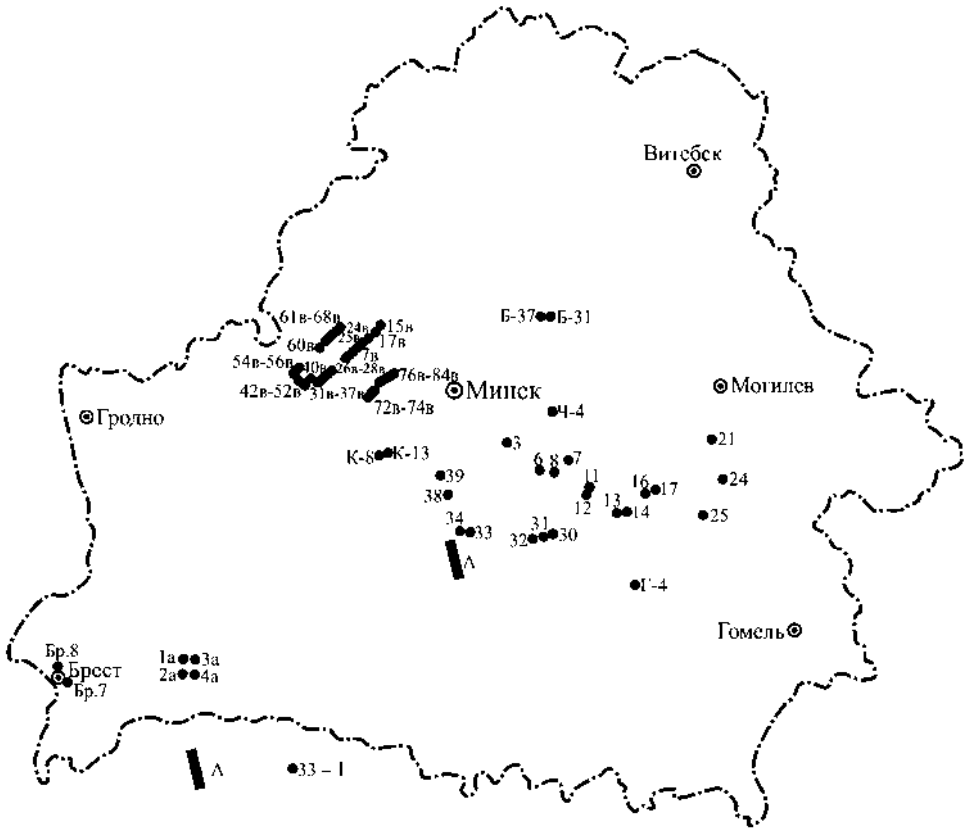


Рис. 2. Схема отбора проб зандровых отложений
(*А* – Слуцкий ключевой участок; *1* – места отбора проб и их номера)

Таблица 1. **Объемная активность «местного» (грунтового) радона в почвенном воздухе зандровых отложений, Бк/м^3**

Номер п/п	Номер образцов	Объемная активность «грунтового» радона
1	К-01	8600
2	К-08	5800
3	К-13	8600
4	Б-31	5000
5	Б-37	6500
6	Ч-1	12 900
7	Г-4	5000
8	3	7200
9	6	6500
10	7	3600
11	8	7900
12	11	12 200
13	12	8600
14	13	5000
15	14	10 800
16	16	5000
17	17	4300
18	21	6500
19	24	6500
20	30	7200
21	Сороги	15 100
22	34-2	5000
23	38-2	5000
24	Б-7	10 100
25	Б-8	5800
26	7в	10 800
27	15в	13 700
28	17в	9100
29	24в	5800
30	25в	5000
31	26в	10 800
32	27в	15 300
33	28в	3600
34	31в	10 100
35	32в	4300
36	33в	7200
37	34в	6500
38	35в	6500
39	36в	6500
40	37в	7200
41	38в	5000
42	40в	11 500
43	42в	12 200
44	43в	10 100
45	44в	5000
46	45в	3600
47	46в	4300
48	47в	7200
49	48в	7200
50	49в	7900
51	50в	2900
52	51в	5000
53	54в	7200
54	55в	15 100
55	60в	10 500
56	61в	10 100
57	68в	11 400
58	72в	12 200
59	73в	10 800
60	74в	11 500
61	76в	8600
62	78в	5800
63	79в	8600
64	80в	7200
65	81в	5800
66	82в	6500
67	83в	5800
68	84в	14 400
69	1а	8600
70	2а	7000
71	3а	13 500
72	4а	11 200

Концентрация «местного» (грунтового) радона в почвенном воздухе на площадях распространения флювиогляциальных краевых ледниковых образований. Исследования объемной активности «местного» (грунтового) радона в верхнем слое краевых ледниковых комплексов проводилось на территории Минского ключевого участка и по отдельным образцам в других районах региона.

Ключевой участок расположен в окрестностях г. Минска. На этой территории особенности распределения концентраций «местного» (грунтового) радона изучались по профилю Антонишки – Слобода (юго-западная окраина Минска) и по отдельным образцам северо-восточнее и юго-восточнее города. Ключевой участок расположен в пределах Минской краевой ледниковой возвышенности, характеризующейся максимальными для Беларуси абсолютными отметками земной поверхности, которые практически повсеместно превышают 220 м и нередко достигают 280–300 м и более. По линии профиля абсолютные отметки земной поверхности варьируются в интервале 220–270 м.

В пределах ключевого участка распространены разнозернистые пески, песчано-гравийный материал сожского ледникового покрова мощностью до 30–40 м. Иногда эти отложения перекрыты лессовидными супесями и суглинками мощностью до 5–6 м. Конечно-моренные образования подстилаются преимущественно моренными супесями и суглинками и разнозернистыми песками сожского, днепровского и березинского возраста мощностью до 200 м и более. Ниже залегают меловые мела и пески, девонские карбонатные породы, глины, алевролиты.

По профилю Антонишки – Слобода выполнено 14 определений концентраций «местного» (грунтового) радона. С учетом этих данных построен график распределения концентраций газа. Проведенные расчеты и построения свидетельствуют, что фоновые значения рассматриваемого показателя составляют около 3500 Бк/м^3, при колебаниях от 2000 Бк/м^3 до 8800 Бк/м^3. Вариации величин

(см. рис. 1, *б*) объясняются изменениями состава отложений. Для уточнения этих значений была дополнительно определена объемная активность радона на площадях к северо-востоку от Минска и на юго-восточной окраине города. Полученные по восьми образцам величины 6000–8800 Бк/м^3 вполне сопоставимы с данными, отображенными на рис. 1, *б*.

Концентрация «местного» (грунтового) радона в конечно-моренных образованиях в других районах Беларуси оценивались по результатам лабораторных определений по 29 образцам (рис. 3).

Среднее содержание «местного» (грунтового) радона по этим измерениям с учетом анализов по ключевому участку составляет 7800 Бк/м^3, пределы колебаний 2000–20 900 Бк/м^3 (табл. 2). При этом максимальные значения (более 15 000 Бк/м^3) зарегистрированы только по трем образцам (преимущественно гравийно-галечным отложениям), что составляет (с учетом образцов по ключевому участку) около 10 % от всех определений, так что объемная активность «местного» (грунтового) радона в краевых ледниковых образованиях в 90 % всех проанализированных образцов характеризуется значениями 7200–13 000 Бк/м^3. Даже при условии увеличения этих показателей за счет поступления «глубинного» радона рассматриваемые образования, кроме небольших участков в зонах активных разрывных нарушений, не могут считаться радоноопасными.

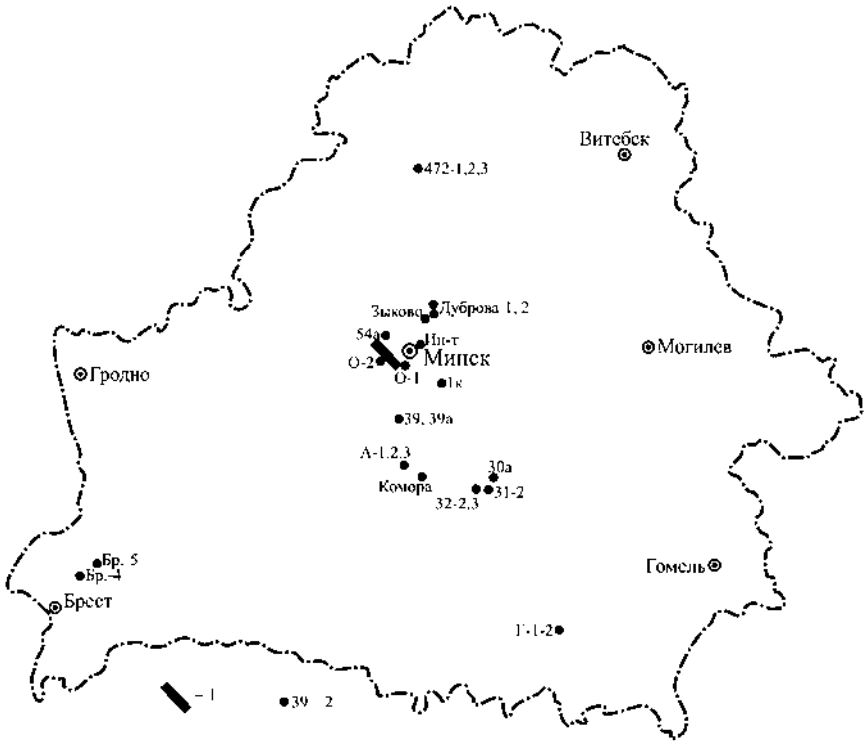


Рис. 3. Схема отбора проб краевых ледниковых образований:
***1* – профиль Антонишки – Слобода; *2* – места отбора проб и их номера**

***Таблица 2.* Объемная активность «местного» (грунтового) радона в почвенном воздухе краевых ледниковых отложений, Бк/м^3**

Номер п/п	Номер образцов	Объемная активность «грунтового» радона
1	Д-1	6500
2	1к	5000
3	39а	7900
4	31-2	8600
5	32-2	10 100
6	32-3	9700
7	Комора	8600
8	А-1	20 800
9	А-2	15 100
10	А-3	6500
11	39	8600

Номер п/п	Номер образцов	Объемная активность «грунтового» радона
12	Дуброво-1	8600
13	Дуброво-2	9100
14	Зыково	7900
15	Б-4	10 100
16	Б-5	8400
17	472-1	13 000
18	472-2	10 100
19	472-3	7900
20	Ин-т	13 000
21	О-1	6500
22	О-2	7900

Выводы

1. Уточнена методика расчета объемной активности «местного» (грунтового) радона по результатам лабораторного определения потоков гамма-квантов от дочерних продуктов его распада. Установлено, что получаемые значения аналитических определений должны быть скорректированы с учетом пористости отложений, изменяющейся в интервале 30–45 %.

2. Установлено, что концентрация «местного» (грунтового) радона в почвенном воздухе зандровых отложений на территории Беларуси колеблется от 3600 до 15 300 Бк/м^3 (чаще всего 4300–12 900 Бк/м^3, среднее значение 7900 Бк/м^3).

3. Объемная активность «местного» (грунтового) радона в верхнем слое флювиогляциальных краевых ледниковых образований изменяется в интервале 2000–20 800 Бк/м^3 (чаще всего 7200–13 000 к/м^3, среднее значение 7800 Бк/м^3).

4. Повышенные значения концентраций радона во флювиогляциальных отложениях в основном связаны с примесью алевритовых фракций и (или) повышенным содержанием гравийно-галечного материала.

5. Учитывая в целом относительно невысокие значения объемной активности «местного» (грунтового) радона во флювиогляциальных отложениях, даже с учетом возможного значительного увеличения этого показателя в зонах разломов, можно утверждать, что в основном площади распространения флювиогляциальных отложений, за исключением локальных участков в зонах разломов, не являются радоноопасными.

Исследования выполнены по заданию «Разработать и внедрить схему районирования территории Беларуси по распределению радоновых аномалий в почвенном воздухе, методические рекомендации по использованию радонометрических данных для решения геологических и геоэкологических задач» Государственной научно-технической программы «Разработка и освоение инновационных технологий рационального использования природных ресурсов и повышения качества окружающей среды» (ГНТП «Природные ресурсы и окружающая среда»).

Литература

1. **Автушко, М. И.** Концентрация радона в приповерхностных грунтах на территории Солигорского геодинамического полигона (Беларусь) / М. И. Автушко, А. В. Матвеев // Літасфера. – 2010. – № 2 (33). – С. 98–105.

2. **Автушко, М. И.** Проявление линейных нарушений в концентрациях радона в покровных отложениях на территории Воложинского грабена / М. И. Автушко, А. В. Матвеев, Л. А. Нечипоренко // Докл. АН Беларуси. – 1996. – Т. 40, № 6. – С. 92–94.

3. **Галкин, А. Н.** Инженерная геология Беларуси / А. Н. Галкин, А. В. Матвеев, В. Г. Жогло. – Витебск, 2006.

4. **Геология** Беларуси / Под ред. А. С. Махнача, Р. Г. Гарецкого, А. В. Матвеева [и др.]. – Минск, 2001.

5. **Манаков, Н. А.** Реализация федеральной программы «Радон». 1997 г. Анализ достоверности проведенных измерений. Оценка радоноопасности территории / Н. А. Манаков // АНРИ. – 1998. – № 4. – С. 8–18.

6. **Матвеев, А. В.** Ледниковая формация антропогена Белоруссии / А. В. Матвеев. – Минск, 1976.

7. **Матвеев, А. В.** Радон в природных и техногенных комплексах Беларуси / А. В. Матвеев [и др.] // Літасфера. – 1996. – № 5. – С. 151–161.

8. **Матвеев, А. В.** Концентрация радона в почвенном воздухе на смежных площадях Белорусской антеклизы и Припятского прогиба / А. В. Матвеев [и др.] // Природопользование. – Минск, 2012. – Вып. 21. – С. 68–74.

9. **Мияки, Я.** Основы геохимии / Я. Мияки. – Л., 1969.

10. **Радиация:** дозы, эффекты, риск. – М., 1988.

11. **Чацвярцічныя** адклады. М 1:1 250 000 // Нацыянальны атлас Беларусі. – Мінск, 2002. – С. 42–43.

12. **Яковлева, В. С.** Методы измерения плотности потока радона и торона с поверхности пористых материалов / В. С. Яковлева. – Томск, 2011.

13. **Ярошевич, О. И.** Радон в воздухе зданий и радоновая составляющая дозы радиоактивного облучения населения в различных областях Беларуси / О. И. Ярошевич [и др.] // Докл. НАН Беларуси. – 2012. – Т. 56, № 6. – С. 92–97.

14. **Ярошевич, О. И.** Исследование по проблемам радона в Беларуси и других странах Европы / О. И. Ярошевич [и др.] // Вестник БРФФИ. – 2013. – № 4 (66). – С. 101–117.

15. **Barnes-Svarney, P.** Righting the risk of radon / P. Barnes-Svarney // Earth Sci. – 1989. – Vol. 42, N 3. – P. 17–18.

16. **McLaughlin, J. P.** Indoor radon: sources, health effects and control / J. P. McLaughlin // Technol. Irel. – 1990. – Vol. 22, N 4. – P. 27–30.

[1] Институт природопользования НАН Беларуси,
[2] РНИУП «Институт радиологии»

Поступила в редакцию 3.03.2015 г.

А. В. Матвеев, М. И. Автушко, Л. А. Нечипоренко

РАДОНОПРОДУЦИРУЮЩИЙ ПОТЕНЦИАЛ ФЛЮВИОГЛЯЦИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БЕЛАРУСИ

Общая объемная активность радона в почвенном воздухе на территории региона варьируется в широком диапазоне – от нескольких до 100 000 Бк/м^3 и единично более. Примерно от 15 до 85 % (в основном 30–50 %) этой величины обусловливается радонопродуцирующей способностью покровных отложений, т. е. так называемым «местным» (грунтовым) радоном. Рассмотрены особенности концентраций этой составляющей исследуемого газа в почвенном воздухе флювиогляциальных отложений – одном из наиболее распространенных генетических типов четвертичной толщи. Выполненными определениями установлено, что объемная активность «местного» (грунтового) радона в зандровых фациях флювиогляциальных отложений изменяется от 3600 до 15 300 Бк/м^3 (среднее 7900 Бк/м^3), во флювиогляциальных краевых ледниковых образованиях этот показатель колеблется в интервале 2000–20 800 Бк/м^3 (среднее 7800 Бк/м^3). Учитывая установленные величины концентраций «местного» (грунтового) радона, даже с учетом возможного увеличения этих значений за счет поступления газа из более глубоко залегающих горизонтов, можно утверждать, что площади распространения флювиогляциальных отложений на территории Беларуси являются относительно радонобезопасными.

A. V. Matveev, M. I. Avtushko, L. A. Nechiporenko

RODON-PRODUCED POTENTIAL OF FLUVIOGLACIAL DEPOSITS OF BELARUS

The total volume activity of radon in soil air in region territory varies extensively – from a few to 100 000 Bq/m^3 and more sporadically more. Approximately from 15 to 85 % (generally 30–50 %) of this value is due to radon producing capacity of covering deposits, i. e. the so-called «local» (ground) radon. The features of this component concentrations of the test gas in the soil air of fluvioglacial deposits are considered – one of the most widespread genetic types of a quaternary strata. It has been set by performed specifics that volumetric activity of «local» (ground) radon in outwash fluvioglacial deposits faces changes from 3600 to 15 300 Bq/m^3 (average is 7900 Bq/m^3) in fluvioglacial marginal glacial formations, this figure varies in the range of 2000–20 800 Bq/m^3 (average is 7800 Bq/m^3). With the given magnitude of the established concentrations of «local» (ground) radon, even taking into account a possible increase in these values due to gas from a deep-lying horizons, it can be argued that the area of distribution of fluvioglacial deposits on the territory of Belarus are relatively radon-safe.

УДК 551.583

В. Ф. Логинов

ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ В ИЗМЕНЕНИИ ГЛОБАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Проанализированы неопределенности в изменении глобальной температуры, связанные с изменением плотности мировой метеорологической сети, а также различием оценок урбанизационной «поправки». Установлены систематические различия рядов изменений глобальной температуры, полученных различными авторами.

Исследования показывают, что оценки влияния урбанизации на изменения климата существенно различаются. В работе Ф. Джонса и П. Гройсмана [10] урбанизация за период с 1901 по 1987 г. обеспечила в европейской части бывшего Советского Союза, восточной части Австралии, восточной части Китая и США повышение температуры не более чем на 0,05 °С. Это на порядок меньше, чем общий рост температуры за указанный период. В ряде других работ указывается, что тренд, связанный с «островом тепла» в городах локален и составляет менее чем 0,006 °С за десятилетний период над сушей и нулевой – над океанами [5].

В работах, где используются результаты широкомасштабных исследований по описанию климата больших городов бывшего Советского Союза, выполненных в 1960–1980-е годы, показано, что большие мегаполисы – Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск – «отепляют» атмосферу городов на 0,6–1,0 °С по сравнению с пригородами. Общее повышение температуры за счет урбанизации может достигать 0,3 °С, если учесть мезоклиматическое влияние больших городов, которое распространяется на более существенную территорию, чем площадь города [8, 9]. Работы украинских и белорусских ученых также показали, что различие температуры в крупных городах и сельской местности составляет 0,2–0,7 °С [1, 3–5]. Эти различия температуры «город – сельская местность» изменялись во времени и достигали наибольших значений в 1971–1980 гг., когда наблюдался активный рост промышленного производства в крупных городах. Однако если учесть то обстоятельство, что урбанизированные территории занимают менее 1 % бывшего Советского Союза, то влияние урбанизации на рост температуры на указанной территории в последние десятилетия составляет менее 0,1 °С. Совершенно очевидно, что урбанизационная «поправка» на густонаселенных территориях США, Европы, Японии существенно больше, но в среднем на Земном шаре рост температуры за счет урбанизации, вероятно, составляет менее 0,1 °С.

Второй причиной, которая может оказать определенное влияние на точность вычисления пространственно-временных изменений температуры, является изменение числа метеорологических станций в глобальной системе климатического мониторинга.

Большое значение для оценок изменений глобального климата в силу огромной территории имеет изменение плотности метеорологической сети России. Она в 90-е годы прошлого столетия сильно уменьшилась: закрывались метеорологические станции, в первую очередь исходя из экономических соображений. Известно, что содержание метеорологических станций в труднодоступных районах (северные территории, Сибирь и Дальний Восток, высокогорные районы) экономически более затратное. Подобные реалии характерны и для африканских стран, где в последние годы активно ведутся военные действия и экономика многих стран приходит в упадок (рис. 1). Сокращение плотности метеорологической сети характерно и для значительного числа азиатских стран.

В базовом массиве мониторинга климата в лучшие годы (1950–1990) находилось 1383 метеорологические станции. Постсоветская территория была представлена 455 метеорологическими станциями; на территории России находилось 310 метеорологических станций [2].

На территории СНГ стабильная сеть, сформированная к 1950 г., сократилась в 1994 г. до 64 %, а к 2005–2010 гг.восстановилась до 78,5%. Особенно много метеорологических станций было закрыто в северных широтах, в Сибири и на Дальнем Востоке. Число станций в мире существенно уменьшилось в 90-е годы прошлого столетия, а в отдельные годы оно составляло около 50 % от их общего числа в лучшие годы. В текущем столетии наметился некоторый рост числа метеорологических станций, но их число еще не достигло тысячи [2].

Следовательно, существенные изменения плотности глобальной сети наблюдений за климатом в 90-е годы прошлого столетия могли нарушить однородность рядов средних глобальных значений температуры. Это обстоятельство следует учитывать при интерпретации современных изменений климата и их причин.

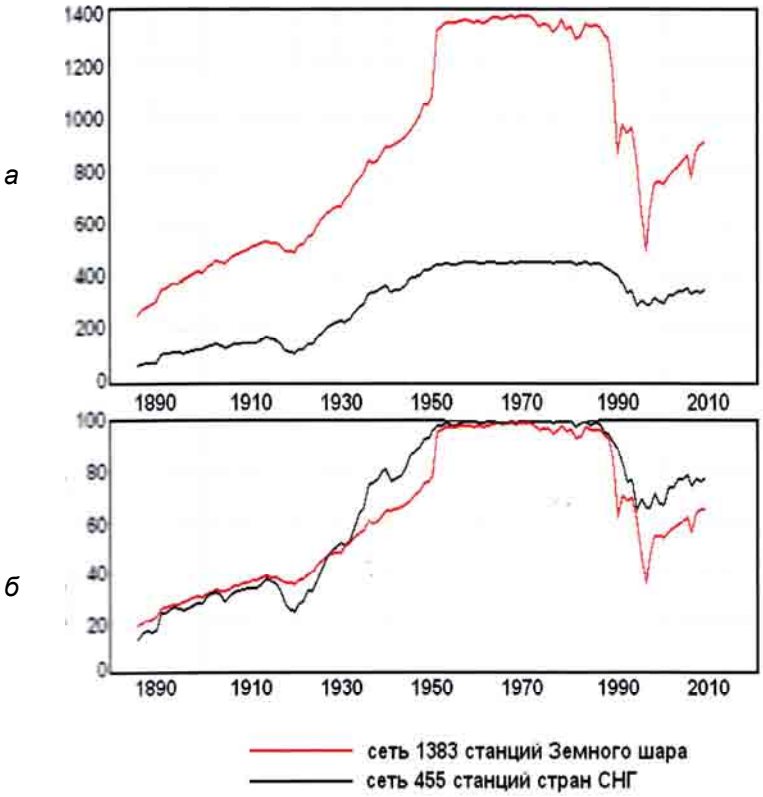


Рис. 1. Изменение полноты данных о температуре в базе данных мониторинга климата для глобальной сети станций (*n* = 1383, красные кривые) и для сети станций стран СНГ (*n* = 455, черные кривые) [3]: *а* – число станций; *б* – процент станций

Однако сравнение рядов Met Office Hadley Center an Climatic Research Unit (Had CRUT), NOAA National Climatic Data Center (NCDC) and NASA Goddard Institute for Space Studies (GISS) показало (Hansen et. al, 2010, Jones et. al, 2012), что расхождение данных практически не влияет на результаты для крупных регионов и на глобальные закономерности и оценки тенденций [2].

Методы обработки данных при создании массивов, оценки источников неоднородности и построения соответствующих интервалов, а также периоды, за которые вычисляются нормы, различаются. Так, число пятиградусных «боксов» (Had CRUT) составляет 2592, число всех используемых станций – более 2500, а после 1991 г. – всего 800–1000.

Следует обратить внимание на определенные различия значений глобальной температуры, опубликованные в разных источниках в разное время. Для примера приведем разности среднегодовой глобальной температуры, опубликованные Джонсом, Вигли и Бриффом [11] и Национальным центром климатических данных США (www.ncdc.noaa.gov/cag) (рис. 2). Различия аномалий температуры указанных двух рядов имеют ряд особенностей. Для вычисления норм температуры авторы использовали разные временные периоды, что могло обеспечить вполне понятные различия аномалий среднегодовой глобальной температуры. Однако имеются особенности в изменении различий аномалий температуры, которые не связаны с использованием разных норм. Отметим, что Ф. Джонсом и др. использовался период с 1950 по 1979 г., а в NCDC США нормы вычислялись за период с 1901 по 2000 г.

Эти особенности в изменении различий аномалий глобальной температуры сводятся к наличию в большинстве случаев положительных разностей аномалий температуры. Они свидетельствуют о том, что для американского ряда характерно завышение положительных аномалий температуры по сравнению с рядом, опубликованным Ф. Джонсом и др. 20 лет назад в конце прошлого столетия, в период потепления Арктики (1930–1944 гг.) и особенно в период с 1962 по 1993 г. Отрицательные разности аномалий глобальной температуры существенны в период с 1897 по 1916 г.

Средние различия значений среднегодовых разностей аномалий глобальной температуры двух рядов составили –0,024 °С в 1897–1916 гг. и +0,047 °С в 1962–1993 гг. Это означает, что в ряду глобальной температуры, подготовленном Национальным центром климатических данных США, возникает дополнительное увеличение положительной трендовой составляющей в последнее столетие по сравнению с рядом температуры Ф. Джонса и др.

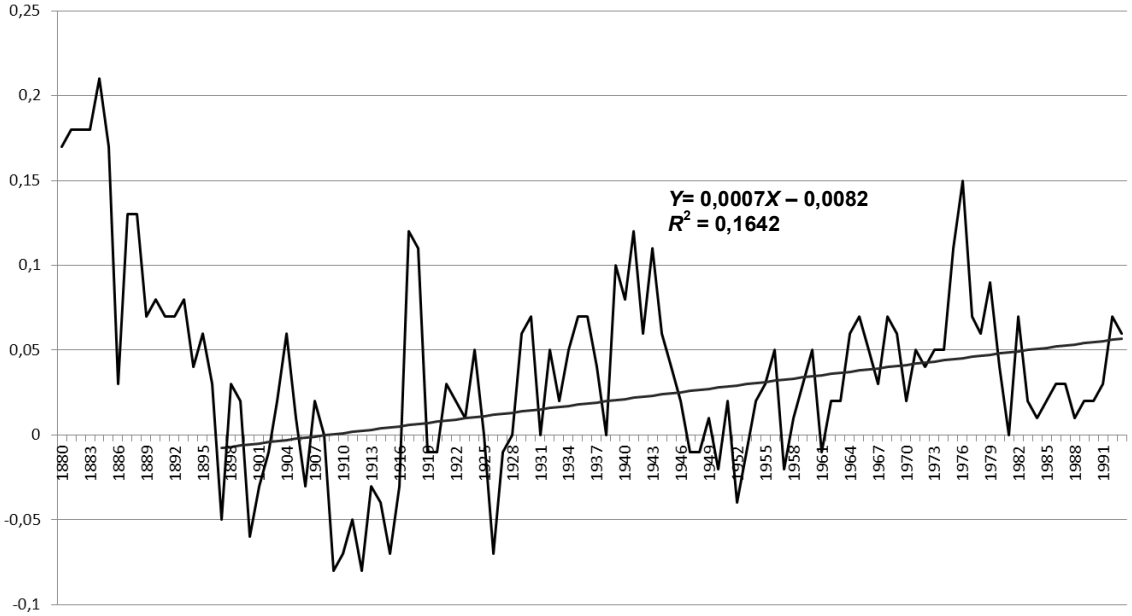


Рис. 2. Разность среднегодовых значений глобальной температуры, опубликованных Ф. Джонсом и др. и Национальным центром климатических данных США

Указанные выше особенности в знаке различий аномалий глобальной температуры двух сопоставляемых рядов свидетельствуют о завышении величины потепления климата в среднем на несколько сотых градуса Цельсия в американском ряду за последнее столетие.

В то же самое время завышенные на несколько сотых значения глобальной температуры в начале XIX в. делают величину положительного тренда в 1908–1944 гг. несколько меньше по сравнению с величиной положительного тренда глобальной температуры в период с 1976 по 2014 г.

Известно, что наиболее основательно базы глобальных климатических данных поддерживаются в США и Великобритании известными в мире центрами климатических данных: в США – это Национальный центр климатических данных Национального агенства по океану и атмосфере (NOAA National Climatic Data Center), а в Великобритании – отдел климатических исследований Университета Восточной Англии и Гадлеевский центр (Met Office Hadley Centre and Climatic Research Unit).

Сравнение американского и британского рядов глобальной температуры показало различие среднегодовых значений глобальной температуры одного знака в силу использования разных норм. Для американского ряда норма вычислялась за период с 1901 по 2000 гг., а для британского – за 1931–1990 гг. Однако величины разностей аномалий среднегодовой глобальной температуры, а точнее, осредненной приповерхностной температуры двух сопоставляемых рядов различаются от 0,07 до 0,22 °С (рис. 3). Это связано с разными используемыми методами получения глобальных баз данных. Изменение величин разностей температуры во времени содержит как трендовую составляющую, так и циклы разной длительности.

Наиболее существенная положительная трендовая составляющая вычисленных разностей температуры характерна для последнего периода (1940–2014 гг.). Она дополнительно завышает величину роста глобальной среднегодовой температуры американского ряда на несколько сотых градуса. Причина такого завышения температуры может быть связана с неоднородностью ряда, обусловленной уменьшением плотности глобальной метеорологической сети в первую очередь в труднодоступных районах, где содержание метеорологических станций экономически невыгодно.

Это может привести к увеличению процентного соотношения числа станций на урбанизированных территориях по сравнению с сельскими территориями и, как следствие, росту урбанизационной «поправки», а также завышению значений глобальной температуры в последние два десятилетия (1994–2014 гг.). В свою очередь это может привести к небольшому увеличению положительной трендовой составляющей в изменении температуры в последнем столетии, учитывая еще и то, что температура в американском ряду оказалась заниженной в период с 1919 по 1941 г. (период потепления Арктики).

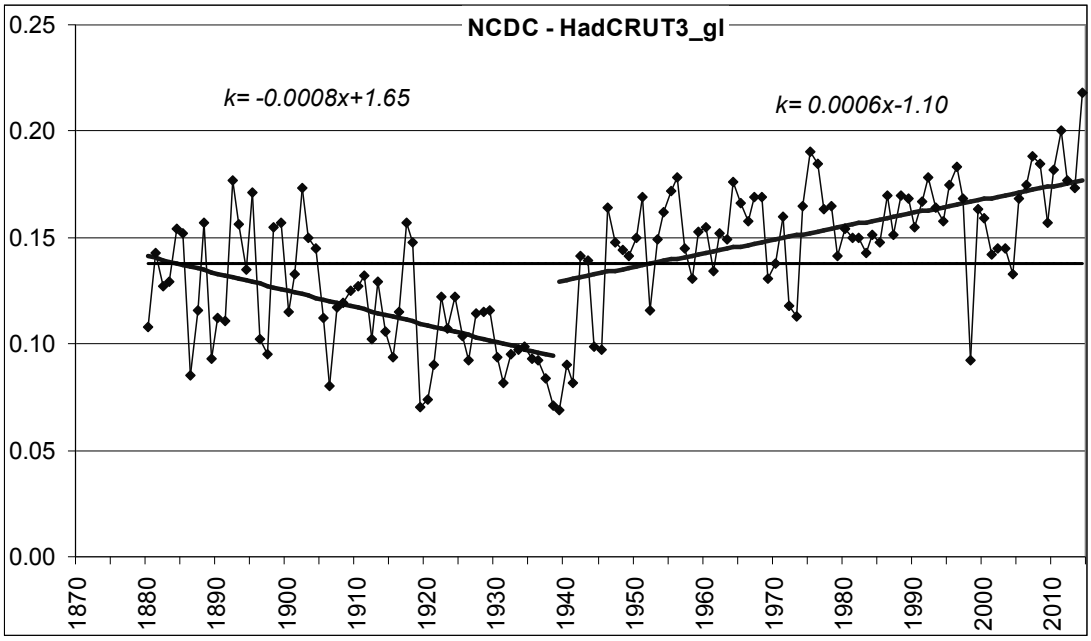


Рис. 3. Изменение разностей аномалий глобальной среднегодовой температуры американского (NCDC) и британского (HadCRUT3gl) рядов приповерхностной температуры с 1880 по 2014 г. (среднее значение приповерхностной температуры британского ряда в 2014 г. вычислено с использованием значений температуры за первые пять месяцев года)

Рассмотрим характер изменения аномалий глобальной температуры с использованием данных NCDC США (рис. 4). Предварительные результаты оценки изменений аномалий глобальной температуры представлены ранее в работе [6].

На рисунке отчетливо выделяются четыре разных по величине и знаку подпериода длительностью 30–39 лет. Для двух из четырех подпериодов (1908–1944 и 1976–2014 гг.) характерна практически одинаковая величина трендов глобальной температуры, тогда как для подпериода 1976–2014 гг. скорость роста содержания углекислого газа в атмосфере была выше как минимум в 5 раз, а среднее содержание углекислого газа было выше в среднем на 50 ppm (ppm – молекула CO_2 на миллион молекул атмосферного воздуха).

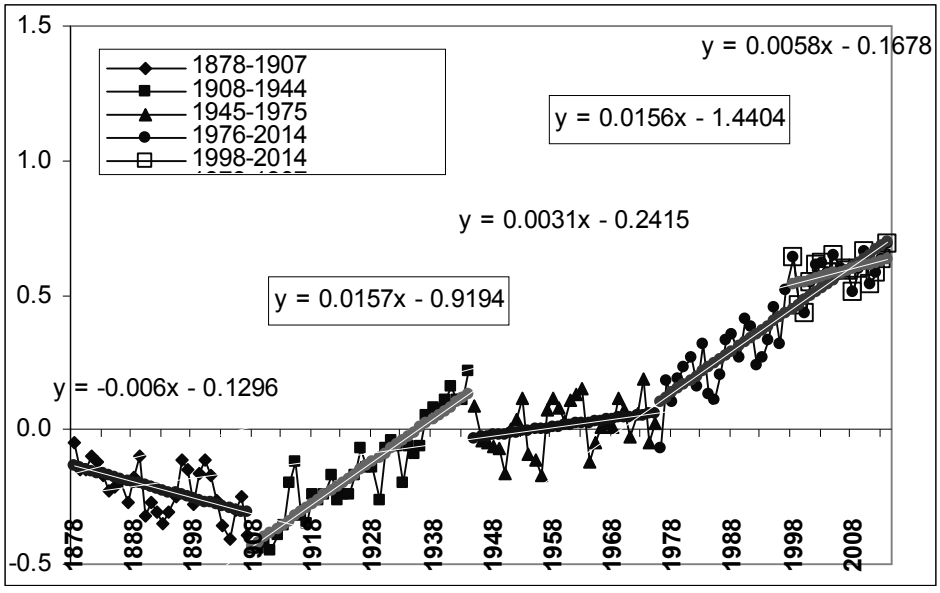


Рис. 4. Изменение среднегодовой приповерхностной глобальной температуры за период с 1878 по 2014 г. и величины линейных трендов для определенных подпериодов времени

В этой связи возникают логичные вопросы, на которые до сих пор не получено исчерпывающих ответов: какой естественный фактор (но абсолютно ясно он был не антропогенным) обеспечил сопоставимую или даже несколько большую скорость роста глобальной температуры в подпериод с 1908 по 1944 г.? Не исключено, чтобы ответить на этот вопрос, потребуется пересмотр существующих оценок роли внешних и особенно внутренних факторов в изменении климатической системы.

Второй вопрос, на который до сих пор не получено внятного ответа – это снижение скорости роста глобальной температуры в последние годы. Глобальная температура в 1998–2013 гг. оставалась самой высокой за период инструментальных наблюдений, но тем не менее она не увеличивалась – наступила пауза в изменении температуры. По мнению экспертов, 2014 год оказался самым теплым (0,69°С).

Ниже приводятся самые теплые годы в период максимальных значений температуры за период инструментальных наблюдений. Максимальные значения среднегодовых аномалий температуры за период инструментальных наблюдений, полученных Национальным центром климатических данных США и Отделом климатических исследований Университета Восточной Англии и Гадлеевского центра, приведены в таблице.

Аномалии среднегодовой глобальной температуры по данным американского и английского центров

Национальный центр климатических данных США		Отдел климатических исследований Университета Восточной Англии и Гадлеевского центра	
год	значения аномалий глобальной температуры, °С	год	значения аномалий глобальной температуры, °С
2014	0,69	1998	0,55
2010	0,66	2003	0,48
1998	0,64	2005	0,48
2013	0,63	2010	0,48
2003	0,62	2002	0,47
2002	0,61	2014	0,47*
Среднее значение	0,642	Среднее значение	0,488

* Среднее значение получено по данным наблюдений за пять месяцев года.

Среднее из максимальных значений аномалий глобальной среднегодовой температуры оказалась на 0,154 °С выше для ряда аномалий глобальной среднегодовой температуры, подготовленного Национальным центром климатических исследований США.

Различия максимальных значений аномалий среднегодовой глобальной температуры для каждого ряда находятся в пределах точности их вычислений, которая определяется методами создания баз данных и их полнотой. Это обстоятельство ставит под сомнение завершение паузы в изменении глобальной температуры (1998–2013 гг.). Повышение глобальной температуры в 2014 г., если исходить из значений ряда аномалий глобальной температуры, подготовленного Национальным центром климатических данных США, не может служить достаточным аргументом начала очередного подъема («скачка») в изменении температуры.

Пока более распространенным остается мнение о дальнейшем повышении глобальной температуры в ближайшие годы, поскольку эпоха Ла-Ниньо заканчивается и должна вновь наступить эпоха Эль-Ниньо. Как следствие, температура в тропиках повысится. Это мнение особенно активно поддерживается Международной рабочей группой по изменению климата.

Понятно, что объявление рекордным по температуре 2014 г. накануне Парижского саммита в декабре 2015 г., где намечено принять новые амбициозные планы по уменьшению выбросов парниковых газов, будет иметь психологическое значение при принятии политических решений.

Литература

1. **Гребенюк, Н. П.** Про зміни температури повітря в містах України у процесі урбанізації / Н. П. Гребенюк, М. Б. Барабаш // Наук. праці УкрНДГМІ. 2004. – Вип. 253. – С. 148–154.

2. **Груза, Г. В.** Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха / Г. В. Груза, Э. Я. Ранькова. – М., 2012.

3. **Климат Беларуси** / Под. ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 1996.

4. **Логинов, В. Ф.** Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск, 2008.

5. **Логинов, В. Ф.** Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата / В. Ф. Логинов. – Минск, 2012.

6. **Логинов, В. Ф.** Глобальные и региональные изменения климата и их доказательная база / В. Ф. Логинов // Докл. на Междунар. науч. конф. «Глобальные и региональные изменения климата». 16–19 ноября 2010 г., Киев, Украина. – Киев, 2011. – С. 23–37.

7. **Логинов, В. Ф.** Тренды, скачки и паузы в изменении глобальной и региональной температуры и их возможные причины / В. Ф. Логинов // Укр. географ. журн. – 2015. – № 1. – С. 12–19.

8. **Прокачева, В. Г.** Зоны хронического загрязнения вокруг городских поселений и вдоль дорог по республикам, краям и областям Российской Федерации : справ. / В. Г. Прокачева, В. Ф. Усачев, Н. П. Чмутова. – СПб., 1992.

9. **Хайруллин, К. Ш.** Климатические тренды и моделирование регулирующей роли биосферы / К. Ш. Хайруллин, Ю. А. Пичугин, М. З. Образцова // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2009. – № 2. – С. 52–56.

10. **Jones, P. D.** Assessment of urbanization effects in time series of surface air temperature over land / P. D. Jones [et al.] // Nature. 13. Sep. – 1990. – Vol. 347. – P. 169–172.

11. **Jones, P. D.** Global and Hemispheric Anomalies / P. D. Jones, T. M. L. Wigley and K. P. Briffa / Book: Trends-93. A compendium of data on global change. Carbon Dioxide Inf. Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory. September 1994. – P. 606–607.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 28.04.2015 г.

В. Ф. Логинов

ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ В ИЗМЕНЕНИИ ГЛОБАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Приведены оценки различий рядов глобальной температуры, опубликованных разными авторами в разные годы. Рассмотрены оценки урбанизационных «поправок» в изменение глобального климата и возможности появления неоднородностей глобальных изменений климата, связанных с изменением плотности мировой метеорологической сети.

Показано, что различия аномалий глобальной среднегодовой температуры, приведенной разными авторами (Ф. Джонс и др., Национальный центр климатических исследований США), носят системный характер. Они оказались на несколько сотых градуса выше в 60–90-е годы и ниже – в начале XIX в., что может свидетельствовать о завышении трендовой составляющей температуры (потепления климата). Положительная трендовая составляющая в изменении глобальной среднегодовой температуры в период с 1908 по 1944 гг. оказалась соизмеримой или даже несколько большей, чем в период современного потепления климата (1976–2014 гг.). Пока нет исчерпывающего объяснения этой особенности в изменении современного климата.

Анализ рядов значений среднегодовой глобальной температуры, подготовленных в 2014 году отделом климатических исследований Университета Восточной Англии и Гадлеевским центром (HadCRUT3), Национальным центром климатических данных США (NCDC), показало наличие более высоких значений аномалий температуры американского ряда по сравнению с данными температуры британского ряда, особенно в последние десятилетия, и занижение температуры в период потепления Арктики.

Температура в самые теплые годы (1998, 2002, 2003, 2005, 2010, 2014) различается между собой на несколько сотых градуса Цельсия и находится в пределах точности вычисления среднегодовых значений глобальной температуры, полученных с использованием разных методик и разной полноты баз климатических данных.

Увеличение процентного соотношения числа метеорологических станций на урбанизированных территориях вследствие закрытия большого числа станций в труднодоступных районах мира (северные территории, Сибирь и Дальний Восток, высокогорные районы в СНГ, а также на территории значительного числа стран Африки и Азии) могло привести к увеличению урбанизационной «поправки» и «дополнительному» потеплению климата в последнем двадцатилетии.

V. F. Loginov

THE ASSESSSMENT OF UNCERTAINTIES IN GLOBAL TEMPERATURE CHANGE FOR THE PERIOD OF INSTRUMENTAL RECORD

The estimates of the differences of global temperature rows published by different authors in different years are given. Evaluations of urbanization «corrections» in global climate change and the possibility of occurrence of inhomogeneities of global climate change associated with a change in the density of the global meteorological network are considered.

It is shown that the difference of the average annual temperature global anomalies given by different authors (F. Jones, etc., National Center for Climatic Research USA), are systematic. They were a few hundredths of degree higher in the 60–90 years and lower – at the beginning of the XIX century, so that may indicate the overstating of the trend component temperature (global warming). Positive trend component in changing of the global average temperature in the period from 1908 to 1944 was comparable or even slightly higher than in the period of contemporary global warming (1976–2014). Currently there are no full explanation of this feature in changing the present climate.

Analysis of the series of values of the average global temperature, prepared in 2014, the Climatic Research Unit of the University of East Anglia and the Hadley Centre's portable (HadCRUT3), the National Climatic Data Center USA (NCDC), showed the presence of higher values of temperature anomalies of the American series as compared to the temperature data of the British series, especially in recent decades, and decrease of temperature during the warming of the Arctic.

The temperature in the warmest years (1998, 2002, 2003, 2005, 2010, 2014) is distinguish between each other a few hundredths of degree Celsius and is within the accuracy of calculating the annual average of global temperature obtained with the usage of different methods and different completeness climate databases.

The increase in the percentage of the number of meteorological stations in urban areas due to the closure of a large number of stations in remote areas of the world (Northern territories, Siberia and the Far East, the highlands in the CIS, as well as on the territory of a considerable number of African and Asian countries) could lead to an increase in urbanization «amendments» and «additional» climate warming in the last twenty years.

УДК 631.95

Г. А. Камышенко

ОЦЕНКА АДАПТАЦИИ СТРУКТУРЫ ПОСЕВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ К ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ

Для периода с 2000 по 2013 г. по методике российского ученого О. Д. Сиротенко рассчитаны коэффициенты адаптивности посевных площадей под культуры к изменяющимся агроклиматическим условиям, что позволило оценить эффективность территориального распределения площадей, выделенных под основные сельскохозяйственные культуры, возделываемые в Беларуси.

Изменчивость урожайности возделываемых культур напрямую связана с происходящими климатическими изменениями, проявляющимися в увеличении частоты экстремальных погодных явлений, таких как засухи, заморозки, ураганы, шквалистые ветры и др. Трендовая составляющая в рядах урожайности сельскохозяйственных культур определяется агротехнологиями, развитие которых в настоящее время является динамически устойчивым. Отклонения продуктивности культур от трендов обусловлены в значительной степени влиянием климатических факторов. Размах вариации продуктивности позволяет в общей форме судить о возможных резервах роста урожайности. Корректировка существующей территориальной привязки посевов и их размеров с учетом устойчивости продуктивности возделываемых сельскохозяйственных культур позволяют повысить адаптацию посевных площадей к изменяющимся агроклиматическим условиям.

Оценка согласованности изменений урожайности сельскохозяйственных культур и размеров посевных площадей, свидетельствующая о степени эффективности современного территориального распределения посевов, нами выполнена по методике, разработанной российским ученым О. Д. Сиротенко [9].

Методика базируется на расчете коэффициентов адаптации структуры посевных площадей к агроклиматическим условиям в пространственном аспекте. Для конкретного года по статистическим материалам на уровне административных районов по урожайности исследуемой культуры и размерам посевных площадей, отведенным под ее возделывание, рассчитывается степень их согласованности. Расчеты выполняются по формуле

$$K = 1 + r_{YS} V_Y V_S,$$

где K – коэффициент адаптивности посевных площадей под культуру к агроклиматическим условиям; r_{YS} – коэффициент корреляции между урожайностью культуры и размером посевных площадей; V_Y – коэффициент вариации ряда данных по урожайности культуры; V_S – коэффициент вариации ряда данных по посевным площадям.

Данный подход позволяет в упрощенной форме определить степень адаптации изменяющейся структуры посевных площадей к текущему агроклиматическому режиму территории. Низкое значение коэффициента адаптивности посевных площадей к погодно-климатическим условиям (< 1) свидетельствует о контрадаптивном распределении посевов культуры.

Ранее агроклиматическая оценка эффективности территориального распределения посевных площадей под отдельные сельскохозяйственные культуры Гродненской и Могилевской областей для периода с 1990 по 1999 г. с использованием методики О. Д. Сиротенко была выполнена под руководством В. Ф. Логинова [5]. Позднее нами были развиты исследования в данном направлении для более широкого круга возделываемых сельскохозяйственных культур на посевных площадях всех шести областей республики на временном интервале 2001–2006 гг. [4].

В представленном исследовании в качестве фактографической основы использованы опубликованные в различных статистических сборниках материалы за 2000–2013 гг. по продуктивности сельскохозяйственных культур (картофель, зерновые и зернобобовые культуры, лен-долгунец, сахарная свекла) и посевным площадям на уровне административных районов Беларуси. Выбор культур обусловлен их обеспеченностью опубликованными статистическими данными [6–8].

Картофель. Является важнейшей сельскохозяйственной культурой, возделываемой в Беларуси. Агроклиматическая оценка эффективности территориального распределения посевных площадей под картофель представлена в табл. 1. Здесь и далее в таблицах полужирным шрифтом выделены высокие значения коэффициентов, свидетельствующие о благоприятном территориальном распределении посевов, полужирным курсивом – контрадаптивное распределение.

Таблица 1. **Оценка адаптации посевных площадей, выделенных под картофель, к изменяющимся агроклиматическим условиям**

Год	Брестская обл.				Витебская обл.				Гомельская обл.			
	V_S	V_Y	r_{YS}	K	V_S	V_Y	r_{YS}	K	V_S	V_Y	r_{YS}	K
2000	0,45	0,24	0,02	1,02	0,56	0,23	0,38	1,05	0,49	0,21	0,05	1,00
2001	0,52	0,20	-0,19	***0,98***	0,53	0,23	0,17	1,02	0,46	0,23	-0,06	***0,99***
2002	0,53	0,27	-0,25	***0,96***	0,57	0,34	0,47	1,09	0,44	0,33	-0,14	***0,98***
2003	0,51	0,25	-0,07	***0,99***	0,64	0,26	0,19	1,03	0,53	0,23	0,54	1,07
2004	0,49	0,22	-0,10	***0,99***	0,64	0,29	0,29	1,05	0,53	0,15	0,28	1,02
2005	0,48	0,28	0,09	1,01	0,69	0,24	0,57	1,10	0,52	0,18	0,28	1,03
2006	0,61	0,26	0,06	1,01	0,70	0,26	0,48	1,09	0,10	0,05	0,53	1,00
2007	0,67	0,26	0,38	1,07	0,76	0,31	0,51	**1,12**	0,51	0,18	0,53	1,05
2008	0,66	0,22	0,21	1,03	0,71	0,35	0,51	**1,13**	0,46	0,20	0,27	1,02
2009	0,63	0,21	0,05	1,01	0,67	0,39	0,50	**1,13**	0,48	0,15	0,23	1,02
2010	0,56	0,23	0,37	1,05	0,64	0,58	0,52	**1,20**	0,54	0,23	0,20	1,03
2011	0,53	0,22	0,10	1,01	0,71	0,48	0,63	**1,21**	0,56	0,24	0,44	1,06
2012	0,52	0,20	0,22	1,02	0,72	0,40	0,67	**1,19**	0,69	0,14	0,40	1,04
2013	0,53	0,25	0,39	1,05	0,93	0,43	0,67	**1,27**	0,85	0,16	0,28	1,04
Среднее	0,55	0,24	0,09	1,01	0,68	0,34	0,47	**1,12**	0,51	0,19	0,27	1,03

Год	Гродненская обл.				Минская обл.				Могилевская обл.			
	V_S	V_Y	r_{YS}	K	V_S	V_Y	r_{YS}	K	V_S	V_Y	r_{YS}	K
2000	0,28	0,24	-0,14	***0,99***	0,32	0,24	0,05	1,00	0,75	0,33	0,37	1,09
2001	0,27	0,21	-0,23	***0,99***	0,31	0,35	0,04	1,00	0,74	0,25	0,36	1,07
2002	0,29	0,32	-0,27	***0,97***	0,39	0,26	0,16	1,02	0,76	0,26	0,31	1,06
2003	0,28	0,21	0,22	1,01	0,40	0,23	0,19	1,02	0,82	0,28	0,64	**1,15**
2004	0,30	0,31	-0,09	***0,99***	0,39	0,28	0,22	1,02	0,93	0,27	0,60	**1,15**
2005	0,41	0,28	-0,23	***0,97***	0,47	0,44	-0,01	***1,00***	0,95	0,30	0,33	1,09
2006	0,41	0,26	-0,18	***0,98***	0,47	0,27	0,40	1,05	1,06	0,38	0,43	**1,17**
2007	0,48	0,23	-0,08	***0,99***	0,44	0,22	0,49	1,05	1,10	0,28	0,43	**1,13**
2008	0,44	0,17	-0,19	***0,99***	0,45	0,25	0,44	1,05	1,00	0,25	0,48	**1,12**
2009	0,51	0,18	-0,02	***1,00***	0,49	0,18	0,52	1,05	1,03	0,29	0,36	1,11
2010	0,57	0,17	-0,08	***0,99***	0,55	0,28	0,35	1,05	1,06	0,32	0,30	1,10
2011	0,57	0,26	-0,01	***1,00***	0,49	0,20	0,51	1,05	0,99	0,29	0,32	1,09
2012	0,63	0,22	-0,08	***0,99***	0,54	0,21	0,31	1,04	0,90	0,27	0,31	1,08
2013	0,60	0,21	-0,05	***0,99***	0,65	0,28	0,25	1,05	0,84	0,35	0,36	1,10
Среднее	0,43	0,23	-0,10	***0,99***	0,45	0,26	0,28	1,03	0,92	0,29	0,40	1,11

В Брестской области по картофелю выделяется период с 2001 по 2004 г., для которого установлена отрицательная корреляция урожайности культуры с размерами посевных площадей, свидетельствующая о контрадаптивном распределении посевов в эти годы. При значительных выделенных посевных площадях в 2001–2003 гг. урожайность картофеля оказалась самой низкой на всем исследованном временном интервале. Известно, что на урожайность картофеля существенно влияет уровень увлажнения почв, поэтому основной причиной недобора урожая в 2002 г. стали засухи, охватившие всю территорию не только области, но и страны в целом. Несмотря на низкий коэффициент адаптивности посевных площадей под культуру к земельно-климатическим условиям в 2004 г., урожайность картофеля не пострадала, что можно объяснить тем, что этот год отличался благоприятными условиями для возделывания практически всех культур. Следующий значительный спад урожайности картофеля произошел в 2009 г., что в табл. 1 отражено низким значением коэффициента корреляции между урожайностью культуры и размерами посевных площадей. В Брестской области в период с 2000 по 2013 г. размеры посевных площадей под картофель уменьшились. При этом наблюдался рост урожайности культуры, который, однако, носил волнообразный характер, свидетельствующий о неустойчивости продуктивности культуры.

В Витебской области отмечается благоприятная ситуация по адаптации посевов картофеля к происходящим климатическим изменениям. Среднее значение коэффициента адаптивности по области равно 1,12, что обусловлено высокими расчетными значениями начиная с 2005 г. Полученный результат подтверждает установленный ранее факт, что на севере республики (в Витебской области) наблюдается уменьшение отрицательного влияния изменяющихся погодных условий на развитие картофелеводства [3].

Кроме того, на ситуации в Витебской области положительно сказалось изменение размеров посевных площадей в районах с низкой урожайностью картофеля, среди которых выделяются Браславский, Дубровенский, Россонский и Шумилинский районы со средней урожайностью картофеля на исследованном временном интервале ниже 100 ц/га. Так, в низкопродуктивном Дубровенском районе посевные площади, выделенные под культуру, снизились с 212 га в 2000 г. до 26 га в 2013 г. В последние годы резко сократились посевные площади и в Шумилинском районе, где урожайность значительно уступает среднему значению по области. В Витебской области самым высокопродуктивным районом по картофелю является Толочинский район, при этом размеры посевных площадей здесь выросли от 563 га в 2000 г. до 832 га в 2013 г.

В Гомельской области урожайность картофеля в 2001–2002 гг. при самых больших выделенных под культуру посевных площадях оказалась низкой, уступающей по величине продуктивности культуры в последующие годы. Так, в Жлобинском и Калинковичском районах в 2001 г. картофелем были заняты самые большие посевные площади в области – 1702 и 1358 га при среднем размере по области 832,5 га, а урожайность оказалась самой низкой – 63 и 50 ц/га, соответственно. Несмотря на последовавшее в 2002 г. уменьшение размеров посевных площадей, выделенных под картофель, ситуация по урожайности культуры в целом ухудшилась. Основной причиной недобора урожая в 2002 г. стали засухи. В последующие годы ситуация улучшилась, но незначительно, что дает основание для вывода об отсутствии в области учета изменяющихся земельно-климатических условий при выделении посевных площадей под картофель. В ходе ранее выполненных исследований установлено, что на юго-востоке республики преобладают пахотные площади, снижение урожайности на которых превышает 6 %, а в Добрушском, Кормянском, Светлогорском и Хойникском районах Гомельской области потери продуктивности культуры изменяются от 11 до 28 %. Здесь недоборы урожая обусловлены не только изменившимися погодно-климатическими условиями, но и сложившимися социально-экономическими условиями, наличием низкоплодородных пахотных земель [3].

Гродненская область располагает лучшими по плодородию пахотными площадями и является территорией, благоприятной для ведения сельского хозяйства и особенно растениеводства. Самые высокоурожайные по картофелю районы в республике – это Берестовицкий, Волковысский, Гродненский, Кореличский, Мостовский и Щучинский. Однако, несмотря на благоприятные условия для растениеводства в области, расчеты показали полное отсутствие в регионе учета изменяющихся условий хозяйствования при выделении посевных площадей под картофель. На всем исследованном временном интервале, за исключением 2003 г., наблюдается отрицательная корреляция между урожайностью картофеля и размерами посевных площадей, что свидетельствует о контрадаптивном распределении посевов этой культуры. Опираясь на данный результат, можно сделать вывод о неиспользованном в области в настоящее время резерве в картофелеводстве. Пересмотр размеров посевных площадей под культуру с учетом современных агроклиматических условий хозяйствования позволит повысить устойчивость и урожайность картофеля.

Из табл. 1 видно, что коэффициент, отражающий степень адаптации посевных площадей, отведенных под картофель в Минской области, к погодно-климатическим условиям, низок. В 2005 г. коэффициент корреляции между урожайностью картофеля и размерами посевных площадей отрицателен. Самые высокие значения, не превышающие, однако, 1,05, отмечаются начиная с 2006 г. В Минской области, как и в стране в целом, произошло уменьшение посевов этой традиционной для Беларуси культуры, обусловленное объективными причинами (недостаточным наличием современных хранилищ, нехваткой трудовых ресурсов и др.). При этом следует отметить, что значительное уменьшение посевных площадей под картофель в Несвижском и Клецком районах, располагающих самыми благоприятными агроэкологическими ресурсами относительно возделывания этой культуры, представляется недостаточно обоснованным.

В Могилевской области в целом сложилась благоприятная ситуация по адаптации посевов картофеля к современным условиям хозяйствования, о чем свидетельствует среднее значение коэффициента адаптивности, равное 1,11. Размеры посевных площадей в районах на исследованном временном интервале сильно варьировались, снижаясь в отдельные годы до крайне малых величин. Такие районы нами не учитывались в расчетах, что позволило избежать завышенных расчетных величин. В 2000 г. картофель в производственных масштабах возделывался на посевных площадях 21 района, в 2010 – 15 районов, в 2013 г. – на территории 18 районов. Вероятно, именно значительное изменение размеров посевных площадей повлияло на значение коэффициента адаптивности посевных площадей под картофель к агроклиматическим условиям территории.

Выводы по посевам картофеля. Несмотря на самую высокую урожайность картофеля в Гродненской области, установлено контрадаптивное распределение посевных площадей:

на малых по размеру посевных площадях, как правило, отмечается самая высокая продуктивность. Для центральной и южной части территории республики характерна низкая степень адаптации посевов к агроклиматическим условиям. На севере республики (в Витебской области) в последнее десятилетие отмечается благоприятная ситуация относительно территориального распределения посевных площадей, что способствует уменьшению отрицательного влияния изменяющихся погодных условий на развитие отрасли. В Могилевской области в целом сложилась благоприятная ситуация по адаптации посевов картофеля к современным условиям хозяйствования, о чем свидетельствует среднее значение коэффициента адаптивности (1,11), достигнутое за счет значительного изменения размеров посевных площадей.

Зерновые и зернобобовые культуры. Расчеты по зерновым и зернобобовым культурам в целом свидетельствуют о низкой согласованности урожайности культур с размерами посевов, что позволяет сделать вывод о слабой адаптации посевов к изменяющимся условиям хозяйствования (табл. 2).

Таблица 2. **Оценка адаптации посевных площадей, выделенных под зерновые и зернобобовые культуры, к изменяющимся агроклиматическим условиям**

Год	Брестская обл.				Витебская обл.				Гомельская обл.			
	V_S	V_Y	r_{YS}	K	V_S	V_Y	r_{YS}	K	V_S	V_Y	r_{YS}	K
2000	0,34	0,21	0,19	1,01	0,36	0,17	0,49	1,03	0,45	0,25	0,19	1,02
2001	0,35	0,17	-0,02	***1,00***	0,37	0,17	0,49	1,03	0,43	0,20	0,10	1,01
2002	0,34	0,14	-0,06	***1,00***	0,40	0,16	0,54	1,03	0,41	0,17	0,21	1,01
2003	0,34	0,18	0,02	1,00	0,39	0,16	0,69	1,04	0,44	0,15	0,15	1,01
2004	0,34	0,20	0,10	1,01	0,39	0,14	0,72	1,04	0,42	0,16	0,29	1,02
2005	0,35	0,21	0,00	***1,00***	0,40	0,14	0,68	1,04	0,39	0,15	0,43	1,03
2006	0,35	0,16	-0,17	***0,99***	0,40	0,15	0,67	1,04	0,42	0,21	0,43	1,04
2007	0,34	0,20	-0,03	***1,00***	0,37	0,13	0,55	1,03	0,44	0,22	0,52	1,05
2008	0,34	0,17	-0,02	***1,00***	0,37	0,14	0,72	1,04	0,44	0,19	0,50	1,04
2009	0,33	0,15	0,09	1,00	0,36	0,13	0,53	1,02	0,44	0,17	0,26	1,02
2010	0,34	0,15	0,27	1,01	0,35	0,16	0,60	1,03	0,43	0,17	0,27	1,02
2011	0,31	0,19	0,28	1,02	0,33	0,13	0,54	1,02	0,45	0,15	0,35	1,02
2012	0,34	0,17	0,21	1,01	0,32	0,14	0,44	1,02	0,43	0,14	0,26	1,02
2013	0,35	0,20	0,31	1,02	0,32	0,18	0,56	1,03	0,48	0,15	0,36	1,03
Среднее	0,34	0,18	0,08	1,01	0,37	0,15	0,59	1,03	0,43	0,18	0,31	1,02
Год	Гродненская обл.				Минская обл.				Могилевская обл.			
	V_S	V_Y	r_{YS}	K	V_S	V_Y	r_{YS}	K	V_S	V_Y	r_{YS}	K
2000	0,24	0,22	0,35	1,02	0,27	0,34	0,31	1,03	0,38	0,17	0,49	1,03
2001	0,24	0,25	0,61	1,04	0,26	0,33	0,08	1,01	0,37	0,13	0,42	1,02
2002	0,26	0,25	0,41	1,03	0,27	0,31	0,18	1,01	0,40	0,18	0,51	1,04
2003	0,28	0,25	0,57	1,04	0,25	0,26	0,27	1,02	0,42	0,22	0,51	1,05
2004	0,26	0,27	0,42	1,03	0,24	0,27	0,27	1,02	0,44	0,17	0,44	1,03
2005	0,27	0,28	0,58	1,04	0,27	0,35	0,39	1,04	0,46	0,16	0,26	1,02
2006	0,27	0,29	0,50	1,04	0,25	0,28	0,27	1,02	0,44	0,18	0,47	1,04
2007	0,26	0,23	0,53	1,03	0,25	0,28	0,23	1,02	0,45	0,20	0,66	1,06
2008	0,25	0,21	0,50	1,03	0,25	0,30	0,17	1,01	0,44	0,18	0,60	1,05
2009	0,25	0,16	0,42	1,02	0,25	0,21	0,22	1,01	0,44	0,13	0,49	1,03
2010	0,25	0,24	0,49	1,03	0,28	0,33	0,28	1,03	0,44	0,19	0,55	1,05
2011	0,25	0,26	0,39	1,03	0,27	0,23	0,22	1,01	0,44	0,23	0,57	1,06
2012	0,24	0,21	0,47	1,02	0,27	0,25	0,24	1,02	0,41	0,21	0,43	1,04
2013	0,23	0,29	0,53	1,03	0,29	0,32	0,30	1,03	0,40	0,24	0,54	1,05
Среднее	0,25	0,24	0,48	1,03	0,26	0,29	0,25	1,02	0,42	0,19	0,50	1,04

Для зерновых и зернобобовых культур Брестской области среднее значение коэффициента адаптивности выделенных посевных площадей к природным условиям территории равно 1,01, т.е. агроклиматические условия при территориальном распределении посевов учтены слабо. При этом в 2001–2002 и 2006–2008 гг. коэффициенты корреляции урожайности зерновых и зернобобовых культур с размерами выделенных посевных площадей отрицательны, на основании чего можно сделать вывод о контрадаптивном распределении посевов этих культур в указанные годы. В 2006 г. в Ивацевичском, Лунинецком и Пинском районах были выделены обширные

площади под посевы зерновых и зернобобовых культур, а их продуктивность оказалась крайне низкой. В 2008 г. наблюдалась противоположная ситуация: при повсеместном (за исключением Ивановского, Ляховичского и Малоритского районов) снижении размеров посевных площадей данные культуры показали высокую урожайность. Следует отметить, что в Пинском районе на значительных по размерам посевных площадях отмечается постоянно низкая продуктивность зерновых и зернобобовых культур. Наиболее высокопродуктивными почвами располагают Барановичский и Ляховичский районы, расположенные на северо-востоке области. В последние годы при обширных посевных площадях, выделенных под зерновые и зернобобовые культуры, эти районы характеризуются высокой продуктивностью возделываемых культур.

Согласно расчетам, зерновое производство Витебской области характеризуется невысокими значениями коэффициента адаптации посевных площадей к современным агроклиматическим условиям, незначительно превышающими аналогичный показатель по Брестской области. Коэффициент корреляции урожайности и размеров посевных площадей в среднем составляет 0,59, что свидетельствует об определенной согласованности между ними. Самыми высокопродуктивными районами области по производству зерна на исследованном временном интервале являются Оршанский, Дубровенский и Верхнедвинский административные районы, располагающие самыми большими посевами зерновых и зернобобовых культур; к самым низкопродуктивным относятся Россонский и Ушачский районы с малыми посевными площадями. Урожайность зерновых культур в Витебской области заметно меняется по годам, что обусловлено как погодными условиями, так и различными агротехническими факторами.

Низкие значения коэффициента адаптивности посевных площадей к земельно-климатическим условиям характеризуют посевы зерновых и зернобобовых культур в Гомельской, Гродненской и Минской областях. При этом ситуация по отдельным культурам, входящим в перечень зерновых и зернобобовых культур, не столь однозначна. Так, выполненный ранее анализ адаптации выделенных под зерновые культуры посевных площадей к изменяющимся условиям хозяйствования [4] показал, что в начале исследуемого временного интервала в этих областях отмечалась благоприятная ситуация по возделыванию посевов озимой пшеницы; для посевных площадей, выделенных под озимую рожь и овес, установлено контрадаптивное пространственное распределение.

Для зерновых и зернобобовых культур Могилевской области также установлено низкоэффективное территориальное распределение посевов. Самое высокое значение коэффициента адаптации – в 2007 и 2011 гг. (1,06), самое низкое – в 2001 и 2005 гг. (1,02).

Выводы по посевам зерновых и зернобобовых культур. Рассчитанные значения коэффициента адаптивности посевных площадей под зерновые и зернобобовые культуры к агроклиматическим условиям свидетельствуют о низкой степени адаптации посевов к изменяющимся условиям хозяйствования.

Лен-долгунец. Лен издавна считается символом Беларуси, являясь традиционно выращиваемой технической культурой. При этом льноводство в нашей стране – единственная отрасль растениеводства, производящая сырье для легкой промышленности и формирующая белорусский экспорт. В последние годы посевные площади, выделенные под эту важную техническую культуру, находятся на уровне 65 тыс. га, однако в начале 90-х годов прошлого столетия под посевами льна-долгунца было занято 149 тыс. га, а в 1950 г. – 256 тыс. га посевных площадей в хозяйствах всех категорий.

Агроклиматическая оценка эффективности территориального распределения посевных площадей, выделенных под лен-долгунец, представлена в табл. 3. Из расчетов исключены данные по районам с крайне малыми посевными площадями, значительно уступающими по размеру среднему значению по области. Это позволило избежать завышения расчетных оценок.

В Брестской области территориальное распределение посевных площадей под лен-долгунец в 2001 и 2003 гг. оказалось контрадаптивным, низкий коэффициент корреляции между урожайностью и размером посевных площадей отмечен и в 2011 г. В остальные годы исследуемого временного интервала ситуация по выделению посевных площадей под лен благоприятна. Начиная с 2007 г. лен-долгунец в Брестской области возделывается на территории только 6 административных районов, при этом самые большие площади выделены под эту культуру в Ляховичском и Пружанском районах, отличающихся высоким бонитетом пахотных земель. Продуктивность культуры в Брестской области самая высокая по стране. В Пружанском районе в 2013 г. урожайность льноволокна достигла 17,4 ц/га.

Благоприятными условиями для возделывания льна-долгунца являются прохладный влажный климат и тяжелые почвы. В Беларуси к наиболее пригодным для возделывания этой технической культуры сельскохозяйственным территориям относятся северные и северо-восточные регионы страны, в частности пашни Витебской области. Согласно исследованиям Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, 54 % пахотных земель Витебской области относятся к группе наиболее пригодных для возделывания льна-долгунца и только 7 % малопригодны [1].

На территории Витебской области расположено наибольшее количество предприятий льноводческой отрасли страны. Самые большие посевные площади под лен-долгунец выделены в Дубровенском и Оршанском районах, пахотные земли которых характеризуются наиболее высокими значениями балла плодородия по области. При этом самой высокой продуктивностью культуры характеризуется Дубровенский район. В целом в области урожайность льна-долгунца низкая и уступает среднему значению по стране. Однако коэффициент адаптивности посевных площадей к современным условиям хозяйствования по области достаточно высок (1,09), при территориальном распределении посевов в целом учитывается плодородие почв, что способствует ведению сельскохозяйственного производства даже при неблагоприятных климатических условиях. Можно сделать вывод, что проблемы в льноводстве Витебской области обусловлены не столько природными факторами, сколько недостаточным уровнем агротехники, низкой степенью выполнения необходимого комплекса агротехнических работ, способствующих формированию и сохранению урожая.

Таблица 3. **Оценка адаптации посевных площадей, выделенных под лен-долгунец, к изменяющимся агроклиматическим условиям**

Год	Брестская обл.				Витебская обл.				Гомельская обл.			
	V_S	V_Y	r_{YS}	K	V_S	V_Y	r_{YS}	K	V_S	V_Y	r_{YS}	K
2000	0,65	0,22	0,58	1,08	0,45	0,35	0,67	1,10	0,69	0,41	-0,38	***0,89***
2001	0,71	0,36	-0,20	***0,95***	0,42	0,34	0,32	1,05	0,73	0,32	-0,49	***0,89***
2002	0,74	0,26	0,06	1,01	0,38	0,37	0,21	1,03	0,72	0,44	-0,37	***0,88***
2003	0,65	0,21	-0,13	***0,98***	0,43	0,57	0,54	**1,13**	0,56	0,28	-0,34	***0,95***
2004	0,63	0,26	0,82	**1,13**	0,46	0,60	0,71	**1,19**	0,59	0,23	-0,48	***0,93***
2005	0,53	0,18	0,69	1,06	0,43	0,27	0,67	1,08	0,60	0,44	-0,16	***0,96***
2006	0,42	0,33	0,80	1,11	0,43	0,59	0,37	1,10	0,57	0,36	-0,15	***0,97***
2007	0,78	0,40	0,07	1,02	0,42	0,29	0,18	1,02	0,69	0,24	-0,23	***0,96***
2008	0,67	0,22	0,51	1,07	0,40	0,27	0,28	1,03	0,65	0,20	0,04	1,01
2009	0,76	0,35	0,62	**1,16**	0,49	0,37	0,11	1,02	0,60	0,18	0,82	1,09
2010	0,82	0,32	0,41	1,11	0,57	0,25	0,79	**1,12**	0,96	0,13	-0,06	*0,99*
2011	0,82	0,16	0,01	1,00	0,50	0,25	0,59	1,07	0,85	0,19	0,73	**1,12**
2012	0,92	0,25	0,33	1,08	0,50	0,32	0,54	1,09	0,71	0,63	0,72	**1,32**
2013	1,15	0,32	0,34	**1,13**	0,63	0,38	0,74	**1,18**	0,86	0,24	0,30	1,06
Среднее	0,73	0,27	0,42	1,08	0,47	0,37	0,48	1,09	0,70	0,31	0,00	1,00

Год	Гродненская обл.				Минская обл.				Могилевская обл.			
	V_S	V_Y	r_{YS}	K	V_S	V_Y	r_{YS}	K	V_S	V_Y	r_{YS}	K
2000	0,19	0,21	0,38	1,01	0,29	0,32	-0,18	***0,98***	0,68	0,31	-0,01	***1,00***
2001	0,19	0,39	0,37	1,03	0,31	0,24	0,12	1,01	0,68	0,18	0,03	1,00
2002	0,22	0,25	0,27	1,02	0,41	0,34	0,34	1,05	0,58	0,44	-0,12	***0,97***
2003	0,28	0,22	0,26	1,02	0,43	0,26	0,63	1,07	0,56	0,23	0,19	1,03
2004	0,28	0,18	0,63	1,03	0,47	0,22	0,33	1,03	0,59	0,19	-0,31	***0,97***
2005	0,37	0,22	0,37	1,03	0,52	0,28	0,22	1,03	0,65	0,26	-0,27	***0,95***
2006	0,44	0,35	0,49	1,08	0,41	0,30	-0,07	***0,99***	0,68	0,38	0,37	1,09
2007	0,50	0,18	0,43	1,04	0,46	0,23	0,22	1,02	0,62	0,32	0,70	**1,14**
2008	0,50	0,24	0,65	1,08	0,55	0,19	0,66	1,07	0,63	0,26	-0,08	*0,99*
2009	0,68	0,14	0,54	1,05	0,49	0,27	-0,16	***0,98***	0,63	0,27	0,25	1,04
2010	0,49	0,28	0,63	1,09	0,39	0,29	0,10	1,01	0,60	0,24	-0,19	***0,97***
2011	0,46	0,15	0,67	1,05	0,36	0,19	-0,23	***0,98***	0,53	0,28	0,05	1,01
2012	0,46	0,23	0,47	1,05	0,42	0,32	0,14	1,02	0,57	0,29	0,56	1,09
2013	0,49	0,30	0,53	1,08	0,55	0,31	0,11	1,02	0,64	0,23	0,54	1,08
Среднее	0,40	0,24	0,48	1,05	0,43	0,27	0,16	1,02	0,62	0,28	0,12	1,02

В Гомельской области ситуация по посевам льна-долгунца в 9-ти из 14-ти лет контрадаптивная. В связи с неудовлетворительной ситуацией в области взят курс на постепенное снижение размеров посевов льна-долгунца. В начале исследуемого временного интервала эта культура возделывалась в сельскохозяйственных организациях 10 административных районов, в 2011 г. – 7, а в 2012 г. – только 6 районов. При этом в последние годы в районах с большими выделенными посевными площадями урожайность оказалась высокой, а с малыми – низкая, т. е. в эти годы выявлена высокая согласованность между посевными площадями и урожайностью культуры, что положительно сказалось на значении коэффициента адаптивности.

В Гродненской области не выявлено контрадаптивного распределения посевов льна, однако и значения коэффициента адаптивности здесь невысокие, уступающие данному показателю по Брестской и Витебской областям.

Ситуация в Минской и Могилевской областях по размещению посевов льна-долгунца аналогична таковой по Гомельской области, описанной выше. Здесь также в ряде лет отмечается контрадаптивное распределение посевных площадей под лен, а среднее значение коэффициента адаптивности равно 1,02.

Выводы по посевам льна-долгунца. Выявлено благоприятное территориальное распределение посевов льна-долгунца в Витебской и Брестской областях (с 2007 г. эта культура в Брестской области возделывается на территории только 6 административных районов). На остальной части территории республики отмечается низкая степень адаптивности посевов к современным агроклиматическим условиям, при этом для Гомельской и Могилевской областей выявлено преимущественно контрадаптивное территориальное распределение посевных площадей под культуру. В последние годы в Гомельской области размеры посевов значительно снизились, что положительно отразилось на значении коэффициента адаптивности в 2011–2013 гг.

Сахарная свекла. Является одной из важнейших технических культур, возделываемых в Беларуси. Почвенно-климатические условия республики позволяют при высокой агротехнике и обеспечении технологий, достаточном количестве внесения органических и минеральных удобрений получать высокие урожаи сахарной свеклы. Исследования [2] показали, что наблюдаемое в настоящее время увеличение продолжительности периода со среднесуточными температурами 15 ºС и выше негативно сказывается на урожайности сахарной свеклы. В промышленных масштабах данная культура возделывается в сельскохозяйственных организациях Брестской, Гродненской и Минской областей. В табл. 4 показано, что за последние годы посевные площади и валовые сборы корнеплодов в Гродненской и Минской областях существенно возросли, менее значительный рост отмечается в Брестской области.

Анализ эффективности адаптации посевов сахарной свеклы к агроклиматическим условиям Брестской области показал, что посевные площади под эту культуру выделены без должного учета особенностей региона (табл. 5).

Таблица 4. **Посевные площади и объемы производства корнеплодов сахарной свеклы в сельскохозяйственных организациях**

Область	2000 г.		2007 г.		2013 г.	
	посевная площадь, тыс. га	валовой сбор, тыс. т	посевная площадь, тыс. га	валовой сбор, тыс. т	посевная площадь, тыс. га	валовой сбор, тыс. т
Брестская	19,4	479,6	24,5	870,1	23,0	832,5
Гродненская	15,0	510,9	30,6	1399,6	36,4	1802,0
Минская	15,6	448,8	32,0	1088,3	36,0	1485,3

Таблица 5. **Оценка адаптации посевных площадей, выделенных под сахарную свеклу, к изменяющимся агроклиматическим условиям**

Год	Брестская обл.				Гродненская обл.				Минская обл.			
	V_S	V_Y	r_{YS}	K	V_S	V_Y	r_{YS}	K	V_S	V_Y	r_{YS}	K
2000	0,61	0,16	0,35	1,03	1,21	0,26	0,79	**1,25**	1,20	0,35	0,34	**1,14**
2001	0,63	0,21	0,54	1,07	1,25	0,26	0,82	**1,27**	1,08	0,37	0,36	**1,14**
2002	0,66	0,19	0,43	1,06	1,10	0,35	0,74	**1,28**	1,06	0,32	0,36	**1,12**
2003	0,53	0,33	-0,22	***0,96***	1,01	0,20	0,57	**1,12**	1,18	0,27	0,08	1,03
2004	0,48	0,23	0,36	1,04	0,88	0,19	0,52	1,09	1,08	0,30	0,62	**1,20**
2005	0,48	0,23	0,35	1,04	0,71	0,19	0,65	1,09	0,97	0,19	0,38	1,07
2006	0,52	0,26	0,59	1,08	0,66	0,23	0,79	**1,12**	1,00	0,21	0,51	1,11
2007	0,52	0,21	0,39	1,04	0,75	0,18	0,72	1,10	1,03	0,29	0,17	1,05
2008	0,46	0,19	0,18	1,02	0,74	0,21	0,74	**1,12**	1,07	0,20	0,53	1,11
2009	0,50	0,15	0,14	1,01	0,75	0,14	0,71	1,07	0,83	0,24	0,41	1,08
2010	0,40	0,15	0,21	1,01	0,71	0,12	0,53	1,05	0,80	0,22	0,09	1,02
2011	0,39	0,20	-0,14	***0,99***	0,68	0,18	0,33	1,04	0,79	0,25	0,45	1,09
2012	0,38	0,16	0,08	1,00	0,63	0,17	0,60	1,06	0,68	0,19	0,31	1,04
2013	0,42	0,19	-0,19	***0,98***	0,61	0,18	0,50	1,05	0,65	0,18	0,00	***1,00***
Среднее	0,47	0,21	0,18	1,02	0,84	0,20	0,64	**1,12**	0,96	0,26	0,33	1,09

Последние годы исследуемого периода характеризуются отрицательными значениями коэффициентов корреляции между размерами посевных площадей и урожайностью, что свидетельствует о контрадаптивном распределении посевов.

Для Гродненской и Минской областей в целом установлена благоприятная ситуация относительно территориального распределения посевных площадей под сахарную свеклу, среднее значение коэффициента адаптивности на временном интервале 2000–2013 гг. равно 1,12 и 1,09 соответственно. Однако следует отметить, что высокие значения коэффициента адаптивности характерны для первой половины исследуемого интервала, в последние годы они значительно снизились, достигнув в Минской области в 2013 г. своего минимума. Слабый учет изменяющихся в настоящее время агроклиматических условий территории является одним из факторов, не позволяющим получать потенциально возможную урожайность.

Выводы по посевам сахарной свеклы. Брестская область характеризуется низкой степенью адаптации посевов к агроклиматическим условиям. В Гродненской и Минской областях в первой половине исследуемого временного интервала установлена благоприятная ситуация относительно территориального распределения посевных площадей под культуру, значительно ухудшившаяся в последние годы.

Исследования адаптивности структуры посевных площадей к современным агроклиматическим условиям позволяют систематизировать статистические данные, что открывает дополнительные возможности для разработки практических предложений по повышению эффективного ведения растениеводства.

Литература

1. **Голуб, И. А.** Рекомендации по возделыванию льна-долгунца с учетом особенностей 2005 года / И. А. Голуб, И. М. Богдевич, С. В. Сорока // Белорусское сельское хозяйство. – 2005. – № 5. – С.14–17.

2. **Давыденко, О.В.** Агроклиматическое районирование Беларуси в условиях изменения климата / О. В. Давыденко // Вестник Белорус. гос. ун-та. Сер. 2. Химия. Биология. География. – 2009. – № 1. – С. 106–111.

3. **Камышенко, Г. А.** Климатическая составляющая в изменении урожайности картофеля / Г. А. Камышенко // Природопользование. – Минск, 2014. – Вып. 25. – С. 39–46.

4. **Камышенко, Г. А.** Оценка эффективности использования почвенно-климатических ресурсов при территориальном распределении посевов / Г. А. Камышенко // Весці БДПУ. Сер. 3, 2008. – Вып. 1. – С. 66–71.

5. **Логинов, В. Ф.** Агроклиматическая оценка эффективности территориального распределения посевных площадей под различные культуры / В. Ф. Логинов [и др.] // Природопользование. – Минск, 2003. – Вып. 9. – С. 59–61.

6. **Регионы** Республики Беларусь, 2005 : стат. сб.. – Минск, 2005.

7. **Регионы** Республики Беларусь. Социально-экономические показатели. 2012 : стат. сб. – Минск, 2012. – Т.1.

8. **Сельское** хозяйство Республики Беларусь. 2014 : стат. сб. – Минск, 2014.

9. **Сиротенко, О. Д.** Агрометеорологические аспекты оптимизации использования земельных ресурсов / О. Д. Сиротенко, В. Н. Павлова // Метеорология и гидрология. – 2000. – № 12. – С. 84–95.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 27.04.2015 г.

Г. А. Камышенко

ОЦЕНКА АДАПТАЦИИ СТРУКТУРЫ ПОСЕВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ К ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ

Для периода 2000–2013 гг. оценена эффективность территориального распределения посевов основных возделываемых в Беларуси сельскохозяйственных культур посредством расчета коэффициента адаптивности посевных площадей к агроклиматическим условиям территории как функции коэффициентов вариации и корреляции данных по урожайности культуры и размерам выделенных посевных площадей.

Относительно структуры посевных площадей под картофель для большей части территории республики сделан вывод о низкой степени адаптации посевов к изменяющимся условиям хозяйствования, при этом для Гродненской области установлено их контрадаптивное распределение. На севере республики (в Витебской области) в последнее десятилетие отмечается благоприятная ситуация относительно территориального распределения посевных площадей под картофель; в Могилевской области за счет значительного изменения размеров посевных площадей в целом в регионе сложилась благоприятная ситуация по адаптации посевов картофеля к современным агроклиматическим условиям.

Значения коэффициента адаптивности посевных площадей под зерновые и зернобобовые культуры к агроклиматическим условиям свидетельствуют о низкой степени адаптации посевов к изменяющимся условиям хозяйствования.

Выявлено благоприятное территориальное распределение посевов льна-долгунца в Витебской и Брестской областях, на остальной части территории республики отмечается низкая степень адаптивности посевов к современным агроклиматическим условиям, при этом для Гомельской и Могилевской областей свойственно преимущественно контрадаптивное территориальное распределение посевных площадей под культуру. В последние годы в Гомельской области размеры посевов значительно снизились, что положительно отразилось на значении коэффициента адаптивности в 2011–2013 гг.

Посевы сахарной свеклы в Брестской области характеризуются низкой степенью адаптации к агроклиматическим условиям; в Гродненской и Минской областях в первой половине исследуемого временного интервала установлена благоприятная ситуация относительно территориального распределения посевных площадей под культуру, значительно ухудшившаяся в последние годы.

G. A. Kamyshenko

ADAPTATION ASSESSMENT OF STRUCTURE OF SOWN AREAS TO CHANGING AGRO-CLIMATIC CONDITIONS

The effectiveness of the territorial distribution of the main crops cultivated in Belarus by calculating the coefficient of adaptability acreage to the agro-climatic conditions of the area as a function of the coefficients of variation and correlation of data on crop yield and size of the allocated acreage has been evaluated for the period of 2000–2013.

Regarding the structure of the potato acreage for the majority of territory of the country has been concluded the low degree of adaptation of crops to changing economic conditions, and the Grodno region to set their kontradaptative distribution. In the north of the country (in the Vitebsk region) has seen a favorable situation regarding the territorial distribution of the acreage of potatoes in the last decade; in Mogilev region is due to the significant changes in the size of cultivated areas in the whole region a favorable situation on the potato crop adaptation to modern agro-climatic conditions.

Values of the adaptability coefficient of the acreage of grain and leguminous crops to agro-climatic conditions indicate a low degree of adaptation of crops to changing management conditions.

Favorable territorial distribution of crops flax in Vitebsk and Brest regions, the rest of the territory of the country has a low degree of adaptability of crops to modern agro-climatic conditions, while for the Gomel and Mogilev regions tend mostly kontradaptative territorial distribution of acreage culture has been revealed. The size of crops significantly reduced in the Gomel region in recent years, which has a positive impact on the value of the coefficient of adaptability in 2011–2013.

Crops of sugar beets in the Brest region are characterized by low degree of adaptation to the agro-climatic conditions; Grodno and Minsk regions in the first half of the studied time interval set a favorable situation regarding the territorial distribution of the acreage of the culture, it has deteriorated significantly in recent years.

УДК 504.453.054

В. В. Селицкая, Е. В. Санец

РАЗРАБОТКА ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПО БИОГЕННЫМ ВЕЩЕСТВАМ

Приведен анализ существующих методов оценки качества поверхностных вод и их экологического состояния по гидрохимическим показателям, раскрывается несоответствие данных методов ожиданиям природоохранной стратегии на долгосрочную перспективу, объясняется необходимость разработки методов оценки, адекватных требованиям экологической политики. Изложены новые подходы авторов к выявлению аномальных концентраций биогенных веществ, эталонных концентраций и оценке экологического состояния поверхностных вод с учетом доступности данных и условий формирования химического состава поверхностных вод на этапе непрерывных антропогенных нагрузок.

Приоритетной задачей экологической политики страны на период до 2025 г. является снижение вредных воздействий на окружающую среду в виде сокращения сброса в водные объекты азота и фосфора на 50 % [14]. Для успешной реализации поставленной задачи необходим не только глубокий анализ состояния водных экосистем в различных регионах страны с выявлением водных объектов, требующих первоочередных мер по минимизации антропогенной нагрузки, но и анализ эколого-экономической целесообразности проведения природоохранных мероприятий в каждом конкретном случае (например, на сколько процентов нужно снизить количество вносимых на поля фосфатных и азотных удобрений, чтобы с минимальным ущербом для сельского хозяйства достичь устойчивого функционирования водных экосистем).

Увеличение содержания биогенных элементов в воде характерно для многих водных объектов Беларуси. При этом установленные в стране предельно допустимые концентрации (ПДК) фосфора фосфатного и азота нитратного в разы превышают экологически приемлемую с точки зрения защиты водных объектов от эвтрофирования величину – 0,03 мгР/дм^3 фосфора фосфатного и 0,50 мгN/дм^3 азота нитратного [4, 7, 13]. Используемая при расчете индекса загрязненности вод (ИЗВ) предельно допустимая концентрация фосфора фосфатного вдвое превышает рекомендуемую экологическую норму, а концентрация азота нитратного вовсе не принимается в расчет.

Документы, регламентирующие правила определения химического (гидрохимического) статуса речных и озерных экосистем с использованием подходов Водной рамочной директивы Европейского Союза [20], вводят в природоохранную политику понятие «химического (гидрохимического) статуса», который определяется для водных объектов исходя из условий их формирования – принадлежности к речному бассейну, высоты над уровнем моря и площади водосбора [15]. Несомненно, создание такого рода документов является существенным шагом на пути совершенствования национальных подходов к оценке состояния поверхностных вод. Тем не менее «химический (гидрохимический) статус» также является весьма обобщенным и осредненным показателем. Во-первых, данные, используемые для определения «эталонных концентраций» (1-й класс качества), охватывают относительно короткий техногенный период – не более 15 последних лет наблюдений. Во-вторых, конечная оценка статуса свидетельствует о наличии, отсутствии или степени загрязнения участка водотока несколькими или одной из групп химических веществ (группы биогенных веществ, органических веществ, металлов и т. д.). Таким образом, одни водные объекты могут иметь неудовлетворительный статус из-за высоких концентраций биогенных веществ, другие – металлов, третьи – из-за нарушения газового режима и т. д. Такой анализ дает лишь общее представление о наличии «проблемных участков водотоков».

Тем не менее система экологического нормирования должна исходить как из краткосрочных, так и из долгосрочных природоохранных целей: оценка состояния водных объектов, базирующаяся на условно-фоновом содержании вещества, определяет стратегическую цель, а нормативы, рассчитанные исходя из современных концентраций, регламентируют интенсивность загрязнения в настоящее время, определяя тактические задачи сохранения, а по возможности, и улучшения качества воды [16]. Для краткосрочных целей оценки качества и экологического состояния воды водных объектов на сегодняшний день существует достаточное количество подходов и методов – ПДК, ИЗВ, КИЗВ (комбинаторный индекс загрязненности воды), УКИЗВ (удельный комбинаторный индекс загрязненности воды), химический (гидрохимический) и экологический (гидробиологический) статусы. Менее благоприятная ситуация сложилась в отношении определения долгосрочных целей сохранения качества воды, которые основываются на условно-фоновом содержании вещества.

В Беларуси вопросами установления гидрохимического фона в разное время занимались А. А. Хомич, О. В. Кадацкая, М. П. Оношко, В. И. Пашкевич, Е. В. Санец, Е. Г. Кольмакова [2, 3, 5, 8, 9, 18] и др., в России – М. П. Максимова, Б. Г. Скакальский, Г. Т. Фрумин, Е. В. Степанова [6, 12, 17] и др. Среди предложенных методов определения гидрохимического фона наиболее часто применяемый метод разностно-интегральных кривых выявляет отклонения средней концентрации ингредиента за конкретный год или сезон года от его среднего значения (нормы), рассчитанного для всего периода наблюдений [2]. В комплексе с данным методом применяются объективные методы выделения классификационных групп на основе математической статистики с использованием критериев достоверности – однородность выборок проверяется по равенству выборочных дисперсий Фишера и по критерию однородности средних значений Стьюдента [19]. Следует отметить, что хотя само выделение выборок является в некоторой степени субъективно обусловленным ввиду возможности выбора нескольких комбинаций однородных значений, данный метод тем не менее широко применяется исследователями.

С использованием данного подхода авторами ранее были рассчитаны условно-фоновые концентрации биогенных веществ для р. Терюхи у н.п. Грабовка и р. Березины выше г. Бобруйска [10, 11]. В табл. 1 приведены условно-фоновые концентрации биогенных веществ для р. Терюхи в зависимости от фазы водного режима.

Таблица 1. **Средние концентрации биогенных веществ в воде р. Терюхи у н.п. Грабовка в условно-фоновый и техногенный период**

Биогенное вещество	Фаза водного режима	Средняя концентрация за период наблюдений, мг/дм^3		Экологически приемлемая концентрация [7, 12, 21]	$ПДК_{рыб}$
		условно-фоновый	техногенный		
Азот аммонийный	Зимняя межень	0,07	**0,66***	0,39	0,39
	Весеннее половодье	**0,49**	**0,88**		
	Летне-осенняя межень	0,30	**0,55**		
Азот нитритный	Зимняя межень	0,010	0,016	0,020	0,024
	Весеннее половодье	0,008	0,017		
	Летне-осенняя межень	0,010	0,016		
Азот нитратный	Зимняя межень	0,35	0,47	1,20	9,03
	Весеннее половодье	0,23	0,44		
	Летне-осенняя межень	0,11	0,35		
Азот общий неорганический	Зимняя межень	0,7	1,1	2,8	5,0
	Весеннее половодье	0,7	1,3		
	Летне-осенняя межень	0,4	0,9		
Фосфор фосфатный	Зимняя межень	0,024	0,063**	0,030	0,066
	Весеннее половодье	0,041	0,066		
	Летне-осенняя межень	0,029	0,051		
Фосфор общий	Зимняя межень	0,07	0,11	0,10	0,20
	Весеннее половодье	0,08	0,12		
	Летне-осенняя межень	0,06	0,11		

* Полужирным шрифтом выделены значения, превышающие экологически приемлемую величину и ПДК для вод водоемов рыбохозяйственного назначения ($ПДК_{рыб}$).

** Подчеркнуты значения, превышающие экологически приемлемую величину.

Проведенные исследования показали, что выявление условно-фоновых периодов является весьма условным, поскольку для большинства створов они представлены относительно поздними годами наблюдений – периодом спада антропогенной нагрузки. Очевидно, что концентрации, полученные в этот период, далеки от естественных.

Еще одним вопросом, требующим доработки, является способ выделения условно-фоновых концентраций в зависимости от фаз водного режима при отсутствии четкой сезонной динамики: гидрологические сезоны, во-первых, смещаются относительно календарных; во-вторых, наступают раньше или позже в зависимости от места расположения пункта наблюдений; в-третьих, не всегда выражены четко и плавно переходят друг в друга.

Таким образом, проведенный анализ показал ограниченность возможности использования

метода разностно-интегральных кривых для определения фоновых концентраций биогенных веществ в речных водах в современных условиях (для периода с 1980–1990-х годов), что объясняется следующим:

– наличием антропогенной нагрузки на речные воды на протяжении всего периода наблюдений;

– субъективностью выделения периодов с различной степенью антропогенной нагрузки на водоток и их продолжительности;

– отсутствием четкой сезонной динамики при определении сезонозависимых условно-фоновых концентраций биогенных веществ в воде водотока.

Целью данной работы явилась разработка показателя состояния поверхностных вод по биогенным веществам как альтернативы условно-фоновым концентрациям для постановки долгосрочных целей сохранения качества воды. Для достижения этого требовалось решить следующие задачи:

– разработать методику определения «эталонных» значений концентраций биогенных веществ, являющихся реально достижимыми в долгосрочной перспективе исходя из степени трансформированности водных объектов;

– разработать комплексный показатель загрязнения речных вод биогенными веществами, отражающий долгосрочные изменения состояния поверхностных вод.

В качестве объекта исследования для реализации поставленных задач выбрана р. Терюха (малая река, левый приток Сожа, бассейн Днепра). Для расчетов использовались данные гидрохимического мониторинга, полученные в Национальной системе мониторинга окружающей среды Республики Беларусь за период 1981–2011 гг.

Предлагаемая методика определения «эталонных» значений концентраций биогенных веществ включает в себя два этапа расчетов.

На первом этапе происходит отбор значений концентраций веществ, которые будут использоваться при расчете их «эталонных» значений. Классическим методом отбора концентраций, широко применяемым в гидрохимии, является проверка на соответствие «правилу трех сигм (3σ)». Данный метод основан на предположении, что все значения нормально распределенной случайной величины лежат в интервале от –3σ до +3σ по отношению к средней величине (с вероятностью от 90,0 до 99,7 %). «Правило трех сигм» является неоспоримым статистически обоснованным методом, однако для целей нашего исследования потребовалась некоторая его адаптация. Идея проранжировать данные по сезонам и после этого отбросить аномальные значения для каждого сезона не увенчалась успехом ввиду отсутствия четких временных рамок протекания фаз водного режима в современный период. В связи с этим авторами предложена методика выбраковки аномальных данных при гидрохимических исследованиях, суть которой заключается в том, что проверке на соответствие «правилу трех сигм» подвергаются не сами концентрации химических веществ, а их частное от соотношения с расходом воды в момент отбора пробы, т. е., иными словами, производится проверка аномальности концентрации при конкретном расходе воды, что позволяет решить проблему сезонной переоценки аномальности данных. Выбраковка аномальных значений осуществляется согласно неравенству:

$$\frac{C / Q - (C / Q)^{ср}}{(C / Q)^{откл}} \geq 4,$$

где C / Q – отношение концентрации вещества к расходу воды в момент отбора пробы; $(C / Q)^{ср}$ – среднемноголетнее за весь период наблюдений отношение концентрации вещества к среднемноголетнему расходу воды; $(C / Q)^{откл}$ – стандартное отклонение отношения концентрации вещества к расходу воды.

Второй этап заключается в определении «эталонных» значений концентраций биогенных веществ. Поскольку эталонные значения являются альтернативой условно-фоновым концентрациям с поправкой на сложившиеся долгосрочные условия формирования химического состава вод, они являются ориентиром относительно благополучного состояния водного объекта. Не имеет значения, в какой период в воде реки были зафиксированы наиболее благоприятные концентрации биогенных веществ (в более ранние годы либо в современный период), важно лишь, что при определенных условиях эти концентрации могут быть достигнуты.

Приведенные положения были заложены авторами в основу методики определения «эталонных» концентраций – концентраций, которые фиксировались в воде реки в наиболее благоприятные для нее периоды. С учетом естественных сезонных колебаний содержания веществ более корректно использовать не самые минимальные значения, а осредненный показатель из величин ниже среднемноголетней – средний показатель, полученный из наиболее низких концентраций в различные сезоны года. Таким образом, в качестве «эталонной» концентрации предложено принимать среднее значение, рассчитанное из концентраций ингредиента, находящихся ниже среднемноголетней величины. Следует отметить, что данный подход является менее субъективно обусловленным по сравнению с определением фоновых концентраций веществ методом разностно-интегральных кривых и назначением «эталонных» концентраций экспертным путем [15].

В табл. 2 приведены условно-фоновые, «экспертные эталонные» и «эталонные» концентрации биогенных веществ в воде р. Терюхи.

Таблица 2. **Условно-фоновые, «экспертные эталонные» и «эталонные» концентрации биогенных веществ в воде р. Терюхи у н.п. Грабовка**

Биогенное вещество	Концентрация, мг/дм^3		
	условно-фоновая	«экспертная эталонная»	«эталонная»
Азот аммонийный	0,430	0,300	0,320
Азот нитритный	0,009	0,016	0,011
Азот нитратный	0,220	2,000	0,180
Фосфор фосфатный	0,034	0,066	0,029
Фосфор общий	0,070	0,110	0,060

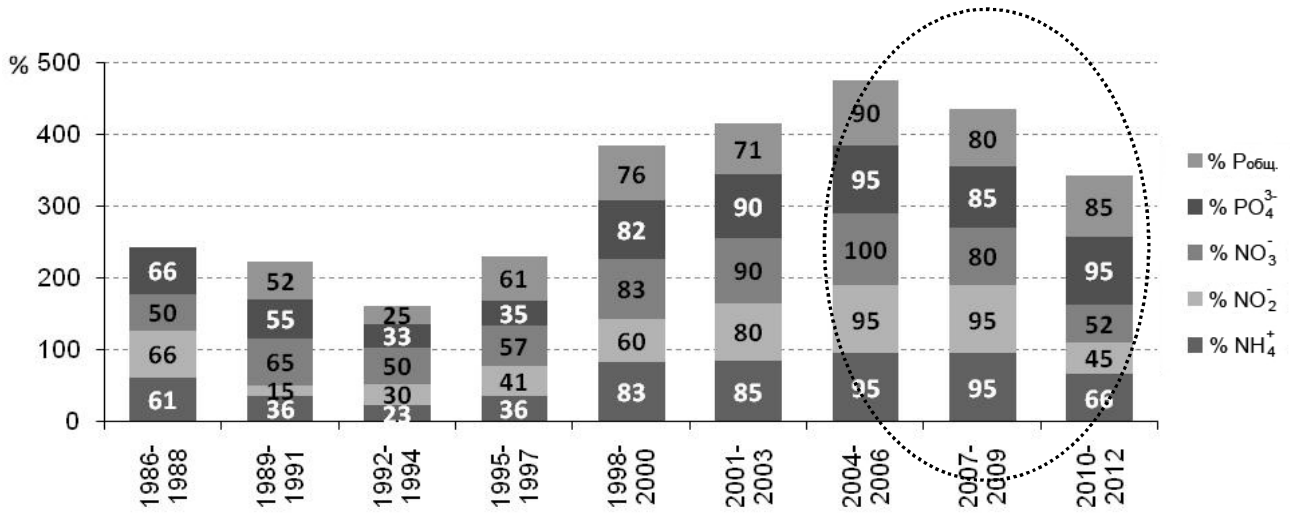
Согласно табл. 2, «эталонные» концентрации большинства биогенных веществ определены ниже «экспертных эталонных» (за исключением азота аммонийного) и условно-фоновых (за исключением азота нитритного) концентраций.

В рамках реализации второй задачи исследования разработан алгоритм динамичной оценки качества речных вод и предложен комплексный динамичный показатель загрязнения речных вод биогенными веществами (КДЗбв), с помощью которого оценивается не одномоментное состояние водотока (как с помощью ПДК) и не его «осредненное за год» состояние, нивелирующее естественную сезонную динамику компонентов (как с помощью химического статуса и ИЗВ), а долговременное состояние водотока с тенденциями к росту или снижению концентраций, количества загрязняющих компонентов, превышений эталонных концентраций биогенных веществ.

При расчете КДЗбв учитывается содержание биогенных веществ, для которых характерно превышение «эталонных» концентраций, а также частота и кратность этих превышений. Впервые использование указанных критериев было предложено В.П. Емельяновой и Г.Н. Даниловой, что позволило оценить степень загрязнения водных объектов по отношению к ПДК [1].

В нашем случае расчет проведен по следующим биогенным веществам: азот аммонийный, азот нитритный, азот нитратный, фосфор фосфатный и фосфор общий. Алгоритм оценки КДЗбв включает четыре этапа, для трех из которых рассчитывается собственный оценочный коэффициент. На четвертом этапе происходит объединение рассчитанных коэффициентов в виде показателя КДЗбв.

На *первом этапе* рассчитывается количество ингредиентов (от 0 до 5), для которых отмечен рост превышений «эталонных» концентраций за последние 9 лет наблюдений (все результаты наблюдений сгруппированы по 3 года с целью накопления репрезентативного количества проб и наибольшей достоверности результата) (см. рисунок). Рост превышений за последние 9 лет отмечен для двух биогенных веществ – фосфора общего (95–85–95 %) и фосфора фосфатного (90–80–85 %). Таким образом, первый этап оценивается коэффициентом «2».



Динамика превышений «эталонных» концентраций биогенных веществ (в процентах от общего числа проб)

На *втором этапе* рассчитывается количество показателей (от 0 до 5), для которых отмечено более 50% превышений «эталонных» концентраций за последние 3 года наблюдений (см. рисунок, последний столбец). Такие превышения характерны для четырех биогенных веществ – фосфора общего (85%), фосфора фосфатного (95%), азота нитратного (52%) и азота аммонийного (66%). Второй этап оценивается коэффициентом «4».

На *третьем этапе* детализируется процент превышений «эталонных» концентраций по группам кратности (табл. 3) за последние 3 года наблюдений с учетом коэффициента приоритета.

Для расчета оценочного коэффициента данного этапа вначале проценты превышений по каждому биогенному веществу по каждой группе кратности (табл. 3) переводятся в систему баллов в соответствии с табл. 4. Сумма баллов по каждой группе кратности умножается на коэффициент приоритета (табл. 5). Полученный суммарный балл переводится в оценочный коэффициент третьего этапа в соответствии с табл. 6. Суммарному баллу «18» соответствует оценочный коэффициент «2».

Таблица 3. **Распределение проб с превышением «эталонных» концентраций биогенных веществ по группам кратности**

Река, пункт наблюдений	Кратность превышений, раз	NH_4^+, %	NO_2^-, %	NO_3^-, %	PO_4^{3+}, %	$P_{общ}$, %
р. Терюха, 2,0 км юго-западнее н.п. Грабовка	2–5	23	30	23	61	47
	6–10	–	–	–	4	–
	11–15	–	–	–	–	–
	Более 15	–	–	–	–	–
Суммарно*	Более 2	23	30	23	65	47

* Разница между данными, приведенными в строке «Суммарно» таблицы, и данными последнего столбца диаграммы на рисунке представляет собой процент превышений «эталонных» концентраций в 1,1–1,9 раза.

Таблица 4. **Таблица соответствий «доля проб с превышением «эталонных» концентраций – балл»**

Доля проб, %	Балл
1–10	1
11–25	2
26–45	3
46–70	4
71–100	5

Таблица 5. **Распределение проб с превышением «эталонных» концентраций биогенных веществ по группам кратности, балл**

Кратность превышений, раз	NH_4^+, балл	NO_2^-, балл	NO_3^-, балл	PO_4^{3-}, балл	$P_{общ.}$, балл	Коэффициент приоритета	Общий балл с поправкой на коэффициент приоритета
2–5	2	3	2	4	4	1	15
6–10	–	–	–	1	–	3	3
11–15	–	–	–	–	–	5	0
Более 15	–	–	–	–	–	7	0
Суммарный балл							18

Таблица 6. **Таблица соответствий «суммарный балл – оценочный коэффициент третьего этапа»**

Суммарный балл	Оценка третьего этапа
1–10	1
11–25	2
26–45	3
46–70	4
Более 70	5

На *четвертом этапе* рассчитывается комплексный динамичный показатель загрязнения речных вод биогенными веществами на основании суммирования оценочных коэффициентов трех этапов с учетом коэффициентов приоритета (коэффициент приоритета для каждого этапа равен номеру этапа): 2 × 1 + 4 × 2 + 2 × 3 = 16. Качественное соответствие КДЗбв количеству баллов определяется в соответствии с табл. 7.

Таблица 7. **Таблица соответствий «суммарная оценка КДЗбв в баллах – качественная оценка КДЗбв речной воды»**

Суммарная оценка, балл	Качественная оценка КДЗбв
Менее 10	Незначительно загрязнена
11–15	Загрязнена
16–20	Существенно загрязнена
Более 20	Критически загрязнена

Полученный комплексный динамичный показатель загрязнения вод р. Терюхи в 2 км юго-западнее н.п. Грабовка составляет 16 баллов, что характеризует речную воду на данном участке как существенно загрязненную биогенными веществами.

Параллельно с расчетом КДЗбв выявляется приоритетное загрязняющее вещество – биогенный компонент, характеризующийся хотя бы одной из следующих категорий:

1) превышения «эталонных» концентраций зафиксированы в группах кратности «11–15 раз» или «более 15 раз»;

2) превышения «эталонных» концентраций в группе кратности «2–5 раз» составляют более 50 %;

3) превышения «эталонных» концентраций в группе кратности «6–10 раз» составляют более 5 %;

4) превышения «эталонных» концентраций в группах кратности «2–5 раз» и «6–10 раз» суммарно составляют более 50 %.

Расчеты показали, что приоритетным загрязняющим веществом для участка р. Терюхи в 2 км юго-западнее н.п. Грабовка является фосфор фосфатный (совпадения выявлены по категориям 2 и 4) (см. табл. 3).

Таким образом, предложенная методика определения «эталонных» значений концентраций биогенных веществ является реальной альтернативой ранее примененному авторами методу разностно-интегральных кривых, применение которого ограничено в современных условиях длительного антропогенного воздействия на речные воды и нарушения гидрологического режима водотоков.

Предлагаемый комплексный динамичный показатель загрязнения речных вод биогенными веществами (КДЗбв) позволяет оценивать не одномоментное состояние водотока (как с помощью ПДК) и не его «осредненное за год» состояние, нивелирующее естественную сезонную динамику компонентов (как с помощью химического статуса, ИЗВ, КИЗВ, УКИЗВ и т. п.), а долговременное состояние водотока с тенденциями к росту или снижению концентраций, количества загрязняющих компонентов, превышений эталонных расходозависимых концентраций биогенных веществ. Применение данного показателя оправдано с точки зрения разработки природоохранной стратегии на долгосрочную перспективу.

С помощью предложенных методик определены «эталонные» концентрации биогенных веществ для р. Терюхи (бассейн Днепра). Выполнена динамическая оценка качества воды реки по биогенным веществам и рассчитан комплексный динамичный показатель загрязнения речных вод биогенными веществами, согласно которому вода р. Терюхи является существенно загрязненной биогенными веществами, приоритетным из которых является фосфор фосфатный.

Литература

1. **Емельянова, В. П.** К оценке качества воды водотоков при сравнении степени их загрязненности / В. П. Емельянова, Г. Н. Данилова // Гидрохимические материалы. – 1980. – Т. 68. – С. 118–125.

2. **Кадацкая, О. В.** Гидрохимическая индикация ландшафтной обстановки водосборов / О. В. Кадацкая. – Минск, 1987.

3. **Кольмакова, Е. Г.** Антропогенные изменения стока растворенных веществ рек бассейна Немана / Е. Г. Кольмакова. – Минск, 2009.

4. **Комплексная** экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О. П. Оксиюк [и др.] // Гидробиологический журнал. – 1993. – Т. 29, № 4. – С. 62–72.

5. **Ландшафтные** воды в условиях техногенеза / О. В. Кадацкая [и др.]. – Минск, 2005.

6. **Максимова, М. П.** Критерии антропогенной эвтрофикации речного стока и расчет антропогенной составляющей биогенного стока рек / М. П. Максимова // Водные ресурсы. – 1979. – № 1. – С. 35–41.

7. **Оксиюк, О. П.** Экологические нормативы качества воды для р. Россь / О. П. Оксиюк, В. Н. Жукинский // Гидробиологический журнал. – 1999. – Т. 35, № 6. – С. 16–22.

8. **Оношко, М. П.** Изменение природного фона минеральных соединений азота в водах Белоруссии под влиянием антропогенных факторов / М. П. Оношко, В. И. Пашкевич // Геохимическое картографирование техногенных изменений окружающей среды. – Вильнюс, 1984.

9. **Санец, Е. В.** Антропогенная составляющая выноса сульфатов рекой Березина / Е. В. Санец, О. В. Кадацкая, В. С. Хомич // Эколого-экономические проблемы развития региона Белорусского Полесья : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Пинск, 13–15 мая 2003 г. – Минск, 2004. – С. 284–286.

10. **Селицкая, В. В.** Выявление фонового содержания азота нитратного в речной воде (на примере р. Березины (бассейн Днепра) / В. В. Селицкая, Е. В. Санец, И. Е. Русая // Природопользование. – Вып. 23. – Минск, 2013. – С. 63–68.

11. **Селицкая, В. В.** Трансформация режима минерального фосфора в воде малой реки (на примере р. Терюха бассейна Днепра) / В. В. Селицкая // Природопользование. – Вып. 24. – Минск., 2013. – С. 52–62.

12. **Скакальский, Б. Г.** Антропогенные изменения химического состава воды и донных отложений в загрязняемых водных объектах / Б. Г. Скакальский : автореф. дис. … д-ра геогр. наук. – СПб., 1996.

13. **Состояние** природной среды Беларуси : экологический бюллетень, 2007 г. ; под ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2008.

14. **Стратегия** в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2025 года: решение коллегии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 28.01.2011. – № 8–Р. – 19 с.

15. **ТКП 17.13-08-2013 (02120)** Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Правила определения химического (гидрохимического) статуса речных экосистем / Утв. Постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 31.12.2013 № 11-Т «Об утверждении и введении в действие некоторых технических нормативных правовых актов в области охраны окружающей среды и природопользования. Введ. в действие 1.07.2014.

16. **Федорова, В. А.** Устойчивость геосистем к загрязнению как основа экологического нормирования качества воды: на примере рек севера ЕТР : автореф. дис. … канд. геогр. наук: 25.00.36 / В. А. Федорова. – Казань, 2001.

17. **Фрумин, Г. Т.** Оценка выноса фоновой биогенной нагрузки с водами контролируемых и неконтролируемых рек бассейна Балтийского моря / Г. Т. Фрумин, Е. В. Степанова : сб. тр. Международ. науч. конф., 7–9 июля 2009 г. – СПб., 2010. – С. 97.

18. **Хомич, А. А.** Оценка современного гидрохимического фона Белоруссии / А. А. Хомич, О. В. Кадацкая, Е. П. Красуцкая // Доклады АН БССР. – 1983. – Т. 27, № 12. – С. 1102–1105.

19. **Шелутко, В. А.** Вопросы оценки качества поверхностных вод по гидрохимическим данным / В. А. Шелутко, Е. В. Колесникова, Е. С. Смыжова : сб. тр. Международ. науч. конф. «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон», 7–9 июля 2009 г. – СПб., 2010. – С. 30–39.

20. **Commission** of the European Communities (2000). Directive 2000/60/EC Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy. Official Journal of the European Communities, L327, 1–71.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 20.04.2015 г.

В. В. Селицкая, Е. В. Санец

РАЗРАБОТКА ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПО БИОГЕННЫМ ВЕЩЕСТВАМ

Приведен анализ существующих методов оценки качества поверхностных вод и их экологического состояния по гидрохимическим показателям, раскрывается несоответствие данных методов ожиданиям природоохранной стратегии на долгосрочную перспективу, объясняется необходимость разработки методов оценки, адекватных требованиям экологической политики. Показана ограниченность использования метода разностно-интегральных кривых для установления условно-фоновых концентраций биогенных веществ в речных водах в условиях длительного антропогенного воздействия и нарушения гидрологического режима водотоков. Предложена методика определения «эталонных» значений концентраций биогенных веществ (как альтернатива условно-фоновым концентрациям), являющихся реально достижимыми в долгосрочной перспективе исходя из степени трансформированности водных объектов.

Разработан оригинальный алгоритм динамической оценки состояния речных вод и предложен комплексный динамичный показатель загрязнения речных вод биогенными веществами (КДЗбв), с помощью которого оценивается не одномоментное состояние водотока (как с помощью ПДК) и не его «осредненное за год» состояние, нивелирующее естественную сезонную динамику компонентов (как с помощью химического статуса, ИЗВ, КИЗВ, УКИЗВ и т. п.), а долговременное состояние водотока с тенденциями к росту или снижению концентраций, количества загрязняющих компонентов, превышений эталонных расходозависимых концентраций биогенных веществ.

С помощью предложенных методик определены «эталонные» концентрации биогенных веществ для р. Терюхи (бассейн Днепра). Выполнена динамическая оценка состояния воды реки по биогенным веществам и рассчитан комплексный динамичный показатель загрязнения речных вод биогенными веществами, согласно которому вода р. Терюхи является существенно загрязненной биогенными веществами, приоритетным из которых является фосфор фосфатный.

V. V. Selitskaya, E. V. Sanets

DEVELOPMENT OF INDICATOR OF SURFACE WATERS QUALITY BASED ON NUTRIENTS

The analysis of existing methods for an assessment of the quality of surface waters and their ecological state based on hydrochemical indicators is given. A discrepancy of these methods with the expectations of nature conservation strategy for the long-term period is revealed. A necessity to develop a method for an assessment that could be adequate the requirements of environmental policy is explained. The limitations of the method of integral-difference curves for an establishing a quasi-background concentrations of nutrients in the river waters under the long-term human impacts and in conditions of violations of the hydrological regime of watercourses is shown. The method of determining the «standard» values of nutrients concentrations that are achievable in the long-term perspective is offered as an alternative to quasi-background concentrations of nutrients.

An original algorithm of dynamic assessment of the state of river water has been developed and a dynamic complex pollution index of river water by nutrients (DCPIn) has been proposed. This index allows to estimate a long-term status of the watercourse with a tendency to increase or decrease the concentrations and the number of contaminants as well as an exceeding of reference concentrations of nutrients in contradistinction to maximum permissible concentrations (which allow to estimate a one-time state of the watercourse) and other indicators which estimate an annual averaged state of the river (IWP, CIWP, SCIWP etc.).

With the help of proposed methods «standard» concentrations of nutrients were defined for the Terukha River (Dnieper basin). The dynamic assessment of river water based on nutrients was made and dynamic complex pollution index of river water by nutrients was calculated. According to DCPIn water of Terukha River is significantly polluted by nutrients, the priority pollutants are phosphates.

УДК 550.4:504.05 (476)

Ю. А. Романкевич

КОМПЛЕКСНАЯ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ МАЛОГО ГОРОДА БЕЛАРУСИ (НА ПРИМЕРЕ Г. НЕСВИЖА)

Дана эколого-геохимическая оценка водоёмов и водотоков на территории малого города. Выявлены источники загрязнения вод. Отмечены особенности изменения химического состава вод исследуемых объектов на городской территории от дотехногенного периода до настоящего времени. Установлено, что качество вод водных объектов в большей степени предопределено природно-техногенной обстановкой на их водосборах, а также составом грунтовых и речных вод.

Исследование водных объектов в малых городах имеет научный интерес, который основан на возможности изучения отдельных факторов, оценке типичных и специфических техногенных нагрузок на водоёмы и их водосборы. Небольшая площадь малого города (в среднем около 1000 га) в совокупности с невысокой численностью населения (до 20 тыс. чел.) и немногочисленными источниками воздействия создают предпосылки для их инвентаризации, а также выявления различных сочетаний природных и техногенных факторов и изучения механизмов их воздействия. Кроме того, представляется возможным проследить изменения природных компонентов городской среды в разные сезоны года под влиянием определенных факторов и оценить их последствия.

Многообразие природных (река, ручьи) и искусственных (пруды, каналы) водных объектов в совокупности с ландшафтным разнообразием территории и типичной для малого города – по преобладанию агроселитебной нагрузкой определи среди прочих приоритет исследований городских территорий и водных объектов г. Несвижа.

Наиболее ранние сведения о прудах Беларуси: их количестве, размещении и назначении содержатся в материалах паспортизаций, проводимых в 1950-е–1990-е годы. Эти материалы послужили основой для описания прудового фонда страны, выполненного В. М. Широковым и И. И. Кирвелем [24]. Показано, что основным фактором формирования химических свойств прудовых вод является поверхностно-склоновый сток. Установлены стадии эволюционного развития прудов. Предложены рекомендации по защите прудов от загрязнения, заиления и зарастания, а также мероприятия по предотвращению развития процессов абразии. На современном этапе И. И. Кирвелем [10] обобщены сведения о прудах, их морфометрических характеристиках, гидрологическом режиме, заилении, зарастании, а также влиянии водоёмов на гидрологический режим водотоков и прилегающую территорию с учетом разных природных условий. Автором получены количественные характеристики участия продуктов абразии прудов в общем поступлении седиментационного материала в водоемы. В процессе изучения естественных и искусственных водоёмов и водотоков на урбанизированных территориях В. С. Хомичем и соавторами [21] установлено, что поверхностный сток с городских территорий, неорганизованные выпуски сточных вод и стихийные свалки на водосборах являются основными источниками поступления загрязняющих веществ в водные объекты.

В работах Г. Г. Винберга [3], В. П. Ляхновича [12], И. Т. Астаповича и соавторов [2] показано, что термический режим прудов в значительной степени определяет минерализацию органического вещества в водоёме, газовый режим, развитие высшей водной растительности и использование прудов для рыборазведения. Исследования высшей водной растительности в разные годы осуществляли: Г. Г. Винберг [3], В. П. Ляхнович [12], И. Т. Астапович [2], В. М. Широков [24], И. И. Кирвель [10, 24], Б. П. Власов [4] и др. Г. В. Назаровым установлено, что соединения фосфора, попадая в водоёмы, приводят к резкому возрастанию продукционных процессов, ухудшают качество вод, способствуют «цветению» [14]. На основании изучения прудов Белорусского Полесья [2] показано, что содержание ионов кальция в прудовых водах изменяется под влиянием фотосинтеза и ассимиляции водорослями. Ионный состав воды в прудах в значительной степени регулируется биологическими факторами.

Н. Н. Приходько [17], а также В. М. Яцухно и Ю. Э. Мандером [25] обоснована необходимость проведения агро-, луго- и лесомелиоративных работ на склонах с целью регулирования поверхностного стока и предупреждения смыва почвы в водоёмы и водотоки. Показано, что дернина и буферные полосы являются биологическими фильтрами для поверхностного стока [17].

Известно, что гидротехническая система Несвижа была создана в XVII в. На основании гравюры Т. Маковского [23] установлено, что местоположение, конфигурация, очертания берего-

вой линии исследуемых прудов к настоящему времени практически не изменились. Картографические материалы разных лет подтверждают, что основные изменения гидротехнической системы имели место в верхней её части и были связаны с проведением мелиоративных работ на водосборе р. Уши выше города.

В рамках исследований, проведенных под руководством академика К. И. Лукашева в конце 1950-х–1960-х гг., получены самые ранние сведения о макро- и микрокомпонентном составе вод верхнего течения р. Уши (1964 г.) [5]. Наиболее ранние результаты гидрохимического обследования вод прудов г. Несвижа относятся к 1976 г. [24]. Кроме концентраций некоторых макрокомпонентов, также приводятся общие показатели качества вод и сведения о морфометрических характеристиках прудов. Несвижские пруды рассматриваются как важные рыбохозяйственные объекты прудового фонда Беларуси. В 2004 г. под руководством А. В. Кудельского в рамках изысканий были получены данные о состоянии водных объектов г. Несвижа и гидротехнических сооружений Дворцово-паркового ансамбля с целью проведения восстановительных работ.

Анализ литературных источников показал, что изучение прудов Беларуси осуществляется в основном без учета источников их эвтрофирования и загрязнения, в отрыве от их водосборов; недостаточно изучены гидрологический режим малых водотоков, наполняющих пруды, и поверхностный сток.

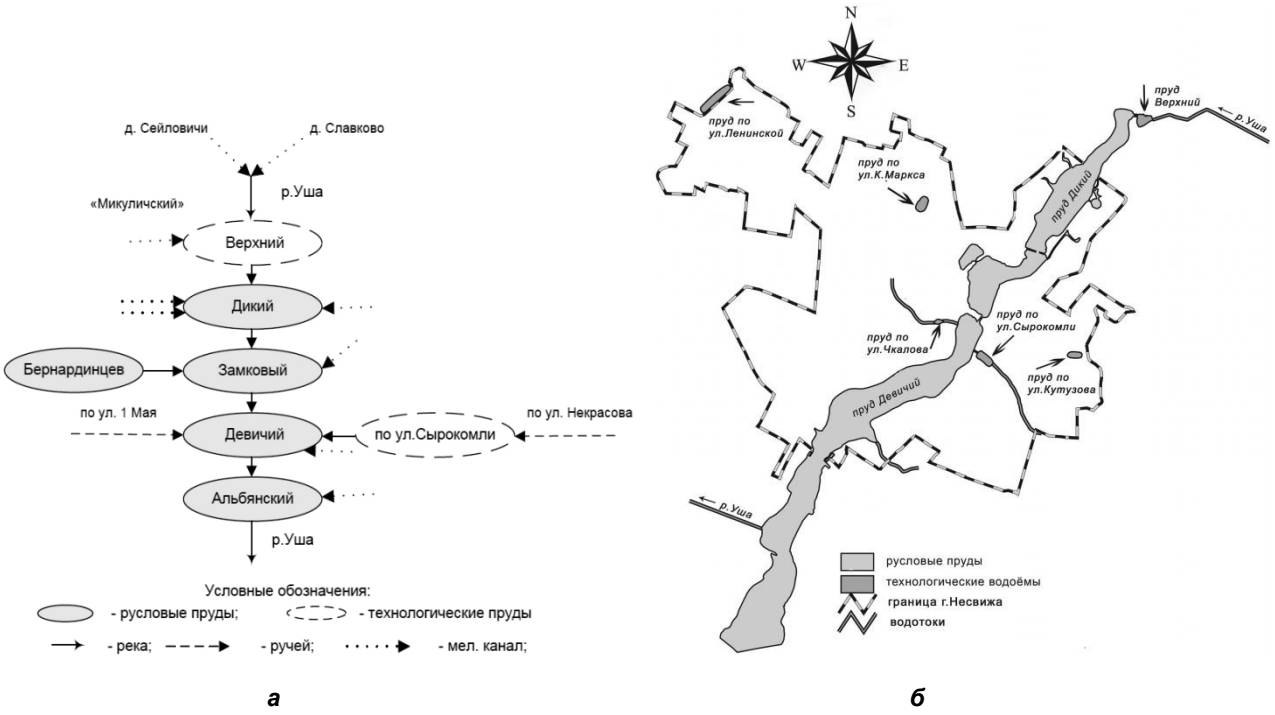
Настоящая статья посвящена комплексной оценке состояния водных объектов и их водосборов на территории г. Несвижа и его окрестностей. Материалом для оценки явились результаты экспериментальных исследований, выполненных в период с 2010 по 2014 г., а также фондовые материалы, касающиеся состояния речных и прудовых вод за последние 50 лет. Для изучения природно-техногенной обстановки на водосборах использовались актуальные и исторические картографические материалы масштаба 1:10 000, аэрофотоснимки, а также специальная литература, посвященная созданию, реконструкции и особенностям функционирования гидротехнической системы г. Несвижа за последние 400 лет [23]. В водных пробах определялись pH и макрокомпонентный состав. Определение содержания компонентов в разные годы проводилось по единым стандартным методикам, что позволило сравнивать результаты.

Согласно [9], временной период до 1965 г. характеризуется применением экстенсивных форм сельского хозяйства и меньшими объёмами химизации по сравнению с последующим «природно-техногенным полупериодом», длившимся с 1965 по 1975 г. Поэтому, данные о состоянии вод р. Уши по отдельным компонентам, полученные в 1964 г., могут быть использованы в качестве дотехногенных фоновых концентраций. Результаты исследований в более поздний период (1970-е гг.) приравнивались к природно-техногенному фону. Для ряда компонентов в качестве «нормы» принимались величины, соответствующие «чистым водам» [6, 8, 19]. Для оценки влияния городской среды на воды р. Уши рассчитывался коэффициент геохимического воздействия города (КГВ) на речные воды [11]. Чем ближе значение показателя к единице, тем сильнее воздействие городской среды на речные воды.

Характеристика объекта исследований. Район исследования приурочен к низменным ландшафтам речных долин. Основными факторами формирования химического состава природных вод являются повышенные содержания карбонатов и щелочноземельных элементов в породах водосбора, а также болотный фактор [5]. Главной водной артерией исследуемого района является р. Уша – левый приток Нёмана. Исток Уши находится в 3-х км к юго-востоку от г. Несвижа в д. Качановичи Несвижского района. В верхнем течении Уша принимает сток мелиоративных каналов, русло реки от истока до пруда Дикий почти полностью канализировано [16].

В районе Несвижа на р. Уше созданы русловые пруды, сконструированные в XVII в. путем перегораживания русла реки. В настоящее время они представляют собой каскад искусственных сообщающихся водоёмов: Дикий, Замковый, Бернардинцев, Девичий и Альбянский. Они характеризуются лентовидной формой, протяженностью в 5,7 км, общим объёмом 3 млн $м^3$ и занимают площадь 200 га. Значительная часть водосбора прудов приходится на городскую территорию и составляет 17 $км^2$ (рис. 1).

Водосборы исследуемых прудов подвержены различным антропогенным воздействиям и испытывают разную по интенсивности техногенную нагрузку. Так, водосбор пруда Дикого характеризуется наиболее низкой и устойчивой во времени техногенной нагрузкой. Исследуемая территория полностью занята древесной растительностью и с момента образования парков и до настоящего времени хозяйственная деятельность на данном водосборе не осуществлялась. Основным фактором, влияющим на состав и качество вод этого пруда, является химический состав речных вод. Около 50 % территории водосбора пруда Замкового является выположеной и занята лесопарками. Другую часть водосбора занимают агроселитебные ландшафты с индивидуальной застройкой. Перепады высот до 10 м и значительный уклон поверхности в сторону акватории пруда создают условия для поступления загрязненных вод поверхностного стока с территории усадебной застройки.



а *б*

Рис. 1. Схема (*а*) и картосхема (*б*) расположения водных объектов в г. Несвиже и окрестностях

Пруд Бернардинцев практически непроточный. Вода в него поступает из пруда «Замковый», а также в небольшом объеме перетекает из мелиоративного канала, дренирующего заболоченный массив северо-западнее Несвижского замка. Воды мелиоративного канала, поступающие в пруд Бернардинцев с учетом небольшой площади водоёма, а также слабой его проточности способствуют развитию процессов эвтрофирования и ухудшения качества вод.

Пруд Девичий характеризуется наибольшей акваторией и объемом вод. Всю территорию водосбора занимает староосвоенная усадебная застройка, которая вплотную подступает к береговой линии. На базе пруда Альбянского действует рыбхоз «Альба». Высокая техногенная нагрузка на водоём обусловлена низким качеством вод, поступающих из пруда Девичьего, а также технологиями, используемыми для производства рыбы.

На основании натурных исследований, картографических материалов территорий водосборов, а также изучения состава вод поверхностного стока в весенний период, установлено, что наиболее высокой техногенной нагрузкой на водосбор характеризуются пруды Девичий и Замковый.

Особенности химического состава вод. Согласно классификации О. А. Алекина [1], воды р. Уши в пределах исследуемого участка и прудов характеризуются нейтральной и слабощелочной реакцией среды, относятся к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, II типу, малой и средней минерализации. Основными ионами являются: HCO_3^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, Cl^-. Характерно низкое содержание SO_4^{2-}, преобладание Na^+ над K^+. Концентрации основных ионов не превышают дотехногенных значений и изменяются в соответствии с природными особенностями: сезонного изменения химического состава природных вод (табл. 1).

Данные, полученные в период с 2010 по 2014 г. свидетельствуют об ухудшении качества вод и возрастании техногенной нагрузки на водосборы изучаемых водных объектов, что проявляется в обогащении природных вод всем спектром изучаемых компонентов относительно их дотехногенного уровня. Так, содержание калия в прудовых водах возросло в 2–7 раз, азота аммонийного в 1,5–5, хлоридов – в 2–3, а также сульфатов, натрия и азота нитритного – в 1,5–2 раза.

С целью выявления амплитуды колебаний уровней содержания основных загрязнителей в течение года исследования проводились в разные сезоны. Весенний отбор проб воды осуществлялся в начале марта, когда концентрации биогенных веществ максимальны. В исследуемый период высокие концентрации азота минерального и фосфора фосфатного в прудах связаны с внутриводоёмными процессами разложения органических веществ и с привносом биогенов посредством поверхностного стока с сельскохозяйственных и городских территорий. В весенний период содержание ряда компонентов значительно возрастает, достигает максимально высоких концентраций и свидетельствует о загрязнении вод. Содержание азота аммонийного увеличивается в 6–14 раз относительно

Таблица 1. **Содержание макрокомпонентов в водах прудов на территории г. Несвижа в разные сезоны года (мг/дм^3, мгN/дм^3, мгP/дм^3)**

Название	pH	HCO_3^-	CO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	P	$\sum_и$
зима														
Бернардинцев	8,33	183,7	Н.о.	30,5	56,2	9,02	Н.о.	Н.о.	74,0	16,2	13,5	4,7	0,008	387,8
Замковый	7,79	183,1	Н.о.	19,1	37,5	6,14	Н.о.	Н.о.	61,1	14,6	11,0	6,0	0,007	338,5
Девичий	8,07	250,2	Н.о.	27,7	32,7	1,59	Н.о.	Н.о.	67,1	18,5	14,2	5,4	0,008	417,4
Весна														
Дикий	7,20	350,9	Н.о.	90,7	165,0	12,70	0,150	1,20	115,4	32,1	50,0	20,0	0,094	838,2
Замковый	6,69	183,1	Н.о.	21,4	33,0	18,40	0,120	0,58	52,9	17,5	8,4	10,4	0,055	345,9
Бернардинцев	7,00	561,4	Н.о.	44,5	35,2	29,20	0,020	0,05	81,8	33,1	58,4	102,4	0,940	947,0
Девичий	7,01	256,3	Н.о.	23,1	52,8	25,00	0,380	1,39	80,2	19,5	10,8	5,4	0,030	474,9
Лето														
Дикий	7,73[1] 8,06	213,6 292,9	Н.о. 12,0	19,1 20,0	4,1 24,4	0,09 0,34	<0,006 <0,006	<0,040 0,451	25,7 73,8	19,5 30,2	7,8 11,0	2,4 3,4	<0,005 0,097	292,3 468,6
Замковый	7,6 7,81	201,4 231,9	Н.о. Н.о.	20,7 26,1	3,9 16,0	0,1 0,11	<0,006 0,107	<0,040 0,360	30,5 54,5	21,4 30,2	8,2 12,2	2,6 3,7	<0,005 0,206	288,8 375,4
Бернардинцев	7,43 7,6	201,4 213,6	Н.о. Н.о.	25,5 29,4	7,0 19,4	0,08 0,2	<0,006 0,006	0,288 0,930	30,5 54,3	15,6 31,1	9,8 14,6	2,0 4,0	<0,005 0,212	292,2 367,7
Девичий	7,53 8,84	170,9 274,6	Н.о. 30,0	22,8 26,7	5,5 21,6	<0,02 0,23	<0,006 0,009	0,140 0,591	41,7 54,5	11,7 29,2	10,4 12,2	2,6 4,6	<0,005 0,575	365,7 424,8
Альбянский	7,4	201,4	Н.о.	22,8	14,6	0,2	<0,006	**1,478 (3,8)[2]**	48,1	19,5	11,6	4,1	**0,322 (4,9)**	324,1
Осень														
Дикий	7,73 8,18	268,5 268,5	Н.о. 9,0	19,7 24,7	8,2 24,4	0,02 0,13	0,002 0,006	0,11 0,28	41,7 68,9	21,4 29,2	7,8 11,6	5,3 6,4	0,005 0,037	392,0 423,6
Замковый	7,75 7,95	268,5 268,5	Н.о. Н.о.	23,1 26,4	9,3 24,6	<0,02 <0,02	<0,006 <0,006	0,28 0,37	60,9 65,7	19,5 22,4	8,8 14,0	4,8 5,1	0,008 0,310	403,8 418,1
Бернардинцев	7,49 8,22	274,6 305,1	Н.о. 6,0	26,3 30,8	6,9 27,9	<0,02 0,75	<0,006 0,007	0,19 0,37	67,3 73,8	19,5 25,3	11,2 16,6	4,7 5,0	0,005 0,018	422,7 469,8
Девичий	7,5 7,83	244,1 256,3	Н.о. Н.о.	24,7 29,7	10,4 20,0	<0,02 0,08	<0,006 <0,006	0,20 0,91	51,3 64,1	17,5 21,4	9,8 15,0	5,5 6,2	0,044 0,241	379,8 390,9
Альбянский	7,55	231,9	Н.о.	19,7	44,6	<0,02	<0,006	**0,93 (2,4)**	40,1	24,5	15,0	7,2	<0,005	383,9
ПДК	6-9	-	-	300	100	9,03	0,024	0,39	180	40	120	50	0,066	1000
Фон	-	167 305	-	8,4 10,5	9,0 12,3	0,5 [19]	0,01 [6]	0,1 [6]	58,7 74,5	17,1 20,2	5,2 7,5	0,7 1,0	0,031 [8]	300 500

[1] В числителе – минимальное значение, в знаменателе – максимальное; [2] 1,478 (3,8) – значение и кратность превышения ПДК для рыбохозяйственных водных объектов.

88 Институт природопользования НАН Беларуси

фоновых концентраций и достигает 0,58–1,39 мгN/дм^3. Уровень содержания хлоридов и натрия возрастает в 4–8 (90,7 и 58,4 мг/дм^3 соответственно), сульфатов – в 13 (165,0 мг/дм^3), калия – в 20 раз и более (102,4 мг/дм^3). Также повышение концентраций характерно для фосфора фосфатного. Его содержание в весенний период увеличивается относительно «чистых вод» в 30 раз и достигает 0,094–0,940 мгP/дм^3.

Особое внимание уделено исследованию состава вод в период летне-осенней межени, когда влияние природных факторов сведено к минимуму. Изучение состава вод в летний и осенний периоды также выявили факт загрязнения биогенами. Так, содержание фосфора в прудах достигает 0,097–0,575 мгP/дм^3, что превышает содержание компонента в «условно чистых» водах в 18 раз; азота аммонийного – 0,360–1,478 мгN/дм^3, с превышением фона в 4–15 раз; калия – 3,4–7,2 мг/дм^3 (в 5–7,2 раза); азота нитратного – 0,11–0,75 мгN/дм^3 (до 1,5 раз). Установлено загрязнение природных вод фосфором фосфатным и азотом аммонийным в летний и в осенний периоды. При этом наибольших концентраций исследуемые компоненты достигают летом, тогда как содержание калия максимально осенью.

Таким образом, за последние 50 лет выявлена тенденция ухудшения качества поверхностных вод в г. Несвиже и его окрестностях, что проявляется в обогащении вод хлоридами, натрием, сульфатами и калием относительно дотехногенного уровня, загрязнении всем спектром исследуемых биогенных веществ в весенний период, а также азотом аммонийным и фосфором фосфатным в летнее и осеннее время.

Важным фактором, влияющим на качество вод в прудах, является ***скорость водообмена.*** Оптимальным для прудов считается 6–15-суточный водообмен [24]. Расчетным методом установлено, что водообмен во всех прудах каскада происходит за 71 сутки. Оптимальные показатели отмечены в прудах: Верхнем (0,6 сут.), Альбянском (8,6 сут.) и Замковом (10,5 сут.); в Диком (20,1 сут.) и Девичьем (35,3 сут.) – замедленный, а в Бернардинцев – практически полностью отсутствует. При сопоставлении многолетних данных о качестве вод в разные сезоны и с учетом скорости водообмена установлено, что наиболее загрязненными являются воды в прудах с отсутствием вобообмена (Бернардинцев) или с низкой его скоростью (Дикий, Девичий).

Атмосферные осадки. На основании [13] для прудов был произведен расчет количества солей, поступающих на акваторию прудов из атмосферы. Установлено, что существенного влияния на состав вод в прудах они не оказывают: непосредственно из атмосферы за год поступает 1,7–3,6 % солей от их содержания в водах прудов.

Поверхностный сток. Техногенная нагрузка на водоёмы в малых населенных пунктах формируется под воздействием поверхностного стока с территории староосвоенной высокоплотной индивидуальной застройки, а также с огородов и сельскохозяйственных угодий. Так, талые воды с усадебной застройки обеспечивают поступление вод гидрокарбонатного натриевого типа, а сток с сельскохозяйственных территорий – хлоридно-гидрокарбонатных калиевых. Кроме того, поверхностный сток в весенний период привносит в водоёмы и водотоки воды с высоким содержанием азота аммонийного (0,52–1,00 мгN/дм^3) и фосфора фосфатного (0,32–0,41 мгP/дм^3). Причем наибольшие концентрации биогенных веществ обеспечивают стоки с территорий, характеризующихся выраженным сельскохозяйственным использованием.

Грунтовые воды. Грунтовые воды в пределах г. Несвижа характеризует высокое долевое участие солей натрия (13–79 %-экв), хлоридов (3–60 %-экв), калия (2–35 %-экв), несколько меньшее – сульфатов (5–21 %-экв), следы азота аммонийного и фосфора фосфатного. Концентрация хлоридов в колодцах Несвижа достигает: 126,6–141,8 мг/дм^3, натрия – 64,0–96,5 мг/дм^3, что в 4–9 раз выше, чем в речных водах. Пределы содержания калия в грунтовых водах выражены диапазоном – 96,3–158,3 мг/дм^3, что в 22–32 раза выше, чем в речных водах. Кроме того, в грунтовых водах фиксируется высокое содержание азота нитратного – 19,4–30,7 мгN/дм^3, что более чем в 600 раз превышает концентрации данного компонента в р. Уше. На основании [20] установлено, что основным источником загрязнения прудов г. Несвижа является подземный сток, который формируют грунтовые воды со значительной геохимической трансформацией и высокими концентрациями загрязнителей.

Речные воды. Анализ данных мониторинга р. Уши, выполненный Межведомственной аналитической лабораторией (МЛАК) за период с 1998 по 2010 г. выявил многократные превышения критического уровня содержания биогенов в течение года, что позволило классифицировать воды в отдельные периоды как «грязные» и «предельно грязные» (табл. 2). Согласно [7], загрязнение речных вод может быть охарактеризовано как периодическое.

Таблица 2. **Загрязнение вод р. Уши биогенными веществами в период 1998–2010 г.**

Вещества	Пределы концентраций (мгN/дм^3, мгP/дм^3)	Количество проб (шт.)	Доля проб (%) с превышением фона, кратная:				
			2–5	5–10	10–15	>15	Всего >2
NO_3^-	0,10–7,65	154	29,2	20,0	9,2	15,4	73,8
NH_4^+	0,03–2,72	151	52,2	27,5	4,3	-	84,0
NO_2^-	0,005–0,190	153	31,2	31,9	14,3	11,3	88,7
P	0,006–0,263	154	28,8	2,7	-	-	31,5

Результаты проведенных экспериментальных исследований на современном этапе подтвердили факт загрязнения речных вод выше города биогенами. Установлено, что наибольших концентраций азот нитратный достигает в водах реки еще до попадания в каскад Несвижских прудов (0,32–14,28 мгN/дм^3). При этом в максимальной степени это проявляется в зимне-весенний период.

Содержание азота нитритного в воде Уши выше города варьирует в широком диапазоне: от < 0,006 до 0,181 мгN/дм^3. Установлено увеличение концентраций исследуемого компонента в речных водах в осенний период по отношению к летнему более чем в 30 раз. Максимальные концентрации в 18 раз превышают содержание азота нитритного, соответствующее чистым поверхностным водам [6], и в 7,5 раз – ПДК для рыбохозяйственных водоёмов. Повышенное содержание нитритов указывает на усиление процессов разложения органических веществ в условиях более медленного окисления NO_2^- в NO_3^-, что свидетельствует о загрязнении водного объекта [6, 15]. Содержание азота аммонийного в речных водах выше города достигает 0,028–1,08 мг/дм^3, превышая пороговое значение, соответствующее «чистым» водам, в 11 раз [8] и ПДК в 2–3 раза. Концентрации фосфора фосфатного в водах р. Уши выше города в исследуемый период изменяются в широких пределах: от < 0,005 до 0,100 мг/дм^3. Максимальных значений содержание компонента достигает в летне-осенний период: отмечается превышение фона в 3 раза и ПДК до 1,5 раз.

Мелиоративные каналы и ручьи. Выявлено, что состав вод мелиоративных каналов и ручьев предопределен техногенной нагрузкой на их водосборы. Так, каналы в парках характеризуются наименьшими концентрациями загрязнителей, а водотоки городских территорий – наибольшей. При этом наибольшая кратность превышения дотехногенных концентраций макрокомпонентов в водотоках города имеет место в летний период, а на сельскохозяйственных территориях – в осенний. Следует отметить, что сельскохозяйственное загрязнение является типичным не только для мелиоративных каналов, но и для водотоков и мелких водоёмов малого города (рис. 2).

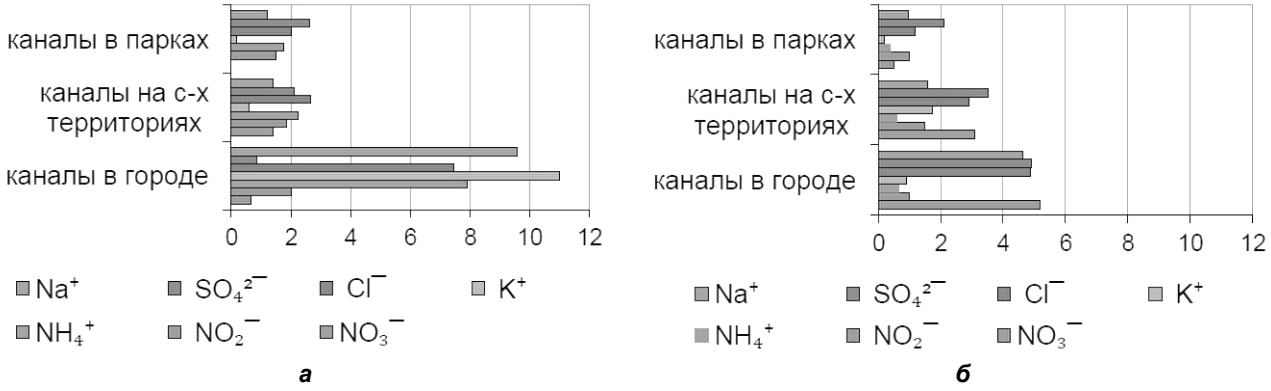


Рис. 2. Кратность превышения дотехногенных концентраций макрокомпонентов в водах мелиоративных каналов в зоне воздействия малого города: *а* – летний; *б* – осенний периоды

Таким образом, воды мелиоративных каналов, наряду с речными водами с сельскохозяйственных территорий могут являться одним из факторов загрязнения вод водотоков и водоёмов в малых городах.

Технологические пруды – это искусственные водоёмы, целенаправленно созданные в понижениях рельефа и ложбинах стока для выполнения предварительной очистки речных вод.

На основании результатов исследований 2011–2014 гг. установлено, что воды в технологических прудах в значительной степени трансформированы: представлены хлоридно-гидрокарбонатным типом с высокой долей ионов натрия в солевом составе (17–48 %-экв), а также гидрокарбонатным типом с высоким долевым участием хлоридов (14–30 %-экв). Кроме того, воды технологических прудов характеризуются присутствием ионов азота аммонийного (до 7 %-экв) в солевом составе [18]. Обогащены натрием, хлоридами, сульфатами, калием, загрязнены азотом нитратным (0,09–0,32 мг/дм^3), аммонийным (0,12–3,84 мг/дм^3), нитритным (до 0,411 мг/дм^3) и фосфором фосфатным (<0,005–0,436 мг/Рдм^3) относительно содержания данных компонентов в «чистых водоёмах» и водоёмах-водоприёмниках.

Оценка воздействия городской среды на воды р. Уши, выполнена на основании многолетних данных при помощи расчетного коэффициента геохимического воздействия (КГВ) (рис. 3). КГВ отражает, в целом, санирующее воздействие прудов на воды р. Уши в аспекте содержания азота минерального. Подтверждает факт эвтрофирования, что проявляется в привносе фосфора фосфатного, основной причиной увеличения концентраций которого являются сток с сельскохозяйственных территорий и развитие сине-зеленых водорослей.

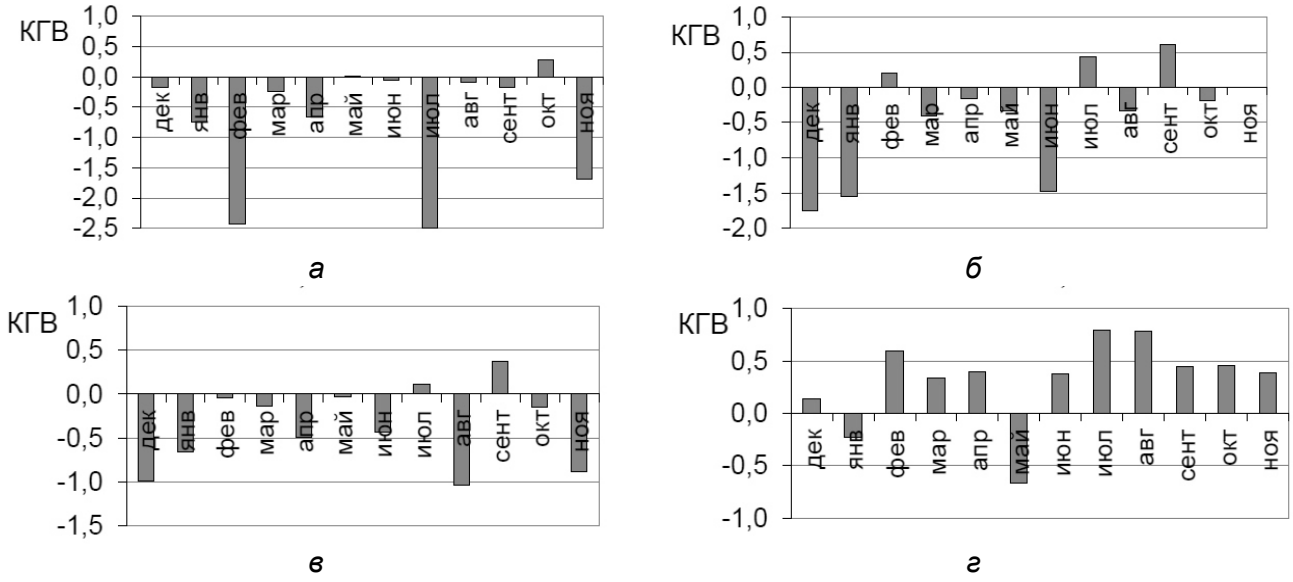


Рис. 3. Коэффициенты геохимического воздействия Несвижа на р. Ушу по содержанию: *а* – азота нитратного; *б* – азота нитритного; *в* – азота аммонийного; *г* – фосфора фосфатного в речных водах

Оценка качества прудовых вод. Среди изучаемых прудов рыбохозяйственным является только Альбянский. Однако, принимая во внимание местоположение пруда в каскаде прудов (см. рис. 1), качество его вод во многом определяется составом вод прудов, расположенных выше по течению реки, т. к. они являются русловыми. Поэтому ниже приведены данные, отражающие кратность превышения допустимых значений для рыбохозяйственных водоёмов, отмеченные на протяжении всего периода исследований: азота аммонийного – 1,2–3,8 ПДК, нитратного – 1,4–3,2, нитритного – 4,6–15,8, фосфора фосфатного –1,4–14,2, также встречаются превышения калия и сульфатов в весенний период – в 2 раза.

Выводы. Высокая степень сельскохозяйственной и мелиоративной освоенности водосбора р. Уши являются основными факторами загрязнения вод в её верхнем течении. Являясь загрязненными, речные воды формируют в прудах воды низкого качества и выступают одним из основных источников загрязнения прудов. Установлено, что воды мелиоративных каналов и ручьев, наряду с речными водами с сельскохозяйственных территорий, могут являться одним из факторов загрязнения водоёмов.

На основании анализа данных за последние 50 лет установлен факт ухудшения качества исследуемых поверхностных вод, проявившийся в обогащении их всем спектром исследуемых компонентов, загрязнении биогенами. Так, содержание калия в речных и прудовых водах возросло в 2–7 раз, азота аммонийного в 1,5–5, хлоридов и сульфатов – в 2–3, а также натрия – в 1,5–2 раза.

Установлено повсеместное загрязнение минеральным азотом и фосфором фосфатным. Выявлены существенные различия в концентрациях биогенов, содержащихся в речных и прудовых водах. Если воды р. Уши выше города характеризуются концентрациями азота нитратного превышающими фоновые значения почти в 30 раз, нитритного – более чем в 35, то в прудах фоновые показатели в этот же период не превышены более чем в 1,5 и в 11 раз соответственно. Однако, если в речных водах фоновое содержание фосфора превышено всего в 3 раза, то в прудах – более чем в 18. Коэффициент геохимического воздействия подтверждает преимущественно санирующее воздействие прудов, проявляющееся в понижении концентраций минерального азота, и, наоборот, в загрязнении фосфором прудовых вод.

Установлено, что тенденция поведения биогенных веществ в прудовых водах в значительной степени коррелируется техногенным фактором, проявляющимся преимущественно в сельскохозяйственном воздействии. В весенний период установлено повышение концентраций большинства исследуемых компонентов: азота аммонийного – в 6–14 раз относительно фоновых концентраций, хлоридов и натрия – в 4–8, сульфатов – в 13, калия – в 20, фосфора фосфатного – в 30 раз. Этот факт объясняется притоком талых вод с сельскохозяйственных территорий. В период летне-осенней межени также выявлен факт загрязнения фосфором фосфатным и азотом аммонийным с наибольшими значениями в летний период, а также калием – в осенний период.

Помимо сезонных особенностей распределения концентраций компонентов отмечены различия в дифференциации загрязнения в каскаде прудов. В зимне-весенний период наибольшему загрязнению подвержены пруды Дикий и Бернардинцев. Это объясняется привносом биогенов в составе речных вод и вод мелиоративных каналов, формирующихся на водосборе верхнего течения р. Уши. В летне-осенний сезон максимально загрязнены пруды Бернардинцев и Девичий, что связано с развитием застойных процессов и стоком с территории усадебной застройки. Важным фактором, способствующим развитию процессов эвтрофирования, является низкая скорость водообмена. Это подтверждает факт, что наиболее загрязненными в разные сезоны года считаются воды в прудах с отсутствием водообмена (Бернардинцев) или с низкой его скоростью (Дикий, Девичий).

Роль атмосферных осадков в механизме формирования солевого состава прудовых вод незначительна и для разных прудов составляет от 1,7 до 3,6 %. Поверхностный сток привносит в пруды воды с высоким содержанием натрия, хлоридов, калия, аммонийного азота, фосфора фосфатного и является источником загрязнения водоёмов. Основным фактором формирования вод поверхностного стока в весенний период является применение удобрений, вносимых с ранней весны на поля и приусадебные участки, а также сток с усадебной застройки и придорожных территорий. Подземный сток формируют воды со значительной геохимической трансформацией и высокими концентрациями загрязнителей. Так, содержание хлоридов и натрия в грунтовых водах в 4–9 раз превышает их концентрацию в речных, калия – в 22–32 раза, азота нитратного – более чем в 600.

Установлено, что пруды-усреднители, являясь индикаторами экологической обстановки прилегающих территорий (водосборов) находятся в неудовлетворительном экологическом состоянии и поставляют в речные пруды воды, загрязненные азотом минеральным и фосфором фосфатным. Кроме того, значительно обогащены натрием, хлоридами, сульфатами и калием относительно содержания данных компонентов в «чистых водоёмах» и водоёмах-водоприёмниках.

Таким образом, основными факторами и приоритетными источниками загрязнения вод речных прудов на территории г. Несвижа являются подземный сток и воды р. Уши. В меньшей степени прудовые воды загрязняются поверхностным стоком, а также водами мелиоративных каналов и ручьев, впадающих в водоёмы.

Литература

1. **Алекин, О. А.** Основы гидрохимии / О. А. Алекин. – Ленинград, 1952.
2. **Астапович, И. Т.** Зарастаемость прудов макрофитами и их влияние на продукционные процессы / И. Т. Астапович, В. И. Головнев, Г. П. Воронова // Тез. докл. Всесоюз. конф. по высшим водным и прибрежно-водным растениям. – Борок, 1977. – С. 38–40.
3. **Винберг, Г. Г.** Первичная продукция водоёмов / Г. Г. Винберг. – Минск,1960.
4. **Власов, Б. П.** Использование высших водных растений для оценки и контроля за состоянием водной среды / Б. П. Власов. – Минск, 2002.
5. **Геохимические** провинции покровных отложений БССР / под ред. К. И. Лукашёва. – Минск, 1969.
6. **Гидрохимические** показатели загрязнения городской среды: справочные материалы / под ред. Т. В. Гусевой. – Москва, 2007.

7. **Емельянова, В. П.** К оценке качества воды водотоков при сравнении степени их загрязненности / В. П. Емельянова, Г. Н. Данилова // Гидрохимические материалы, Т. LXVIII. – Ростов-на-Дону, 1979. – С.118–124.

8. **Жукинский, В. И.** Методические основы экологической классификации качества поверхностных вод суши / В. И. Жукинский, О. П. Оксиюк // Гидробиологический журн. 1983. Т.19, № 2. – С. 59–67.

9. **Кадацкая, О. В.** Геохимическая индикация ландшафтной обстановки водосборов / О. В. Кадацкая. – Минск,1987.

10. **Кирвель, И. И.** Пруды Беларуси как антропогенные водные объекты, их обслуживание и режим / И. И. Кирвель. – Минск, 2005.

11. **Ландшафтные** воды в условиях техногенеза / О. В. Кадацкая [и др]. – Минск, 2005.

12. **Ляхнович, В. П.** Пути повышения рыбопродуктивности прудов Белоруссии / В. П. Ляхнович. – Ленинград, 1966. – Т. 611. – С. 234–246.

13. **Матвеев, А. А.** Атмосферные осадки и сток растворённых веществ / А. А. Матвеев // Гидрохимические материалы. – Ленинград, 1967. – С. 5–19.

14. **Назаров, Г. В.** Формирование выноса фосфора из почвы в условиях антропогенного воздействия / Г. В. Назаров // Эволюция круговорота фосфора и эфтрофирование природных вод. – Ленинград,1988. – С. 33–38.

15. **Оношко, М. П.** Азот и его минеральные формы в ландшафтах Белоруссии / М. П. Оношко. – Минск, 1990.

16. **Природа** Беларуси : энциклопедия в 3 т. – Т. 2 : Климат и вода / редкол. : Т. В. Белова [и др.]. – Минск, 2010.

17. **Приходько, Н. Н.** Основные направления охраны малых рек Украинской ССР от заиления и загрязнения агрохимикатами / Н. Н. Приходько // Водные ресурсы. 1989. № 2. – С.147–154.

18. **Романкевич, Ю. А.** Эколого-геохимическая оценка технологических водоёмов в малых городах Беларуси / Ю. А. Романкевич // Природопользование. – Вып. 25. – Минск, 2014. – С. 98–108.

19. **Состояние** природной среды Беларуси : экол. бюл., 2013 г. / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2014.

20. **Тарасов, М. Н.** О расчете соотношений поверхностного и грунтового питания прудов гидрохимическим методом / М. Н. Тарасов. – Ленинград, 1961. – Т. 31. – С. 88–95.

21. **Хомич, В. С.** Санирующие аквальные системы урбанизированных территорий как фактор трансформации природных вод / В. С. Хомич [и др.] // Прикладная лимнология : сб. науч. ст. ; под ред. П. С. Лопуха.– Минск, 2000. – Вып. 2. – С. 201–206.

22. **Хомич, В. С.** Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси / В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик. – Минск, 2004.

23. **Чантурия, В. А.** История архитектуры Белоруссии (дооктябрьский период) / В. А. Чантурия. – Минск,1985.

24. **Широков, В. М.** Пруды Белоруссии / В. М. Широков, И. И. Кирвель. – Минск, 1987.

25. **Яцухно, В. М.** Формирование агроландшафтов и охрана природной среды / В. М. Яцухно, Ю. Э. Мандер. – Минск,1995.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 6.06.2015 г.

Ю. А. Романкевич

КОМПЛЕКСНАЯ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ МАЛОГО ГОРОДА БЕЛАРУСИ (НА ПРИМЕРЕ Г. НЕСВИЖА)

Представлена эколого-геохимическая оценка водоёмов и водотоков на территории малого города, включающая химический состав вод, а также природные и техногенные факторы, влияющие на формирование солевого состава. На основании многолетних данных установлено, что качество вод в водоёмах и водотоках обусловлено техногенной нагрузкой на их водосборы, основным фактором формирования которой является сельскохозяйственный.

На основании анализа данных за последние 50 лет установлен факт ухудшения качества поверхностных вод, проявившийся в обогащении их всем спектром исследуемых макрокомпонентов, а также загрязнении биогенными веществами.

Установлено, что основными факторами и приоритетными источниками загрязнения вод русловых прудов на территории г. Несвижа являются подземный сток и воды р. Уши, в меньшей степени прудовые воды загрязняются поверхностным стоком, водами мелиоративных каналов и ручьев, впадающих в водоёмы. Одним из источников загрязнения являются воды, поступающие в пруды из технологических водоёмов.

Y. A. Romankevich

INTEGRATED ECOLOGICAL-GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF WATER BODIES OF A SMALL CITY OF BELARUS (ON AN EXAMPLE OF NESVIZH)

Ecological and geochemical assessment water bodies and waterways on the territory of a small city, which includes the geochemical composition of water, as well as natural and technogenic factors affecting the formation of the salt composition is presented. Based on years of data found that the quality of water in reservoirs and streams due to anthropogenic impact on their catchment areas, the main factor in the formation of which is agriculture.

Based on the analysis of data for the last 50 years the fact that deteriorationka operation of surface water, manifested in the enrichment of the entire spectrum of the investigated macro- and nutrient pollution is established.

It is established that the main factors and the priority sources of pollution of the water-channel ponds in the city of Nesvizh are underground drainage and water district Usha are less polluted pond water runoff, water drainage canals and streams flowing into the reservoirs. One of the sources of pollution are the water coming into the pond from the process water bodies.

628.312:57

А. А. Волчек[1], О. Е. Чезлова[2]

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ СТОКОВ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ОРОШЕНИЯ НА ДРЕНАЖНЫЕ ВОДЫ (НА ПРИМЕРЕ СГЦ «ЗАПАДНЫЙ»)

Исследовано влияние орошения осветленными животноводческими сточными водами селекционно-гибридного центра «Западный» на бактериологическое состояние дренажных и поверхностных вод, находящихся в зоне влияния земледельческих полей орошения. Дана количественная характеристика основных бактериологических показателей.

Влияние животноводческих стоков на окружающую среду стало проявляться на территории Беларуси в начале 70-х годов прошлого столетия при переводе животноводства на промышленную основу. Наиболее остро эта проблема проявляется в районах с высокой плотностью крупных животноводческих комплексов, низким плодородием почвы и мелкоконтурностью полей, низким удельным весом пашни в общей земельной площади.

Сточные воды (СВ) животноводческих предприятий являются ценным органическим удобрением,так как содержат большое количество биогенных элементов, и традиционно используются для полива земледельческих полей орошения (ЗПО). При поливе сельхозугодий СВ рационально используются питательные вещества и влага, содержащиеся в стоках, улучшаются свойства почвы, а также условия минерального питания растений. Однако биологические и физико-химические процессы, протекающие в навозе, СВ свиноферм и орошаемых ими почвах, весьма разнообразны и изучены недостаточно в отношении бактериологического загрязнения. В ряде работ отечественных и иностранных исследователей показано, что при использовании стоков для орошения сельскохозяйственных культур особую угрозу окружающей среде представляет микробное загрязнение почв, биоценозов, поверхностных и грунтовых вод [1, 3, 4, 14–16].

Состояние проблемы

Животноводческие стоки содержат различные патогенные и условно-патогенные микроорганизмы: сальмонеллы, энтерококки, стафилококки, псевдомонады, гемофильные палочки и т. д. По степени бактериального и органического загрязнения такие стоки во много раз опаснее хозяйственно-бытовых и производственных. Общее количество микроорганизмов, содержащихся в них, более чем в 100 раз превышает их число в хозяйственно-бытовых и может достигать $9x10^5$–$9x10^9$ колониеобразующих единиц (КОЕ)/мл [9, 12]. Периоды жизнеспособности патогенной микрофлоры составляют от нескольких месяцев до 2–3 лет. Установлено, что *S.typhimurium, S.paratiphi B* и некоторые представители кишечной группы могут сохраняться в сточной и речной воде до 300 суток. Время выживаемости кишечной палочки и энтерококка в грунтовых водах составляет 400 суток [5].

Степень бактериальной обсемененности компонентов окружающей среды зависит от дозы бесподстилочного навоза, внесенного поверхностным способом. При дождевании многолетних трав навозными стоками из расчета 60–600 $м^3$/га (15–600 кг азота/га) наблюдается миграция бактерий по почвенному профилю. Санитарно-показательная микрофлора может достигать глубины 100 см [1, с. 39].

Дренажные воды наиболее загрязнены бактериями группы кишечной палочки (БГКП) в течение первых трех дней после полива СВ (самый низкий коли-титр дренажных вод составил 10^{-6}, а самый высокий $4x10^{-2}$). По бактериальной обсемененности сточная вода очищается в первые дни на 81,4–99,5 %. Через 11 дней после полива СВ дренажные воды становятся в 10 раз чище СВ по коли-титру, а по общей бактериальной обсемененности степень очистки составляет 99,4–99,9 % [10].

Грунтовые воды могут загрязняться бактериями в зоне орошения многолетних трав навозными СВ при оросительной среднегодовой норме 250–320 $м^3$/га (эквивалентно 200–300 кг азота/га) и мощности фильтрующего слоя 1,7 м. При норме стоков 600 $м^3$/га загрязнение грунтовых вод установлено в наблюдательных скважинах с мощностью фильтрующего слоя почвы 2,0 м. Микробное число в них составило 216±29,6 КОЕ/мл, коли-индекс 27,0±15,9, титр энтерококков 0,1 [1].

Орошение СВ может оказывать отрицательное влияние не только на санитарный режим водоприемников, но и на водные экосистемы в целом. Как показывают исследования [4, 8], во все годы полива ЗПО животноводческими стоками качество речных вод, находящихся в зоне их воздействия, не соответствовало гигиеническим нормам. Так, содержание лактозоположительной кишечной палочки в воде реки достигало

$2{,}4x10^2$ КОЕ/мл, энтерококка – 0,23 КОЕ/мл, сальмонеллы – до 0,005 КОЕ/мл. При этом наблюдалось уменьшение концентрации поступающих со стоками микроорганизмов в речной воде, тем не менее качество воды не соответствовало гигиенической норме. После прекращения поливов СВ санитарно-бактериологическое состояние вод улучшается, патогенная флора в воде исчезает [4, 8].

Воды прудов, находящиеся в зоне влияния ЗПО животноводческих комплексов и питающиеся дренажными водами мелиоративных систем этих комплексов, также подвергаются бактериологическому загрязнению, особенно в местах сброса дренажных вод в водоем, распространяющемуся до 350 м. Общее бактериальное обсеменение вод пруда увеличивается после орошения многолетних трав на 2–3 порядка [1].

Как показывают многочисленные исследования, орошение СВ может привести не только к химическому, но и бактериологическому загрязнению дренажных, грунтовых и поверхностных вод, гидравлически связанных с ЗПО. При этом химическому загрязнению, как правило, уделяется больше внимания, чем бактериологическому, хотя оно достаточно опасно.

Целью данной работы явилась оценка влияния микробиологических компонентов осветленных животноводческих СВ селекционно-гибридного центра (СГЦ) «Западный» на содержание санитарно-показательных бактерий в дренажных и поверхностных водах. В ходе выполнения работы определялись микробиологические показатели в СВ, дренажных и поверхностных водах в зоне действия оросительных систем (общих колиформных бактерий (ОКБ), термотолерантных колиформных бактерий (ТКБ), энтерококков, сульфитредуцирующих клостридий, патогенных бактерий *p. Salmonella*, и общего микробного числа (ОМЧ)).

Исследуемые ЗПО находятся в Брестском районе Брестской области. Годовое количество осадков по метеостанции Брест около 610 мм, а суммарное испарение на территории исследуемого региона составляет 550 мм влаги в год [2].

Почва в зоне ЗПО – дерново-подзолистая глееватая на связном песке, подстилаемая с глубины 92 см рыхлой супесью, а с глубины 164 см – глиной.

На исследуемом участке заложен гончарный дренаж на глубине 1,2 м.

Зона исследования включала участок, отведенный для орошения СВ – 40 га, прилегающий мелиоративный канал и д. Вельямовичи (рис. 1).

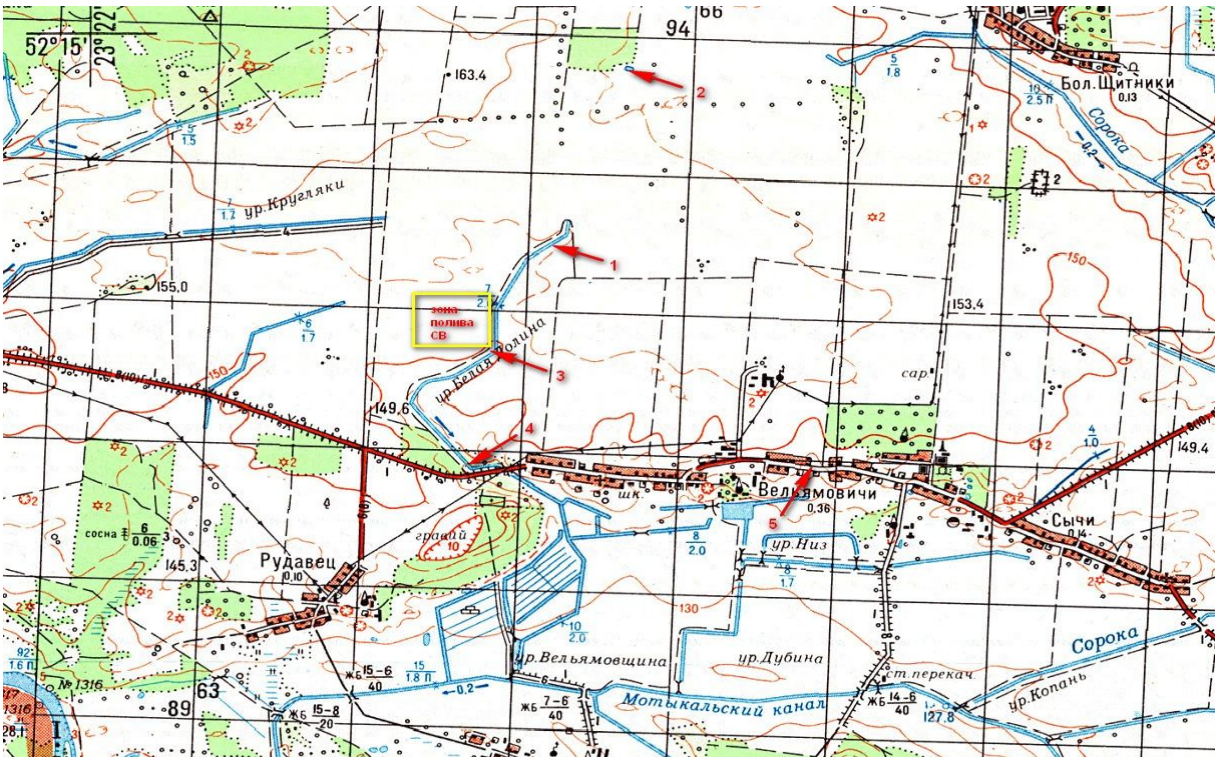


Рис. 1. Зона проведения исследований и точки отбора проб:
***1* – мелиоративный канал 200 м выше зоны орошения; *2* – резервуар осветленных стоков;**
***3* – выход дренажных вод в мелиоративный канал; *4* – мелиоративный канал 500 м ниже зоны полива;**
***5* – колодец д. Вельямовичи**

Полив СВ исследуемого участка производился в августе и сентябре 2014 г. после уборки выращиваемой культуры (ячмень). Полив осуществлялся осветленными СВ из резервуара осветленных стоков (РОС). Фактическая оросительная норма на исследуемом участке составила в среднем 2000 $м^3$/га. Отбор проб производился через 5 дней после полива.

Погодные условия в день отбора проб (24.09.2014) были следующие: среднесуточная температура +7,6 °С, без осадков. В период предшествовавший отбору проб (с 18.09 по 23.09.2014 г.) погода отличалась неустойчивостью: среднесуточная температура колебалась от 15,1 °С (18.09.2014 г.) до 9,4 °С (23.09.2014 г.); осадки наблюдались 20.09, 22.09, 23.09. 2014 г. (соответственно 0,5; 18,0; 5,0 мм).

Отбор проб СВ, дренажных и поверхностных вод проводился в соответствии с СТБ ГОСТ Р 51592-2001 «Вода. Общие требования к отбору проб». В каждой точке отобрано по одной пробе. Образцы из РОС и мелиоративного канала отбирались с глубины 10–15 см от поверхности воды. Дренажные воды отбирались непосредственно из дренажного устья в местах выхода их в мелиоративный канал. Для микробиологического анализа пробы отбирались в стерильные стеклянные флаконы в количестве 500 мл и до начала исследования хранились в холодильнике. Бактериологический анализ исследуемых вод осуществлялся по стандартным методикам [6, 7].

Определение бактериологических показателей проводилось методом прямого посева. Из отобранных образцов вод готовились серии децимальных разведений и производился посев на диагностические среды в соответствии с выбранным показателем. Результат выражался в КОЕ в 100 мл (ОКБ, ТКБ, энтерококки, сальмонеллы), КОЕ в 20 мл (сульфитредуцирующие клостридии), КОЕ/мл (ОМЧ).

Санитарно-гигиенические требования к сточным водам для орошения на территории Республики Беларусь регламентируются ГОСТ 17.4.3.05-86 «Требования к сточным водам и их осадкам для орошения и удобрения» [13]. Требования к качеству поверхностных вод отражены в СанПин 2.1.2.12-33-2005 [11].

При использовании СВ для орошения сельскохозяйственных земель необходимо поддерживать такой поливной режим, чтобы не только не допустить снижение плодородия орошаемых почв, но и ухудшение их санитарно-гигиенических характеристик. При этом необходимым условием является отсутствие в СВ патогенных микроорганизмов [13]. Несмотря на то, что в исследованных пробах СВ не было обнаружено патогенных бактерий *p. Salmonella,* содержание санитарно-показательных бактерий выше гигиенической нормы (ОКБ в количестве $6{,}2 \times 10^3$ КОЕ в 100 мл) и на ее верхней границе (ТКБ до 10^2 КОЕ в 100 мл) указывает на возможное присутствие в воде патогенов. Количество энтерококков и спор сульфитредуцирующих клостридий составило соответственно – 6×10^2 КОЕ/100 мл и $5 \cdot 10^2$ КОЕ/20 мл (табл.1).

Таблица 1. Санитарно-показательные микроорганизмы СВ СГЦ «Западный»

Исследуемый показатель	ОКБ, КОЕ в 100 мл	ТКБ, КОЕ в 100 мл	Энтерококки, КОЕ в 100 мл	Сульфитредуцирующиеклостридии, КОЕ в 20 мл	Сальмонеллы, КОЕ в 100 мл
СВ из РОС	$6{,}2 \cdot 10^3$	10^2	$6 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^2$	0
Гигиеническая норма для поверхностных вод [11]	Не более 1000	Не более 100	–	–	0

Содержание санитарно-показательных микроорганизмов по точкам отбора проб отражено на рис. 2.

Оценивая степень микробного загрязнения вод вследствие полива СВ можно отметить, что оно последовательно снижалась в ряду СВ, дренажные и поверхностные воды по большинству показателей за счет почвенной очистки, разбавления и других факторов. Так, в СВ концентрация микроорганизмов по показателю ОМЧ составила $2{,}4 \times 10^5$ КОЕ/мл,в дренажных водах – $4{,}5 \times 10^4$ КОЕ/мл, ниже по течению через 500 м в воде мелиоративного канала – 8×10^3 КОЕ/мл. Однако в сравнении с водами канала выше зоны полива произошло увеличение данного показателя в 40 раз. Почвенная очистка СВ (разница между количеством бактерий в сточных и дренажных водах, выраженная в процентах) при данных условиях составила 81,3 %, т. е. за счет почвенной очистки произошло снижение количества бактерий СВ по показателю ОМЧ в 5,5 раза.

В отношении ОКБ наблюдалась следующая зависимость: в СВ – $6{,}2 \times 10^3$ КОЕ/100 мл; в дренажных водах – $7{,}0 \times 10^3$ КОЕ/100 мл; в водах мелиоративного канала в 500 м ниже по течению – $2{,}40 \times 10^3$ КОЕ/100 мл. В сравнении с водами канала выше зоны полива в водах ниже этой зоны произошло нарастание бактерий данной

группы в 1,2 раза (превышение гигиенического норматива в 2,5 раза). При сравнении количества ОКБ в сточных ($6,2x10^3$ КОЕ/100 мл) и дренажных водах ($7,0x10^3$ КОЕ/100 мл) обнаружено нарастание количества бактерий в последних на 11,4 %. Очевидно, что почвенная очистка СВ при данных условиях была незначительна и дальнейшее снижение ОКБ в водах мелиоративного канала обусловлено разбавлением и другими причинами.

Обращает на себя внимание резкое увеличение ТКБ в водах мелиоративного канала ниже зоны орошения – в 12 раз (выше зоны полива – 10^2 КОЕ/100 мл, ниже зоны полива – $1,2x10^3$ КОЕ/100 мл), что требует дополнительного исследования, т.к. данная группа является наиболее эпидемически значимой в составе общих колиформных бактерий. Гигиенический норматив по данному показателю превышен в 12 раз.

Энтерококки в СВ находились в количестве $6x10^2$ КОЕ/100 мл. В дренажных водах их количество уменьшилось до 20 КОЕ/100 мл, что свидетельствовало о хорошей почвенной очистке в отношении данной группы бактерий – произошло снижение в 30 раз. В водах мелиоративного канала наблюдалось увеличение количества бактерий данной группы в 8,5 раз (выше зоны полива – 4 КОЕ/100 мл, ниже зоны полива – 34 КОЕ/100 мл).

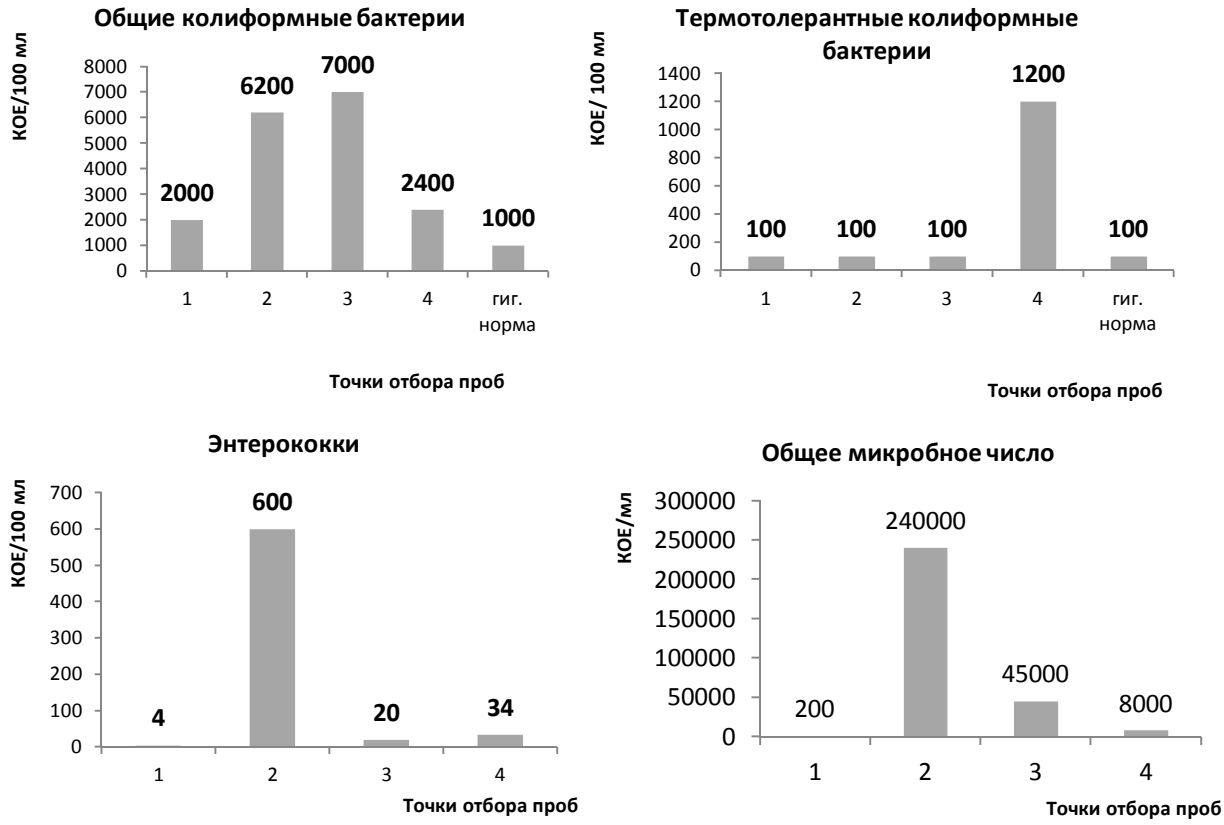


Рис. 2.Санитарно-показательные бактерии в сточных, дренажных и поверхностных водах СГЦ «Западный»: *1* – мелиоративный канал 200 м выше зоны полива; *2* – сточная вода РОС Яцковичи; *3* – дренажные воды; *4* – мелиоративный канал 500 м ниже зоны полива

Содержание спор сульфитредуцирующих клостридий в СВ составило $5x10^2$ КОЕ/20 мл. Однако уже в дренажных водах количество их значительно снижается (1 КОЕ/20 мл). В водах мелиоративного канала выше и ниже зоны полива данные микроорганизмы не обнаружены. Таким образом, можно предположить, что в отношении этой группы бактерий почвенная очистка СВ является эффективной.

Качество грунтовых вод оценивалось путем отбора пробы воды из колодца личного подворья д. Вельямовичи. Как выяснилось, вода колодца не соответствовала гигиеническим нормативам для питьевых вод нецентрализованного водоснабжения: по ОКБ норматив превышен в 60 раз(в колодце – 60 КОЕ/100 мл, гигиеническая норма – отсутствие), по общему микробному числу – в 1,4 раза (в колодце – 140 КОЕ/мл, гигиеническая норма – не более 100). Споры сульфитредуцирующих бактерий и энтерококки в колодце не обнаружены. Несмотря на выявленное бактериологическое загрязнение, необходимо

отметить, что оно обусловлено, судя по уклону местности и расположению исследуемого участка, иными источниками.

В целом можно сказать, что орошение СВ вызвало увеличение большинства санитарно-бактериологических показателей от 1,2 до 40 раз в водах мелиоративного канала в 500 м ниже зоны полива, несмотря на разбавляющее действие прошедших дождей (за предшествовавшую отбору проб неделю выпало суммарно 23,5 мм осадков) и понижение среднесуточной температуры до 9,4 °С.

В зависимости от условий полива и дренажной системы допускаемые значения могут варьировать в широких пределах.

Заключение

1. Выявлено влияние орошения сточными водами СГЦ «Западный» на микробиологическое качество дренажных вод и вод мелиоративного канала.

2. В дренажных водах через 5 дней после полива земледельческих полей орошения сточными водами, характеризующимися общим микробным числом $2{,}4 \times 10^5$ КОЕ/мл, количеством общих колиформных бактерий $6{,}2 \times 10^3$ КОЕ/100 мл, термотолерантных колиформных бактерий– 10^2 КОЕ/100 мл, энтерококков – 6×10^2 КОЕ/100 мл, сульфитредуцирующих клостридий – 5×10^2 КОЕ/20 мл, содержание бактерий по перечисленным показателям было соответственно следующим: $4{,}5 \times 10^4$ КОЕ/мл; 7×10^3 КОЕ/100 мл; 10^2 КОЕ/100 мл; 20 КОЕ/100 мл; 1 КОЕ/20 мл.

3.В водах водоприемного мелиоративного канала произошло увеличение санитарно-бактериологических показателей от 1,2 до 40 раз, вызванное микробиологической составляющей сточных вод. Наиболее значимыми показателями явились общее микробное число и термотолерантные кишечные бактерии.

4. Почвенная очистка сточных вод в отношении санитарно-показательных бактерий наиболее эффективна по показателям сульфитредуцирующих клостридий, энтерококков и общего микробного числа.

Работа выполнена в рамках совместного тематического конкурса фундаментальных и прикладных научных исследований по проблемам Брестской области «БРФФИ-Брест-2014» по проекту «Разработка режимов орошения сельскохозяйственных угодий сточными водами животноводческих предприятий.

Литература

1. **Баранников, В. Д.** Охрана окружающей среды при биологической очистке бесподстилочного навоза и использовании его на кормовых угодьях / В. Д. Баранников: автореф. дис. ... д-ра биол. наук.– М., 1993.

2. **Волчек, А. А.** Мухавец: энциклопедия малой реки / А. А. Волчек [и др.]. – Брест, 2006.

3. **Желязко, В. И.** Использование бесподстилочного навоза на мелиорируемых агроландшафтах. Теория и практика / В. И. Желязко, П. Ф. Тиво. – Минск, 2006.

4. **Захарова, О. А.** Микробоценоз почвы при разных уровнях антропогенного воздействия: Монография / О. А. Захарова, Л. В. Кирейчева, Ю. А. Мажайский. – Рязань, 2004.

5. **Забулис, Р. М.** Охрана подземных вод Литовской ССР от загрязнений районах крупных животноводческих комплексов. Методические рекомендации / Р. М. Забулис. – Вильнюс, 1988.

6. **Инструкция** по применению «Методы обнаружения возбудителей кишечных инфекций бактериальной природы в воде питьевой, открытых водоемов, бассейнов и сточных вод», утв. МЗ РБ 19.03.2009 № 025-0309 // Сборник инструкций по санитарно-микробиологическому контролю / ГУ «Гомельский областной центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья» / ГУ «Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии». – Ч. 2. – Минск, 2010. – С. 2–10.

7. **Инструкция** по применению «Санитарно-бактериологический санитарно-вирусологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов». Утв. МЗ РБ 08.05.2009 № 037-0409.

8. **Кирейчева, Л. В.** Микробоценоз ранее мелиорированных земель вблизи крупных свинокомплексов : монография / Л. В. Кирейчева, О. А. Захарова, К. Н. Евсенкин. – Рязань, 2011.

9. **Никитин, Д. П.** Крупные животноводческие комплексы и окружающая среда / Д. П. Никитин / Гигиена и санитария. № 4. – 1980. – С. 63–144.

10. **Романенко, Н. А**. Санитарно-эпидемические основы почвенной очистки сточных вод / Н. А. Романенко, Н. И. Хижняк, И. И. Бобун. – Кишинев,1993.

11. **Санитарные** правила и нормы «Гигиенические требования к охране поверхностных вод от загрязнения»: СанПин 2.1.2.12-33-2005. Утв. Постановлением Главного санитарного врача Республики Беларусь 28.11.2005г. № 198.

12. **Суржко, О. А.** Обоснование методологии экологически безопасной подготовки и утилизации жидких отходов предприятий агропромышленного комплекса : дис. ... д-ра тех. наук: 25.00.26 / О. А. Суржко. – Новочеркасск, 2003.

13. **Требования** к сточным водам и их осадкам для орошения и удобрения. – ГОСТ 17.4.3.05-86. – 1987. – Введ. 01.07.87.

14. **Corapcioglu, M. Y.** Microbial transport in soils and groundwater: Anumerical model / M. Y. Corapcioglu, A. Haridas // Adv. Water Resour., 1985. Vol. 8. – P. 188–200.

15. **Francisco, J. Díaz.** Efficacy of constructed wetlands for removal of bacterial contamination from agricultural return flows / J. Díaz Francisco [et al.] // Agricultural Water Management, Volume 97, Issue 11. – 1 November 2010. – P. 1813–1821.

16. **SO. Craun, G. F.** A summary of waterborne illness transmitted through contaminated groundwater // J. Environ. Health, 1985. Vol. 48. – P. 122–127.

[1] Брестский государственный технический университет,
[2] Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест

Поступила в редакцию 14.04.2015 г.

А. А. Волчек, О. Е. Чезлова

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ СТОКОВ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ОРОШЕНИЯ НА ДРЕНАЖНЫЕ ВОДЫ (НА ПРИМЕРЕ СГЦ «ЗАПАДНЫЙ»)

Показано влияние микробиологических составляющих оросительных сточных вод СГЦ «Западный» на качество дренажных вод и вод мелиоративного канала. В дренажных водах через 5 дней после полива земледельческих полей орошения сточными водами, характеризующимися общим микробным числом $2{,}4x10^5$ КОЕ/мл, количеством общих колиформных бактерий $6{,}2x10^3$ КОЕ/100 мл, термотолерантных колиформных бактерий – 10^2 КОЕ/100 мл, энтерококков– $6x10^2$ КОЕ/100 мл, сульфитредуцирующих клостридий – $5x10^2$ КОЕ/20 мл, содержание бактерий по перечисленным показателям было соответственно следующим: $4{,}5x10^4$ КОЕ/мл; $7x10^3$ КОЕ/100 мл; 10^2 КОЕ/100 мл; 20 КОЕ/100 мл; 1 КОЕ/20 мл. Произошло увеличение санитарно-бактериологических показателей воды мелиоративного канала от 1,2 до 40 раз. Наиболее значимыми показателями явились общее микробное число и термотолерантные кишечные бактерии. Почвенная очистка сточных вод в отношении санитарно-показательных бактерий наиболее эффективна по показателям сульфитредуцирующих клостридий, энтерококков и общего микробного числа.

A. A. Volchak, O. E. Chezlova

ASSESSMENT OF INFLUENCE OF THE MICROBIOLOGICAL COMPONENT OF LIVESTOCK WASTE OF AGRICULTURAL FIELDS OF IRRIGATION ON DRAINAGE WATER (FOR EXAMPLE WITH BREEDING COMPLEX «WESTERN»)

Influence microbiological components breeding complex «Western» irrigating sewage on quality of drainage waters is shown. The drainage water 5 days after watering agricultural fields irrigation wastewater characterized total microbial count $2{,}4x10^5$ CFU / ml, the amount general coliforms $6{,}2x10^3$ CFU / 100 ml, thermotolerant coliform bacteria 10^2 CFU / 100 ml, enterococci, $6x10^2$ CFU / 100 ml, sulfite-reducing clostridia – $5x10^2$ CFU / 20 ml, the concentration of bacteria on the above parameters were respectively as follows: $4{,}5x10^4$ CFU / ml; $7x10^3$ CFU / 100 ml; 10^2 CFU / 100 ml; 20 CFU / 100 ml; 1 CFU / 20 mL. There was an increase in sanitary and bacteriological indexes of water of the meliorative channel from 1,2 to 40 times. The most significant indicators were the total microbial number and thermotolerant coliform bacteria. Soil treatment of wastewater for sanitary indicative bacteria is most effective in terms of sulfite-reducing clostridia, enterococci and total microbial count.

УДК 550.4:551.3

М. И. Козыренко, Т. И. Кухарчик

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЛАКОКРАСОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ И ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЕ

Рассмотрена текущая ситуация с использованием лакокрасочных материалов, содержащих тяжелые металлы, в Беларуси и странах мира: отражены особенности законодательного регулирования использования тяжелых металлов при производстве красок; проведен анализ результатов исследований содержания тяжелых металлов в красках, используемых в том числе в бытовых целях; обозначены меры по ликвидации свинецсодержащих красок и очистке загрязненных участков, подверженных их воздействию

Использование тяжелых металлов (свинца, цинка, хрома и других) в составе лакокрасочных материалов обусловлено необходимостью улучшения их антикоррозионных, защитных и декоративных свойств. Однако достижение требуемых технических характеристик лаков и красок сопровождается появлением экологических проблем, связанных с загрязнением окружающей среды и негативным воздействием на здоровье человека. Особую озабоченность вызывают содержащиеся в лаках и красках соединения свинца, которые являются токсическими веществами и относятся к 1-му классу опасности. Еще в начале XX в. были охарактеризованы основные симптомы отравления свинцом при производстве свинцовых белил и работе с ними, имеются сведения о высокой заболеваемости людей, работающих на заводах по производству свинцовых пигментов; заболеваемости и смертности детей, родившихся у родителей, работающих в данной сфере производства; получены данные о накоплении свинца в крови детей за счет попадания в детский организм кусочков старой краски, пыли и загрязненной почвы [14, 18]. Именно в отношении свинецсодержащих красок к настоящему времени во многих странах на законодательном уровне приняты значительные ограничения.

Большую озабоченность вызывают хроматы свинца и цинка вследствие их канцерогенности [2]. Воздействие хроматов (в виде пыли, аэрозолей) приводит к развитию астмы, дерматитов, поражению печени и других органов [8, 20]. Негативные эффекты доказаны также в отношении других металлов, в том числе цинка и кадмия, которые могут вызвать острые и хронические отравления и различные заболевания [11].

Опасность лакокрасочных материалов, содержащих тяжелые металлы, состоит также в высокой вероятности их попадания в почву в результате отшелушивания с окрашенных поверхностей и последующего рассеяния в компонентах природной среды. По данным [10, 16], содержание свинца в почвах, отобранных у стен окрашенных зданий в населенных пунктах США, достигало в ряде случаев экстремально высоких значений (до 20 г/кг почвы).

Осознание экологической опасности при производстве и использовании в быту лакокрасочных материалов, содержащих тяжелые металлы, привело к разработке и принятию регулирующих документов как на международном, так и национальных уровнях. За длительную историю законодательного ограничения применения тяжелых металлов в лакокрасочных материалах достигнут определенный прогресс, прежде всего в отношении свинца. Вместе с тем проблема свинецсодержащих красок сохраняет свою актуальность до настоящего времени, не говоря уже о других металлах, которым уделялось гораздо меньше внимания. С учетом глобализации процессов во всех сферах жизнедеятельности и в первую очередь в торговле важным представляется понимание существующих различий между странами и регионами в отношении действующих стандартов, на что и направлена данная статья. Актуальным является также анализ ситуации с содержанием тяжелых металлов в ныне производимых красках, а также подходов к минимизации негативного воздействия лакокрасочных материалов и загрязненных участков.

Законодательное регулирование тяжелых металлов в лакокрасочных материалах. В связи с опасностью, которую представляет ***свинец*** для здоровья человека, первые шаги по ограничению использования свинцовых добавок в красках были предприняты уже в начале XX в.

В 1921 г. Генеральная Конференция Международной Организации Труда постановила принять ряд предложений о запрещении использования свинцовых белил в малярном деле. В итоге была принята Конвенция МОТ № 13 (Женева, 1921 г.) о свинцовых белилах в малярном деле, которая подлежала ратификации членами Международной Организации Труда. Требования Конвенции распространялись на использование свинцовых белил и сернокислого свинца в составе красок, предназначенных для внутренних работ. Исключения были предусмотрены при

необходимости использования таких продуктов для окраски железнодорожных станций и промышленных предприятий. Допускалось использование белых красителей, содержащих не более 2 % свинца в пересчете на чистый металл.

По данным [17], использование свинцовых белил при производстве красок в отдельных странах Европы было ограничено и ранее (Франции, Бельгии, Австрии – в 1909 г.); запреты на использование либо ограничение после принятия Конвенции также введены в Тунисе и Греции (1922 г.), Чехословакии (1924 г.), Великобритании, Швеции и Бельгии (1926 г.), Польше (1927 г.), Испании и Югославии (1931 г.), Кубе (1934 г.).

Решения в отношении некоторых других соединений свинца были приняты значительно позже. Предложение о полном запрете использования карбоната и сульфата свинца в красках в странах Европы было внесено в 1988 г. В 1999 г. в соответствии с Директивой 1999/45/ЕС установлен порядок маркировки красок и лаков, содержащих более 0,15 % свинца от массы краски (предупреждение о невозможности применения в местах, используемых детьми). Начиная с мая 2015 г., строгому контролю в ЕС будут подвергаться производство и импорт пигментов с хроматами свинца, а также их использование во всех категориях красок и покрытий. Такие шаги вынуждают производителей пигментов прекращать производство свинецсодержащих пигментов в Европе; производители красок, реализующие свою продукции в Европе, должны будут прекратить использование свинцовых пигментов в красках и защитных покрытиях. В 2012 г. решение о прекращении использования свинцовых пигментов принято такими крупными компаниями, как DuPont и AkzoNobel.

В США документы о запрете свинецсодержащей краски при использовании для внутренних работ были приняты в отдельных городах и штатах в период с середины 1950–1970 гг., хотя использование свинца в красках продолжалось. В 1971 г. принят Закон о предотвращении отравляющего воздействия свинецсодержащих красок (Lead-Based Paint Poisoning Prevention Act), которым, в частности, под краской на основе свинца (lead-based paint) принималась краска, содержащая более 1 % свинца. Изменения в закон, внесенные в 1973 г., снизили допустимый уровень свинца в красках до 0,5 %. В 1978 г. Комиссия по безопасности потребительских продуктов установила верхнюю допустимую границу содержания свинца в красках – 0,06 % (600 мг/кг). В 2009 г. допустимый уровень содержания свинца в красках снижен до 0,009 % (90 мг/кг) (Закон о повышении безопасности потребительских товаров – Consumer Product Safety Improvement Act).

Действия по сокращению использования свинца в красках предпринимаются также в странах Азии [7, 9]. Так, в Индии Комитетом по стандартам допустимые уровни тяжелого металла были снижены с 1000 мг/кг до 90 мг/кг; в Шри-Ланке ужесточены требования к содержанию свинца в красках для игрушек и товаров для детей – до 90 мг/кг, стандарт для эмалей и красок для пола сохранился на прежнем уровне – 600 мг/кг. Китайским национальным техническим комитетом по стандартизации красок и пигментов решение о снижении концентрации свинца в красках с 600 мг/кг до уровня 90 мг/кг было принято в 2009 г. В Австралии и Новой Зеландии в январе 2009 г. установлен стандарт безопасности потребительских товаров, в соответствии с которым содержание свинца в красках не должно превышать 90 мг/кг, в пальчиковых красках – 25 мг/кг.

В Индонезии допустимый уровень содержания свинца в красках принят на уровне 90 мг/кг (с перспективой отказа от использования в 2015 г.), в Бангладеш ведущие производители красок уже в 2013 г. отказались от использования свинецсодержащих пигментов; в то же время в Непале и Тайланде дата принятия соответствующих документов к исполнению установлена не была.

В СССР краски для внутренних малярных работ, содержащие свинец, запрещены на законодательном уровне в 1984 гг. В 1991 г. Россия ратифицировала Конвенцию МОТ № 13 об использовании свинцовых белил в малярном деле. В соответствии с ГОСТ 12.3.035-84 «Строительство. Работы окрасочные» при механизированном окрашивании вентилируемых помещений содержание свинцовых пигментов в окрасочном составе не должно превышать 1 %.

В Беларуси Постановлением Министерства здравоохранения от 22.12.2009 № 135 утверждены «Критерии безопасности лакокрасочных материалов», в соответствии с которыми они не должны содержать сиккативов, включающих металлы химических веществ 1-го класса опасности, количество которых в пересчете на сухой остаток превышает 0,5 %, а свинецсодержащих пигментов (кроны свинцовые) – 15 %.

Кроме того, «Межотраслевыми правилами по охране труда при работе со свинцом и его неорганическими соединениями» [4] предусмотрены меры безопасности при окрашивании способом ручного распыления: содержание свинцовых пигментов в лакокрасочных материалах не должно превышать 0,005 мг/м^3 (в случаях, когда по технологическим требованиям должны использоваться лакокрасочные материалы с более высоким содержанием соединений свинца, допускается их применение при условии содержания в воздухе рабочей зоны красочной пыли не более

0,5 мг/м^3). Применение свинецсодержащих материалов допускается при окраске изделий механизированным способом при соблюдении определенных правил безопасности.

В мае 2009 г. на второй Международной конференции по управлению химическими веществами Беларусь стала одной из ста стран, которые утвердили Глобальное партнерство по прекращению использования свинца в красках к 2020 г.

Из-за токсичных свойств ***хроматов*** еще с середины XX в. поднимался вопрос об их замене новыми видами пигментов, безопасными для здоровья человека и окружающей среды. Однако, несмотря на свою токсичность, данные соединения продолжают использовать в качестве пигментов и добавок при изготовлении различных видов и марок красок. Наиболее популярно их использование в составе грунтовок из-за высоких противокоррозионных свойств.

Данные вещества не запрещены к использованию в индустриальных покрытиях, если доказано, что другой альтернативы нет. Тем не менее, по данным [13], в США в 1980 гг. рецептуры многих цветных красок были переработаны с целью исключения хроматов. С 2000 г. в США наблюдается снижение объемов использования хроматов в пигментах для красок и покрытий, а также других материалов. По мере возможности данное вещество заменяется менее токсичными неорганическими и органическими пигментами.

В настоящее время достаточно широкое использование ***цинка*** в качестве добавок (пигментов и антикоррозионных добавок) при производстве лакокрасочных материалов не вызывает такого пристального внимания со стороны общественности и ученых сообществ, как использование свинца. Более того, фосфоокись цинка и окиси цинка в комбинациях с другими соединениями рассматривались как перспективные пигменты, способные заменить токсичное сырье на основе свинца и хроматов [5]. Очевидно, это связано с меньшей токсичностью металла.

Регулирование использования ***кадмия*** в качестве красящего вещества в различных материалах в Евросоюзе осуществляется в соответствии с Директивой по кадмию 91/338/EEC.

В мае 2011 г. Европейская Комиссия утвердила документ (EU 494/2011), в который были внесены поправки в ограничения по использованию кадмия, принятые в Приложении XVII постановления No.1907/2006 Европейской Комиссии. Новое постановление вступило в силу 10 декабря 2011 г. и ограничивает использование кадмия в ювелирных изделиях, медных и пластиковых материалах. В документе устанавливается, что кадмий не должен использоваться в красках. В цинксодержащих красках с массовой долей цинка выше 10 % верхний предел содержания кадмия составляет 0,1 %. Запрещается продавать окрашенные предметы, если концентрация кадмия в них находится на уровне 0,1 % (1000 мг/кг) от массы краски или превышает его.

В границах Таможенного союза использование соединений свинца, хрома и кадмия в составе лакокрасочных материалов и растворителей, применяемых в строительстве для внутренних работ, планируется к запрету техническим регламентом «О безопасности лакокрасочных материалов», по проекту которого к данному моменту завершено внутригосударственное согласование. Меры предосторожности в работе с лакокрасочными материалами, содержащими тяжелые металлы, в Беларуси в настоящее время предусматриваются «Межотраслевыми правилами по охране труда при выполнении окрасочных работ» (с 1 января 2013 г.), в соответствии с которыми не допускается наносить методом распыления лакокрасочные материалы, содержащие соединения сурьмы, свинца, мышьяка, меди, хрома [3].

Содержание тяжелых металлов в красках. О содержании свинца в старых красках можно судить по результатам обследования окрашенных поверхностей жилых домов. В табл. 1 представлены результаты исследований, выполненных в Великобритании для жилых домов, построенных в разное время (в каждой строке представлены обобщенные результаты анализа 10 проб, отобранных в пределах одного жилого помещения). Максимальные содержания тяжелого металла, достигающие сотен грамм на килограмм краски, отмечалось в красках из наиболее старых строений (1860–1910 гг.).

Заметное снижение содержания свинца произошло после Второй мировой войны: в 1950-е годы средние значения составляли 2400–4500 мг/кг. Об устойчивом тренде снижения содержания свинца в красках свидетельствуют данные опробования окрашенных поверхностей 1990-х гг. (135 мг/кг). Аналогичные результаты получены также в ходе исследований в США [23].

Использование тяжелых металлов (свинца, цинка, хрома и др.) для различных марок красок в СССР допускалось в соответствии с ГОСТами (ГОСТ 10144–89, ГОСТ 7313–75, ГОСТ 6465–76 и др.), ОСТами (отраслевыми стандартами) и ТУ (техническими условиями) (в документах конкретно не прописан состав тех или иных лакокрасочных материалов и содержание в них металлов). По данным [2], содержание цинковых белил и свинцового крона в отдельных видах красок составляло 6,0–7,4 % от общей массы.

О высоких концентрациях тяжелых металлов в красках со старых окрашенных поверхностей можно судить и по результатам собственных исследований [1]: суммарное содержание тяжелых металлов в сухой краске составило около 5 % (сумма цинка, свинца, меди, хрома и кадмия). Среднее содержание свинца в красках с окрашенных поверхностей составило около 0,6 %.

Таблица 1. **Содержание свинца в красках с окрашенных поверхностей домов в Великобритании (по данным [15])**

Годы постройки	Диапазон концентраций, мг/кг	Средняя концентрация, мг/кг
1860-е	90–430 000	141 200
1900-е	16 000–144 000	78 400
	5200–385 000	129 400
1910-е	200–177 000	14 090
1920-е	520–72 000	19 300
1950-е	1900–2600	2400
	850–7200	4500
1970-е	580–1500	1050
1980-е	10–1000	170
1990-е	50–300	135

Несмотря на предпринимаемые попытки ограничения использования тяжелых металлов, особенно, свинца при изготовлении лаков и красок, его содержание в современных красках в ряде стран остается высоким. В табл. 2 представлены результаты химико-аналитических исследований эмалевых и масляных красок, проведенных под эгидой Международной организации Toxics Link [6, 17, 19]. Установлено, что на фоне значительного диапазона концентраций свинца в лакокрасочных материалах (от значений ниже предела обнаружения метода до 190 000 мг/кг) высока доля проб с содержанием свинца более 90 мг/кг (предельно допустимого уровня свинца в красках в США и других странах). Наиболее высокие уровни свинца зафиксированы в красках, произведенных в Мексике, Нигерии и Танзании. В целом для большинства стран, в которых проведены исследования, доля образцов с превышением уровня 90 мг/кг составила от 47 до 100 %. Диапазон средних концентраций был 5 500–61 800 мг/кг, что в десятки и сотни раз выше стандартов, установленных в США.

Результаты исследований указывают на высокие концентрации свинца преимущественно в эмалях и масляных красках, хотя в отдельных странах Азии и Африки (Шри-Ланке, Сенегале и Нигерии) свинец содержится и в водорастворимых красках, в ряде случаев также с превышением уровня 90 мг/кг.

В Беларуси на содержание свинца были проанализированы 30 образцов, в том числе 22 эмалевых и 8 водоэмульсионных красок. Большинство эмалевых красок имели значительное содержание свинца. Около 82 % образцов эмалевых красок содержали свинец в концентрациях выше 90 мг/кг; максимальные значения достигали почти 60 г/кг.

Таблица 2. **Содержание свинца в эмалевых красках современных производителей (по данным [6, 17, 19])**

Страна	Год	Количество образцов	Содержание свинца, мг/кг			Доля образцов с концентрацией Pb > 90 мг/кг
			min	max	среднее	
Беларусь	2009	22	0,6	59 387,2	5557,5	82
Бразилия	2009	24	0,6	170 258,4	15 004,1	42
Индия (Дели)	2008	20	Н.о.	184 733	–	Не менее 72
Индия	2009	22	8,1	49 593	9410,6	36
Мексика	2009	20	22 758,5	163 812	51 860,1	100
Нигерия	2009	23	4636	129 837	36 989,5	100
Россия	2011	21	–	52 900	8340	76
Сенегал	2009	21	0,6	29 717	5866,4	86
Таиланд	2009	17	0,6	505 716	61 893	47
Танзания	2009	20	193,2	120 862,1	14 537	100
Филиппины	2009	15	3,4	189 163,5	28 354	67
Шри-Ланка	2009	19	4	137 325	25 210	68
ЮАР	2009	29	3	195 289	19 862	65

На примере проб лакокрасочной продукции белорусских производителей продемонстрирована зависимость содержания свинца от цвета продукции: максимальные его уровни зафиксированы в желтой краске – в среднем около 24 000 мг/кг (см. рис. 1). Существенно более низкие концентрации свинца характерны для красок других цветов: оранжевого – 2370 мг/кг, зеленого – 1650, синего – 1550, красного – 1120 кг/мг. Отмечается, что применительно к различным производителям наиболее высокие содержания свинца выявлены в ярких красках красного, оранжевого, желтого и зеленого цвета. В то же время в исследованиях, проведенных в России [6], очень высокие уровни содержания свинца обнаружены и в красках синего цвета – свыше 10 000 мг/кг.

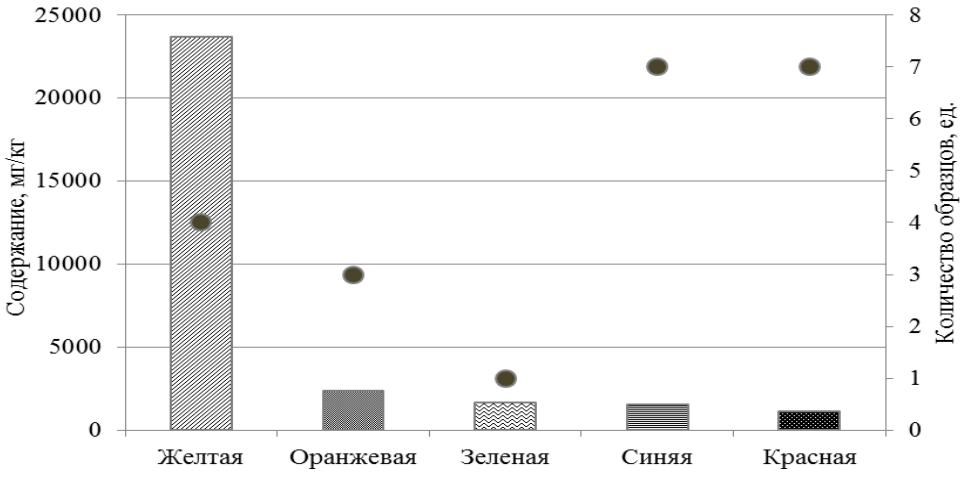


Рис. 1. Среднее содержание свинца в красках белорусских производителей в зависимости от цвета продукции (по данным [19])

Меры по снижению негативного воздействия окрашенных поверхностей на окружающую среду и здоровье населения. К настоящему времени в ряде стран разработаны меры по предотвращению негативного воздействия свинецсодержащих красок на здоровье человека и на природную среду. Так, в США установлены соответствующие уровни опасности по содержанию свинца в различных субстратах (пыли, почвах), разработаны подходы по повышению безопасности при работе с окрашенными поверхностями.

В США после запрета в 1978 г. применения краски, содержащей свинец в количестве более 0,06 %, для бытовых целей были разработаны меры по предотвращению попадания свинца в организм людей, проживающих в домах до 1978 г. постройки. Частью X Закона о жилом и общественном развитии (Housing and Community Development Act) 1992 г. предусмотрены меры по снижению опасности свинецсодержащих красок для детей, направленные на контроль и информирование населения, покупателей жилых домов об опасности свинца. При этом дома, построенные до 1978 г., считаются как представляющие риск вследствие возможного использования свинецсодержащих красок.

О повышении качества контроля рисков и снижении опасности для населения от воздействия свинецсодержащих красок идет речь в части IV Закона о контроле токсических веществ (The Toxic Substances Control Act) 2009 г. Закон предусматривает следующие обязательства, принимаемые АООС США:

доведение до сведения населения информации об опасности свинецсодержащих красок, пыли и почв, загрязненных свинцом;

обеспечение надлежащей подготовки и сертификации кадров, занимающихся обнаружением и контролем свинца;

публикация требований к аккредитации учебных программ;

разработка критериев оценки эффективности коммерческих продуктов, используемых для обнаружения и снижения рисков, связанных со свинецсодержащими красками;

определение критериев и стандартов для лабораторного анализа свинца в краске, почвах и пыли;

разработка программы по сертификации лабораторий по проведению анализов на содержание свинца;

публикация и распространение среди населения списка сертифицированных лабораторий по проведению соответствующих анализов.

Кроме того, на АООС США возлагаются обязанности по повышению информированности населения о новых технологиях удаления и обращения со свинецсодержащими красками, снижению рисков и т. д.

В соответствии с принятыми законами АООС США разработаны программы, направленные на регулирование рисков, связанных со свинецсодержащими красками: Программа по свинцу, связанная с обновлением, ремонтом и покраской (Lead Renovation, Repair and Painting Program), Программа обучения и сертификации по работам со свинецсодержащими красками (Training and Certification Program for Lead-based Paint Activities), Программа по разглашению информации об использовании свинца в составе красок (Lead Residential Lead-Based Paint Disclosure Program) и др.

Конкретные меры по проведению работ со свинецсодержащими красками прописаны, в частности, в руководстве по проведению работ в зданиях, имеющих историческое значение [12], где определен следующий перечень возможных мероприятий:

удаление свинецсодержащей краски внутри помещений безопасными методами (без пыления);

удаление покрытий за пределами помещения (при возможности);

использование дополнительных покрытий (ламинирование поверхности);

полное удаление загрязненных элементов, их замена на аналоги.

Работы по снижению рисков, очистке почв от свинца проводятся с учетом стандартов, установленных АООС США, в качестве уровней, определяющих опасность свинца для населения, в том числе детей. В соответствии с правилами «Идентификация опасных уровней свинца» 2001 г. (Identification of Dangerous Levels of Lead, Final Rule), размещенными в Федеральном Реестре США, свинец представляет опасность в пыли внутри помещений на полах в концентрациях, равных или превышающих 40 мкг/фут^2, на подоконниках – 250 мкг/фут^2. Для почв, не покрытых растительностью, опасный уровень составляет 400 мг/кг на детских площадках и 1200 мг/кг на других участках двора. Кроме того, опасность представляют краски со старых поверхностей.

Обследование потенциально загрязненных свинцом почв проводится в первую очередь в местах частого пребывания детей (игровых площадках), фруктовых садах и т. д. Отбор проб почв, за исключением садовых участков, проводится преимущественно из верхнего почвенного слоя (около 1,5 см) [21]. При уровне 100 мг/кг и менее почва считается чистой в пределах фоновых уровней для урбанизированных территорий.

В США к настоящему времени имеется опыт ремедиации почв на приусадебных участках, загрязненных свинцом, путем механического изъятия загрязненной почвы. В частности, очистка путем экскавации загрязненного грунта и восстановлением почвенного покрова (засыпкой чистого грунта и посевом газона) была проведена на территории, включенной в списки Суперфонда – Omaha Lead Superfund Site, где результаты отбора проб почв показали опасные для здоровья человека уровни содержания свинца [24].

Очевидно, что важным фактором снижения негативного воздействия свинцовых красок на население является его информированность о потенциальной опасности и освещение наиболее простых путей решения проблемы, таких как организация детских площадок в местах с безопасными уровнями содержания свинца в почве, создание оптимального уровня pH почв и внесение органических удобрений для снижения перехода тяжелых металлов в растения и т. д. [22, 24].

Выводы. Результаты исследований показали, что во многих экономически развитых странах к настоящему времени достигнуты значительные успехи в отношении регулирования свинца в красках: запрещены к использованию свинцовые белила, разработаны стандарты, ограничивающие использование свинца в составе лакокрасочных материалов на уровне не более 90 мг/кг, установлен порядок маркировки свинецсодержащих красок и т. д. Ряд ведущих западноевропейский производителей красок отказались от использования свинца. В целом общемировая тенденция направлена на полный отказ от использования свинца в составе лаков и красок. О достигнутом прогрессе свидетельствуют также данные обследований окрашенных поверхностей жилых домой в Великобритании и США, где к проблемным, требующим специальных мер относятся только постройки до 1978 г.

Вместе с тем анализ доступных данных позволяет заключить, что проблема использования красок, содержащих свинец и другие тяжелые металлы, будет актуальна еще на протяжении многих лет. Это обусловлено продолжающимся производством такой продукции, в том числе и в Беларуси. Установлено, что действующие в Беларуси стандарты, регламентирующие содержание свинца в лакокрасочной продукции, являются менее жесткими, чем принятые во многих странах мира. Содержание свинца в красках, производимых в Беларуси в настоящее время, в десятки и сотни раз выше стандартов, установленных, например, в США.

Особого внимания заслуживают окрашенные поверхности зданий и сооружений, в первую очередь жилого сектора, являющихся пролонгированным источником поступления тяжелых металлов в окружающую среду. За счет естественного отшелушивания краски или намеренного ее удаления с поверхности возможно загрязнение почв, других природных компонентов, и, как следствие, поступление опасных веществ в организм человека. Следует подчеркнуть, что полученные первые данные о содержании тяжелых металлов в краске окрашенных поверхностей, отобранных в Беларуси, показали высокие содержания не только свинца, но и цинка, хрома, меди, кадмия. Указанными металлами оказалась загрязнена почва вблизи окрашенных поверхностей. Это означает, что при ежегодном использовании в стране 85–105 тыс. т эмалей, лаков и красок, их необходимо рассматривать как существенный источник поступления тяжелых металлов в окружающую среду.

В связи с этим представляется необходимым расширение научных исследований, направленных на оценку объемов поступления в почвы тяжелых металлов с лакокрасочными материалами, а также на изучение особенностей формирования аномалий вблизи окрашенных поверхностей.

Актуальными являются гармонизация нормативной законодательной базы по содержанию тяжелых металлов в лакокрасочных материалах и принятие соответствующих документов, регулирующих использование тяжелых металлов,

замена рецептур лаков и красок. Наряду с этим необходимо информационное оповещение и введение в проблему населения; разработка рекомендательных документов по ведению хозяйства на приусадебных участках, по способам организации участков, прилегающих к окрашенным домам, заборам и т. д.

Литература

1. **Козыренко, М. И.** Загрязнение почв тяжелыми металлами у окрашенных поверхностей: результаты изучения на примере г. Лиды / М. И. Козыренко, Т. И. Кухарчик // Природопользование. 2014. – Вып. 26. – С. 54–59.
2. **Лившиц, М. Л.** Лакокрасочные материалы: справочное пособие / М. Л. Лившиц, Б. И. Пшиялковский. – М., 1982.
3. **Межотраслевые** правила по охране труда при выполнении окрасочных работ Утв. Постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь № 104 от 28.09.2012.
4. **Межотраслевые** правила по охране труда при работе со свинцом и его неорганическими соединениями. Утв. Постановлением Министерства труда и специальной защиты Республики Беларусь № 116 от 21.09.2009.
5. **Развитие** промышленности неорганических пигментов и наполнителей / сост. Г. Ю. Гладышев. – М., 1981.
6. **Содержание** свинца в бытовых красках в Российской Федерации // IPEN. – 2011.
7. **Asian** Lead Paint Elimination Project Partner Newsletter. Volume 3, Issue 1. – 2014. – 4 p.
8. **Chromate** Primer Paints. HSE information sheet. Engineering Sheet No 32 [Electronic resource]. – Mode of access : http://www.hse.gov.uk/pubns/eis32.pdf. – Date of access : 05.03.2011.
9. **Double** Standard. Investigating Lead (Pb) Content In Leading Enamel Paint Brands In South Asia // New Delhi: Toxics Link, 2011. – 36 p.
10. **Final** Lead-Based Paint Recontamination Study Report // US EPA, 2009. – 132 p.
11. **Gonick, H. C.** Nephrotoxicity of cadmium & lead // Indian J Med Res. 2008. – 128(4). – P. 335–352.
12. **Guidance** for Lead Based Paint Abatement in Historic Preservation Projects [Electronic resource]. – Mode of access : http://www.phmc.state.pa.us/Portal /forms/RITC/lead_paint.pdf. – Date of access : 10.05.2012.
13. **Hexavalent** Chromium // Occupational Safety and Health Administration. – US Department of Labor, 2009. – 30 p.
14. **Holley, C. D.** The Lead and Zinc Pigments. – New York John Wiley & Sons, London: Chapman & Hall, Limited, 1909. – 330 p.
15. **Horner, J. M.** Lead in house paints – Still a health risk that should not be overlooked [Electronic resource]. – 2004. – Mode of access : http://www.cieh.org/jehr/lead_house_paints.html. – Date of access : 15.03.2015.
16. **Howden S.** The Analysis of Soil, Paint, and House Dust for Lead Contamination / S. Howden, C. Schneider, Z. Grosser // Atomic Spectroscopy. – 1996. – № 17(4). – P. 171–175.
17. **Johnson, S.** Lead in Paints / S. Johnson, N. Saikia, R. Sahu. – Pollution Monitoring Laboratory of CSE, 2009. – 31 p.
18. **Lead** Exposure Abatement Plan for Egypt: Results of Environmental Sampling for Lead. Activity Report No. 32. – Washington: U.S. Agency for International Development, 1997. – 107 p.
19. **Lead** in New Decorative Paints: report / Toxics Link, IPEN [Electronic resource]. – 2009. – Mode of access : http://www.ipen.org/ipenweb/documents/work%20documents/global_paintstudy.pdf. – Date of access : 10.05.2012.
20. **Paint** Department: Health and Safety Guidelines // IATSE Local 891. – 2001. – 20 p.
21. **Revised** Interim Soil Lead Guidance for Cercla Sites and RCRA Corrective Action Facilities // US EPA, 1994. – 18 p.
22. **Rosen, C. J.** Lead in the home garden and urban soil environment [Electronic resource]. – 2009. – Mode of access : http://www.extension.umn.edu/garden/yard-garden/soils/lead-in-home-garden/. – Date of access : 10.03.2015.
23. **Sutton, P. M.** Lead Levels in the Household Environment of Children in Three High-Risk Communities in California / P. M. Sutton [et al.] // Environmental Research. – 1995. – № 68. – P. 45–57.
24. **Your** Guide to the Omaha Lead Superfund Site // US EPA, 2011. – 4 p.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 26.05.2015 г.

М. И. Козыренко, Т. И. Кухарчик

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЛАКОКРАСОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ И ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЕ

В статье рассматриваются нормативно-законодательные документы, регламентирующие содержание свинца, кадмия, хрома и цинка в лакокрасочной продукции, принятых в Европейском Союзе, ряде стран Азии, США, а также в Беларуси и России. Показано, что в целом общемировая тенденция направлена на полный отказ от использования свинца в составе лаков и красок.

Проанализировано содержание тяжелых металлов в старых и современных красках. Показано, что проблема использования тяжелых металлов при их производстве до сих пор существует. Полученные данные указывают на высокие концентрации свинца в лакокрасочных материалах, производимых во многих странах мира, в том числе в Беларуси. Содержание тяжелого металла в современных красках достигает в отдельных случаях нескольких сотен грамм на килограмм.

Рассмотрен опыт некоторых стран в отношении снижения негативного воздействия окрашенных поверхностей на окружающую среду и здоровье населения, который может быть использован и для Беларуси.

M. I. Kazyrenka, T. I. Kukharchyk

HEAVY METALS CONTENT IN PAINT AND VARNISH PRODUCTS AND ITS REGULATION

In article legislative documents regulating lead, cadmium, chrome and zinc content in paint and varnish products in European Union, number of countries in Asia, USA, Belarus and Russia are considered. It is shown that the worldwide tendency is a complete abandonment of lead use in paints and varnishes.

The heavy metals content in old and new paints is analyzed. It is shown that the problem of heavy metals use in their manufacturing is still exists. The received data show high lead concentrations in paint and varnishes manufactured in many countries of the world including Belarus. The content of heavy metal in modern paints in some cases is up to several hundred grams per kilo.

The experience of negative effects reduction of painted surfaces on the environment and human health is considered and can be used for Belarus.

УДК 550.4:551.3(476)

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

СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СОВРЕМЕННЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕК БЕЛАРУСИ (ТЕХНОГЕОХИМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ)

В статье рассмотрено загрязнение современных донных отложений рек Беларуси химическими элементами-металлами. Средние концентрации большинства анализируемых элементов (Be, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, Y, Pb) в донных осадках водотоков урбанизированных и фоновых территорий отличаются незначительно. Донные отложения рек фоновых территорий сохраняют естественную пространственную дифференциацию содержания изученных элементов. Для современных донных отложений рек Беларуси в зоне воздействия городов в настоящее время наиболее характерны проявления аномальных концентраций Cr, Ni, Cu и Pb техногенной природы.

В изучение естественных закономерностей аллювиального литогенеза на территории Беларуси в 1960–1970-е гг. большой вклад внесли В. А. Кузнецов, Л. И. Матрунчик, В. М. Мотуз и многие другие исследователи [1, 4, 5, 10]. Были рассмотрены аллювиальные комплексы отложений земной коры Беларуси и их металлоносность, выявлены геохимические различия между бассейнами крупнейших рек (Днепр, Припять, Неман, Западная Двина) и др. В дальнейшем в 1980–1990-е гг. вопросам техногенного загрязнения донных осадков и речных долин в целом были посвящены работы О. В. Лукашёва, В. В. Савченко и др. [6–9, 13, 14]. В настоящее время в связи с возрастающими требованиями к состоянию природной среды актуально проведение соответствующих геохимических исследований, учитывающих необходимость обновления эколого-геохимической информации.

Целью настоящего исследования является изучение общих закономерностей химического загрязнения промышленными производствами различных типов донных отложений рек Беларуси химическими элементами-металлами. В основу работы положены результаты геохимических исследований, проведенных в 2011–2014 гг. Объектами исследования выбраны реки (малые, средние, крупные) в зоне воздействия 30 населенных пунктов, характеризующихся сочетанием промышленных предприятий различных типов. В качестве «фоновых» изучены водные объекты Березинского биосферного заповедника, Национального парка «Нарочанский», участок р. Свислочи ниже Осиповичского водохранилища (участок д. Липень–д. Устиж) и другие территории, где техногенное влияние на реки минимальное. Общее расположение участков опробования донных отложений показано на рис. 1. Исследуемые водные объекты расположены во всех литогеохимических провинциях, что обуславливает природные различия в содержании химических элементов в донных отложениях в зависимости от их территориальной приуроченности.

Анализ валового содержания микроэлементов выполнялся эмиссионным спектральным методом (ЭСА) на приборе PGS-2 по методике [3]. Предел обнаружения составляет (мг/кг, зола): Be – 1, Ti – 1, V – 10, Cr – 5, Mn – 10, Fe – < 1800, Co – 2, Ni – 8, Cu – 1, Zn – 100, Sr – 100, Y – 10, Zr – 10, Nb – 5, Sn – 10, Ba – 100, Yb – 1, Pb – 5, с последующим пересчётом на сухое вещество. Всего было проанализировано 200 образцов.

Статистическая обработка данных включала в себя: оценку распределения переменных с помощью гистограмм, вероятностных графиков и критериев согласия (Колмогорова-Смирнова, Шапиро-Уилка), вычисление дескриптивных статистик, кластерный анализ. Если распределение величин содержания элементов подчинялось логарифмически нормальному закону, то осуществлялось логарифмирование данных для приведения их к нормальному распределению.

В случае усеченных выборок при доле проб с содержанием определяемого элемента выше предела обнаружения более 50 %, в качестве среднего использовалась медиана; при встречаемости элемента менее чем в 50 % проб среднее значение рассчитывалось по формуле [16]:

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

где $\bar{x}_{max}$ – максимально возможное среднее (при исключении из расчетов проб с концентрациями ниже предела обнаружения); $\bar{x}_{min}$ – минимально возможное среднее (при «обнулении» проб с концентрациями ниже предела обнаружения); *n* – число проб с содержанием химических элементов не ниже предела обнаружения; *N* – число всех проб.

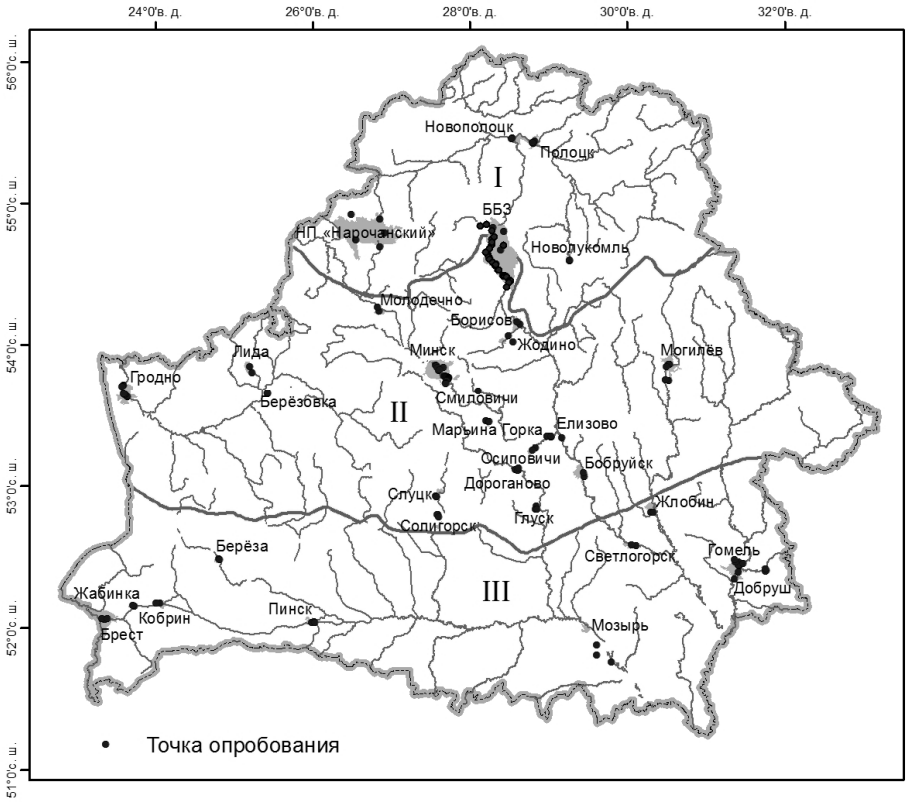


Рис. 1. Расположение участков опробования донных отложений водотоков Беларуси. Литогеохимические провинции покровных отложений: *I* – северная; *II* – центральная; *III* – южная

Сопоставление средних показателей по участкам водотоков на фоновых территориях (табл. 2) свидетельствует о наличии заметной естественной пространственной дифференциации содержания ряда химических элементов в донных отложениях. Так, донные осадки водотоков Березинского биосферного заповедника отличаются повышенными концентрациями Ti, V, Mn, Fe, Ba, национального парка «Нарочанский» – Cr и Ni.

Кластерный анализ выполнялся методом иерархической агломеративной кластеризации [12]. В качестве меры расстояния (сходства) использовалось евклидово расстояние по стандартизированным данным. Объединение осуществлялось методом Уорда. Расчеты проводились с помощью пакетов программ MS Excel, Statistica 8.

Для эколого-геохимической оценки состояния донных осадков использовались фактическое содержание химических элементов, коэффициент концентрации (K_k), представляющий собой отношение концентрации элемента в объекте к фону, который является усредненным значением содержания элемента в донных отложений изученных фоновых участков водотоков, а также отношение содержания элемента в исследованном объекте к ПДК/ОДК для почв [11]. В качестве порога аномальности содержания химического элемента принимается значение, соответствующее $K_к$ = 1,5 [2] или превышающее ПДК/ОДК.

Статистические характеристики содержания химических элементов в донных отложениях водотоков урбанизированных территорий Беларуси представлены в табл. 1. Отмечаются близкие средние концентрации большинства анализируемых элементов (Be, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, Y, Pb) в донных осадках водотоков урбанизированных и фоновых территорий. В настоящее время загрязнение явно выражено лишь в отношении Cu (K_k = 1,6).

В настоящее время на территории Беларуси существует достаточно ограниченное число промышленных предприятий, сбрасывающих сточные и ливневые воды (например, РУП «Станкостроительный завод им. С. М. Кирова») непосредственно в рядом расположенные водные объекты. В большинстве случаев крупные промышленные производства, представляющие наибольший интерес для эколого-геохимических исследований, имеют собственные системы водоочистки, после которых воды далее поступают в централизованные городские системы канализации. По этой причине основным источником загрязнения донных отложений часто являются не какие-либо конкретные предприятия, а «суммарный» локализованный сброс веществ через городские очистные сооружения.

Таблица 1. **Статистические характеристики содержания химических элементов в донных отложениях водотоков урбанизированных территорий Беларуси, *n* = 147, мг/кг сухого вещества**

Элемент	x (пределы вариации)	σ	s_x	Фон	K_k
Be	0,720(н.о.–1,72)			0,790	0,91
Ti	$912_г$(174–6 163)/$6,82_{ln}$	$0,670_{ln}$	$0,055_{ln}$	1 021	0,89
V	$16,2_г$(2,5–76,5)/$2,78_{ln}$	$0,710_{ln}$	$0,059_{ln}$	19,0	0,85
Cr	18,5(н.о.–1 341)			16,7	1,11
Mn	$308_г$(33,2–2 084)/$5,73_{ln}$	$0,702_{ln}$	$0,058_{ln}$	384	0,80
Fe,%	$0,970_г$(0,149–6,542)/$2,27_{ln10x}$	$0,711_{ln10x}$	$0,059_{ln10x}$	1,21	0,80
Co	5,29(н.о.–26,5)			6,19	0,85
Ni	$14,3_г$(2,8–382)/$2,66_{ln}$	$0,650_{ln}$	$0,054_{ln}$	14,8	0,97
Cu	$22,9_г$(5,0–484)/$3,13_{ln}$	$0,900_{ln}$	$0,074_{ln}$	14,1	**1,62**
Zn	84(н.о.–2 709)				
Sr	166(н.о.–996)			150	1,11
Y	9,9(н.о.–37,7)			11,7	0,85
Zr	308(46,2–985)	177	14,6	364	0,85
Nb	4,95(н.о.–29,9)			6,08	0,81
Ba	$352_г$(108–862)/$5,86_{ln}$	$0,259_{ln}$	$0,021_{ln}$	466	0,76
Yb	0,99(н.о.–3,80)			1,18	0,84
Pb	$18,6_г$(2,96–158)/$2,92_{ln}$	$1,05_{ln}$	$0,087_{ln}$	16,0	1,16

Примечание: x – средняя арифметическая; $x_г$ – средняя геометрическая; σ – стандартное отклонение; s_x – ошибка среднего; в знаменателе – средняя арифметическая логарифмированных данных.

Таблица 2. **Среднее содержание химических элементов в донных отложениях водотоков фоновых территорий Беларуси, мг/кг сухого вещества**

Место опробования водотока, число проб	Be	Ti	V	Cr	Mn	Fe, %	Co	Ni	Cu	Y	Zr	Nb	Ba	Yb	Pb
ББЗ,37	0,91	1 420	21,9	16,3	534	1,73	6,07	14,2	14,9	12,9	391	6,45	507	1,32	18,2
НПН,5	–*	671	19,5	24,7	292	0,542	6,89	24,3	15,6	12,7	205	6,89	409	1,46	15,7
ЛУ,8	–	688	6,86	16,4	283	0,596	–	15,7	13,7	9,90	341	–	408	0,984	12,0
ДК, 8	–	881	17,2	13,5	163	0,720	2,48	13,4	10,5	10,7	366	4,80	364	0,993	9,24
Фон, 58	0,79	1 021	19,0	16,7	384	1,21	4,95	14,8	14,1	11,7	364	6,08	466	1,18	16,0

Примечание: ББЗ – водотоки в границах Березинского биосферного заповедника; НПН – водотоки в границах Национальный парк «Нарочанский»; ЛУ – участок р. Свислочи д. Липень – д. Устиж; ДК – участок р. Птичи в районе агрогородка «Дараганово-Ковгары»; «–*» – ниже предела чувствительности метода.

Вместе с тем при проведении полевых работ в ряде случаев были выделены участки, в отношении которых можно утверждать, что они находятся под преимущественным влиянием поступления веществ с территорий конкретных предприятий. Анализ полученных данных (табл. 3), показывает, что для донных отложений рек в зоне воздействия промышленных объектов в настоящее время наиболее характерны проявления аномальных концентраций Cr, Ni, Cu и Pb (т. е. одних из широко используемых в промышленности химических элементов, отличающихся наиболее высокой технофильностью).

Таблица 3. **Ассоциации элементов-загрязнителей в донных отложениях водотоков в районах размещения отдельных промышленных производств Беларуси (кратность ПДК/ОДК)**

Элемент-загрязнитель	Предприятие
Машиностроение, приборостроение, ремонтные предприятия	
$Cr_{2,8}Pb_{2,4}Ni_{1,3}$	г. Минск, ОАО «МЗОР», р. Свислочь
$Cu_{2,7}Ni_{1,6}$	г. Минск, ОАО «Станкостроительный завод им. С. М. Кирова», р. Свислочь
$Ni_{12,7}Cu_{1,5}$	
$Ni_{19,0}Cu_{4,9}$	
$Cu_{4,7}Pb_{2,7}\ Ni_{2,1}\ Cr_{1,3}$	
$Cr_{до13,4}\ Cu_{до5,2}Ni_{до2,2}$	Общее влияние г. Минска, р. Свислочь ниже вдхр. Чижовское (29 проб)
$Pb_{2,2}$	г. Гомель, стоки промзоны, оз. Малое, U-образное, Дедно
$Cu_{6,4}Ni_{2,5}\ Pb_{1,7}Cr_{1,2}$	
$Pb_{3,5}Cu_{2,8}$	г. Гомель, ОАО «Коралл», оз. Малое, U-образное
$Cu_{6,8}Pb_{1,1}$	

Окончание табл. 3

Элемент-загрязнитель	Предприятие
$Cu_{1,6}Ni_{1,3}$	г. Добруш, ООО «Добруш-Кировец-Сервис», р. Хоропуть
$Cu_{9,8}Ni_{4,2}Pb_{3,2}Cr_{2,5}$	г. Полоцк, цех по производству вентиляторов, ремонт военной техники, р. Полота
$Cu_{1,5}$	г. Полоцк, ОАО «Технолит Полоцк», р. Полота
Химическая промышленность	
$Cu_{3,3}Pb_{1,6}$	г. Могилев, ОАО «Могилевхимволокно», р. Днепр
$Pb_{1,7}$	г. Новополоцк, завод «Полимир» ОАО «Нафтан», р. Ушача
$Pb_{3,9}Cu_{2,7}Ni_{1,4}$	г. Лида, ОАО «Лакокраска», р. Лидея
$Pb_{1,2}$	г. Светлогорск, ОАО «СветлогорскХимволокно», отводная канава в р. Березину
Прочие предприятия	
$Cu_{14,6}Pb_{1,5}$	г. Борисов, УП «Бумажная фабрика» Гознака, р. Березина
$Cu_{4,5}Pb_{3,1}Ni_{1,8}$	г. Борисов, ОАО «Борисовдрев», р. Березина
$Cu_{4,7}$ $Ni_{1,2}$	г. Осиповичи, промзона, отводной канал в р. Синяя
$Cu_{2,2}Pb_{1,7}$	п.г.т. Глуск, влияние в целом, р. Птичь

Минск является крупнейшим промышленным центром Беларуси, в котором сосредоточено значительное количество промышленных предприятий широкого профиля. Обращает на себя внимание то, что Минск в настоящее время в среднем, при всем своем «техногенном потенциале», статистически достоверно отличается от других населенных пунктов по загрязнению донных отложений только в отношении V, Cr, Ni и Cu (табл. 4).

Таблица 4. **Содержание химических элементов в донных отложениях участков водотоков урбанизированных территорий Беларуси, мг/кг сухого вещества**

Элемент	Показатель, Минск (n = 49)		Показатель, населенные пункты без Минска (n = 98)	
	$\bar{x}$	Min–max	$\bar{x}$	Min–max
Be	0,89	н.о.–1,72	0,50	н.о.–1,43
Ti	904	248–3017	917	174–6163
V	25,9	2,5–53,6	13,9	4,1–76,5
Cr	33,3	9,74–1 341	13,8	1,7–251
Mn	345	117–1 811	291	33,2–2 084
Fe, %	0,86	0,34–3,85	1,03	0,149–6,54
Co	5,38	н.о.–22,9	5,16	н.о.–26,5
Ni	19,9	9,90–382	12,1	2,5–83,5
Cu	28,5	6,97–163	20,6	5,0–484
Zn	164	н.о.–757	173	н.о.–2709
Sr	195	н.о.–345	98,9	н.о.–996
Y	11,4	2,0–36,2	9,63	2,0–37,7
Zr	320	99–738	247	46,2–985
Nb	4,97	н.о.–29,9	4,94	н.о.–9,8
Ba	394	247–862	333	108–557
Yb	0,99	н.о.–3,62	0,98	н.о.–3,80
Pb	19,2	9,6–81,4	18,3	2,96–158

Тем не менее, загрязненность донных отложений водотоков Минска Cr и Ni весьма существенна, что отчетливо видно при рассмотрении коэффициентов Cr/Fe и Ni/Fe для проб с содержанием органического вещества менее 10 % [6, 7, 15]. Из данных табл. 5 и рис. 2 следует, что донные отложения водотоков города по нормализованным по Fe данным в среднем в 4,7 раза больше загрязнены Cr и 3,6 раза больше Ni по сравнению с реками Березинского биосферного заповедника. Донные отложения рек в зонах воздействия промышленных предприятий прочих городов в среднем загрязнены в значительно меньшей степени.

Таблица 5. **Отношение Cr/Fe, Ni/Fe, Mn/Fe в донных отложениях изученных водотоков Беларуси, г/10 000 г**

Территория	Cr/Fe		Ni/Fe	
	x	Вариация	x	Вариация
Березинский биосферный заповедник	9,0	4,2–91,7	10,0	4,8–55,0
г. Минск	42,0	10,0–162	36,0	6,1–320
Населенные пункты (без г. Минска)	23,0	1,7–161	14,9	3,1–52,1

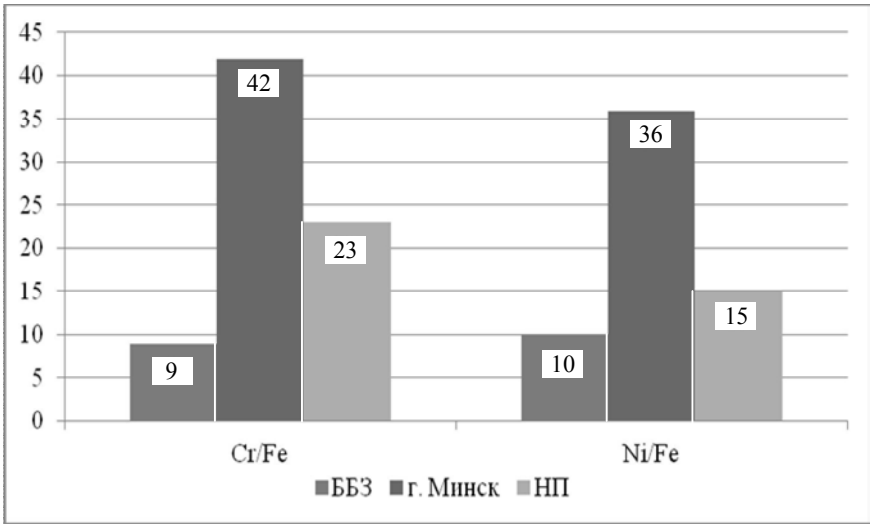


Рис. 2. Отношение Cr/Fe, Ni/Fe в донных отложениях изученных водотоков Беларуси, г/10 000 г. ББЗ – водотоки в пределах Березинского биосферного заповедника; НП – водотоки в пределах населенных пунктов (без г. Минска); г. Минск – водотоки в пределах г. Минска

Типизация пунктов опробования донных отложений Минска по концентрации химических элементов (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Y, Zr, Ba, Yb, Pb) была выполнена с помощью иерархического кластерного анализа. Последний позволяет наглядно представить сходство или различие объектов, исходя из рассматриваемого набора переменных. Все пункты опробования разделились на две существенно различающиеся группы А и В (рис. 3).

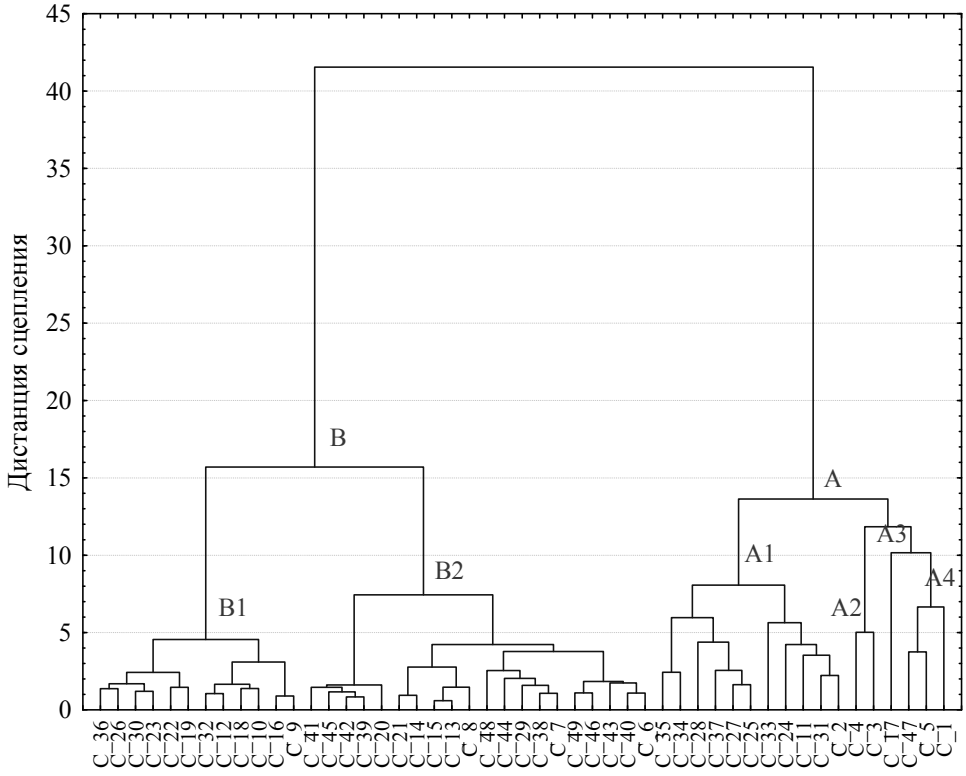


Рис. 3. Дендрограмма классификации пунктов отбора проб по методу Уорда. Евклидово расстояние

К группе А относятся участки отбора с аномальными значениями ряда химических элементов, которые, в свою очередь, можно разделить на четыре подгруппы, отличающиеся по степени загрязнения донных отложений и спектру металлов-загрязнителей.

Так, в подгруппу А4 входят три участка, выделяющиеся, прежде всего, концентрацией в донных отложениях Cr (K_k = 7,2–17,0) и Pb (K_k > 3, рис. 4). Из других элементов коэффициенты концентрации больше 2 имеют V, Fe и Cu.

Подгруппа А3 состоит из одного участка, где обнаружено «ураганное» содержание Cr – 1 341 мг/кг. Подгруппа А2 объединяет два близко расположенных участка опробования донных отложений в центре города вблизи выхода ливневой канализации РУП «Станкостроительный завод им. С. М. Кирова». Здесь наблюдается максимальное содержание Ni (K_k = 17,1–25,8, рис. 4) и Cu (K_k = 3,5–11,5).

Подгруппа А1 включает ряд участков опробования с повышенными концентрациями (K_k > 2) следующих химических элементов: Ti, V, Cr, Fe, Ni, Cu, Y, Yb, Pb. Спектр загрязняющих металлов индивидуален для каждого участка.

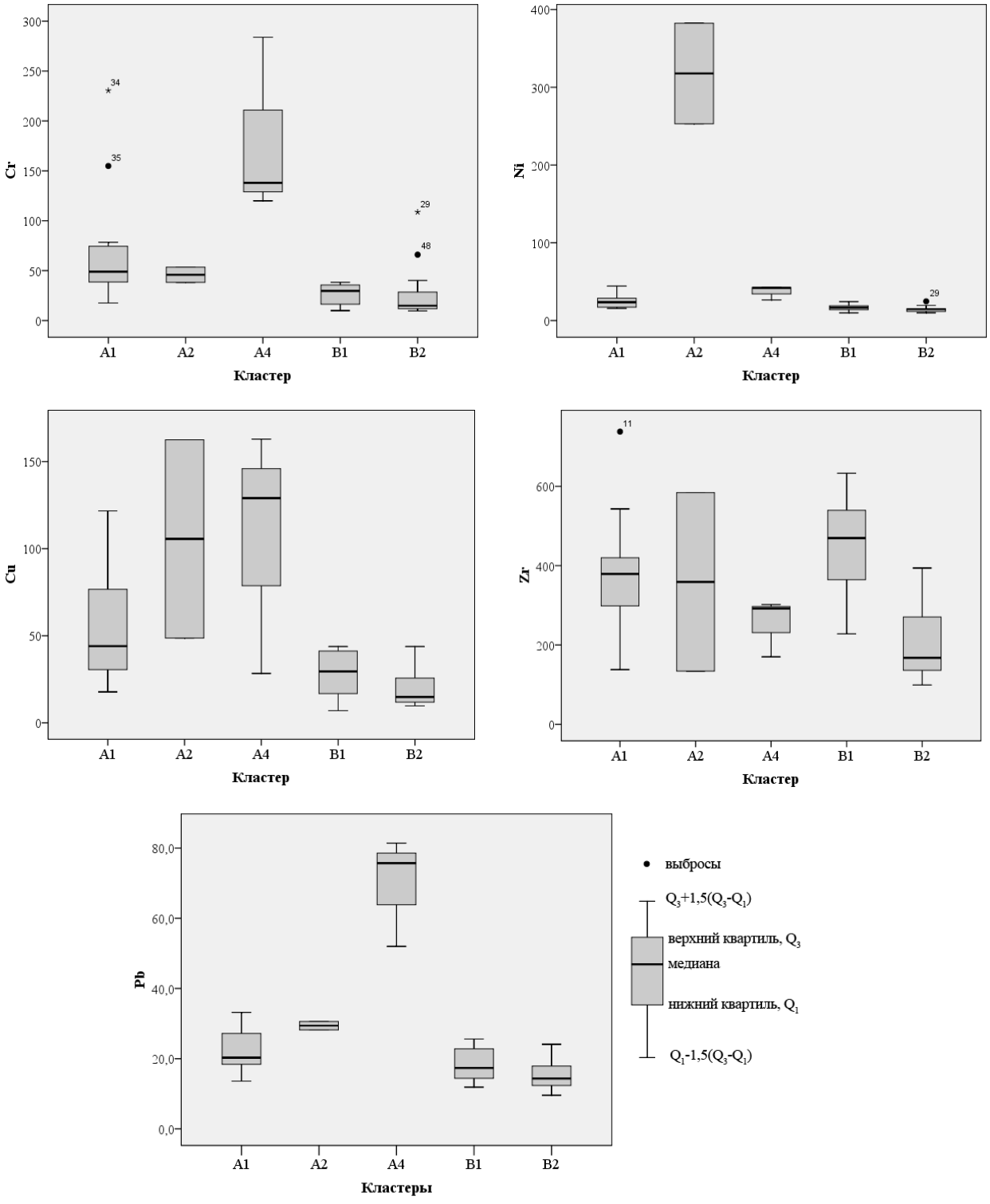


Рис. 4. Параметры варьирования содержания металлов в выделенных кластерах

Территориально загрязненные участки можно объединить в две зоны: одна зона расположена в центре города на р. Свислочи вблизи выхода ливневой канализации РУП «Станкостроительный завод им. С. М. Кирова», вторая – ниже по течению плотины Чижовского водохранилища (рис. 5).

В группу В входят относительно чистые (незагрязненные) участки, которые можно разделить на две подгруппы В1 и В2. Деление на подгруппы, вероятно, обусловлено влиянием литолого-фациального фактора. В частности, выделенные подгруппы заметно различаются по содержанию Zr (рис. 4), который не является элементом-загрязнителем.

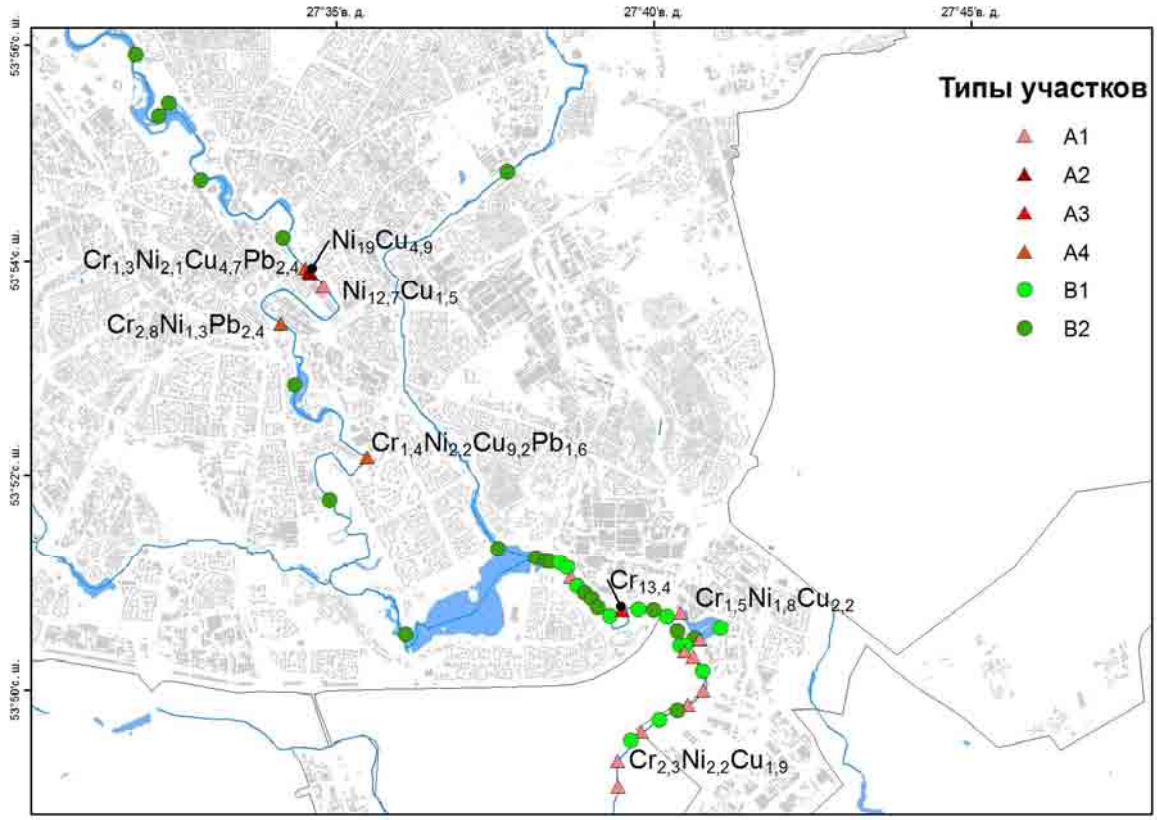


Рис. 5. Типизация участков опробования по содержанию металлов.
$Ni_{19}Cu_{4,9}$ – аномальные концентрации элементов, раз относительно ПДК/ОДК

Выводы.

Средние концентрации большинства изученных элементов-металлов (Be, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, Y, Pb) в донных осадках водотоков урбанизированных и фоновых территорий отличаются незначительно.

Донные отложения водотоков на фоновых территориях сохраняют естественную пространственную дифференциацию в содержании химических элементов. Сопоставление средних значений по отдельным фоновым территориям показало, что донные осадки водотоков Березинского биосферного заповедника отличаются повышенными концентрациями Ti, V, Mn, Fe, Ba, национального парка «Нарочанский» – Cr и Ni.

Для донных отложений рек Беларуси в зонах влияния промышленных предприятий наиболее характерны проявления повышенных концентраций Cr, Ni, Cu и Pb, которые относятся к широко используемым в промышленности химическим элементам. Водные объекты Минска отличаются от других населенных пунктов по загрязнению донных отложений только в отношении V, Cr, Ni и Cu. Загрязненность донных отложений водотоков Минска Cr и Ni весьма существенна. По коэффициентам Cr/Fe и Ni/Fe донные отложения города в среднем в 4,7 раза больше загрязнены Cr и 3,6 раза больше Ni по сравнению с донными отложениями рек Березинского биосферного заповедника. Донные осадки рек в зонах воздействия прочих городов в среднем загрязнены в значительно меньшей степени.

Типизация пунктов опробования донных отложений водных объектов Минска по концентрации химических элементов (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Y, Zr, Ba, Yb, Pb) позволила разделить их на две существенно различающиеся группы. Первая группа объединяет участки отбора с аномальными значениями ряда химических элементов, которую, в свою очередь, можно разделить на четыре подгруппы по степени загрязне-

ния и спектру загрязняющих металлов. Территориально загрязненные участки образуют две зоны: в центре города на р. Свислочи, вблизи выхода ливневой канализации РУП «Станкостроительный завод им. С. М. Кирова», и ниже по течению плотины Чижовского водохранилища. Вторая группа состоит из относительно чистых (незагрязненных) участков и делится на две подгруппы, что обусловлено влиянием литолого-фациального фактора.

Литература

1. **Геохимические** провинции покровных отложений БССР ; под ред. К. И. Лукашева. – Минск, 1969.
2. **Геохимия** окружающей среды / Ю. Е. Сает [и др.]. – М., 1990.
3. **Зырин, Н. Г.** Спектральный анализ почв, растений и других биологических материалов / Н. Г. Зырин, А. И. Обухов. – М., 1977.
4. **Кузнецов, В. А.** Геохимия аллювиального литогенеза. – Минск, 1973.
5. **Кузнецов, В. А.** Аллювиальные комплексы отложений земной коры Белоруссии и их металлоносность **/** В. А. Кузнецов, Л. И. Матрунчик. – Минск, 1978.
6. **Лукашёв, О. В**. К вопросу об индикационных свойствах донных отложений (основные закономерности аккумуляции хрома) / О. В. Лукашёв // Геохимия техногенеза : тез. докл. II. Всесоюз. совещ. – Минск, 1991. – С. 158–161.
7. **Лукашёв, О. В.** Геохимия хрома в зоне гипергенеза (на примере Белоруссии и смежных территорий). – Минск, 1993.
8. **Лукашёв, О. В.** Оценка экологического состояния донных осадков речной сети г. Полоцка / О. В. Лукашёв [и др.] // Природные ресурсы. – 2006. – № 3. – С. 96–102.
9. **Лукашёв, О. В.** Оценка техногенного загрязнения донных отложений Осиповичского водохранилища металлами / О. В. Лукашёв [и др.] // Природные ресурсы. – 2007. – № 3. – С. 74–79.
10. **Мотуз, В. М.** О гранулометрическом и минеральном составе аллювиальных отложений долины р. Березины (Днепровской) / В. М. Мотуз // Вопросы геологии антропогена. – Минск, 1968. – С. 52–74.
11. **Перечень** предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1-2004. – Минск, 2004.
12. **Пузаченко, Ю. Г.** Математические методы в экологических и географических исследованиях : учеб. пособие / Ю. Г. Пузаченко. – М., 2004.
13. **Савченко, В. В.** Литофациальная дифференциация химических элементов в отложениях речных долин в природных и техногенных условиях / В. В. Савченко // Водные ресурсы. – Т. 23. – № 6. – 1996. – С. 690–698.
14. **Савченко, В. В.** Техногеохимические исследования аллювиальных осадков в Беларуси: состояние и проблемы / В. В. Савченко, Е. П. Гурч, С. Е. Головатый // Природные ресурсы. – 1999. – № 4. – С. 60–71.
15. **Творонович-Севрук, Д. Л.** Закономерности распределения элементов группы железа в современных аллювиальных отложениях Беларуси / Д. Л. Творонович-Севрук. – Минск, 2013.
16. **Шиманович, В. М.** К методике расчета средних значений микроэлементов для выборок, усеченных нижним пределом обнаружения / В. М. Шиманович, С. А. Акудович // Літасфера. – 2000. – № 13. – С. 144–147.

Белорусский государственный университет,
Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 20.04.2015 г.

О. В. Лукашёв. Н. В. Жуковская, Н. Г. Лукашёва, Д. Л. Творонович-Севрук, С. В. Савченко

СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СОВРЕМЕННЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕК БЕЛАРУСИ (ТЕХНОГЕОХИМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ)

Проведен анализ результатов геохимических исследований донных осадков рек в зонах воздействия промышленных предприятий 30 населенных пунктов Беларуси и рек фоновых территорий.

Исследования выявили особенности химического загрязнения донных отложений рек Беларуси химическими элементами-металлами. Средние концентрации большинства анализируемых

элементов в донных осадках водотоков урбанизированных и фоновых территорий отличаются незначительно.

Сопоставление средних показателей по отдельным фоновым территориям свидетельствует о наличии естественной пространственной дифференциации в накоплении элементов в донных осадках. Донные осадки водотоков Березинского биосферного заповедника отличаются повышенными концентрациями Ti, V, Mn, Fe, Ba, национального парка «Нарочанский» – Cr и Ni.

Для донных отложений рек Беларуси в зонах влияния промышленных предприятий характерны аномальные концентрации Cr, Ni, Cu и Pb. Минск отличается от других населенных пунктов загрязнением донных отложений V, Cr, Ni и Cu. Донные отложения водных объектов города по коэффициентам Cr/Fe и Ni/Fe в среднем в 4,7 раза больше загрязнены Cr и 3,6 раза больше Ni по сравнению с донными отложениями рек Березинского биосферного заповедника. В других городах речные отложения загрязнены значительно меньше.

Пункты опробования донных отложений в водных объектах Минска по концентрации химических элементов можно разделить на две группы. Первая группа объединяет участки отбора с аномальными значениями химических элементов. Вторая группа состоит из относительно незагрязненных участков.

O. V. Lukashev, N. V. Zhukovskaya, N. G. Lukasheva,
D. L. Tvoronovich-Sevruk, S. V. Savchenko

CHEMICAL ELEMENTS CONTENS IN MODERN BOTTOM SEDIMENTS OF BELARUS RIVERS (TECHNOGEOCHEMICAL ASPECT)

The article presents the results of geochemical researches of the river bottom sediments in the areas of the influence of the industrial plants in 30 settlements of Belarus and background territories.

It is shown the peculiarities of metal contamination in river bottom sediments. The average concentrations of most of the analyzed elements in the bottom sediments of watercourses in urban areas and background differ slightly. A comparison of the average value for the individual background areas testimony of a natural spatial differentiation of accumulation of elements in bottom sediments. Bottom sediments of rivers of Berezina Biosphere Reserve distinguished by higher concentrations of Ti, V, Mn, Fe, Ba, National Park «Narochanskiy» – Cr and Ni.

For bottom deposits of the rivers of Belarus in zones of influence of the industrial object abnormal concentration of Cr, Ni, Cu and Pb are characteristic. Minsk is different from other cities contaminated of bottom sediment of V, Cr, Ni and Cu. The bottom sediments of the city water bodies of factors Cr/Fe and Ni/Fe on average 4.7 times higher contaminated with Cr and 3.6 times higher contaminated with Ni in comparison with bottom sediments of the rivers of the Berezinsky biospheric reserve. In other urban river sediment contaminated considerably smaller.

Sites sampling of bottom sediments of water bodies of Minsk on the concentration of chemical elements can be divided into two groups. The first group includes the areas sampling with anomalous values of the chemical elements. The second group consists of rather uncontaminated sites.

УДК 620.95

Д. С. Воробьёв

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ КАК ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ НА ТЕРРИТОРИИ ЖЛОБИНСКОГО РАЙОНА

Проведен анализ современного использования древесного топлива на территории Жлобинского района, выполнена оценка ресурсной базы древесного сырья и рассмотрены перспективы его использования как возобновляемого источника энергии.

В условиях необходимости обеспечения энергетической безопасности, которая рассматривается как фактор устойчивого развития государства, задача по максимальному вовлечению в топливно-энергетический баланс местных видов энергетических ресурсов и возобновляемых источников энергии является первостепенной для Беларуси. В области обеспечения энергетической безопасности и энергетической независимости поставлены задачи снизить энергоемкость ВВП (не менее чем на 60 % в 2020 г. к уровню 2005 г.), обеспечить экономию энергоресурсов (не менее 5,2 млн т у.т. в 2016–2020 гг.) и увеличить долю использования собственных энергоресурсов для производства тепловой и электрической энергии (не менее 32 % в 2020 г.).

Собственные ресурсы невозобновляемого углеводородного сырья представлены незначительными запасами (нефть, бурые угли) или не могут быть использованы по ряду причин экономического и экологического характера (торф, горючие сланцы), а возобновляемые источники энергии (энергия солнца, ветра, тепла земли, естественного движения водных потоков) в больших масштабах – в силу природных особенностей территории. В настоящее время наиболее значимым видом топлива в общем балансе местных топливно-энергетических ресурсов является древесная биомасса (ежегодно производится 8,5–9,0 млн $м^3$ древесного топлива), которая характеризуется значительной территориальной рассредоточеностью.

Мировой опыт использования древесного сырья показывает, что это является не только экологически безопасным, но и экономически выгодным. Наибольших успехов в области лесной биоэнергетики добились развитые лесные государства Европы (Финляндия, Швеция) [15, 16]. Множество проведенных исследований по оценке потенциала энергетической биомассы в странах ЕС может быть объединено программой «Энергия биомассы в Европе (BEE)», осуществленной в 2008–2010 гг. [17]. Проект имел своей целью совершенствование методологии оценки ресурсов биомассы для энергетических целей в Европе и соседних странах путем унификации методики проводимых оценок. Работы, направленные на определение потенциала древесного сырья как источника энергии, выполнены для ряда регионов Российской Федерации (Ленинградская, Калининградская, Мурманская области, Республика Карелия и другие), Украины [1, 13]. Исследования выполняются по европейским методикам в рамках международных проектов, носят региональный характер, акцентированы на потребителя и приурочены к энергодефицитным областям.

В нашей стране выполняемые в настоящее время исследования не в полной мере удовлетворяют современные запросы практики, поскольку решают лишь частные задачи. В Беларуси вопросам использования древесного сырья в энергетических целях посвящены работы преимущественно специалистов технического профиля, лесоводческой отрасли, которые практически не затрагивают вопросы территориального распределения ресурса древесного сырья, не являются комплексными. Методики оценки потенциала последнего заключаются в определении объема перспективного древесного топлива на основе данных о планируемых лесозаготовительных работах, породном составе древостоев, их теплотворной способности и др. Указанные методические подходы, представленные в работах А. С. Федоренчика, А. В. Ледницкого, А. П. Матвейко, С. П. Кундаса [5, 6, 12] и других исследователей, не затрагивают вопросов возможности увеличения потенциала древесного сырья, в том числе путем целенаправленного выращивания лесов. Вопросам технологии и эффективности создания энергетических плантаций древесных пород посвящены работы А. И. Русаленко, С. С. Штукина [11, 14] и других исследователей.

Информация об энергетической обеспеченности территории Беларуси, предоставленная преимущественно на уровне административных областей или лесных хозяйств, значительно усложняет принятие управленческих решений, направленных на рациональное использование имеющегося потенциала древесного сырья. В работе рассматривается подход к комплексной оценке потенциала древесного сырья, перспективного к использованию в энергетических целях, выполненной применительно к территории Жло-

бинского административного района. Работа подготовлена по результатам выполнения НИР «Оценить обеспеченность предприятий малой теплоэнергетики Беларуси древесным сырьем с целью их оптимального территориального размещения» (грант Министерства образования Республики Беларусь, ГР 20140798).

Алгоритм работы по оценке ресурсов древесного сырья, перспективного к использованию в энергетических целях, на уровне административного района заключается в анализе баланса производства и потребления древесного топлива, оценке его ресурсной базы, а также возможности ее увеличения путем создания энергетических плантаций. Оценка использования древесного сырья как источника энергии базируется на широком применении традиционных географических методов и подходов (математической статистики, комплексного анализа, моделирования, ГИС-методов с использованием программных пакетов QGIS, MS Access и др.), а также лесохозяйственных подходов к оценке потенциала древесных ресурсов.

Анализ баланса производства и потребления древесного топлива проводился по материалам Жлобинского районного исполнительного комитета (статистические данные о балансе древесного топлива, его потребителях и производителях), КДУП «Теплосервис» (материалы по потреблению древесного топлива на коммунальные нужды). Оценка его ресурсной базы выполнена с использованием материалов Государственного лесного кадастра (характеристика лесного фонда), земельного кадастра (распределение и динамика земельного фонда), РЛУП «Белгослес» (проект организации и развития ГЛХУ «Жлобинский лесхоз», материалы по заготовкам древесного сырья, существующим топливно-энергетическим плантациям древесных пород). Возможный ежегодный потенциальный объем древесного топлива, образующегося в результате выполнения рубок пользования, определялся по методике, представленной в работе [12].

В качестве потенциальных площадок для создания плантационных лесных культур рассматривались равнинные или слабохолмистые участки (минимальным размером не менее 3 га) [10] малопродуктивных сельскохозяйственных земель, а также земли естественных лугов с высокой долей закустаренности (более 25 %). Исследование базируется на использовании картографических материалов РУП «Проектный институт «Белгипрозем» (схема землеустройства административного района), РДУП «Проектный институт «Гомельгипрозем» (материалы кадастровой оценки земель сельскохозяйственных организаций, рекомендации по их оптимизации). В качестве целевой породы для созданий топливно-энергетических плантаций нами рассматривается сосна с периодом рубки 20–25 лет. Условия местопроизрастания потенциальных плантаций обеспечивают рост сосны не ниже II класса бонитета [10], что выражается в минимальных пригодных почвенно-грунтовых условиях – не менее 6 % содержания физической глины, уровень грунтовых вод в пределах 1,0–2,4 м [11].

Общая площадь земельного фонда Жлобинского района по состоянию на 1 января 2015 г. составляет 2,1 тыс. км^2, в том числе 960 км^2 (45,4 %) – сельскохозяйственные земли, 720 км^2 (34,1 %) – покрытые лесом земли [2]. За период с 2010 г. наблюдаются тенденции к уменьшению доли сельскохозяйственных земель (выведено из оборота 1,6 тыс. га) и увеличению доли покрытых лесом земель (1,3 тыс. га).

На 1 января 2015 г. на территории района проживало – 102,1 тыс. человек, в том числе население г. Жлобина – 75,7 тыс. человек, г.п. Стрешин – 1,3 тыс. человек, сельские жители – 25,1 тыс. человек (155 населенных пунктов, 16 сельских советов) [7].

Субъектами хозяйствования на территории района являются 10 промышленных предприятий, 38 акционерных обществ, более 2000 индивидуальных предпринимателей, 220 обществ с ограниченной и дополнительной ответственностью, а также 383 частных унитарных предприятия, 27 фермерских хозяйств и 90 субъектов малого предпринимательства [9].

Согласно рис. 1 (составлен по материалам Жлобинского районного исполнительного комитета), суммарное потребление древесного топлива в районе в 2011–2014 гг. имело тенденцию к росту от 40,0 до 72,9 тыс. м^3. На 2015 г. потребление древесного топлива запланировано в объеме 47,6 тыс. м^3, что на 34,7 % ниже показателей 2014 г. Ожидается, что к 2020 г. объем использования древесного топлива составит 60,8 тыс. м^3.

Основным потребителем древесного топлива является КДУП «Теплосервис» (дочернее предприятие КЖУП «Уником»), которое осуществляет работы по обслуживанию и эксплуатации котельных и тепловых сетей Жлобинского района. На балансе предприятия находятся 35 предприятий по производству тепловой энергии (96 котельных установок общей тепловой мощностью 96,1 Гкал/ч) (рис. 2). В качестве топлива используются природный газ (28 котлов, 57,5 Гкал/ч), печное бытовое топливо (3 котла, 2,1 Гкал/ч) и местные виды топлива (65 котлов, 36,5 Гкал/ч). В 2014 г. на производство тепловой энергии было израсходовано 6,7 тыс. т у.т. топлива, из них 6,5 тыс. т у.т. – местные виды топлива (по материалам КДУП «Теплосервис»). На указанную организацию ежегодно приходится более 50 % всего потребления древесного топлива района, около 40 % отпускается на нужды населения.

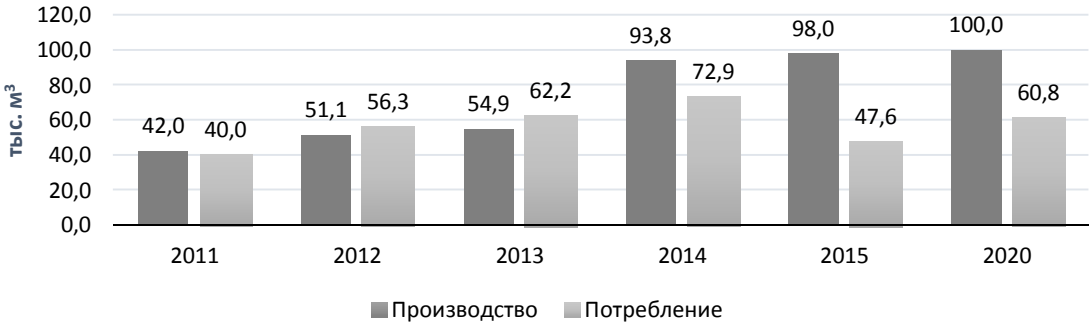


Рис. 1. Производство и потребление древесного сырья как источника энергии в Жлобинском районе (фактические данные – 2011–2014 гг., прогнозные данные – 2015 и 2020 гг.)

Производство древесного топлива осуществляется на базе трех организаций: ГЛХУ «Жлобинский лесхоз» (50 % на 2015 г.; топливные дрова, заготавливаемые при плановых рубках леса), ООО «ОКА» (25 %; отходы деревообработки) и КЖУП «Уником» (25 %; отходы лесозаготовки). Как показано на рис. 1, с 2011 по 2014 г. объемы производства древесного топлива возросли от 42,0 до 93,8 тыс. м^3, а на 2015 г. запланированы на уровне 98,0 тыс. м^3. Имевший место в 2012–2013 гг. отрицательный баланс потребления древесного топлива сменился профицитом, который был достигнут благодаря вовлечению в топливный баланс района новых видов древесного сырья – отходов деревообработки (ООО «ОКА») и лесозаготовки (КЖУП «Уником»).

С целью определения потенциально доступного объема древесного топлива был проведен анализ его ресурсной базы. Общая площадь лесного фонда района составляет 80,6 тыс. га [3]. Удельный вес покрытых земель ниже республиканского (39,4 %) и областного (46,6 %) уровней. К лесам I группы относится 49,9 тыс. га (61,9 % от общей площади лесов), в том числе 16,8 тыс. га (20,9 % от лесопокрытой площади) занимают особо охраняемые природные территории и особо защитные участки леса. На территории района находятся заказники республиканского значения «Выдрица» (Дворищанское и Краснобережское лесничества), «Смычок» (Стрешинское лесничество), гидрологические заказники местного значения «Александровский мох» и «Ровеки» (Луговирнянское лесничество), «Рыгорава Паляна» (Дворищанское лесничество), а также ботанический памятник природы местного значения – лесной массив в урочище «Чашевка» (Хальчанское лесничество).

Общий запас насаждений составляет 15,8 млн м^3 (молодняки – 9,0 %, средневозрастные – 53,6 %, приспевающие – 25,6 %, спелые и перестойные – 10,8 %) и имеет тенденцию к росту (увеличение на 0,8 млн м^3 по сравнению с 2010 г.). По общему запасу преобладают хвойные породы – 72,2 % (из них спелые и перестойные – 6,9 %), твердолиственные породы составляют 2,9 % (из них спелые и перестойные – 13,0 %), мягколиственные – 24,8 % (из них спелые и перестойные – 22,1 %). Неоптимальная возрастная структура лесов (молодняки – 20,7 % от площади лесопокрытых земель, средневозрастные – 50,1 %, приспевающие – 20,7 %, спелые и перестойные – 8,5 %) не позволяет в полном объеме использовать текущий прирост, который составляет 315,5 тыс. м^3 ежегодно.

В районе применяются традиционные формы лесоводства, которые заключаются в приоритете выращивания хвойных пород. При проведении лесовосстановления под хвойные породы ежегодно используется более 80 % земель (при проведении рубок удельный вес хвойной группы пород в общей площади – 50–55 %). По состоянию на 1 января 2015 г. 35 % лесного фонда представляют искусственно созданные насаждения, их которых 95,7 % – хвойные (51,7 % от лесов данной категории). Следует отметить, что при условии вышеперечисленного малоценные породы занимают довольно значительно большую площадь и могут быть подвергнуты реконструкции с использованием полученного древесного сырья в энергетических целях. Однако для этих целей пригодны чистые насаждения, которые преимущественно представляют особо охраняемые природные территории и особо защитные участки леса, где приоритетом является выполнение ими экологических функций.

Ведение лесного хозяйства на территории района осуществляют ГЛХУ «Жлобинский лесхоз» (99 % площади лесного фонда района) и ГОЛХУ «Рогачевский лесхоз» Гомельского ПЛХО. Объем заготовки древесины ГЛХУ «Жлобинский лесхоз» по всем видам рубок за 2014 г. составил 150,0 тыс. м^3, в том числе по рубкам главного пользования – 75,1 тыс. м^3 (в 2011 г. соответственно – 114,3 и 37,7 тыс. м^3). Заготовка древесины также акцентирована на хвойные породы – 67,0 % в среднем за 2011–2014 гг., но имеет различия по типам рубок: рубки главного пользования – 44,3 %, промежуточного пользования – 90,9 %, прочие – 77,0 %. Низкая доля заготовки хвойных пород при проведении рубок

главного пользования обусловлена возрастной структурой лесов.

С учетом сохранения размера лесопользования на данном уровне, технически доступный объем древесного топлива (лесосечные отходы, тонкомерная древесина) составит порядка 20,0–25,0 тыс. м^3, а также дополнительно – 60–65 тыс. м^3 топливных дров. Суммарный возможный объем древесного топлива составит 80–90 тыс. м^3 (17,5–20,0 тыс. т у.т.). На 2015 г. запланировано заготовить 50,0 тыс. м^3 дров, а также 25 тыс. м^3 лесосечных отходов. К 2020 г. расчетная лесосека только по рубкам главного пользования предположительно возрастет до 95,0 тыс. м^3. Следовательно, возрастет и потенциал древесного топлива, однако резерв его увеличения за счет лесозаготовительный работ сравнительно невелик. Следует отметить высокую территориальную рассредоточенность и удаленность данного вида топлива от мест потребления, а также значительный период оборота рубки.

Наряду с использованием дровяной древесины, отходов лесозаготовки и лесопереработки необходимо обратить внимание на создание топливно-энергетических плантаций древесных пород и целенаправленно выращивать древесное сырье в энергетических целях. Следует отметить наличие предпосылок для создания энергетических плантаций. В результате проведенной в 1990–2000-х гг. кадастровой оценки сельскохозяйственных земель было выявлено, что они находятся в широком диапазоне по степени благоприятности земледелия. Земли с неудовлетворительными, плохими и самыми плохими результатами оценки, где ведение сельского хозяйства заведомо убыточно, в Жлобинском районе составили 14,5 % от общей площади сельскохозяйственных угодий [4]. Согласно рекомендациям по оптимизации землепользования, выполненным РУП «Проектный институт «Белгипрозем», направление использования указанных участков должно быть перепрофилировано на использование в качестве естественных луговых земель, пастбищ или земли должны быть переданы под облесение.

За период с 2010 по 2014 гг. за счет передачи в лесной фонд малоэффективных сельскохозяйственных земель его площадь возросла на 1,1 тыс. га, а площадь покрытых лесом земель района увеличилась на 1,9 тыс. га. С 2007 по 2014 г. включительно на территории района создано 13 энергетических плантаций, общая площадь которых составила 19,1 га. Как показано на рис. 2, данные насаждения характеризуются небольшою площадью (0,5–3,8 га) и значительной удаленностью от потребителя (расстояние до Жлобинской мини-ТЭЦ для 11 площадок превышает 60 км). Перечисленные обстоятельства позволяют считать опыт создания плантаций неудачным, так как не полностью соблюдены требования по выбору лесокультурных площадей [10], а приведенное расстояние вывозки ставит под сомнение вопрос рентабельности использования древесины на энергетические нужды.

Можно сделать вывод, что облесение ранее переданных в лесной фонд земель было выполнено без учета энергетических потребностей района. Согласно схеме землеустройства Жлобинского района (решение Гомельского областного Совета депутатов от 10.09.2012 г. № 931, зарегистрировано в НРПА РБ 28.09.2012 г. № 9/52948), в настоящее время под лесопользование планируется передать 157,4 га земель (ГП «Щедринское» – 59,8 га, ГП «Язнач» – 4,4 га, ОАО «Бобовский» – 3,4 га, ЧУП «Агро-Коротковичи» – 89,8 га). Указанные земли соответствуют критериям, предъявляемым к лесокультурным площадкам для создания топливно-энергетических плантаций быстрорастущих древесных пород, и в первую очередь должны рассматриваться с позиций биоэнергетики.

Проведенный анализ результатов кадастровой оценки земель сельскохозяйственных организаций Жлобинского района, а также рекомендаций по оптимизации их землепользования позволил дополнительно выявить 510,3 га земель, которые также могут быть использованы в энергетических целях (см. таблицу).

В качестве потенциальных площадок для создания новых энергетических плантаций древесных пород рассматривались пахотные земли, получение продукции на которых характеризуется отрицательным чистым доходом (12 участков, 242,0 га) (были рекомендованы к передаче под облесение, но используются в сельскохозяйственном производстве), а также закустаренные луговые земли (неиспользуемые земли, доля кустарников более 25 %) (16 участков, 268,3 га).

Передача запланированных схемой землеустройства и выявленных малопродуктивных сельскохозяйственных земель в разряд в лесной фонд с последующим их использованием в энергетических целях позволит увеличить общую площадь топливно-энергетических плантаций района от 19,4 до 686,8 га, в 35 раз.

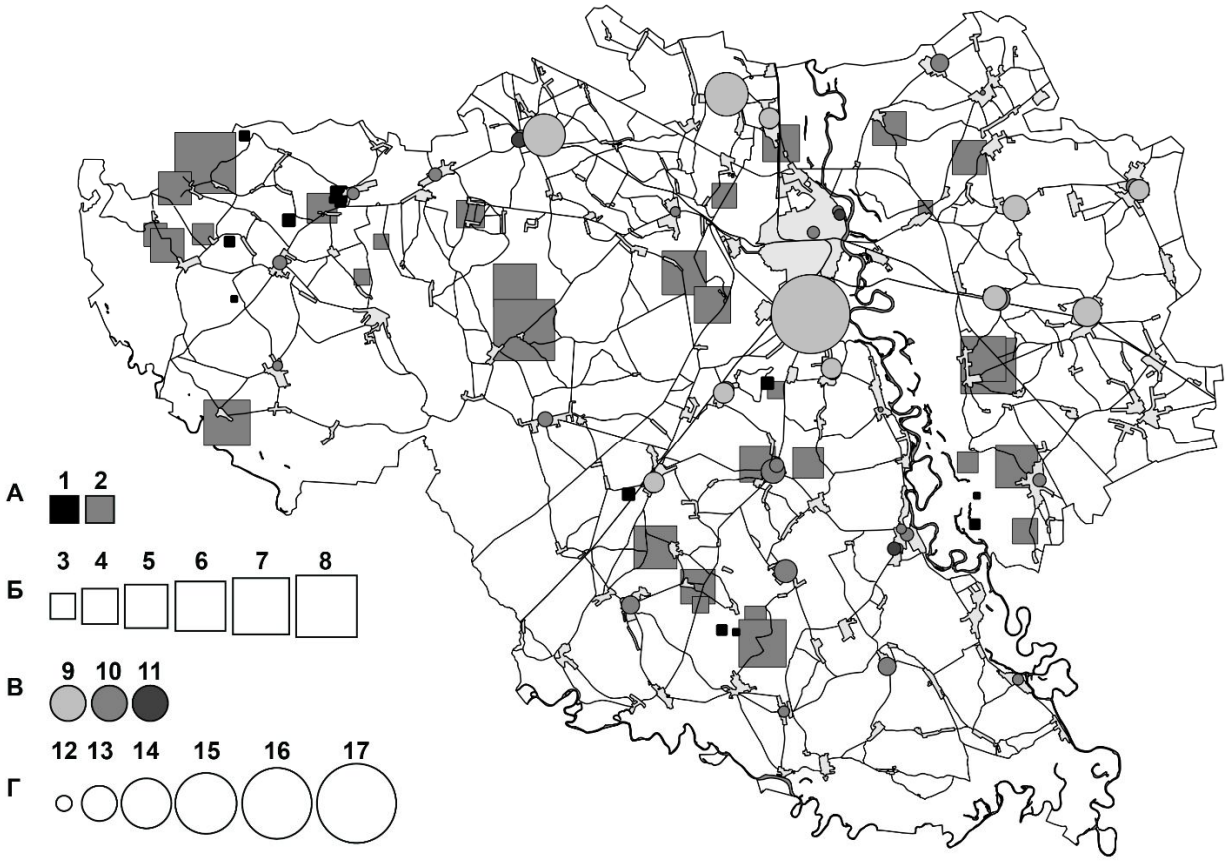


Рис. 2. Схема размещения предприятий по производству тепловой энергии (КДУП «Теплосервис») и топливно-энергетические плантации древесных пород. *А* – топливно-энергетические плантации: *1* – существующие; *2* – перспективные. *Б* – площадь топливно-энергетических плантаций, га: *3* – 10,0 и менее; *4* – 10,1–20,0; *5* – 20,1–30,0; *6* – 30,1–40,0; *7* – 40,1–50,0; *8* – более 50,0. *В* – котельные установки: *9* – на природном газе; *10* – на печном бытовом топливе; *11* – на древесном топливе. *Г* – мощность котельных установок, Гкал/ч: *12* – 1,0 и менее; *13* – 1,1–5,0; *14* – 5,1–10,0; *15* – 10,1–15,0; *16* – 15,1–20,0; *17* – более 20,0

На основе зависимости между гранулометрическим составом почв и продуктивностью древесных насаждений, которая может быть охарактеризована через класс бонитета древостоя [11], установлено, что почвенные условия перечисленных рабочих участков позволяют рост древесных пород по Iб–II классу бонитета. Проанализировав исследования белорусских ученых в области эффективности создания топливно-энергетических плантаций различных древесных пород, их востребованности в хозяйстве, был сделан выбор в качестве целевой породы в пользу сосны (чистые посадки). Данная порода к возрасту рубки имеет значительный запас древесины, которая от сырья мягколиственных пород отличается устойчивым спросом на рынке. Согласно таблицам хода роста и работам [8, 14], к 20–25-летнему возрасту рубки средний запас сосновых насаждений, которые предлагаются в качестве основной породы, составит 150–200 м^3/га. Это позволит получить дополнительно 100–140 тыс. м^3 древесного топлива (до 7,0 тыс. м^3 древесины или 1,5 тыс. т у.т. ежегодно при условии равновременного оборота плантаций), отличительной особенностью которого будет высокая концентрация ресурса, сравнительно небольшой период рубки. Данные обстоятельства позволят снизить затраты на заготовку, транспортировку сырья, что отразится на его себестоимости.

Согласно данным [2], в Жлобинском районе насчитывается порядка 5,8 тыс. га земель, покрытых древесно-кустарниковой растительностью, которые при необходимости также могут быть использованы под энергетические нужны. Следует отметить необходимость своевременного принятия решений по переводу данной категории земель в лесной фонд, так как в случае их перевода с уже сформированной древесно-кустарниковой растительностью, последняя не может быть подвергнута реконструкции. В результате на высокоплодородных старопахотных и луговых землях будут произрастать малоценные мягколиственные породы, которые рядом

авторов предлагают к сплошной рубке при потребности в древесном топливе. Целенаправленное выращивание ценных хвойных пород предпочтительнее. Последние могут использованы как для обеспечения энергетических потребностей региона, так и в хозяйственных целях в зависимости от спроса на древесное сырье и цен на традиционные энергоносители.

Перечень потенциальных площадок для создания топливно-энергетических плантаций древесных пород

Номер участка	Сельскохозяйственная организация	Текущая категория земель	Номер рабочего участка	Площадь, га	Предполагаемый класс бонитета древостоев
1	ГП «Дворищанский»	Пахотные	96, 97, 98	34,4	Ia
2	ГП «Щедринское»	Закустаренные луговые	188, 189	18,1	Ia
3		То же	190, 191	8,6	Ia
4		–«–	213, 214	17,3	Ia
5		Пахотные	238	7,2	Ia
6	КСУП «Краснобережский»	Закустаренные луговые	131	12,3	Ia
7	КСУП «Лукское»	То же	251	21,7	Ia
8	КСУП «Нивы»	Пахотные	43	4,8	Ia
9	КСУП «Пиревичи»	Пахотные	132	10,3	Ia
10		–«–	22, 23	32,4	Ia
11		–«–	235, 344	49,2	Ia
12		Закустаренные луговые	369	7,0	II
13		То же	379, 380	29,0	Iб
14	ОАО «Бобовский»	Закустаренные луговые	291, 292, 294	18,8	Ia
15	РДСУП «Язнач» РУП «Калинковичиводстрой»	Пахотные	48	19,2	Ia
16		Закустаренные луговые	94	29,8	Ia
17	СПУ «Антоновка-Агро» РПУП «Гомельоблгаз»	Пахотные	29	18,2	Ia
18	Филиал «Китин» ОАО «АФПК «Жлобинский мясокомбинат»	Закустаренные луговые	7	4,2	Ia
19	ЧСУП «Агро-Коротковичи»	Пахотные	27	8,7	Ia
20		–«–	116, 117	36,0	Ia
21		–«–	120	7,4	Ia
22	ЧСУП «Папоротное»	Закустаренные луговые	43	31,0	Ia
23		То же	81	20,5	Ia
24		–«–	132	15,1	Ia
25		–«–	250	9,8	Ia
26	ЧУП «Жлобинская птицефабрика»	Закустаренные луговые	6	21,2	Ia
27	ЧУП «Степы» ОАО «АФПК «Жлобинский мясокомбинат»	Пахотные	63, 65	14,3	Ia
28		Закустаренные луговые	207	3,8	Ia

Заключение. Выполненная оценка энергетического потенциала древесного сырья и его экономическая эффективность, успешно доказанная в Беларуси на примере конкретных проектов, позволяют заключить, что древесное топливо является перспективным источником возобновляемой энергии для Жлобинского административного района. При сохранении размера лесопользования на современном уровне суммарный возможный объем древесного топлива составит 80–90 тыс. м^3 ежегодно (17,5–20,0 тыс. т у.т.) и возрастет к 2020 г. Ресурсная база древесного топлива может быть увеличена путем создания энергетических плантаций древесных пород на 1,5 тыс. т у.т. С учетом имеющегося профицита баланса древесного топлива, возможности его увеличения и опыта развитых лесоперерабатывающих стран следует считать возможным дальнейшее развитие древесной биоэнергетики района, а также производства древесных пеллет и брикетов, в том числе и на экспорт.

Литература

1. **Гелетуха, Г. Г.** Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні / Г. Г. Гелетуха [та ін.] // Промышленная теплотехника. – 2010. – Т. 32, № 6. – С. 58–65.

2. **Государственный** земельный кадастр Республики Беларусь (по состоянию на 1 января 2014 г.) / Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. – Минск, 2014.

3. **Государственный** лесной кадастр Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Минск, 2014.

4. **Кадастровая** оценка земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских). Распределение площади обрабатываемых земель по благоприятности для земледелия / Г. И. Кузнецов, Г. М. Мороз, А. И. Зенькович [и др.]. – Минск: Комитет по земельным ресурсам, геодезии и картографии при СМ Республики Беларусь, 2002.

5. **Кундас, С. П.** Возобновляемые источники энергии / С. П. Кундас, С. С. Позняк, Л. В. Швец. – Минск, 2009.

6. **Матвейко, А. П.** Прогноз реальных физических ресурсов древесного сырья для энергетических целей и их территориальное распределение / А. П. Матвейко, П. А. Протас // Тр. БГТУ. – Минск, 2011. – № 2 (140). – С. 140–142.

7. **Национальный** статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://belstat.gov.by/. – Дата доступа : 25.03.2015.

8. **Нормативные** материалы для таксации леса Белорусской ССР / под ред. В. Ф. Багинского. – М., 1984.

9. **Официальный** сайт Жлобинского районного исполнительного комитета [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://gisp.gov.by/. – Дата доступа : 25.03.2015.

10. **Рекомендации** по созданию топливно-энергетических плантаций быстрорастущих древесных пород. – Минск, 2010.

11. **Русаленко, А. И.** Леса Беларуси: экология, структура, продуктивность / А. И. Русаленко. – Минск, 2012.

12. **Федоренчик, А. С.** Энергетическое использование низкокачественной древесины и древесных отходов / А. С. Федоренчик, А. В. Ледницкий. – Минск, 2010.

13. **Холодков, В. С.** Использование древесной биомассы в биоэнергетических проектах северо-западного региона Российской Федерации // Возобновляемая энергетика для Северо-запада России. – СПб., 2005. – С. 22–28.

14. **Штукин, С. С.** Ускоренное выращивание сосны, ели и лиственницы на лесных плантациях / С.С. Штукин. – Минск, 2004.

15. **Fischer, G.** Assessment of biomass potentials for bio-fuel feedstock production in Europe: Methodology and results / G. Fischer [et al.]. Work Package 2 – Biomass potentials for bio-fuels: sources, magnitudes, land use impacts. Deliverable D6: Methodology and assessment of biomass potentials in EU27+ under alternative future scenarios. July 2007. – 81 p.

16. **Parrika, M.** Biosims – A method for the Estimation of Woody Biomass for Fuel in Sweden / M. Parrika // Swedish Univ. of Agricult. Sciences. Doct. thesis. – Uppsala. 1997.

17. **Status** of Biomass Resource Assessments. Version 3. Del. No: D 3.6 Issue/Rev: 1. November, 2010.

Белорусский государственный университет

Поступила в редакцию 17.04.2015 г.

Д. С. Воробьёв

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ КАК ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ НА ТЕРРИТОРИИ ЖЛОБИНСКОГО РАЙОНА

Проведен анализ современного использования древесного топлива для Жлобинского района, выполнена оценка ресурсной базы древесного сырья и рассмотрены перспективы его использования как возобновляемого источника энергии. Суммарное потребление древесного топлива составляет около 50 тыс. м^3 и ожидается к 2020 г. на уровне 60 тыс. м^3. Объемы производства древесного топлива за последние 4 года возросли от 42,0 до 93,8 тыс. м^3, а на 2015 г. запланированы на уровне 98 тыс. м^3, что обусловило наличие профицита баланса. Увеличение потенциала древесного топлива возможно путем создания топливно-энергетических плантаций быстрорастущих древесных пород за счет малопродуктивных и неиспользуемых сельскохозяйственных земель,

что позволит к 20–25-летнему возрасту рубки получить 100–140 тыс. м^3 древесного топлива. Установлено, что с учетом ежегодного профицита древесного топлива, а также наличия резерва земель для создания топливно-энергетических плантаций древесных пород в Жлобинском районе возможно более интенсивно использовать древесные ресурсы в качестве возобновляемого источника энергии.

D. S. Vorobyov

ASSESSMENT AND PROSPECTS OF USE OF WOOD MATERIALS AS ENERGY RESOURCE ON THE TERRITORY OF ZHLOBIN DISTRICT

The analysis of the current use of wood fuel of Zhlobin district, the estimation of resource base of wood raw material and the prospects of its use as a renewable energy source is given. The total consumption of wood fuel is about 50 thousand m^3 and is expected at 60 thousand m^3 in 2020. Volumes of production of wood fuel for the last 4 years increased from 42,0 to 93,8 thousand m^3 and for 2015 are projected to 98 thousand m^3, that resulted in the presence of a surplus balance. The Increase of capacity of wood fuel is possible by creating an energy plantations of fast-growing tree species due to low productivity and unused agricultural land which will allow to 20–25 years age receive logging 100–140 thousand m^3 of wood fuel. It was found that in view of the annual surplus of wood fuel, and the availability of reserve land for the creation of energy plantations of trees in Zhlobin district, the more intensive use of wood resources as a renewable energy source is possible.

УДК 553.97

Н. И. Тановицкая, Ю. Ю. Навоша, О. Н. Ратникова, Е. П. Леонович

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И БОЛОТ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ С УЧЕТОМ ИХ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Изложены основные правила и порядок определения направлений использования торфяных месторождений и болот, которые регламентируются техническим кодексом установившейся практики, разработанным сотрудниками Института природопользования НАН Беларуси. Разработан проект «Схемы рационального использования торфяных месторождений и охраны болот Брестской области Республики Беларусь на период до 2030 года».

Инвентаризация торфяных ресурсов Беларуси началась в 1922 г. принятием Декрета «О торфяных болотах», а системное изучение торфяного фонда республики – в 1928 г. Особенно активно поисковая разведка торфяных месторождений проводилась в 1935–1938 и 1948–1953 гг.

В 1940 г. был издан «Кадастр торфяных месторождений БССР». После Второй мировой войны начался этап интенсивного изучения и крупномасштабного использования торфяных ресурсов Беларуси. В 1953 г. разработан новый кадастровый справочник «Торфяной фонд Белорусской ССР» [7], который включал 5945 торфяных месторождений с общей площадью промышленной залежи 1467,55 тыс. га.

В 1979 г. справочник был дополнен и переиздан как «Кадастровый справочник торфяного фонда БССР» [4], включающий 7055 торфяных месторождений с площадью в нулевых границах 2543,78 тыс. га. Запасы торфа изучены детально на 35 %, предварительно на 18 % и поисково на 47 % территории торфяных месторождений.

В 1990 г. под руководством Института проблем использования природных ресурсов и экологии Академии наук БССР разработана «Схема рационального использования и охраны торфяных ресурсов Республики Беларусь на период до 2010 года» [8], одобренная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 25 ноября 1991 г. № 440. Схема включала 9192 торфяных месторождения и их участков общей площадью 2397 тыс. га и предусматривала увеличение природоохранного фонда от 13 до 29,7 % территории болот к 2010 г.

По данным почвоведов, на территории Беларуси торфяно-болотные почвы различных типов до начала осушения и добычи торфа занимали 2939 тыс. га [5]. Согласно схеме, на период до 2010 года общая площадь болот и торфяных месторождений Беларуси составляла 2397 тыс. га. Разница между данными почвоведов и схемы – 542 тыс. га объясняется тем, что в схему не включены площади, занятые мелкозалежными торфяно- и торфяно-глеевыми почвами, которые не перспективны для промышленной разработки. Оценка наличия сельскохозяйственных земель Беларуси, включая торфяно-болотные почвы, по состоянию на 2000 г. приведена в практическом пособии «Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь» [6].

В дальнейшем разрабатываемый фонд схемы на период до 2010 г. был дополнен перечнем перспективных для комплексного использования торфяных месторождений Республики Беларусь [11].

Торфяные месторождения и болота в силу значительной распространенности на территории Беларуси давно используются во многих сферах экономики: в сельском хозяйстве, добыче торфа для топлива, а также в качестве биохимического сырья для комплексной переработки с получением биологически активных препаратов для растениеводства, животноводства, медицины, производства сорбентов многофункционального назначения, красителей, ингибиторов коррозии, восков, модельных составов для точного литья, антиадгезионных смазок и ряда других материалов [1].

Торфяные месторождения и болота имеют также важное значение для сохранения ландшафтного и биологического разнообразия Беларуси и Европы, очистки атмосферного воздуха от избытка двуокиси углерода и обогащения его кислородом, формирования местного климата, гидрологического режима и качества вод в крупных регионах; кроме того, содержат другие природные ресурсы (дичь, ягоды, лекарственные растения), а также рекреационные ресурсы.

Распределение торфяного фонда по направлениям использования с выделением природоохранного, земельного, разрабатываемого, запасного и нераспределенного целевых фондов ранее было регламентировано Схемой рационального использования и охраны торфяных ресурсов БССР на период до 2010 г. [2, 8]. В связи с завершением срока действия данной схемы назрела необходимость разработки новой Схемы рационального использования торфяных месторождений и охраны болот Республики Беларусь на период до 2030 г.

Торфяной фонд Республики Беларусь быстро изменяется в связи с интенсивным

хозяйственным освоением торфяных месторождений и болот [9], что требует пересмотра их распределения по направлениям использования [12].

Для определения направлений использования болот и торфяных месторождений разработан технический кодекс установившейся практики 17.12-08-2015 (02120) Охрана окружающей среды и природопользование. Территория. Правила и порядок определения направлений использования торфяных месторождений и болот (далее – ТКП).

Распределение торфяных месторождений и болот по направлениям использования, согласно ТКП [12], носит рекомендательный характер, за исключением болот, на которых в законодательном порядке установлен режим охраны и использования природной территории, подлежащей особой и/или специальной охране, и торфяных месторождений, на которые в законодательном порядке оформлен горный отвод. Согласно требованиям ТКП, разработаны схемы рационального использования торфяных месторождений и охраны болот Республики Беларусь на период до 2030 г. Минской [10] и Брестской областей.

Брестская область – юго-западная территория Беларуси, граничит на западе с Польшей, на юге – с Украиной, а также с Гродненской, Минской и Гомельской областями. Площадь – 32,8 тыс. км^2, что составляет 15,7 % площади Беларуси. Брестская область состоит из 16 районов, 20 городов (в том числе областного подчинения – Брест, Барановичи, Пинск), 9 поселков городского типа, 2178 сельских населенных пунктов.

На территории области расположен Национальный парк «Беловежская пуща», 17 заказников республиканского значения, 27 местного значения, 31 республиканский и 47 местных памятников природы. На долю Брестской области приходится седьмая часть всех лесов Беларуси.

Брестская область занимает юго-западную часть Белорусского Полесья, представляющую собой плоскую, слабо дренированную долину с уклоном в сторону Припяти. Формирование элементов рельефа поверхности обусловлено деятельностью ледниковых вод, территория характеризуется сглаженными формами рельефа поверхности.

Равнинность территории, малый уклон поверхности, огромная водосборная площадь и низкая дренированность мощных песчаных отложений привели к перенасыщению водой, заболачиванию и заторфовыванию больших территорий. Особенности водно-минерального питания и геоморфология поверхности обусловили развитие и формирование обширных по площади, часто мелкозалежных торфяных месторождений преимущественно низинного типа. Мелкоконтурных торфяных месторождений площадью менее 50 га относительно мало, и запасы торфа в них незначительны – менее 6 % от общих запасов по области.

Распределение торфяных месторождений и болот Брестской области площадью более 10 га осуществлялось по следующим направлениям использования: болота, подлежащие особой и/или специальной охране; фонд особо ценных видов торфа; разрабатываемый и земельный фонды [12].

При определении направлений использования торфяных месторождений и болот на первом этапе выделяются ***болота, подлежащие особой и/или специальной охране***, которые на последующих этапах не включаются в фонды торфяных месторождений. К болотам, подлежащим особой и/или специальной охране, относятся болота или их участки, выполняющие охранные и защитные, средообразующие и биосферные функции в природе, а также используемые в научных и рекреационных целях.

Для выделения болот, подлежащих особой и / или специальной охране, собирается и анализируется следующая информация: кадастровый номер торфяного месторождения [4], наименование, район, границы, площадь, землепользователь, тип болота, географические координаты, природоохранный национальный и международный статус, наличие и численность диких животных и дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, наличие биотопов и природных ландшафтов, подлежащих специальной охране, значение болот для сохранения биологических ресурсов, биоресурсы (животные и растения), гидрологическая значимость (наличие озер, рек, истоков рек), степень нарушенности болот, уровень радиоактивного загрязнения, возможность рекреации и туризма.

Площадь болот Брестской области, подлежащих особой и (или) специальной охране, составляет 148 799 га, их торфяная залежь аккумулирует 1075,8 млн м^3 воды и 63,1 млн т углерода. Болота, подлежащие особой и / или специальной охране, наиболее широко представлены в Столинском, Ганцевичском и Пинском районах: их площади составляют 47,9 тыс., 23,6 тыс. и 14,0 тыс. га соответственно (рис. 1). Болота, подлежащие особой и специальной охране, составляют 30 % территории торфяных месторождений и болот области.

На втором этапе формируется ***фонд особо ценных видов торфа***, который состоит из торфяных месторождений, имеющих запасы верхового малоразложившегося торфа и битуминозного торфа для биотермохимической переработки, а также сырья для лечебных целей. Фонд

особо ценных видов торфа является перспективной сырьевой базой для будущих наукоемких производств новых видов продукции из торфа (биологически активных препаратов для растениеводства, животноводства, медицины, производства сорбентов многофункционального назначения, красителей, ингибиторов коррозии, восков) [1]. Основные торфяные месторождения этого фонда охраняются в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь «Об установлении ограничений на пользование недрами на отдельных участках» от 12 ноября 2007 г. № 563.

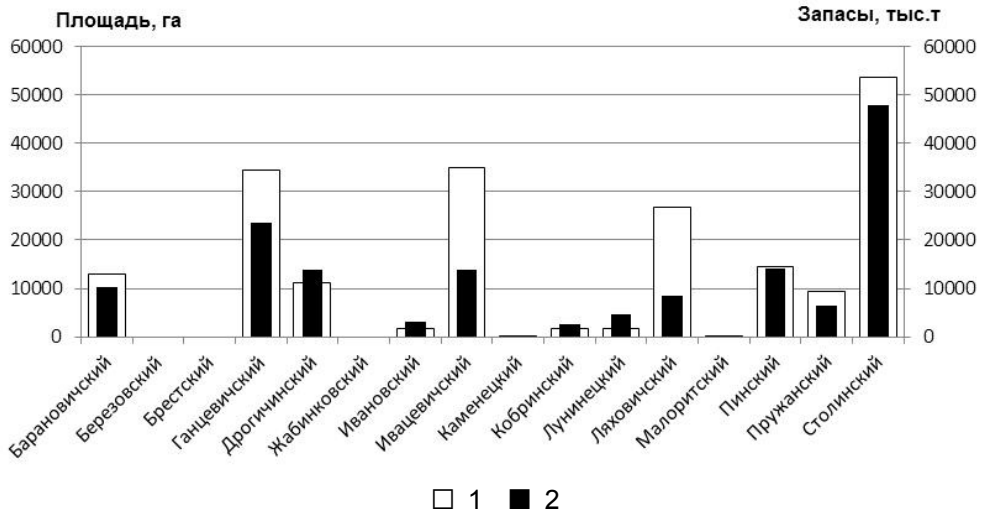


Рис. 1. Распределение болот (участков болот), подлежащих особой и (или) специальной охране, по административным районам Брестской области: *1* – площадь болот (участков болот), подлежащих особой и (или) специальной охране, га; *2* – запасы торфа в границах болот (участков болот), подлежащих особой и (или) специальной охране, тыс. т

Для торфяных месторождений (их участков), относимых в фонд особо ценных видов торфа для биотермохимической переработки, анализируются следующие параметры: кадастровый номер торфяного месторождения [4], площадь в границах промышленной глубины торфяной залежи, тип торфяной залежи, географические координаты, современное состояние (использование), степень нарушенности, средняя глубина залежи на момент разведки, запасы торфа, степень разложения, зольность, уровень радиоактивного загрязнения, наличие горного отвода, вид торфа, содержание битумов, редуцирующих и гуминовых веществ. В результате анализа вышеуказанных параметров торфяные месторождения и болота для отнесения в фонд особо ценных видов торфа в Брестской области не выявлены.

На третьем этапе на ближайший период (как правило, на 15–20 лет) и дальнейшую перспективу формируется ***разрабатываемый фонд***, в который включены торфяные месторождения (их участки), отведенные для добычи торфа в установленном законодательством порядке, а также перспективные для промышленного освоения.

Информация о торфяных месторождениях (их участках) анализируется на предмет их пригодности для разрабатываемого фонда, при этом учитывается потребность в торфе и торфяной продукции каждого административного района.

В разрабатываемый фонд относят торфяные месторождения (их участки), пригодные по количественным и качественным показателям для добычи торфа для различных направлений использования в соответствии с [4]. Торфяная залежь таких месторождений используется для производства топливно-энергетической продукции (топливные брикеты, фрезерный торф для пылевидного сжигания, кусковой торф), продуктов сельскохозяйственного назначения (удобрения, подстилка, компосты), товаров и составов комплексного освоения (механическая, термическая, химическая и биохимическая переработка).

В разрабатываемый фонд, относят торфяные месторождения (их участки), определенные в качестве перспективных для добычи торфа нормативными правовыми актами Президента Республики Беларусь [3] и / или Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 17 июня 2011 г. № 794 «О некоторых вопросах добычи торфа и оптимизации системы, особо охраняемых природных территорий», если на данных территориях отсутствует режим охраны и использования природных территорий, подлежащих особой и/или специальной охране, установленный соответственно Президентом Республи-

ки Беларусь и / или Советом Министров Республики Беларусь, за исключением торфяных месторождений (их участков), осушенных закрытым дренажем и не разрабатываемых на момент отнесения в фонды организациями торфяной промышленности.

Для отнесения торфяных месторождений (их участков) в разрабатываемый фонд анализируются следующие показатели: площадь в границах промышленной глубины торфяной залежи, тип торфяной залежи, географические координаты, современное состояние (использование), степень нарушенности, средняя глубина залежи на момент разведки, запасы торфа, степень разложения, зольность, уровень радиоактивного загрязнения. Запасы торфа разрабатываемого фонда определяются на основании балансовых запасов торфа и в дальнейшем подлежат уточнению при проведении геологоразведочных работ [13]. Запасы торфа по остальным фондам рассчитываются с учетом процессов минерализации органического вещества и добычи торфа [12].

Разрабатываемый фонд включает 26 торфяных месторождений, отведенных и перспективных для добычи торфа на период до 2030 г., в 10 районах Брестской области. Разрабатываемый фонд составляет 32 827 га с промышленными запасами торфа 87 569 тыс. т (рис. 2). Наиболее широко разрабатываемый фонд представлен в Ивацевичском (7,6 тыс. га) Лунинецком (6,9 тыс. га) и Пружанском (6,7 тыс. га) районах. Торфяные месторождения для отнесения в разрабатываемый фонд на период до 2030 г. в Березовском, Брестском, Ганцевичском, Ивановском, Каменецком и Малоритском районах не выявлены.

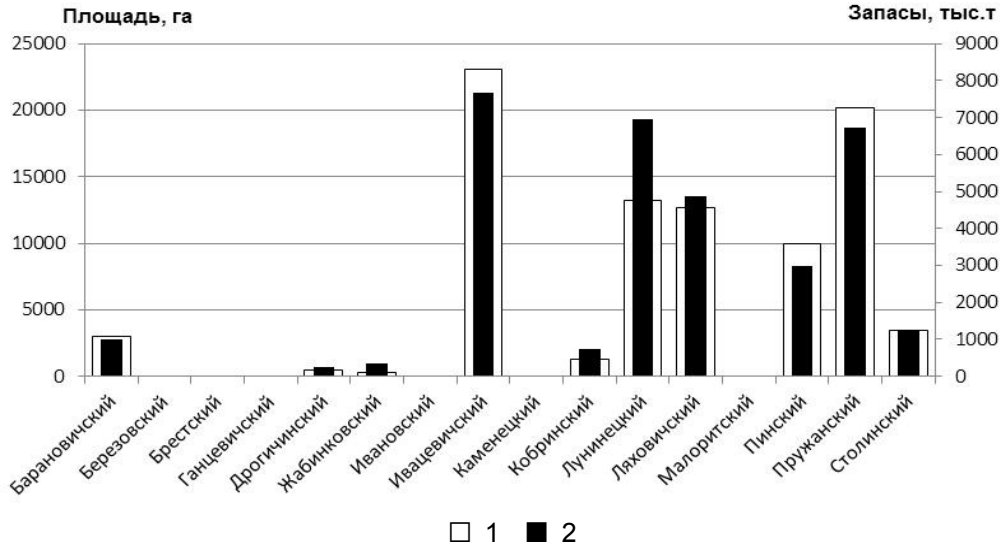


Рис. 2. Распределение торфяных месторождений (участков месторождений) разрабатываемого фонда по административным районам Брестской области: *1* – площадь торфяных месторождений разрабатываемого фонда, га; *2* – запасы торфяных торфяных месторождений разрабатываемого фонда, тыс. т

На четвертом этапе торфяные месторождения (их участки), оставшиеся после выделения болот и формирования фондов, описанных выше, относят в ***земельный фонд***. Это болота и торфяные месторождения (их участки), расположенные на землях сельскохозяйственного назначения, запаса, лесного, водного фондов, включая торфяные месторождения (их участки), которые отвечают критериям разрабатываемого фонда, но не рассматриваются в качестве перспективных для добычи торфа на современном этапе.

Земельный фонд включает мелиорированные для сельского и лесного хозяйств торфяные почвы и торфяные месторождения, не входящие в состав болот, подлежащих особой и / или специальной охране, и не включенные в другие фонды.

Земельный фонд Брестской области составляет 307 587 га с промышленными запасами торфа 279 722 тыс. т (рис. 3).

Выбывшие из промышленной эксплуатации после добычи торфа торфяные месторождения Брестской области или их участки составляют 40 994 га, на которых добыто 133 250 тыс. т торфа. Наибольшие площади торфяных месторождений, выбывших из промышленной эксплуатации, находятся в Барановичском (6068 га), Ивацевичском (4646 га) и Жабинском (3560 га) районах.

Нарушенные работой организаций «Белсельхозхимия» участки торфяных месторождений составляют 24612 га с извлеченными запасами 8815 тыс. га.

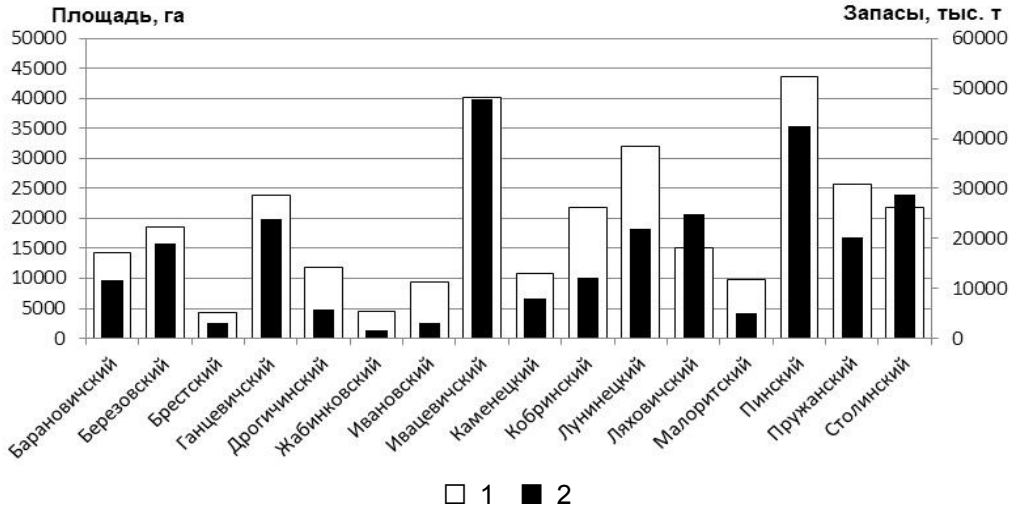


Рис. 3. Распределение торфяных месторождений (участков месторождений) земельного фонда по административным районам Брестской области: 1 – площадь торфяных месторождений земельного фонда, га; 2 – запасы торфяных торфяных месторождений земельного фонда, тыс. т

На выработанных торфяных месторождениях выявлены сельскохозяйственные земли, непригодные по своим природно-генетическим свойствам для возделывания сельскохозяйственных культур в Брестской области – 3796 га. Основными причинами непригодности таких земель для сельского хозяйства являются: подтопление из-за низкого положения в рельефе, подстилание остаточного слоя торфа водоупорными грунтами (сапропель, суглинок, глина), невозможность создания благоприятного водного режима для сельскохозяйственных культур и прохождения техники экономически выгодными методами, а также неблагоприятная реакция среды, наличие карбонатных отложений (мергель, торфотуф, сапропель), обусловливающих ретроградацию фосфорных удобрений и др. Для таких территорий рекомендовано изменить направление использования с сельскохозяйственного на природоохранное или лесохозяйственное.

Распределение торфяных месторождений и болот Брестской области по направлениям использования показало, что наиболее представительным является земельный фонд, который составляет 63 % площадей торфяных месторождений и болот области с общими запасами торфа 49 % (рис. 4). Из них выбывшие из промышленной эксплуатации торфяные месторождения составляют 24 % территории земельного фонда.

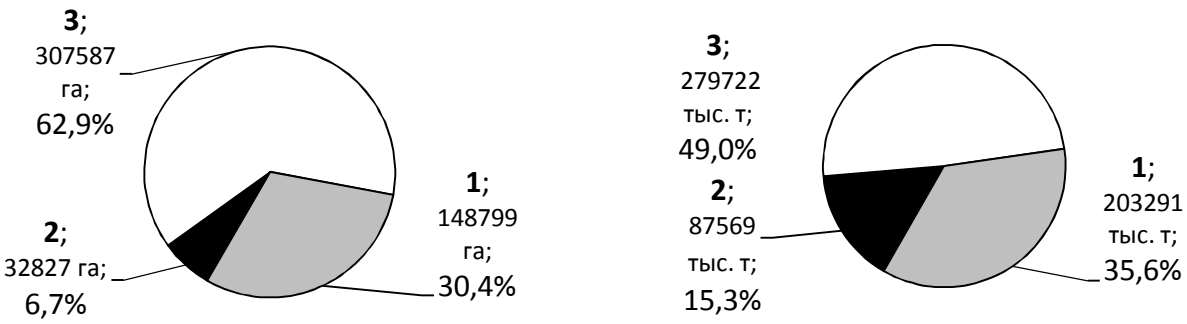


Рис. 4. Диаграмма распределения по направлениям использования площадей и запасов торфа торфяных месторождений и болот Брестской области: 1 – болота (участки болот), подлежащие особой и (или) специальной охране; 2 – разрабатываемый фонд; 3 – земельный фонд

По сравнению с данными «Схемы рационального использования и охраны торфяных ресурсов БССР на период до 2010 г.» общая площадь торфяных месторождений и болот Брестской области в результате уточнения изменилась от 487,3 тыс. до 489,2 тыс. га, запасы уменьшились в результате добычи торфа и минерализации органического вещества торфа с 635,4 млн до 570,6 млн т.

Анализ изменения площадей и запасов торфяных месторождений и болот в настоящее время и по состоянию на 1990 г. показал тенденцию к увеличению площади болот, подлежащих особой и (или) специальной охране от 48 620 до 148 799 га (более чем в 3,1 раза), запасов торфа от 105,4 млн до 203,3 млн т (в 1,9 раза). Площадь разрабатываемого фонда по сравнению с предыдущей схемой [9] изменилась от 11710 до 32 827 га, а запасы – от 30 584 тыс. до 87 569 тыс. т.

Итогом перераспределения торфяных месторождений и болот по направлениям использования с учетом их современного состояния является представленный на согласование в Брестский облисполком проект «Схемы рационального использования торфяных месторождений и охраны болот Брестской области Республики Беларусь на период до 2030 г.», согласованный специалистами административных районов области.

Литература

1. **Бамбалов, Н. Н.** Использование торфа в качестве органического сырья для химической переработки / Н. Н. Бамбалов. Химия твердого топлива. – Минск, 2012, № 5. – С. 6–12.

2. **Бамбалов, Н. Н.** Развитие исследований в области генезиса, использования и охраны торфяных месторождений Беларуси / Н. Н. Бамбалов, И. Г. Тановицкий, С. Г. Беленький / Твердые горючие отложения Беларуси и проблемы охраны окружающей среды. – Минск, 1992. С. 27–39.

3. **Государственная** программа «Торф» на 2008-2010 годы и на период до 2020 года. Утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 23 января 2008 г. № 94.

4. **Кадастровый** справочник «Торфяной фонд Белорусской ССР». Управление государственного торфяного фонда при Госплане БССР. – Минск, 1979.

5. **Почвы** Белорусской ССР / Н. И. Смеян [и др.]. – Минск, 1974.

6. **Почвы** сельскохозяйственных земель Республики Беларусь. Изд. Государственного комитета по земельным ресурсам РБ. – Минск, 2001.

7. **Справочник** «Торфяной фонд Белорусской ССР». – Минск, 1953.

8. **Схема** рационального использования и охраны торфяных ресурсов БССР на период до 2010 г. Утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 25 ноября 1991 г. № 440.

9. **Тановицкая,** Н. И. Современное состояние и использование болот и торфяных месторождений Беларуси / Н. И. Тановицкая, Н. Н. Бамбалов // Природопользование. – Минск, 2009. – Вып. 16. – С. 82–89.

10. **Тановицкая**, Н. И. Определение направлений использования торфяных месторождений и болот Минской области / Н. И. Тановицкая, О. Н. Ратникова // Земля Беларуси. – Минск, 2014. – Вып. 4. – С. 28–31.

11. **Торфяные** месторождения Республики Беларусь, пригодные для комплексного освоения на ближайшую и отдаленную перспективу / сост. : Л. С. Лис [и др.]. – Минск, 2013.

12. **ТКП 17.12–08–2015 (02120)** Охрана окружающей среды и природопользование. Территория. Правила и порядок определения направлений использования торфяных месторождений и болот.

13. **ТКП 17.04–19–2010 (02120)** Охрана окружающей среды и природопользование. Недра. Правила разработки проекта обоснования границ горного отвода.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 5.03.2015 г.

Н. И. Тановицкая, Ю. Ю. Навоша, О. Н. Ратникова, Е. П. Леонович

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И БОЛОТ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ С УЧЕТОМ ИХ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Изложены основные правила и порядок определения направлений использования торфяных месторождений и болот, которые регламентируются техническим кодексом установившейся практики «Правила и порядок определения направлений использования торфяных месторождений и болот», разработанным сотрудниками Института природопользования НАН Беларуси. Согласно основным принципам данного ТКП, разработан проект «Схемы рационального использования торфяных месторождений и охраны болот Брестской области Республики Беларусь на период до 2030 года».

Распределение торфяных месторождений и болот Брестской области площадью более 10 га осуществлялось по следующим направлениям использования: болота, подлежащие особой и/или специальной охране; фонд особо ценных видов торфа; разрабатываемый и земельный фонды.

N. Tanovitskaya, Yu. Navosha, O. Ratnikova, E. Leonovich

DEFINITION OF THE DIRECTIONS FOR USE OF PEATLANDS AND MIRES OF THE BREST REGION ACCODING THEIR CURRENT STATE

The basic rules and procedures for determining the uses of peat deposits and swamps, which are regulated by the technical code of practice «Rules and procedure for determining the uses of peat deposits and swamps», developed by the Institute for Nature Management of NAS of Belarus are set out. According to the basic principles of this TCP the project «Schemes of rational use of peat deposits and protection of wetland in, Brest region in the Republic of Belarus for the period till 2030» is developed.

Distribution of peat deposits and wetlands area of the Brest region more than 10 hectares was carried out in the following directions of use: swamps, subjected to specific and/or special protection; fund of valuable species of peat; developed and land funds.

УДК 330.131:662.641(476)

А. В. Краковецкий

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ СОЗДАНИЯ МОДУЛЬНЫХ МИНИ-ЗАВОДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТОПЛИВНОГО БРИКЕТА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Представлены технические и экономические преимущества модульных мини-заводов по сравнению с обычными торфобрикетными предприятиями. На примере месторождения «Туршевка–Чертово» проведена сравнительная оценка экономической эффективности освоения указанного месторождения для получения торфяного брикета на модульном мини-заводе и обычном торфобрикетном производстве аналогичной мощности.

Основным направлением использования торфа в Беларуси на начальном этапе освоения торфяных месторождений было топливно-энергетическое. Начиная с середины прошлого столетия резко возросли объемы добычи торфа на нужды сельского хозяйства (производство органоминеральных удобрений, компостирование, подстилка для скота и др.). Максимальный объем добычи торфа на нужды энергетики и сельского хозяйства был достигнут в 1975 г. и составил 38,9 млн т торфа в год. В последующие годы из-за сработки крупных сырьевых баз, появления новых видов энергетического сырья, а также вследствие возникновения иных социально-экономических условий в республике добыча торфа на топливо и нужды сельского хозяйства резко сократилась. Если в 1985 г. было добыто 21,5 млн т то в 2010 г. – 2,6 млн т.

В настоящее время в составе ГПО по топливу и газификации («Белтопгаз») Министерства энергетики Республики Беларусь работают 25 предприятий, из которых 16 ведут добычу и переработку торфа. Подготовлено и разрабатывается 43 торфяных месторождений общей площадью 34,1 тыс. га с запасами торфа в 84,4 млн т. Организациям отведено во временное пользование 17,6 тыс. га. Для добычи торфа эксплуатируется 7,9 тыс. га земель, запасы торфа на которых оцениваются в 33,5 млн т. Из них 26,9 млн т торфа пригодны для производства торфяного топлива, 6,6 млн т – для производства продукции сельскохозяйственного назначения (грунтов, компостов) и торфа верхового кипованного [1]. Как видно, из отведенных для добычи торфа сырьевых баз в настоящее время в республике используется в производстве всего лишь 52 %. Часть из разрабатываемого фонда месторождений находится в других фондах (земельном и природоохранном), и отведение их для работы действующих предприятий становится проблематичным. Для обеспечения планируемых объемов добычи торфа на перспективу следует увеличить разрабатываемый фонд за счет научно обоснованного перераспределения торфяных ресурсов по целевым фондам [1, 3].

В 2011– 2015 гг. организациями Минэнерго ежегодно добывалось 2,8–3,2 млн т фрезерного торфа, 10–15 тыс. т кускового торфа. Из добытого торфа производится 1,2–1,3 млн т брикетов. Государственной программой «Торф», утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 29.01.2008 № 94 [1], предусмотрено дальнейшее увеличение производства торфяной топливной продукции: в 2015 г. – до 1,4 млн т условного топлива (в том числе 1375 тыс. т торфяных брикетов), в 2020 г. – до 1,5 млн т условного топлива (в том числе 1560 тыс. т торфяных брикетов).

Очевидно, что для достижения поставленных задач необходимо увеличить производственные мощности торфоперерабатывающих предприятий, в том числе и за счет строительства инновационных торфобрикетных модульных мини-заводов. На данный момент блочно-модульный автоматизированный брикетный комплекс производительностью 20,4 тыс. т брикетов в год введен в эксплуатацию на базе ОАО «ТБЗ Лидский».

Брикетный комплекс предназначен для производства топливных брикетов из фрезерного торфа. Готовая продукцию имеет следующие характеристики: влажность брикета до 18 %, зольность до 15 %, плотность в навале – 700 кг/м^3 и в укладке – 950 кг/м^3, диаметр – 78 мм, теплота сгорания при влажности 12 % и зольности 11 % – 16,8 МДж/кг.

По результатам работы комплекса установлены следующие неоспоримые преимущества модульного мини-завода по сравнению с обычным торфобрикетным предприятием:

возможность вовлечения в разработку небольших торфяных месторождений (с запасами торфа до 1 млн т), ранее не рассматривавшихся в качестве сырьевых баз торфопредприятий и расположенных вне особо охраняемых природных территорий;

возможность модульного мини-завода брикетировать не только низинный, но и верховой и переходной типы торфа;

простота монтажа оборудования, так как комплекс состоит из набора модулей, которые транспортируются и монтируются с использованием широко распространенной автомобильной и грузоподъемной техники;

отсутствие необходимости возведения капитальных зданий и сооружений, так как модули комплекса устанавливаются на открытой площадке площадью 0,15 га на фундаменты простой конструкции и небольшого объема.

благодаря утеплению отдельных модулей, а также утеплению и электрическому подогреву коробов конвейеров обеспечение работы комплекса при отрицательных температурах окружающего воздуха до –20 °С;

отсутствие необходимости в инженерных сетях, кроме подвода трехфазной электрической сети напряжением 380 В и наличия источника пожарного водоснабжения;

возможность перемещения комплекса на другую производственную площадку, а также несложная интеграция комплекса в существующие полевые производственные базы на торфяных месторождениях;

высокий уровень автоматизации комплекса, позволяющий сократить число персонала до 2 человек в смену: оператор, водитель погрузчика; в стандартном режиме комплекс может работать полностью автоматически [7].

С учетом указанных технических преимуществ автором статьи была поставлена следующая цель: выявить и экономические преимущества, связанные с созданием модульного мини-завода, для чего была проведена сравнительная оценка экономической эффективности освоения торфяного месторождения «Туршевка–Чертово» для получения топливного брикета на модульном автоматизированном комплексе и обычном торфобрикетном заводе. Надо также заметить, что подобные сравнительные оценки в отечественной литературе еще не проводились, что указывает на новизну решаемой проблемы. При этом модульный мини-завод, созданный на базе ОАО «ТБЗ Лидский», в литературе упоминается только вскользь, как, например, в публикации И. И. Лиштвана «Роль торфа и торфяных месторождений в природе и жизни человека» [2], где говорится о строительстве опытного блочно-модульного мини-завода и указываются планируемые объемы производства конечной продукции.

Торфяное месторождение «Туршовка-Чертово» расположено в пределах болотного массива верхового (50 %), низинного (48 %) и переходного (2 %) типов на юге Крупского района, в водосборе рек Брусята и Бобр (притоки Березины). Имеет значительные запасы гидролизного и битуминозного торфа. Входит в состав Мижреченской комплексной базы битумного и гидролизного сырья. В настоящее время на сырье торфяного месторождения работает ОАО «Туршовка». Названное месторождение представляет интерес для исследования, так как является первостепенной сырьевой базой для создания комбината по глубокой переработке торфа в соответствии с выполняемым Институтом природопользования договором № 88 Б-2014 от 19.12.2014 г. «Провести научно-исследовательские работы по определению возможности получения в опытно-промышленных масштабах продуктов глубокой переработки торфа из торфяного сырья месторождения «Туршовка–Чертово» (с разработкой научно-технического обоснования целесообразности строительства горно-химического комбината по глубокой комплексной переработке торфа)». В перечень продуктов, планируемых производить на указанном комбинате, входит и торфяной брикет.

При оценке модульного завода за основу был взят Лидский модульный мини-завод как наиболее передовое предприятие-аналог. Основные исходные данные, необходимые для проведения экономической оценки, были предоставлены администрацией ОАО «Торфобрикетный завод Лидский».

Исходные данные использованные при оценке обычного торфобрикетного завода были рассчитаны на основе материалов публикаций [11, 12] с учетом инфляции доллара за 4 года (8,34 %). Исходя из названного выше, были определены удельные и общие капиталовложения и эксплуатационные затраты. Отпускная цена торфяного брикета была рассчитана как среднее арифметическое отпускных цен пяти торфобрикетных предприятий (торфобрикетный завод «Хойникский», торфобрикетное производственное управление «Березовское», торфобрикетное предприятие «Вертилишки», торфобрикетный завод «Браславский», торфобрикетный завод «Усяж») и составила 69,7 долл. США за 1 т [4, 5, 8, 9, 10].

Годовые амортизационные отчисления определены в размере 10% от инвестиций. Налог на прибыль определялся исходя из 18%-ной ставки в соответствии с действующим налоговым кодексом. С учетом десятилетнего срока функционирования инвестиций для обоих вариантов ставка дисконта определена на уровне 10%.

Порядок расчета показателей стоимостной оценки месторождения «Туршовка-Чертово», используемого для получении топливной продукции по обоим вариантам освоения, включает определение годовой стоимости товарной продукции (*NSR*), облагаемой налогом прибыли, налога на прибыль, чистого потока реальных денег (чистой прибыли) (*NCF*), чистой дисконтиро-

ванной стоимости потока реальных денег (*NPV)*, индекса рентабельности инвестиций, внутренней нормы доходности и срока окупаемости капиталовложений.

Все расчеты проводились в соответствии с принятым ТКП 17.04-08-2008 (02120) «Правила стоимостной оценки месторождений полезных ископаемых» [6]. С учетом того, что в данном примере имеют место разовые инвестиции, накопленный чистый дисконтированный доход (NPV_{cum}) рассчитывался по следующей формуле:

$$NPVcum = \sum_{t=1}^{T} (NPVt - I_0),$$

где NPV_t – годовой чистый дисконтированный доход; t – порядковый номер года расчетного периода разработки месторождения; T – период разработки месторождения; I_0 – единовременные капитальные вложения.

При этом полные инвестиционные затраты проекта тождественны первоначальным разовым инвестициям ($TIC = I_0$), и, следовательно, индекс рентабельности инвестиций *(PI)* рассчитывался по формуле

$$PI = \frac{NPV}{I_0},$$

где *NPV* – чистый дисконтированный доход; I_0 – единовременные капитальные вложения.

Срок окупаемости инвестиций (*PP*) был определен исходя из величины накопленного чистого дисконтированного дохода по годам освоения месторождения по следующей формуле:

$$PP = T_1 + \frac{|NPV_{t_1}|}{|NPV_{t_1}| + NPV_{t_2}},$$

где *PP* – дисконтированный период окупаемости инвестиций; T_1 – период в годах после начала финансирования освоения месторождений пока величина накопленного чистого дисконтированного дохода принимает отрицательное значение; $NPVt_1$ – величина накопленного чистого дисконтированного дохода последнего года периода T_1; $NPVt_2$ – величина накопленного чистого дисконтированного дохода года, следующего после периода T_1.

Как видно из таблицы, для ввода в строй модульного мини-завода необходимо в 2 раза меньше инвестиций, чем для создания обычного торфобрикетного завода на базе интересующего нас месторождения, при этом годовая стоимость произведенной продукции на торфобрикетном заводе больше всего лишь в 1,3 раза по сравнению с модульным мини-заводом. Правда, для модульного мини-завода заложена достаточно высокая норма амортизации, что приводит к полному обороту капитала уже через 6,2 года.

Сравнительная оценка экономической эффективности промышленного освоения торфяного месторождения «Туршовка-Чертово» для получения топливной продукции по двум вариантам за 10 лет разработки

Показатель	Продукция на основе торфа	
	Торфяной брикет (модульный мини-завод)	Торфяной брикет (торфобрикетный цех/обычный завод)
Промышленные запасы торфа в пределах участка первоочередной разработки, тыс. т	501,6	501,6
Площадь участка первоочередной разработки, га	134	134
Годовая добыча торфа, тыс. т	37,0	41,0
Годовое производство продукции, тыс. т	20,4	20,4
Годовая стоимость произведенной продукции, долл. США	1 095 302,0	1 421 880,0
Капитальные вложения, долл. США	1 789 300,9	3 496 560,0
Эксплуатационные затраты, долл. США	776 167,4	930 240,0
Амортизация, долл. США	2 862 755,2	3 496 560,0
Налогооблагаемая прибыль, долл. США	328 590,8	1 419 840,0
Налог на прибыль (18 %), долл. США	59 146,3	255 579,2
Чистый доход (NSF), долл. США	4 205 654,0	4 660 821,0
Накопленный чистый доход, долл. США	2 418 353,1	1 164 261,0
Чистый дисконтированный доход (NPV) при *r* равном 10 %, долл. США	2 584 164,1	2 863 841,5
Накопленный чистый дисконтированный доход, долл. США	794 863, 2	- 632 718,5
Индекс рентабельности инвестиций (PI)	1,44	0,82
Срок окупаемости инвестиций: по накопленному чистому доходу, лет по накопленному чистому дисконтированному доходу, лет	4,26 5,82	7,49 более 12
Внутренняя норма доходности (IRR), %	19,63	5,70

Надо также заметить, что налог на прибыль с обычного торфобрикетного завода в 4,3 раза выше, чем с модульного мини-завода, что выглядит более приемлемо с точки зрения государства. С другой стороны, накопленный чистый дисконтированный доход за 10 лет у модульного мини-завода составит почти 800 тыс. долл. США, в то время как этот же показатель у обычного торфобрикетного завода имеет отрицательное значение, т. е. модульный мини-завод через десять лет работы будет иметь значительную сумму денег на проведения модернизации за счет собственных средств.

По показателям индекса рентабельности, срока окупаемости инвестиций и внутренней нормы доходности модульный мини-завод снова находится в выигрышном положении по сравнению с обычным торфобрикетным предприятием. Внутренняя норма доходности модульного мини-завода превышает аналогичный показатель обычного торфобрикетного завода в 3,4 раза, а срок окупаемости инвестиций по накопленному чистому дисконтированному доходу для модульного мини-завода составляет 5,82 года (для второго варианта освоения – более 12 лет). Индекс рентабельности инвестиций для модульного мини-завода составляет 1,44, в то время как для обычного торфобрикетного предприятия только 0,82, что указывает на низкую рентабельность указанного производства. Кроме того, надо отметить, что из-за более совершенной технологии производства торфяного брикета на модульном мини-заводе, при выпуске одинаковых объемов конечной продукции в 20,4 тыс. т в год, на модульном мини-заводе затрачивается на 4 тыс. т меньше сырья, чем на обычном торфобрикетном предприятии.

Таким образом, на примере месторождения «Туршовка-Чертово» можно говорить об экономической целесообразности создания модульных мини-заводов в нашей республики, особенно в условиях планируемого увеличения производства топливной продукции. Модульный мини-завод обладает не только техническими, но и экономическими преимуществами по сравнению с аналогичным по мощности торфобрикетным предприятием. При этом для ввода в строй модульного мини-завода необходимо в 2 раза меньше инвестиций, чем для создания обычного торфобрикетного завода, а годовая стоимость произведенной продукции на торфобрикетном заводе больше всего лишь в 1,3 раза по сравнению с модульным. Внутренняя норма доходности модульного мини-завода более чем в 3 раза выше, чем на обычном торфобрикетном предприятии, а инвестиции окупаются практически в 2 раза быстрее.

Литература

1. **Государственная** программа «Торф» на 2008−2010 годы и на период до 2020 года. – Минск, 2014.

2. **Лиштван, И. И.** Роль торфа и торфяных месторождений в природе и жизни человека / И. И. Лиштван // Альтернативные источники сырья и топлива: сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т химии новых материалов ; науч. ред. В. Е. Агабеков, К. Н. Гусак, Ж. В. Игнатович. – Минск, 2014. – С. 24–37.

3. **Методические** рекомендации по оценке современного состояния торфяных месторождений и уточнению критериев их распределения по целевым фондам для разработки «Схемы рационального использования и охраны торфяных ресурсов Республики Беларусь на период до 2020 года». – Минск, 2010.

4. **Открытое** акционерное общество «ТБЗ Браславский». Торфобрикет / ОАО «ТБЗ Браславский». – Браслав, 2014. – Режим доступа : http://tbzbraslav.by/product.html. – Дата доступа : 18.12.2014.

5. **Открытое** акционерное общество «ТБЗ Усяж». Топливные брикеты / ОАО «ТБЗ Усяж». – Усяж, 2014. – Режим доступа : http://usiazh.by/proizvodstvo/toplivnye-brikety-na-osnove-torfa. – Дата доступа : 18.12.2014.

6. **Правила** стоимостной оценки месторождений полезных ископаемых / ТКП 17.04-08-2008 (02120) – Минск, 2008.

7. **Пресс-релиз.** Импортозамещение и модернизация производства – приоритетные направления энергетической отрасли / М-во энергетики Республики Беларусь. – Минск, 2015. – Режим доступа : http://www.minenergo.gov.by/ru/press_service/press_release?id=1395. – Дата доступа : 06.01.2015.

8. **Торфобрикетный** завод «Хойникский» / Республиканское унитарное производственное предприятие «Гомельоблгаз». – Гомель, 2014. – Режим доступа : http://www.gomeloblgaz.by/tbz.php. – Дата доступа : 18.12.2014.

9. **Торфобрикетное** предприятие «Вертилишки» / Производственное Республиканское унитарное предприятие «Гроднооблгаз». – Гродно, 2014. – Режим доступа : http://gas.grodno.by/services/turf. – Дата доступа : 18.12.2014.

10. **Торфобрикетное** производственное управление «Березовское». Услуги / Торфобрикетное производственное управление «Березовское». – Брест, 2014. – Режим доступа : http://torf.brest.gas.by/uslug.html. – Дата доступа : 18.12.2014.

11. **Торфяные** месторождения Республики Беларусь, пригодные для комплексного освоения на ближайшую и отдаленную перспективу ; сост.: Л. С. Лис [и др.]. – Минск, 2013.

12. **Унукович, А. В.** Оценка экономической эффективности использования ресурсов торфяных месторождений / А. В. Унукович, Я. И. Аношко // Природные ресурсы. – 2011. – № 2. – С.110-118.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 16.04.2015 г.

А. В. Краковецкий

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ СОЗДАНИЯ МОДУЛЬНЫХ МИНИ-ЗАВОДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТОПЛИВНОГО БРИКЕТА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Проведена сравнительная оценка экономической эффективности промышленного освоения торфяного месторождения «Туршевка–Чертово» для получения топливной продукции в виде торфяного брикета при производстве его на модульном мини-заводе и на обычном торфобрикетном заводе. Установлено, что экономически эффективнее производить топливный брикет на модульном мини-заводе. При этом для ввода в строй модульного мини-завода необходимо в 2 раза меньше инвестиций, чем для создания обычного торфобрикетного завода, а годовая стоимость произведенной продукции на торфобрикетном заводе больше всего лишь в 1,3 раза по сравнению с модульным. Внутренняя норма доходности модульного мини-завода превышает аналогичный показатель обычного торфобрикетного завода в 3,4 раза, а срок окупаемости инвестиций по накопленному чистому дисконтированному доходу для модульного мини-завода составляет 5,82 года (для обычного – более 12 лет). Установлены как технические, так и экономические преимущества при создании модульных мини-заводов по сравнению с аналогичными торфобрикетными предприятиями.

A. V. Krakovetsky

ECONOMIC FEASIBILITY OF CREATION OF MODUL MINI-PLANTS AT PRODUCTION OF THE FUEL BRIQUETTE IN REPUBLIC OF BELARUS

The comparative evaluation of economic efficiency of the industrial development of a peat deposit «Turshevka–Chertovo» for receiving fuel production in the form of peat briquette by manufactured it at a modular mini-plant and at an ordinary peat briquette factory is carried out. It was found that the more cost-effective to produce fuel briquettes on the modular mini-plant. In addition, for the commissioning of the modular mini-plant requires twice less investments, than for creation the ordinary peat briquette factory, and the annual value of output at the peat briquette factory most of all only by 1,3 times in comparison with the modular mini-plant. Internal rate of return of the modular mini-plant higher by 3,4 times the similar indicator of the ordinary peat briquette factory, and payback period by the cumulative net present value for the modular mini-plant is 5.82 years (for the ordinary peat briquette factory – more than 12 years). Both technical and economic advantages of creation of modular mini-plants in comparison with creation the similar peat briquette enterprises are established.

УДК 662.331:878

Т. И. Макаренко, Л. С. Лис, В. Б. Кунцевич

АКТУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ О ЗАПАСАХ ТОРФА НА ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ РАСЧЕТНЫМИ МЕТОДАМИ

Обоснована актуальность задачи определения оставшихся ресурсов торфа на месторождениях Республики Беларусь. Предложены методы расчета данного показателя без проведения геологических разведок на местности. На примере торфяного месторождения «Сухое» произведен расчет запасов кондиционного сырья для брикетного производства по состоянию на 01.01.2013 г.

Ресурсы торфа, как и других полезных ископаемых, рассчитанные любым методом без проведения геологической разведки на местности необходимо отнести к разряду прогнозных. Однако в повсеместной практике именно к расчетным методам установления ресурсов торфа приходиться обращаться достаточно часто. Например, на торфяных месторождениях, находящихся в естественном состоянии; при подсчете оставшихся ресурсов на торфяном месторождении, которое разрабатывалось, но данные о количестве добытого торфа утеряны; при подсчете оставшихся ресурсов торфа на торфяных месторождениях, находящихся в эксплуатации как сельскохозяйственные земли.

Особенно актуальны задачи определения оставшихся ресурсов торфа в настоящее время при разработке «Схемы рационального использования торфяных месторождений и охраны торфяных болот на период до 2030 года». Еще более высокие требования будут предъявлены к этому параметру в будущем при разработке нового кадастрового справочника торфяных месторождений по всем областям Республики Беларусь.

При решении задач по определению имеющихся на данном торфяном месторождении запасов торфа нами для сравнительного анализа использовались два варианта расчета.

Первый вариант основан на использовании данных ранее проведенных геологических разведок, вычитании запасов добытого торфа, учете возможных его потерь или прироста за истекшее время в зависимости от направлений использования данного месторождения.

Задача упрощается, если имеются данные об объемах добытого торфа, причем они заведомо достоверны, т. к. содержатся в официальной государственной статистике. При отсутствии такой информации приходится прибегать к косвенным данным по определению выработанных ресурсов торфа.

В связи с тем, что сельскохозяйственное использование торфяного месторождения в большинстве случаев продолжается длительное время и установить вид использования (пашня, луговые) затруднительно, при расчете ежегодных потерь торфа от минерализации рекомендуется их принимать в размере 9,6 т/га в пересчете на 40 % влагу [1].

При нахождении массива в естественном состоянии в расчетах учитывается ежегодный прирост торфа на 1–2 мм [7], что составит в условных единицах (при 40 % влаге) прирост запасов для низинного торфа 1,7–3,4 т/га, верхового 1,4–2,8 т/га в год.

Оставшиеся ресурсы торфа по первому варианту определяются по формуле:

$$P_{ост} = P_{п} – (Q_1 + Q_2 – Q_3), \quad (1)$$

где: $P_{ост}$ – оставшийся ресурс торфа, тыс. т (при 40 %-ной условной влаге); $P_{п}$ – первоначальные запасы торфа на момент разведки, тыс. т; Q_1 – количество добытого торфа, тыс. т; Q_2 – убыль торфа за счет ежегодных потерь органического вещества при сельскохозяйственном использовании, тыс. т; Q_3 – прирост торфа при нахождении месторождения в естественном состоянии, тыс. т.

Прогнозно количество добытого торфа можно определить по формуле:

$$Q_1 = (F_{выр} / F_{пр}) \cdot P_{п}, \quad (2)$$

где: $F_{выр}$ – площадь выработанной залежи, га; $F_{пр}$ – площадь торфяного месторождения в пределах промышленной глубины, га.

В данном случае принимается гипотеза, что в большинстве случаев на выработанных участках добывается весь извлекаемый запас торфа, что подтверждается практикой.

Площадь выработанной залежи принимают согласно [5, 6].

Первоначальные запасы торфа и промышленная площадь месторождения устанавливаются в соответствии с кадастровым справочником [2].

Убыль торфа от потерь при сельскохозяйственном использовании рассчитывается по формуле:

$$Q_2 = p \cdot F_{с} \cdot t \cdot k, \quad (3)$$

где p – потери торфа при 40 % влаге с 1 га, т/год; $F_{с}$ – площадь, используемая в сельском хозяйстве, га [6]; t – эксплуатационный период,

лет [6]; k – коэффициент, учитывающий долю промышленной площади в общей площади, который находится по формуле:

$$k = F_{пр} / F_{н}, \quad (4)$$

где $F_{н}$ – площадь месторождения в нулевых границах, га [2].

Применение коэффициента «k» обусловлено тем, что геологические запасы торфа в кадастровом справочнике рассчитаны для площади в пределах промышленной глубины залежи (для низинного торфа 0,5 м). Так как площадь торфяного месторождения, используемая в сельском хозяйстве, может находиться как в пределах промышленной, так и в нулевой границах, коэффициент «k» косвенно учитывает это обстоятельство и минимизирует ошибку в определении запасов.

Прирост торфа на торфяном месторождении, находящемся в естественном состоянии рассчитывается по формуле:

$$Q_{З} = 10^{4} \cdot F_{пр} \cdot 0{,}001 \cdot n \cdot \rho \cdot (100 - \omega_{н}) / (100 - \omega_{у}), \quad (5)$$

где n – учетный период времени, лет [2]; ρ – плотность торфогенного слоя залежи, т/м^3; $\omega_{н}$ – естественная влага торфогенного слоя залежи, %; $\omega_{у}$ – условная влага (40), %.

По второму варианту оставшиеся ресурсы торфа определяются с использованием почвенных карт с учетом трансформации данных этих обследований [4].

В качестве примера произведем расчет оставшихся ресурсов торфа месторождения «Сухое» (кадастровый номер 109) с детальной расшифровкой предложенного 2-го варианта.

Отметим, что названное месторождение находится в Брестской области Ивацевичского района и является частью большого комплекса торфяных месторождений, расположенных на междуречье рек Ясельда (бассейн р. Припять) и Щарой (бассейн р. Неман).

Разведка торфяного массива была выполнена торфоразведочной организацией Ленгипроторф (1951 г.) с охватом территории 9780,4 га и в последующем Росторфразведкой (1957 г.) с дополнительной разведкой 2884,9 га.

Всего площадь торфяного месторождения в нулевых границах занимает территорию в 12 665,3 га. Площадь в границах промышленной залежи – 9424,1 га с геологическими запасами торфа 218 402,4 тыс. м^3. Сельскохозяйственное использование земель торфяного месторождения «Сухое» началось еще с далеких времен путем осушения отдельных участков. Строительство основного канала «Косовский» было завершено в 1951 году, тогда же было и произведено окончательное доосушение массива и начато использование залежи сельскохозяйственными предприятиями, которых в настоящее время насчитывается шесть, крупнейшие из них ГП «Экспериментальная база «Майск» (1171,5 га) и СПК «Любищицы» (1930,1 га). Всего сельскохозяйственных земель на месторождении 6008,3 га (47 %); 41 % территории месторождения входит в Республиканский ландшафтный заказник «Выгонощанское».

В 70–80-е гг. прошлого столетия районной организацией Белсельхозхимия велись работы по добыче фрезерного торфа, который использовался исключительно для приготовления компостов. Добыча велась на 4 участках общей площадью 534 га. Данных о количестве добытого торфа нет, но известно, что извлекаемые запасы были выработаны полностью.

Общая характеристика торфяного массива приведена в табл. 1.

Таблица 1. Данные геологической разведки торфяного месторождения «Сухое»

Наименование площадей	Площадь, га	Средняя глубина, м	Запас торфа, тыс. т (40 % влаги)	Средняя степень разложения R, %	Средняя зольность A^{c}, %
В нулевых границах	12 665,3				
В границах промышленной глубины	9424,1	1,77	36 142,8	41,0	13,8
в том числе с зольностью до 25 %	9233,7	1,78	30 735,3	41,0	13,2
под каналами и рекой	139,8				
под внутренними суходолами	55,4				
Под окрайками	3046,0				

Ввиду того, что обследование торфяного месторождения «Сухое» производилось как предполагаемая сырьевая база для нового брикетного завода, выполнен расчет оставшихся ресурсов торфа как кондиционного сырья для этой продукции согласно СТБ 917–2006: степень разложения не менее 25 % , зольность не более 23 %.

Первый вариант расчета.

Исходные геологические запасы – 30 735,3 тыс. т.

Площадь выработанной залежи – 534 га.

Площадь, используемая в сельском хозяйстве – 6008 га.

Корректировка исходных запасов торфа и площади с учетом ограничений по зольности:

$$P'_{п} = P''_{п} \cdot (A^{c} / A^{c}_{1}), \quad (6)$$

где $P'_{п}$ – геологические запасы торфа с зольностью до 23 %, тыс. т; $P''_{п}$ – геологические запасы торфа с зольностью до 25 %, тыс. т; A^{c} – предельная кондиционная зольность торфа, %; A^{c}_{1} – фактическая зольность торфа, %.

$$P'_{п} = 30\,735{,}3 \cdot (23 / 25) = 28\,276 \text{ тыс. т.}$$

$$F'_{пр} = F''_{пр} \cdot (A^{c} / A^{c}_{1}), \quad (7)$$

где $F'_{пр}$ – площадь в границах промышленной глубины залежи с зольностью до 23 %, га; $F''_{пр}$ – площадь в границах промышленной глубины залежи с зольностью до 25 %, га.

$$F'_{пр} = 9234 \cdot (23 / 25) = 8495 \text{ га.}$$

$$Q_{1} = (534 / 8495) \cdot 28\,276 = 1777 \text{ тыс. т.}$$

Потери от использования месторождения в сельскохозяйственном производстве за 63 года (1950–2013 гг.) с учетом коэффициента «*K*»:

$$K = 9424 / 12\,470 = 0{,}76.$$

При расчете коэффициента из площади в нулевых границах исключена площадь, занятая под каналами, рекой и суходолами.

$$Q_{2} = 9{,}6 \cdot 6008 \cdot 63 \cdot 0{,}76 = 2762 \text{ тыс. т.}$$

В нашем случае прирост торфа отсутствует, тогда:

$$P_{ост} = 28276 – (1777 + 2762) = 23\,737 \text{ тыс. т.}$$

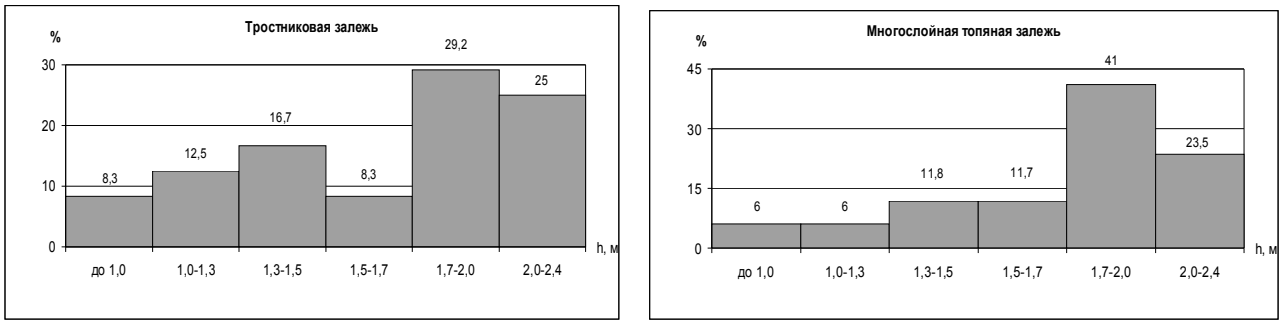
Второй вариант расчета.

Использование почвенных карт по определению оставшихся ресурсов торфяного сырья предпочтительнее тем, что в этом случае могут быть использованы современные данные по состоянию ресурсов торфа (в нашем случае 2007 г.). Специфика методики почвенных обследований заключается в том, что на торфяных территориях принято выделение участков с глубинами 0,2–0,5; 0,5–1,0; 1,0–2,0 и более метров. Такие интервалы приемлемы для сельскохозяйственного использования залежи, но они не подходят для нашей задачи ввиду возможного возникновения больших погрешностей при использовании средних значений глубин торфа на таких участках. Разрешение этого затруднения возможно путем более детальной разбивки интервалов глубин участков торфа, особенно в диапазоне от 1,0 и более метров, что можно реализовать по данным геологической разведки (глубины по визиркам для типовых участков залежи), так как гипотеза о сохранении закономерностей распределения глубин торфяной залежи во времени не противоречит истине.

Использование при расчетах запасов торфа почвенных карт предусматривает преобразование их данных в ГИС-формат для определения площадей выделенных участков с различной глубиной торфа. Разбивка интервалов глубин на соответствующие участки выполнено следующим образом: до 1,0; 1,0–1,3; 1,3–1,5; 1,5–1,7; 1,7–2,0; 2,0–2,4 м. Средневзвешенные ресурсы торфа каждого из выделенных участков определяются с учетом коэффициента, характеризующего долю этого интервала глубин на гистограмме распределения ресурсов по материалам разведки.

На рис. 1 приведены гистограммы распределения глубин двух участков залежи, построенные по материалам геологических разведок 1951 и 1957 гг.

На рис. 2 представлен фрагмент почвенной карты Ивацевичского района, совмещенный с контурами торфяного месторождения «Сухое», а в табл. 2 приведены полученные площади участков, для определенных интервалов глубин.



а ***б***

Рис. 1. Распределение участков по диапазонам глубин торфа двух видов залежи торфяного месторождения «Сухое»

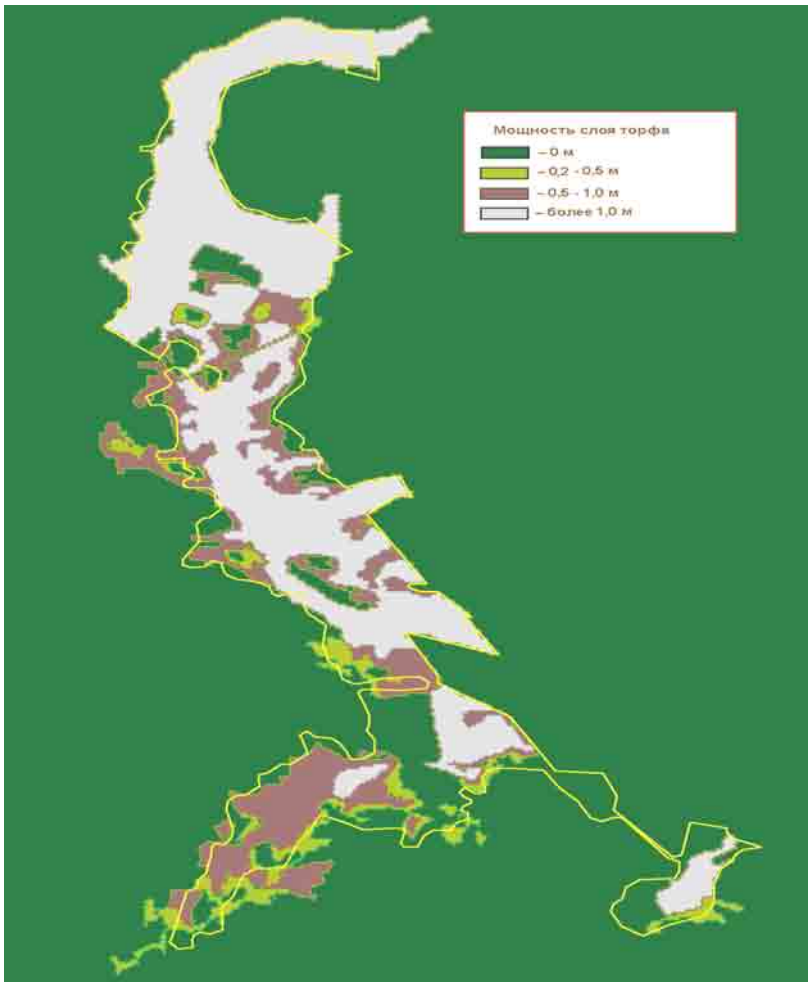


Рис. 2. Мощности слоя торфа на торфяном месторождении «Сухое» (составлена на основе почвенной карты; Белгипрозем, 2007 г.)

Таблица 2. **Площади участков торфяно-болотных почв на месторождении «Сухое» с различными глубинами торфа**

Площадь	Интервал глубин торфа, м	Суммарная площадь выделенных контуров, га
	0 (суходолы и деградированная залежь)	2790
F_1	0,2–0,5	1765
F_2	0,5–1,0	1465
F_3	1,0 и более	6505
	Итого:	12 525

Анализ приведенных результатов показывает, что в результате многолетнего использования торфяных месторождений в качестве сельскохозяйственных земель площадь суходолов возросла с 55,4 (1951 г.) до 1035 га (2007 г). Помимо увеличения площади внутренних суходолов, произошла деградация торфяной залежи по периметру месторождения с первоначально (на момент разведки) малыми глубинами, в результате чего суммарная площадь внутренних суходолов и деградированной залежи составила 2790 га. Есть основание утверждать, что также увеличились площади участков с интервалами глубины 0,2–0,5 и 0,5–1,0 вследствие усадки и уплотнения залежи.

Как видно из табл. 2, площадь в промышленных границах $F''_{пр}$ ($F''_{пр} = F_2 + F_3$) по сравнению с первоначальной существенно уменьшилась и составила в 2007 г. 7970 га, а с коррекцией на зольность:

$$F''_{пр} = 7970 \cdot 23 / 25 = 7332 \text{ га}.$$

Помимо усадки, учтена также площадь выработанного участка.

Геологические запасы торфа определяются в границах низинной залежи 0,5 м, поэтому

площадь месторождения до указанной глубины (F_1) при подсчете запасов не рассматривается.

$$P'_{ост} = \Sigma (F'_{пр} \cdot h^{ср}_i \cdot q^{ср}_i) \cdot 10^4, \quad (8)$$

где $h^{ср}_i$ – среднее значение глубины залежи данного интервала, м (см. рис. 1); $q^{ср}_i$ – среднее значение доли глубин данного интервала для тростниковой и топяной залежи.

$$P'_{ост} = (7332 \cdot 0,75 \cdot 0,071 + 7332 \cdot 1,15 \cdot 0,092 + 7332 \cdot 1,4 \cdot 0,142 + 7332 \cdot 1,6 \cdot 0,100 + + 7332 \cdot 1,85 \cdot 0,351 + 7332 \cdot 2,2 \cdot 0,242) \cdot 10^4 = = 124\ 615 \text{ тыс. м}^3.$$

$$P_{ост} = P'_{ост} \cdot \rho' \cdot (100 – \omega'_н) / (100 – \omega_у), \quad (9)$$

где ρ' – плотность залежи при естественной влаге, т/м^3; $\omega'_н$ – естественная влага торфяной залежи, %.

$$P_{ост} = 124\ 615 \cdot 0,984 \cdot (100 – 87) / (100 – 40) = = 26\ 568 \text{ тыс. т};$$

Расхождение между первым и вторым вариантами:

$$(26\ 568 – 23\ 737) / 26\ 568 \cdot 100 = 10,7\ \%.$$

Таким образом, актуализация данных о ресурсах торфяного сырья расчетными методами на различных этапах освоения торфяных месторождений является важной при решении многих практических задач. Например, эти данные необходимы при разработке проектов новых производств в торфяной отрасли. По запасам сырьевой базы определяются основные технико-производственные показатели проектируемого предприятия: проектная мощность, темпы развития, необходимое количество техники и обслуживающего персонала, рентабельность и сроки окупаемости.

Литература

1. Бамбалов, Н. Н. Роль болот в биосфере / Н. Н. Бамбалов, В. А. Ракович. – Минск, 2005.

2. Кадастровый справочник. Торфяной фонд Белорусской ССР. – Минск, 1979.

3. Оценка экономической эффективности комплексного освоения торфяных ресурсов / А. П. Гаврильчик [и др.] // Новости науки и технологии. – 2011. – № 2. – С. 28–33.

4. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / Комитет по земельным ресурсам, геологии и картографии. – Минск, 2011.

5. Разработать научно-обоснованные рекомендации для каждого административного района Республики Беларусь по использованию всех выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений : отчет о НИР / ГНУ «Ин-т природопользования НАН Беларуси» ; рук. Н. Н. Бамбалов. – Минск, 2014.

6. Схема рационального использования и охраны торфяных ресурсов БССР (Брестская, Витебская, Гомельская, Гродненская, Минская, Могилевская области) : справ. – Минск, 1990.

7. Тюремнов, С. Н. Торфяные месторождения / С. Н. Тюремнов ; изд. 3-е, перераб. и доп. – М., 1976.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 11.05.2015 г.

Т. И. Макаренко, Л. С. Лис, В. Б. Кунцевич

АКТУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ О ЗАПАСАХ ТОРФА НА ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ РАСЧЕТНЫМИ МЕТОДАМИ

Определение оставшихся запасов торфа путем натурных исследований – трудоемкая и дорогостоящая задача. Авторами предложены методы установления данного показателя расчетным путем на основании данных ранее проведенных геологических разведок, почвенных карт, величины площади выработанных месторождений или отдельных участков.

На примере торфяного месторождения «Сухое» выполнен расчет запасов кондиционного сырья для брикетного производства по двум вариантам. Расхождение между вариантами составило 10,7 %, что, по мнению авторов, является приемлемым результатом.

Установление ресурсов торфа, без проведения натурных исследований, следует отнести к разряду прогнозных. Однако в ряде случаев, при принятии решений о дальнейших намерениях, достоверность данных, полученных расчетным путем, достаточна.

T. I. Makarenko, L. S. Lis, V. B. Kuntsevich

ACTUALIZATION OF INVENTORY DATA OF PEAT DEPOSITS BY CALCULATION METHODS

Determination of the remaining peat reserves by natural researches – time-consuming and expensive task. The authors have proposed methods for setting this indicator by calculation the basis of the previously conducted geological prospecting, soil maps, the value of the area of the developed deposits or individual sections.

The calculation of reserves of conditioned raw materials for briquette production in two has been done on the example of peat deposit «Suhoe». The discrepancy between the options was 10.7 %, which, according to the authors, is an acceptable result.

Establishment of peat resources, without conducting natural researches should be classified as forward-looking. However, in some cases, when deciding on future intentions, the accuracy of the data obtained by calculation method is sufficient.

II. БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 541.182+631.436

И. И. Лиштван, А. М. Абрамец, Ю. Г. Янута, Н. С. Першай, В. Н. Алейникова

КАПИЛЛЯРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ПОРИСТЫХ РЕОЛОГИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ СРЕДАХ

Теоретически и экспериментально исследованы закономерности капиллярных явлений в реологически сложных средах (материалах) при изменении соотношения в них фаз как в следствии внутреннего массопереноса, так и сушки. Анализ явлений выполнен с использованием капиллярных и реологических моделей, а также аппарата математической трактовки их взаимосвязи. Анализу подвергнуты дисперсные материалы от их вязкого до упругого состояний. Интерпретация полученных результатов представлена с позиций обоснования роли капиллярных явлений как инициаторов трансформации структуры реологически сложных материалов при изменении содержания в них дисперсионной среды (жидкой фазы).

Механизм капиллярных явлений в дисперсных средах тесно связан с их гидрофильными и реологическими свойствами. Большинство процессов капиллярного переноса воды протекает в реальных условиях в материалах и средах природного происхождения, характеризующихся сложностью структуры и гетерогенностью. Особой специфичностью отличается массоперенос в реологических средах, подверженных деформационной перестройке каркаса их твердой фазы. Все отмеченное обусловливает непостоянство и чрезвычайно широкий диапазон варьирования массообменных характеристик в природных дисперсных системах и пористых материалах [1, 3, 4, 7, 8], а процессы структурообразования и массопереноса в пористых телах нельзя рассматривать в отрыве от поверхностных явлений, когда системы многофазны [8–11]. Наличие поверхности раздела твердое тело – жидкость и жидкость – газ, достигающей значительной величины (100 м^2/г), существенно влияет как на механизм, так и на кинетику процессов тепло- и массообмена: течения жидкостей и газов, диффузию растворенных веществ, перенос тепла в природных средах [1, 5, 6, 8, 9, 17].

К пористым телам относят такие дисперсные системы, где существуют контакты между частицами твердой фазы, обеспечивающие сохранение пористости и формы тела. Взаимодействие частиц, приводящее к образованию структуры пористого тела, определяется поверхностными силами. Они являются дальнодействующими в отличие от сил химической природы. Дальнодействие поверхностных сил связано с полями электростатической и электромагнитной природы, создаваемыми поверхностными зарядами и осциллирующими атомами или молекулярными диполями. Влияние этих физических полей ощутимо на расстоянии от поверхности ≤ 0,1 мкм, а иногда и более.

В зависимости от структуры материала в нем изменяется действие как капиллярных сил, так и деформационных явлений при различном соотношении фаз. Причем совершенно очевидно, что в области влажного состояния дисперсных систем, деформирующихся при обезвоживании (сушке), за процессы структурообразования ответственны в основном капиллярные силы и прочность надмолекулярных структур, количественная оценка вклада которых в формирование структуры реологически сложных систем до настоящего времени в полной мере не выяснена [1, 13–15].

Предположим, что пористое тело состоит из элементарных цилиндрических капилляров. Тогда величина капиллярного давления P_i в нем будет равна

$$P_i = 2\sigma / r_{m_i}, \qquad (1)$$

где σ – поверхностное натяжение дисперсионной среды; r_{m_i} – радиус кривизны мениска в капилляре ($r_m = r / \cos\theta$); r – радиус капилляра; θ – краевой угол смачивания поверхности капилляра.

При двухфазном состоянии материала его поровое пространство заполнено водой. В соответствии с [7, 8, 17] объем пор $v_{П}$ в данном случае будет равен разности объема тела v_i и объема, занимаемого его твердой фазой v_c,

$$v_{П} = v_i - v_c,$$

либо с учетом свойств материала баланс структуры его можно представить в виде

$$\frac{1}{\gamma_c} + \frac{U_i}{\rho_в} - \frac{1}{\rho_i} = 0, \qquad (2)$$

где U_i – влагосодержание материала, г/г; $\rho_в$ – удельная масса воды, г/см^3; γ_c – удельная масса сухого вещества, г/см^3; ρ_i – удельная масса сухого вещества в объеме материала, г/см^3.

Через радиус r_i капилляров, от размера которых зависит P_i, величина $v_{Пi}$ может быть представлена в виде

$$v_{Пi} = 3\pi r_i^2 l_i , \quad (3)$$

где l_i – длина капилляра, т. е. характерный размер тела [3].

Из равенства (2) и (3) получим, что для изотропных материалов, т. е. подверженных симметричной деформации по осям:

$$\frac{dr_i}{dU_i r_i} - \frac{1}{3U_i} = 0 . \quad (4)$$

Здесь следует уточнить, что значения r_i и r_m будут равны в случае, когда на поверхности капиллярных структур отсутствует адсорбционный слой дисперсионной среды. В реальных системах при полном смачивании ($\cos\theta = 1$) на поверхности капилляра образуется слой адсорбированной (связанной поверхностными силами) влаги толщиной *h*, т. е. зависимость между r_i и r_m будет равна

$$r_{mi} = r_i - h . \quad (5)$$

С учетом (1) и (5) уравнение (4) может быть записано в следующем виде:

$$\frac{dP_i}{dU_i P_i} + \frac{1}{3(U_i - U_c)} = 0 , \quad (6)$$

где U_c – содержание связанной влаги в материале, которое определяется экспериментально с использованием методов тензиметрии. Решением уравнения (6) является

$$P_i = P_0 \sqrt[3]{\frac{(U_0 - U_c)}{(U_i - U_c)}} . \quad (7)$$

По аналогии с [7, 8] примем, что величина коэффициента капиллярного давления в системе K_{pi} будет равна

$$K_{pi} = -\frac{1}{3(U_i - U_c)} . \quad (8)$$

Величина K_p характеризует изменение капиллярного давления внутри материала при изменении его влагосодержания на единицу. Уравнение (8) позволяет рассчитать величину K_p при разном влагосодержании материала. На рис. 1 приведены значения K_p, рассчитанные, согласно уравнению (8), для материала с разным содержанием U_c.

Из анализа рис. 1 следует, что чем выше содержание U_c, тем при более высокой влажности в материале развиваются капиллярные силы (давление), что способствует активации процессов компактного структурообразования в этих системах.

Данные модели трансформации структуры пористых тел не учитывали силового противодействия твердой фазы материала, т.е. реологии. Вернее, данный подход к описанию материала правомерен в случае, когда в нем в процессе усадки материала напряжения релаксируют.

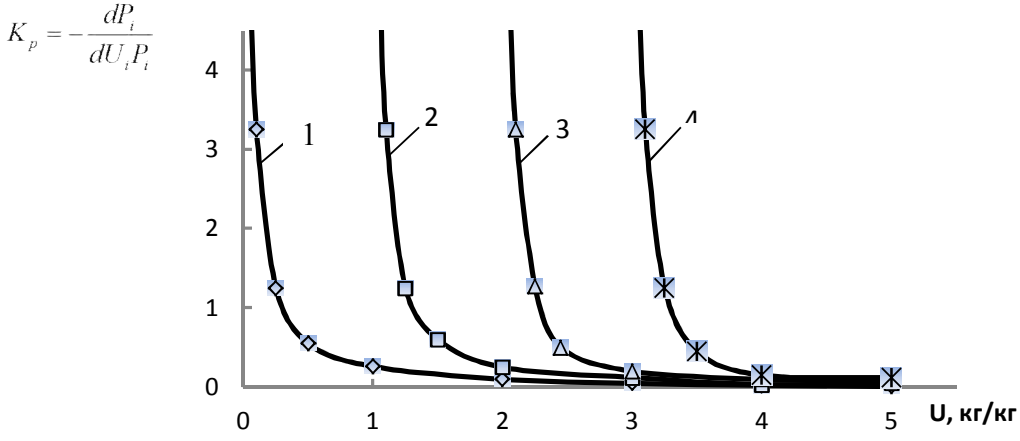


Рис. 1. Изменение величины относительного капиллярного давления в двухфазных материалах в зависимости от содержания в них связанной влаги: *1* – U_c = 0; *2* – U_c = 1; *3* – U_c = 2; *4* – U_c = 3

Прежде всего рассмотрим наиболее простой случай изменения величины капиллярного давления в капиллярно-пористом материале в процессе его обезвоживания, а именно случай изменения капиллярного давления в материале при одноосной его деформации. Допустим также, что наше капиллярно-пористое тело представляет собой систему плоскопараллельных (щелевых) капилляров. В этом случае капиллярное давление P_i в материале будет равно

$$P_i = \sigma / r_i. \qquad (9)$$

Связь между скоростью относительной деформации материала ($\dot{\varepsilon}$) и скоростью изменения в нем относительной величины капиллярного давления в соответствии с (9) можно записать в виде

$$\frac{dP_i}{P_i d\tau} + \dot{\varepsilon}_{li} = 0. \qquad (10)$$

В зависимости от соотношения фаз в материале, реологически сложные дисперсные системы могут находиться в вязком, вязкоупругом, упруговязком, упругом состояниях. Рассмотрим вначале изменение капиллярных явлений в материале в области его вязкого состояния (рис. 2, модель *а*) [8].

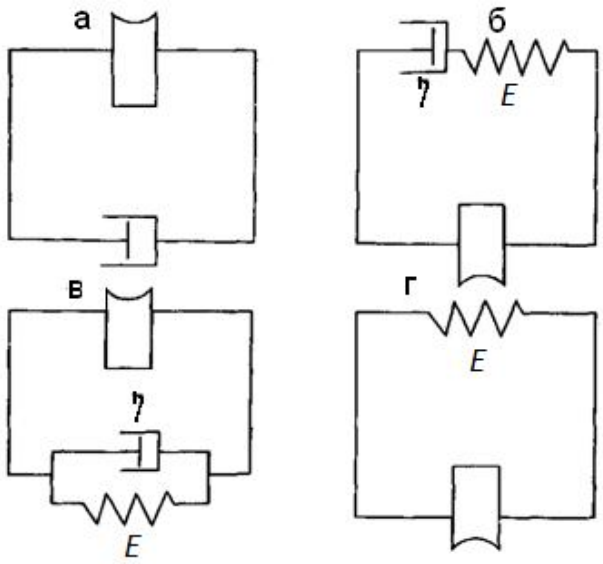


Рис. 2. Модели влажных реологически сложных капиллярно-пористых систем: *а* – вязкая; *б* – вязкоупругая; *в* – упруговязкопластичная; *г* – упругая; *E* – модуль упругости [8, 12, 16]; η – модуль вязкости [8, 12, 16]

Деформация вязкого элемента в этой модели под действием капиллярных сил подчиняется закону Ньютона:

$$\dot{\varepsilon}_{li} = -\frac{P_i}{\eta_i}, \qquad (11)$$

где η_i – вязкость материала.

Условно примем, что в некотором узком диапазоне влажности материала $\eta_0 = const$. Тогда после подстановки уравнения (11) решение (10) можно записать в виде

$$P_i = \frac{P_0}{(1 - \frac{P_0}{\eta_0}\tau)}, \qquad (12)$$

где P_0 – капиллярное давление в материале при U_0; τ – время.

Согласно (12), изменение капиллярного давления в вязком материале будет определяться величиной η_0 и τ.

В области вязкоупругого состояния (рис. 2, модель *б* [8]), скорость деформации тела капиллярными силами может быть записана следующим образом [2]:

$$\dot{\varepsilon}_{li} = -\left(\frac{dP_i}{d\tau E_0} + \frac{P_i}{\eta_0}\right), \qquad (13)$$

где E_0 – модуль упругой деформации материала при U_0.

Решение уравнения (10) с учетом (13) при $\eta, E = const$

$$P_i = P_0 e^{E_0\left[\left(\frac{1}{P_0}-\frac{1}{P_i}\right)-\frac{\tau}{\eta_0}\right]}. \quad (14)$$

Согласно уравнению (14), изменение капиллярного давления в упруговязком материале в процессе его деформации при сушке в основном будет определяться упругими свойствами, а именно *E,* а также релаксационными процессами напряженного состояния материала, характеризуемыми временем релаксации напряжений $\tau = \eta / E$ [2], т. е. чем больше *E* материала, тем интенсивнее рост величины капиллярного давления в нем в процессе его обезвоживания (сушки).

Модель *в* ([8], рис. 2) учитывает упругую деформацию в вязкой среде (упруговязкопластичное состояние материала). В этой модели общее напряжение равно сумме напряжений упругого и вязкого элементов:

$$P_i = -\left(\varepsilon_{li} E_i + \dot{\varepsilon}_{li}\eta_i\right). \quad (15)$$

где ε_{li} – относительная деформация материала.

Решение уравнения (10) с учетом (15) при $\eta, E = const$ имеет вид

$$P_i = P_0 / \left[1 - \frac{P_0}{E_o}\left(\frac{\tau}{\tau - \eta_0 / E_0}\right)\right]. \quad (16)$$

Согласно уравнению (16), изменение капиллярного давления в упруговязкопластичном материале определяется в основном релаксациями напряжений в нем.

Для упругих систем (рис. 2, модель *г*) связь между величиной силы, вызывающей деформацию материала, и величиной скорости его деформации имеет вид

$$\dot{\varepsilon}_{li} = -\frac{dP_i}{d\tau E_i}. \quad (17)$$

Отсюда из равенства (10) и (17)

$$P_i = E_i, \quad (18)$$

т. е. величина капиллярного давления в упругом материале численно равна противодействию упругих сил каркаса пористого материала (*E*). В этом состоянии при изменении капиллярного давления в материале возникает деформация, которая исчезает при снятии воздействия на материал капиллярного давления.

Рассмотрим теперь особенности изменения капиллярных явлений в материалах, претерпевающих трехосную однородную деформацию в процессе обезвоживания, что свойственно в большей мере реальным процессам. При этом перейдем к модели цилиндрического капилляра, в котором $P_i = 2\sigma_i / r_i$, что, как правило, соответствует условиям действия капиллярных сил в природных пористых системах. Связь между скоростью объемной деформации $\dot{\varepsilon}_v$ материала и скоростью изменения капиллярного давления в этом случае будет следующая:

$$\frac{1}{3V_i}\frac{dV_i}{d\tau} + \frac{1}{P_i}\frac{dP_i}{d\tau} = 0. \quad (19)$$

Решение (19) можно записать в виде

$$P_i = P_0 \sqrt[3]{V_0 / V_i}. \quad (20)$$

Согласно (20), капиллярное давление при объемной усадке материала изменяется пропорционально величине линейной его деформации, так как $\varepsilon_l = \frac{1}{3}\varepsilon_v$. Действительно, величина капиллярного давления не зависит от длины и объема капилляра, а определяется только его радиусом (рис. 2).

С учетом (17) и (18) уравнение (20) будет равно соответственно

$$P_i = P_0 \sqrt[3]{(U_0 + \frac{\rho_в}{\gamma}) / (U_i + \frac{\rho_в}{\gamma})}, \quad (21)$$

или

$$P_i = P_0 \left[1 - \frac{\rho_0}{\rho_i}(U_0 - U_i)\right]^{-\frac{1}{3}}, \quad (22)$$

где γ – удельная плотность твердой фазы материала; $\rho_в$ – удельная плотность дисперсионной среды; ρ_0, ρ_i – объемная плотность дисперсионной среды в материале при U_0 и U_i соответственно.

Согласно (21) и (22), давление внутри материала на заключительных этапах его обезвоживания будет тем выше, чем больше начальное его влагосодержание U_0 и величина ρ_0.

С учетом того что капиллярные силы во влажном изотропном материале в двухфазном состоянии одинаковы по всем направлениям, т. е. объемная деформация материала однородна, величина $\dot{\varepsilon}_v$ для моделей *а–г* (рис. 2) может быть представлена в виде

$$\dot{\varepsilon}_{vi} = -\frac{P_i}{\eta_i}, \quad (23)$$

$$\dot{\varepsilon}_{vi} = -(\frac{1}{E_0}\frac{dP_i}{d\tau} + \frac{P_i}{\eta_0}), \quad (24)$$

$$\dot{\varepsilon}_{vi} = -(\frac{P_i}{\eta_0} - \frac{E_0}{\eta_0}\varepsilon_{vi}), \quad (25)$$

$$\dot{\varepsilon}_{vi} = -\frac{1}{E_0}\frac{dP_i}{d\tau}, \quad (26)$$

а решение (26) с учетом (23)–(25) при $\eta, E = const$ в узком диапазоне влагосодержания материала соответственно будет равно

$$P_i = P_0/(1 - \frac{P_0}{\eta_0}\tau), \quad (27)$$

$$P_i = P_0 e^{E_0\left[\left(\frac{1}{P_0}-\frac{1}{P_i}\right)-\frac{\tau}{\eta_0}\right]}, \quad (28)$$

$$P_i = P_0 / \left[1 - \frac{P_0}{E_0}\left(\frac{\tau}{\tau - \frac{\eta_0}{E_0}}\right)\right], \quad (29)$$

$$P_i = E_0. \quad (30)$$

Таким образом, капиллярное давление в реологически сложных капиллярно-пористых материалах в процессе изменения содержания в них дисперсионной среды определяется величиной реологических характеристик этих материалов, т. е. скоростью их деформации при обезвоживании, релаксационными процессами в материале.

Рассмотрим результаты рис. 3, на котором приведены значения K_p расчетные (кривая *1*) и экспериментальные (кривые *2*, *3*).

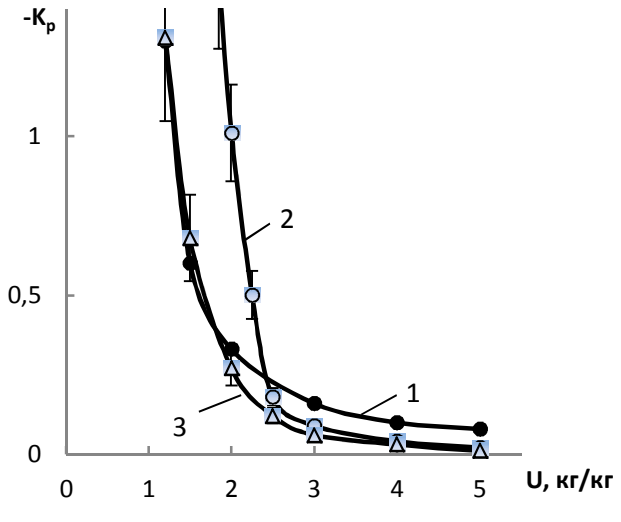


Рис. 3. Изменение величины коэффициента капиллярного давления K_p в торфе в зависимости от его влагосодержания: *1* – расчетные данные по (8) при U_c = 1 кг/кг; *2*, *3* – экспериментальные по [8]

Из приведенных данных видно, что при $U \approx 2{,}5$кг/кг расчетные и экспериментальные значения K_p совпадают (находятся в пределах ошибки опыта). При влагосодержании торфа $U < 2{,}5$ кг/кг экспериментальные значения K_p (рис. 3, кривые *2, 3*) выше расчетных. Это свидетельствует о том, что при данном влагосодержании капиллярные явления в торфе в процессе его сушки ($U < 2{,}0$ кг/кг) развиваются в условиях, когда релаксация напряжений в материале не завершена, а общая деформация (усадка) торфа меньше, чем объем удаляемой влаги. Действительно, согласно [3], при $U < 2{,}0$ кг/кг удельный вес торфа уменьшается, т. е. материал переходит в трехфазное состояние (вследствие углубления в нем каймы капиллярных менисков), а значит, расчет величины K_p по формуле (16) неправомерен. Формула (15) предназначена для определения K_p материалов, находящихся только в двухфазном состоянии (в данном случае [3] при влагосодержании торфа более 2,0 кг/кг). Следует отметить также, что величина K_p, рассчитанная согласно (15), характеризует изменение внутреннего давления в материале в условиях его деформационного равновесия, т. е. в условиях, когда деформация (усадка) материала под действием капиллярных сил отсутствует. Чтобы лучше представить закономерности подобного изменения коэффициента K_p, проведем анализ величины капиллярного давления в материалах при их обезвоживании, для которых не соблюдается условие (19), т. е. когда относительная скорость объемной деформации материала не соответствует относительной скорости изменения величины капиллярного давления в нем.

Рассмотрим случай обезвоживания (сушки) материала, который в большей мере отвечает реальному ходу процесса, а именно когда скорость углубления фронта капиллярных менисков, характеризуемая левой частью уравнения (31), пропорциональна величине относительной его деформации:

$$\frac{1}{3V_i}\frac{dV_i}{d\tau} + \frac{1}{P_i}\frac{dP_i}{d\tau} = C_i\frac{dV_i}{V_i}. \quad (31)$$

Решение (31) имеет вид

$$P_i = P_0\left(V_0/V_i\right)^{[c_i\tau + 1/3]}. \quad (32)$$

Здесь же рассмотрим еще один вариант, когда

$$\frac{1}{3V_c}\frac{dV_i}{d\tau} + \frac{1}{P_i}\frac{dP_i}{d\tau} = C, \quad (33)$$

т. е. когда скорость относительной деформации материала при его обезвоживании меньше скорости изменения относительной величины ка-

пиллярного давления в материале. Причем соотношение между этими параметрами постоянно в процессе обезвоживания (отличается на некоторую постоянную величину *C*). Этот случай, как и предыдущий, относится к тем, когда скорость обезвоживания материала выше скорости его усадки и процесс обезвоживания сопровождается частичным замещением дисперсионной среды материала газовой фазой, т.е. вхождением воздуха в поры капиллярно-пористого материала.

Решение (33) имеет вид

$$P_i = P_0 \sqrt[3]{V_0/V_i}\, e^{c\tau}. \qquad (34)$$

Согласно уравнениям (26) и (28), капиллярное давление, формирующееся в материале в процессе его обезвоживания, тем выше, чем меньше скорость (больше время) обезвоживания. Действительно [8], в процессе «мягкой» сушки торфа величина P_i в материале значительно выше, чем при более интенсивном «жестком» режиме сушки, когда время обезвоживания материала гораздо меньше, чем в предыдущем случае.

Кроме того, в соответствии с (12), (26), (28) величина P_i в материале тем больше, чем более интенсивна усадка (деформация) материала в процессе его обезвоживания, что также согласуется с экспериментальными данными [8] (рис. 3). А именно с увеличением дисперсности материала общая его деформация в процессе сушки (обезвоживания) увеличивается, растет также и плотность (ρ_c) твердой фазы в единице объема материала [4]. В результате, при равном соотношении фаз (влагосодержании), величина P_i в системах с более высокой дисперсностью выше. Больше также и величина K_p (рис. 3), что находится в полном соответствии с теорией (24)–(26).

Таким образом, рассмотренные модели капиллярных явлений в системах, деформирующихся при влагообмене, позволяют объяснить основные особенности процессов формирования капиллярного (внутреннего) давления в материалах, отличающихся как структурой, т. е. реологией, так и интенсивностью обезвоживания (сушки).

Теоретически и экспериментально обоснованы закономерности капиллярных явлений в реологически сложных дисперсных системах (материалах) с учетом трансформации их структуры при обезвоживании (сушке). Получены аналитические зависимости вклада капиллярных явлений, реологических свойств материала в состоянии его от вязкого до упругого при получении продуктов на его основе с необходимыми свойствами, т. е. с максимальной плотностью (упаковкой) дисперсной фазы.

Литература

1. **Абрамец, А. М.** Массоперенос в природных дисперсных системах / А. М. Абрамец, И. И. Лиштван, Н. В. Чураев. – Минск, 1992.
2. **Бокшицкий, М. П.** Длительная прочность полимеров / М. П. Бокшицкий. – М., 1978.
3. **Гамаюнов, Н. И.** Изучение внутреннего давления при сушке торфа / Н. И. Гамаюнов, А. Г. Амусин // Коллоид. журн. – 1975. – Т. 37, № 6. – С. 1156–1158.
4. **Гамаюнов, Н. И.** Тепло- и массоперенос в торфяных системах : автореф. дис. … д-ра техн. наук / Н. И. Гамаюнов. – Калинин, 1974.
5. **Дерягин, Б. В.** Поверхностные силы / Б. В. Дерягин, Н. В. Чураев, В. М. Муллер. – М., 1985.
6. **Лиштван, И. И.** Физико-химическая механика гуминовых веществ / И. И. Лиштван, Н. Н. Круглицкий, В. Ю. Третинник ; под ред. Т. П. Ткачевой. – Минск, 1976.
7. **Лиштван, И. И.** Гуминовые кислоты и процессы трансформации структуры, водных свойств торфа, торфяных почв при их сушке-увлажнении / И. И. Лиштван [и др.] // Природопользование. – Минск, 2010. – Вып. 17. – С. 188–193.
8. **Лиштван, И. И.** Перенос влаги в реологически сложных дисперсных средах / И. И. Лиштван [и др.] // Природопользование. – Минск, 2013. – Вып. 23. – С. 222–226.
9. **Лиштван, И. И.** Роль поверхностных явлений в процессах связывания и переноса воды в торфе / И. И. Лиштван, А. М. Лыч, А. М. Абрамец // Вода в дисперсных системах. – 1989. – С. 63–83.
10. **Лиштван, И. И.** Гуминовые кислоты и процессы трансформации структуры, водных свойств торфа, торфяных почв при их сушке-увлажнении / И. И. Лиштван [и др.] // Природопользование. – Минск, 2010. – Вып. 17. – С. 188–194.
11. **Лиштван, И. И.** Исследование физико-химической природы торфа и процессов структурообразования в торфяных системах с целью регулирования их свойств : автореф. дис. … д-ра техн. наук / И. И. Лиштван. – Калинин, 1969.
12. **Лыков, А. В.** Тепло- и массообмен в процессах сушки / А. В. Лыков. – М., 1956.
13. **Лыков, А. В.** Теоретические основы строительной теплофизики / А. В. Лыков. – Минск, 1961.
14. **Лыков, А. В.** Теория сушки / А. В. Лыков. – М., 1968.
15. **Лыков, А. В.** Тепломассообмен / А. В. Лыков. – М., 1978.

16. **Нильсен, Л.** Механические свойства полимеров и полимерных композиций / Л. Нильсен. – М., 1978.

17. **Чураев Н. В.** Водные свойства, структура и процессы переноса влаги в торфе : автореф. дис. … д-ра техн. наук / Н. В. Чураев. – М., 1961.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 20.03.2015 г.

И. И. Лиштван, А. М. Абрамец, Ю. Г. Янута,
Н. С. Першай, В. Н. Алейникова

КАПИЛЛЯРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ПОРИСТЫХ РЕОЛОГИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ СРЕДАХ

Теоретически и экспериментально исследованы закономерности капиллярных явлений в реологически сложных материалах при изменении соотношения в них фаз вследствие внутреннего массопереноса, сушки. Анализ явлений выполнен с использованием капиллярных и реологических моделей, а также аппарата физической и математической трактовки их взаимосвязи. На первом этапе анализу подвергнуты дисперсные капиллярно-пористые материалы от их вязкого до упругого состояний. Интерпретация результатов представлена с позиций обоснования роли капиллярных и поверхностных явлений как инициаторов процессов структурообразования, трансформаторов структуры реологически сложных материалов при изменении соотношения в них фаз и прежде всего массовой доли дисперсионной среды. Данные интерпретированы с учетом результатов литературных источников, а также экспериментальных данных, приведенных в них.

I. I. Lishtvan, A. M. Abramets, U. G. Yanuta,
N. S. Pershai, V. N. Aleinikova

CAPILLARY PHEMOMENA IN POROUS RHEOLOGICALLY COMPLEX ENVIRONMENTS

Patterns of capillary phenomena in rheologically complex materials with a change in the ratio of these phases due to internal mass transfer, drying are theoretically and experimentally investigated. The analysis of phenomena performed using capillary and rheological models as well as the physical and mathematical interpretation device of their relationship. At the first stage disperse capillary-porous materials from their viscous to an elastic state are analyzed. Interpretation of the results is presented from the standpoint of justification as capillary and surface phenomena as the initiators of the process of structure formation, rheology of complex transformer structure of materials at the ratio of change in these phasesand especially the mass fraction of the dispersion medium. The data are interpreted taking into account the literature, as well as the experimental data presented therein.

УДК 620.952(476)

**И. И. Лиштван, В. М. Дударчик, В. М. Крайко,
Е. В. Ануфриева, Е. А. Смолячкова**

ПИРОЛИЗ БИОМАССЫ И ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛУЧАЕМЫХ ПРОДУКТОВ

Рассмотрены перспективы энерготехнологического использования биомассы в Республике Беларусь, определены наиболее приемлемые способы ее термохимической деструкции, представлены результаты экспериментальных исследований пиролиза смесевых композиций биомассы с торфом.

Как известно, в Республике Беларусь значительную площадь занимают территории выработанных торфяных месторождений. Использование этих территорий для выращивания биомассы (БМ) с последующей ее термохимической переработкой является наилучшим способом вовлечения их в производственный цикл; при этом выращивание БМ как с учетом, так и без учета мероприятий по восстановлению болотообразовательных функций выработанных торфяников способствовало бы решению ряда проблем экологического и энерготехнологического плана. В республике имеется опыт выращивания различных видов высокопродуктивной древесины на непригодных для сельскохозяйственного использования территориях, однако полученные результаты не являются предметом данных исследований.

Растительная биомасса. Переработка этого возобновляемого источника энергии открывает широкие возможности в решении проблемы энергосбережения. Биомасса является четвертым по значению топливом в мире (в развивающихся странах до 38 %). Согласно прогнозам, ее доля в 2020 г. составит 42–46 % от общей доли возобновляемых источников энергии.

Беларусь находится на начальном этапе освоения биомассы. Для более успешного привлечения ее потенциала (около 3,1 млн т условного топлива в год) в энергобалансе республики правительством Беларуси издано постановление № 400 от 27.04.1997, а также постановления Минэкономики № 45 от 22.05.1997 и Комитета цен Минэкономики № 104 от 22.05.1997, регламентирующие порядок создания различных энергоустановок с использованием растительной биомассы. В перспективе можно значительно увеличить объемы ее использования за счет специального выращивания. Результаты американских исследователей свидетельствуют о том, что древесная масса, производимая лесоводческими энергетическими хозяйствами, может конкурировать с ископаемыми топливами, и ее следует рассматривать как один из долгосрочных возобновляемых источников энергии. При условии достаточного количества земель лесоводческие энергетические хозяйства могут сыграть важную роль в снижении потребления ископаемых топлив.

Интерес к биомассе вызван не только ростом цен на нефть и природный газ и истощением невозобновляемых энергоресурсов, но и наличием земель с малой биопродуктивностью и выработанных торфяных месторождений. Имеется также резерв загрязненных радионуклидами земель и неугодий.

В климатических условиях Беларуси урожайность быстрорастущей древесной биомассы на площадях выработанных торфяных месторождений (примерно 200–250 тыс. га) составляет 8–10 т/га в год сухой массы. Если принять цикл развития быстрорастущих растений (ивы, ольхи, тополя и др.) до уборки 5 лет, то ежегодно можно производить уборку деревьев на площади 40 тыс. га с выходом сухого топлива 200 тыс. т у. т. Реальный энергопотенциал торфа составляет около 1,4 млн т у. т/год [2].

Целью данной работы является определение наиболее перспективных способов термохимической деструкции растительной биомассы и экспериментальные исследования пиролиза их смесевых композиций с торфом.

Как показал опыт развитых стран, при прямом сжигании собственно растительной необработанной биомассы возникает ряд проблем: заготовка ее носит сезонный характер, она занимает большие объемы при хранении и перевозке, теплотворная способность ее невелика, для сжигания такого топлива требуется специальное технологическое и котельное оборудование. Поэтому практически во всех странах прямое сжигание растительной массы ограничено государственными законами и правилами [3].

В то же время рентабельность переработки биомассы в жидкое топливо зависит от цены на нефть: чем больше разница между ценами на нефть и биомассу, тем более рентабельным становится процесс преобразования последней в жидкое топливо. При цене на нефть свыше 150 у. е. за тонну энергетическое использование

быстрорастущей древесной и растительной биомассы с получением на ее основе высококалорийных энергоносителей, заменяющих углеводородное топливо, является перспективным и рентабельным. Важно выбрать и обосновать наиболее эффективные способы конверсии биомассы в энергию.

В этом отношении большой интерес представляет пиролиз. Он дает возможность получить более широкий спектр продуктов в виде, удобном для транспортировки и использования. Недостатком этого метода является наличие пирогенетической воды, однако при совмещении метода пиролиза и газификации можно повысить их эффективность [4]. В связи с этим необходимо рассмотреть существующие технологии пиролиза и получаемые продукты переработки.

Термическая деструкция биомассы методом пиролиза. Известно, что выход и качество продуктов пиролиза зависят от состава перерабатываемого сырья, условий нагревания, в частности, от скорости подвода тепла, конечной температуры нагрева и давления. Большое значение имеют также тип применяемого оборудования, способ обогрева, время пребывания летучих веществ в зонах с высокой температурой и другие факторы, которые определяют равномерность температурного поля, глубину «вторичного» пиролиза парогазовых продуктов и оказывают влияние на формирование конечных продуктов. Рассмотрим теперь влияние данных факторов на выход и состав продуктов пиролиза.

Продукты пиролиза биомассы. Известно, что состав БМ представлен в основном гемицеллюлозой (ГМЦ), целлюлозой и лигнином. Такие материалы подвергаются термической деструкции с образованием газообразных, жидких и твердых продуктов при температуре выше 200 ^{o}C.

ГМЦ разлагается первой в интервале 170–260 ^{o}C, затем идет распад целлюлозы (240–350 ^{o}C) и лигнина (280–500 ^{o}C). ГМЦ дает при разложении меньше смолы и больше газа, чем целлюлоза. В случае лигнина выше выход ароматических соединений, и именно лигнин является источником образования высокомолекулярных смол. Считают, что пиролиз целлюлозы протекает по параллельным реакциям, одна из которых является процессом дегидратации с образованием угля и малых молекул, а другая – реакцией деполимеризации, приводящей к образованию левоглюкозана и смолы. Левоглюкозан может полимеризоваться, давая уголь и малые молекулы, или подвергаться дальнейшему крекингу с образованием CH_4, H_2 и H_2O. Образовавшиеся смолы могут быстро испариться, если скорость нагрева высока, или превратиться в уголь при малых скоростях нагрева. Низкие температуры и медленные скорости нагрева обычно благоприятствуют протеканию процесса дегидратации целлюлозы, а высокие температуры сдвигают процесс в сторону образования газов, состоящих из CO, CO_2, H_2, H_2O, C_nH_m и CH_4 [1].

Необходимо отметить, что смола, полученная в результате быстрого пиролиза, в отличие от смолы, получаемой методом медленного пиролиза, состоит из сложной смеси высокоокисленных углеводородов с содержанием воды до 20 %, и именно эту смесь называют биотопливом. Смола же медленного пиролиза – это главным образом продукт вторичного пиролиза: она относительно бедна кислородом, нерастворима в воде и содержит большое количество простых фенолов и углеводородов.

Высокое содержание кислорода в биотопливе быстрого пиролиза придает ему скорее гидрофильную, чем гидрофобную природу, поэтому пиротопливо плохо смешивается с углеводородными растворителями, вследствие чего хранится как жидкость только из-за большого количества воды.

Биотопливо близко по своему составу к БМ, имеет чуть большую теплоту сгорания (20–25 МДж/кг), его выход может достигать 80 % массы сухого сырья (при быстром низкотемпературном пиролизе). Биотопливо может использоваться в качестве заменителя котельного топлива. Также имеется опыт использования биотоплива в газовых турбинах и дизельных двигателях.

Выход кокса при пиролизе БМ ($Q_н^р$ = 30 МДж/кг) достигает 30–35 % массы сухого сырья при карбонизации и медленном пиролизе, и он может быть использован в качестве топлива (в основном для бытового применения), а также для технологических нужд промышленности (металлургической, электроугольной, фармакологической, для очистки воды и газов) [1]. При быстром пиролизе выход кокса составляет лишь 15–20 %.

Газообразные продукты пиролиза БМ представляют собой среднекалорийный газ ($Q_н^р$ = 15–22 МДж/нм^3), а при частичной газификации – низкокалорийный ($Q_н^р$ = 4–8 МДж/нм^3). Выход газообразного топлива при быстром высокотемпературном пиролизе может доходить до 70 %. Состав газа зависит от сырья и параметров процесса. Повысить теплотворную способность газа можно при увеличении содержания в нем смол. Такой газ используют в самом процессе пиролиза для поддержания температуры процесса и сушки исходного сырья [5–8].

Как видно из представленного выше материала, существует ряд не полностью исследованных вопросов по получению конечных продуктов пиролиза: устойчивость жидкого топлива быстрого пиролиза, выход и теплота сгорания горючего газа травяных и древесных видов

биомассы, а также их смесевых композиций с торфом, влияние скорости нагрева и размера куска и других параметров процесса.

В настоящей работе были проведены исследования по пиролизу в стационарных условиях смесей торфа и растительных отходов с разными соотношениями смесевых компонентов и в разных температурных интервалах (550 и 800 ^{o}C). В качестве растительных отходов были использованы древесные опилки разного размера и древесная щепа. В качестве образцов торфа применяли низинный торф, используемый на торфяно-брикетном заводе (ТБЗ) в Житковичах (Ж) и на ТБЗ в Лиде (Л) торфа. Всего в работе было исследовано 23 образца: два разных торфа при двух температурах (4), два вида опилок также при двух температурах (4), один вид щепы (2) и их смесевые комбинации в сочетании торф: древесные отходы в соотношении 50:50 мас. %, всего 13 смесевых образцов.

Характеристики исходных проб следующие: влажность опилок – 7,4 %, щепы – 8,9, торфа (Ж) – 10,5, торфа (Л) – 12,4 %; зольность опилок – 1,8 %, щепы – 0,7, торфа (Ж) – 10,4, торфа (Л) – 17,3 %.

Был изучен баланс выхода продуктов пиролиза, охарактеризован компонентный состав газовой фазы и коксозольного остатка, рассчитана теплота сгорания пиролизного газа. Относительно образования жидкой фазы при пиролизе отметим, что она состоит из двух компонентов – пиролитической воды и пиролизной смолы, которые оказалось достаточно сложно количественно разделить и поэтому в балансе выхода мы использовали их суммарное значение.

Полученные результаты приведены в табл. 1, 2.

Сравнивая динамику изменений коксозольного остатка от температуры пиролиза видна тенденция к обратной зависимости: чем выше температура, тем меньше образуется твердой фазы, что вполне предсказуемо и может быть объяснено большей степенью конверсии органического вещества материала. Древесные отходы и их смесевые композиции с торфом относительно самого торфа образуют при пиролизе меньшие количества коксозольного остатка, что объясняется как глубиной конверсии органического материала, некоторым различием в зольности, так и большим содержанием гемицеллюлоз.

Что касается характеристики пиролизного газа, то отметим, что газ, полученный при температуре 800 ^{o}C, закономерно содержит меньшие количества диоксида углерода для всех исследованных образцов, что подтверждает более высокую конверсию органического материала и закономерно большие относительные содержания оксида углерода (CO) и водорода. Содержание непредельных углеводородов варьируется в пределах 0,5–1,5 % и больше зависит от природы материала, чем от температуры пиролиза. Если сравнить содержание метана в газе пиролиза торфа и отходов биомассы, то наблюдается любопытная тенденция – с ростом температуры у отходов биомассы (опилки, щепа) и смесевых композиций содержание метана возрастает в отличие от газа пиролиза торфа.

Анализ теплот сгорания пиролизных газов (табл. 3) показывает, что во всех вариантах опыта более высокая температура пиролиза приводит к образованию более высоко-калорийного газа. Абсолютные значения теплот сгорания торфа, биомассы и их смесевых композиций близки между собой и находятся в интервале 4,7–7,1 МДж/нм^3.

Также были проведены исследования по пиролизу растительной биомассы (опилки) и ее смесевых образцов с торфом в условиях подвижного слоя исходного сырья. Ранее подобные работы были выполнены для образцов горючих сланцев, бурых углей, торфа, их смесевых композиций [5, 8–11], а также для смесей с органическими отходами нефтепереработки, пластмасс и других материалов, требующих утилизации.

Исходным материалом, представляемым для испытаний, были выбраны образцы, использовавшиеся для стационарного пиролиза, характеристики которых приведены ранее.

Следует отметить, что данный вариант пиролиза более ориентирован на получение горючего газа и кокса. Доля жидкой фракции, состоящей из смолы и пиролитической воды,, незначительна. В эксперименте выходящую смолу и пиролитическую воду не конденсировали, и количество ее оценивалось вместе с объемом пиролизного газа. Полученные данные по балансу выхода продуктов пиролиза приведены в табл. 3. Как следует из представленных данных, доля газобразных продуктов колеблется в пределах 60–65 % для образцов, содержащих торф. Исходные опилки, имеющие зольность в пределах 1–1,6 %, практически в таких условиях газифицируются до 90–95 %. Состав газа пиролиза представлен в табл. 4. Теплоты сгорания такого газа в сравнении с полученным в условиях стационарного пиролиза выше на 15–20 %, что объясняется присутствием высококалорийных компонентов смолы.

Проведенные исследования пиролиза смесевых композиций биомассы и торфа в стационарном и подвижном слоях показали возможность получения в первую очередь пиролизного газа и кокса. В условиях стационарного слоя пиролиза смесевых композиций из торфа и опилок при 800 ^{o}C выход газа составляет порядка 30 % с калорийностью 12,1 МДж/нм^3, выход кокса – до 35 % с зольностью до 25 %, а жидких продуктов (смола + пирогенная вода) – до 33 %. Сравнение теплотворной способности пиролизных газов из торфа и его смесевых композиций с опилками и щепой показало, что газ последних несколько более калорийный (на 5–7 %), вероятно, за счет более низкой влажности исходного материала.

154 Институт природопользования НАН Беларуси

Таблица 1. **Выход продуктов пиролиза и состав газа стационарного пиролиза проб торфа, растительных отходов и их смесей**

Проба топлива	Температура пиролиза, °С	Выход продуктов пиролиза, % на сухое вещество					Состав газа пиролиза, об. %					Теплота сгорания газа *Q*, МДж/нм^3	Плотность газа, *d*, г/дм^3
		жидкие (смола + подсмольная вода)	коксозольный остаток			газ	компонент						
			выход	влажность,%	зольность,%		CO_2	CnHm	CO	H_2	CH_4		
Торф (Ж)	550	20,9	56,0	4,6	20,3	23,1	61,8	1,0	12,0	5,3	19,9	9,78	1,53
Торф (Ж)	800	23,9	43,5	5,9	22,8	32,6	34,3	0,7	21,5	30,2	13,3	11,15	1,08
Торф (Ж) + опилки	550	37,7	41,0	4,0	12,2	21,3	56,8	0,7	19,9	3,9	18,7	10,21	1,52
Торф (Ж) + опилки	800	38,0	32,3	6,6	16,2	29,7	31,8	0,5	21,7	31,2	14,8	11,70	1,05
Торф (Ж) + щепа	550	38,2	40,0	4,1	12,7	21,8	57,2	0,9	19,3	11,3	11,3	8,24	1,48
Торф (Ж) + щепа	800	31,9	32,1	6,7	14,9	36,0	32,2	0,8	22,0	29,6	15,4	11,96	1,06
Щепа	550	56,4	26,1	2,7	1,8	17,5	44,6	0,9	35,1	2,1	17,3	11,41	1,46
Щепа	800	49,9	24,7	5,2	2,3	25,4	28,3	0,8	27,7	25,1	18,1	13,16	1,07
Торф (Л)	550	21,9	57,0	4,6	33,9	21,1	62,6	1,6	10,5	14,1	11,2	7,78	1,48
Торф (Л)	800	18,1	46,6	4,3	38,9	35.3	30,2	1,0	19,5	35,7	13,6	11,76	0,98
Торф (Л) + опилки	800	33,2	35,9	5,8	24,8	30,9	29,4	0,6	23,2	31,4	15,4	12,18	1,02
Торф (Л) + щепа	800	29,5	36,2	5,4	21,2	34,3	31,2	0,8	22,1	30.4	15,5	12,10	1,04

Таблица 2. **Сравнение теплоты сгорания пиролизных газов торфа, опилок, щепы и их композиций (соотношение 50:50 вес.%)**

Образец	*t*, °С	*Q*, МДж/нм^3	Δ*Q* к торфу	
			МДж/нм^3	**%**
Торф (Ж)	550	9,78	-	100
	800	11,15	-	100
Опилки	550	12,08	2,30	23,5
	800	13,25	2,11	18,9
Щепа	550	11,41	1,63	16,7
	800	13,15	2,01	18,0
Торф + опилки	550	10,03	0,25	2,6
	800	11,70	0,55	5,0
Торф + щепа	550	8,24	- 1,54	-15,8
	800	11,94	0,69	7,2

Таблица 3. **Баланс выхода продуктов пиролиза проб при t = 700 °С**

Исходный материал	Характеристика сырья		Продукты пиролиза			
			Твердые			Газообразные (газ + несконденсированные жидкие)
	влажность, %	зольность, %	выход кокса, %	зольность кокса, %	влажность кокса, %	выход газа, %
Торф (Л)	13,54	17,03	37,5	39,02	6,10	62,5
Опилки мелкие	8,68	1,63	21,6	12,24	6,46	78,4
Опилки средние	8,77	0,13	15,5	4,72	7,01	84,5
Опилки крупные	8,30	0,60	18,0	6,28	7,99	82,0
Торф + опилки мелкие, 10 %	13,05	15,49	36,0	36,24	5,9	64,0
Торф + опилки мелкие, 20 %	12,57	13,95	33,7	33,66	6,1	66,3
Торф + опилки средние, 10 %	13,06	15,34	33,6	35,59	6,68	66,4
Торф + опилки средние, 20 %	12,59	13,65	31,3	32,16	6,22	68,7
Торф + опилки крупные, 10 %	13,02	15,39	35,0	35,75	5,35	65,0
Торф + опилки крупные, 20 %	12,49	13,74	32,5	32,47	6,65	67,5

При пиролизе в условиях подвижного слоя анализ проводили только для твердых и газообразных продуктов. Обнаружено, что выход кокса (800 °С) примерно такой же, как и в условиях стационарного пиролиза. Пиролизный газ и несконденсированные жидкие продукты в случае смесевых композиций совместно в балансе составляют 60–70 % при несколько большей теплотворной способности (13,35–14,25 МДж/нм^3), чем в случае стационарного пиролиза. Более высокую калорийность газа пиролиза подвижного слоя можно объяснить компонентным составом газа, который в данном варианте содержит значительно больший процент наиболее калорийной фракции непредельных углеводородов (3–4 % против 0,7–1,2 % в условиях стационарного пиролиза).

Таким образом, для конверсии отходов биомассы в калорийный пиролизный газ, являющийся наиболее технологичным видом топлива, вполне приемлем способ пиролиза в подвижном слое. Причем технологически осуществить пиролиз отходов биомассы значительно проще в смеси с торфом: предотвращается зависание легкой и объемной биомассы (опилки) в реакционной зоне пиролизера, осуществляется более равномерная работа подачи сырья шнековым механизмом в реактор.

156 Институт природопользования НАН Беларуси

Таблица 4. **Состав газа пиролиза в подвижном слое проб торфа (Л) со щепой и опилками**

Проба топлива	Температура пиролиза, °С	Состав газа пиролиза, об. % компонент					Теплота сгорания *Q*, МДж/нм^3	Плотность газа, *d*, г/дм^3
		CO_2	CnHm	CO	H_2	CH_4		
Опилки мелкие	700	20,3	3,3	26,8	35,3	14,3	14,25	0,92
Торф	700	22,4	4,3	25,2	35,6	12,5	14,01	0,94
Торф+10 % опилок	700	18,9	4,6	27,5	39,0	10.0	13,96	0,89
Торф+10 % опилок (мел.)	700	20,5	3,7	24,7	36,6	14,4	14,42	0,91
Торф+20 % опилок (мел.)	700	20,3	3,3	24,7	38,5	13,2	13,98	0,89
Опилки (сред.)	700	20,2	2,9	26,3	34,5	16,1	14,50	0,92
Торф + 10 % опилок (сред.)	700	23,0	5,0	17,4	42,0	12,6	14,15	0,87
Торф + 10 % опилок (сред.)	700	24,9	4,1	25,1	34,9	11,0	13,28	0,98
Торф + 10 % опилок (сред.)	700	19,1	4,4	26,7	35,6	14,2	14,87	0,91
Торф + 20 % опилок (сред.)	800	17,0	2,5	30,4	40,3	9,8	13,17	0,86
Торф + 20 % опилок (сред.)	700	19,0	4,0	26,7	36,6	13,7	14,57	0,90
Щепа	700	17,2	2,9	31,6	34,5	13,8	14,11	0,91
Торф + 10 % щепы	700	21,9	4,4	19,8	41,5	12,4	13,98	0,87
Торф + 20 % щепы	700	20,1	4,3	23,9	39,2	12,5	14,24	0,88

Литература

1. Богомолов, Б. Д. Химия древесины и основы химии высокомолекулярных соединений / Б. Д. Богомолов. – М., 1973.

2. **Вавилов, А. В.** Малая энергетика на биотопливе / А. В. Вавилов [и др.]. – Минск, 2002.

3. **Гелетуха, Г. Г.** Обзор технологий газификации биомассы / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железная // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1998.– № 2. – С. 21–29.

4. **Кузнецов, Б. Н.** Катализ химических превращений угля и биомассы / Б. Н. Кузнецов. – Новосибирск, 1990.

5. **Лиштван, И. И.** Пиролиз бурых углей Бриневского месторождения Республики Беларусь / И. И. Лиштван [и др.] // ХТТ. – 2009. – №3. – С. 20–25.

7. **Паушкин, Я. М.** Способ приготовления катализаторов для пиролиза углеводородного сырья / Я. М. Паушкин [и др.] // А. с. 277743 СССР. 22.05. 1970.

8. **Фалюшин, П. Л.** Экспериментальная установка по термохимической переработке бурых углей и результаты ее испытаний / П. Л. Фалюшин, В. М. Дударчик, В. Н. Кожурин // Природопользование. – Минск, 2009. – Вып. 15. – С. 201–206.

9. **Фалюшин, П. Л.** Синтез-газ из отходов растениеводства / П. Л. Фалюшин, В. М. Дударчик, В. Н. Кожурин // Природопользование. – Минск, 2007. – Вып. 13. – С. 125–131.

10. **Фалюшин, П. Л.** Получение синтез-газа из углеводородного сырья пиролизом в подвижном слое. / П. Л. Фалюшин, В. М. Дударчик, В. Н. Кожурин // II Междунар. науч.-технич. конф. «Альтернативные источники сырья и топлива», г. Минск, май 2009. – С. 75.

11. **Фалюшин, П. Л.** Роль минеральных компонентов в образовании горючих газов при пиролизе отходов растительной биомассы / П. Л. Фалюшин, В. М. Дударчик, В. Б. Ловкис // Возобновляемая энергетика XXI столетия : материалы IX Междунар. конф. – Крым, 2008. – С. 281–284.

6. **Foch, F.** The Pinch-method applied on a biomass gasifier system / F. Foch [et al.] // Proc. of ECOS 2000 Conference, 5–7 July 2000, Enschede, The Netherlands. – P. 67–89.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 29.04.2015 г.

И. И. Лиштван, В. М. Дударчик, В. М. Крайко,
Е. В. Ануфриева, Е. А. Смолячкова

ПИРОЛИЗ БИОМАССЫ И ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛУЧАЕМЫХ ПРОДУКТОВ

Переработка растительной биомассы как возобновляемого источника энергии открывает широкие возможности в решении проблемы энергосбережения. Биомасса является четвертым по значению топливом в мире. Согласно прогнозам, ее доля в 2020 г. составит 42–46 % от общей доли возобновляемых источников энергии. Рассмотрены перспективы энерготехнологического использования биомассы в Республике Беларусь, определены наиболее перспективные способы ее термохимической деструкции.

Проведены исследования по пиролизу растительной биомассы и ее смесевых композиций с торфом в условиях стационарного и подвижного слоев при температурах 550 и 800 °С. Показано, что для конверсии отходов биомассы в калорийный пиролизный газ, являющийся наиболее технологичным видом топлива, наиболее подходит способ пиролиза в подвижном слое. Причем технологически осуществить пиролиз отходов биомассы значительно проще в смеси с торфом: предотвращается зависание легкой и объемной биомассы (опилки) в реакционной зоне пиролизера, осуществляется более равномерная работа подачи сырья шнековым механизмом в реактор.

I. I. Lishtvan, U. M. Dudarchyck, V. M. Kraiko, E. F. Anufrieva, E. A. Smoljachkova

BIOMASS PYROLYSIS AND CHARACTERIZATION OF OBTAIN PRODUCTS

Recycling of plant biomass as a renewable source of energy offers great opportunities to solve the problem of energy saving. Biomass is the fourth largest fuel in the world. According to forecasts, its share in 2020 will amount to 42–46 % of the total share of renewable energy sources. The prospects of the use of biomass energy technology in the Republic of Belarus have been considered, the most promising ways to thermo chemical degradation have been determined.

Studies on of plant biomass pyrolysis and its blend compositions with peat in a fixed and movable layers at temperatures of 550 and 800 °C. have been conducted. It is shown that for the conversion of biomass to pyrolysis calorie gas, which is the most technologically advanced type of fuel, the most suitable method is the pyrolysis in the mobile bed. Moreover, pyrolysis of biomass is much easier to realize technologically in a mixture of peat: hang preventing light volume and biomass (chips) in the reaction zone of pyrolyzer is carried out more uniformly work feed screw mechanism in the reactor.

УДК 551.345

Г. П. Бровка, К. А. Агутин

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ПРОМЕРЗАЮЩИХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ

Описаны компьютерные программы для моделирования теплового режима промерзающих торфяных почв. Приведены математической модели, заложенные в основу программ, а также результаты вычислительных экспериментов с их использованием.

При решении ряда прикладных задач возникает необходимость в расчете распределения температуры и влажности по профилю почвогрунта в условиях его промерзания, а также в оценке глубины этого промерзания. Такая задача, в частности, актуальна для аграрного сектора экономики при оценке рисков повреждения и, как следствие, снижения урожайности сельскохозяйственных культур от негативных погодных факторов. Так, зимой, особенно в ее начальный и конечный периоды наблюдаются многократные циклические процессы промерзания-оттаивания почвенного покрова. В результате таких процессов повреждается корневая система озимых культур, что является одной из основных причин их гибели. Также после относительно раннего наступления весны и активного периода вегетации растений в мае на почве и приземном слое воздуха возникают заморозки, что также наносит существенный урон сельскохозяйственным культурам. Основным механизмом повреждения озимых сельскохозяйственных культур отрицательными температурами являются структурные преобразования промерзающего слоя почвы за счет перераспределения влаги в момент промерзания. В результате этих преобразований разрывается корневая система растений [1, 3].

Одним из путей повышения устойчивости растений к действию отрицательных температур является использование криопротекторов на основе сочетания минеральных и органических водорастворимых соединений, вносимых в почву. Но для улучшения эффективности действия (в том числе и с точки зрения финансовых и материальных затрат) этого и других мероприятий по защите сельскохозяйственных культур необходимо оценить параметры (температуру, влажность) и глубину промерзания.

Традиционно для расчета режимов промерзания–протаивания почв используется классическая постановка задачи Стефана [2]. В данном случае для расчета температурного режима промерзающих почв используется математическая модель, основанная на решении уравнения теплопроводности с энтальпийной постановкой задачи. При этом зависимости количества незамерзающей воды и эффективной объемной теплоемкости от температуры с учетом влагосодержания аппроксимируются эмпирическими формулами, полученными путем обработки экспериментальных данных.

В соответствии с начальным распределением температуры в деятельном слое почвы рассчитываются начальные значения энтальпии в узловых точках одномерной сетки, которой разбита область расчета. При $T_i > T_{нз}$,

$$H_i^+ = \left(WC_в + C_{ск}\right)\cdot \rho_{ск}\cdot\left(T - T_{нз}\right). \quad (1)$$

При $T_i \le T_{нз}$,

$$H_i^- = \int_{T_{нз}}^{T} C_v^-(T)dT - \left(W - a_1 - \frac{a_2}{a_3}\right)L\rho_{ск}\ , \quad (2)$$

где a_1, a_2, a_3 – эмпирические константы; C_v – эффективная объемная теплоемкость, Дж/К; $C_в$ – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К); $C_л$ – удельная теплоемкость льда, Дж/(кг·К); $C_{ск}$ – удельная теплоемкость льда, Дж/(кг·К); L – теплота фазового перехода вода–лед, Дж/кг; $\rho_{ск}$ – плотность скелета почвы; $T_{нз}$ – температура начала замерзания воды в почве; W – влагосодержание, кг/кг.

Затем по явной расчетной схеме определяются на каждом временном шаге изменения энтальпии в узловых точках и присваиваются соответствующие новые значения по формуле

$$H_i^{j+1} = H_i^j + \frac{2\lambda_i\lambda_{i-1}}{\lambda_i + \lambda_{i-1}}\frac{T_{i-1} - T_i}{\Delta x} + \frac{2\lambda_i\lambda_{i+1}}{\lambda_i + \lambda_{i+1}}\frac{T_{i+1} - T_i}{\Delta x}\ , \quad (3)$$

где λ_{i-1}, λ_i, λ_{i+1}, T_{i-1}, T_i, T_{i+1} – соответственно значения коэффициентов теплопроводности и температуры в узловых точках сетки i–1, i и i+1.

По значениям энтальпии в узловых точках в соответствии с формулами (1) и (2) определяются значения температуры, при этом учитывается, в каком интервале находятся значения энтальпии

$$T_i = \begin{cases} \dfrac{H_i}{C_{эфт}\Delta x}, \text{если } H_i \ge 0 \\ 0, \text{если } -Q_ф\Delta x \le H_i < 0 \\ \dfrac{H_1^t + Q_ф\Delta x}{C_{эфм}\Delta x}, \text{если } H_i < -Q_ф\Delta x \end{cases}, \quad (4)$$

где T_i, H_i – соответственно температура и энтальпия в точке i; $C_{эфт}$ – эффективная теплоем-

кость талой почвы; $C_{эфм}$ – эффективная теплоемкость мерзлой почвы; $Q_ф$ – теплота фазового перехода.

С использованием приведенных принципов, были разработаны две прикладные компьютерные программы для расчета температурного поля почвенного профиля. Первая из них соответствует условиям возникновения весенних заморозков и учитывает характеристики самой почвы (влагосодержание, доля минеральной части), а также климатические условия (географическая широта, суммарная солнечная радиация, рассчитанная для конкретного дня года и времени суток), которые определяют величину радиационного потока и погодных условий (температура воздуха, скорость ветра). Вторая программа учитывает условия зимнего периода (высота снежного покрова).

Основной вычислительный блок обеих программ разработан по следующему алгоритму.

1. Задается начальная температура в точках (в граничных она равна температуре среды, а во всех остальных – начальной температуре тела).

2. Рассчитываются начальные значения энтальпии по формулам (1) и (2).

3. Рассчитываются индексы фазовых переходов на первом временном слое (t = 0) по следующей формуле:

$$\mathrm{if}_i^t = \begin{cases} 1, \text{если} H_i^t \ge 0, \\ 0, \text{если} -Q_ф \Delta x \le H_i^t < 0, \\ -1, \text{если} H_i^t < -Q_ф \Delta x. \end{cases} \quad (5)$$

4. Определяются коэффициенты теплопроводности

$$\lambda_{i,t} = \begin{cases} \lambda_T, \text{если} \mathrm{if}_i^t = 1, \\ \lambda_M, \text{если} \mathrm{if}_i^t = -1, \\ \dfrac{2\lambda_M \lambda_T}{\lambda_M + \lambda_T}, \text{если if}_i^t = 0. \end{cases} \quad (6)$$

5. Рассчитываются изменения энтальпии в точках и определяются значения энтальпии на новом временном слое по формуле (3).

6. Определяются значения температуры в точках на новом временном слое по формуле (4).

7. Осуществляется переход на новый временной слой ($t = t + \Delta t$), и программа возвращается к пункту 3 и выполняется, пока время t не достигнет нужного значения τ.

Помимо этого, для расчета необходимы характеристики тепло- и влагопереноса почвы, причем входными данными для расчета являются только две из них – влагосодержание W и доля минеральной части A. Остальные характеристики рассчитываются по аппроксимирующим формулам, полученным по результатам экспериментальных исследований.

Плотность почвы

$$\rho = a_0 + a_1 W + a_2 AW + a_3 A^2, \quad (7)$$

где коэффициенты имеют следующие значения: a_0 = 227; a_1 = 85,1; a_2 = 410; a_3 = 808.

Плотность скелета почвы и ее компонентов

$$\rho_{ск} = \frac{\rho}{(1+W)}, \quad (8)$$

$$\rho_п = \rho_{ск} A, \ \rho_т = \rho_{ск}(1-A), \ \rho_в = \rho_{ск} W, \quad (9)$$

где $\rho_{ск}$ – плотность твердого скелета почвы, кг/м^3; $\rho_п$ – плотность минеральной части почвы (песка), кг/м^3; $\rho_т$ – плотность органической части почвы (торфа), кг/м^3; $\rho_в$ – плотность почвенной влаги, кг/м^3.

Коэффициент теплопроводности почвы

$$\lambda = a_0 + a_1\rho_в + a_2\rho_п\rho_т + a_3\rho_п\rho_в + a_4\rho_п^2 + a_5\rho_т^2 + a_6\rho_в^2, \quad (10)$$

где коэффициенты имеют следующие значения: $a_0 = 1{,}99\cdot10^{-2}$; $a_1 = 6{,}7\cdot10^{-4}$; $a_2 = -1{,}23\cdot10^{-6}$; $a_3 = 8{,}7\cdot10^{-7}$; $a_4 = 6{,}44\cdot10^{-7}$; $a_5 = 2{,}12\cdot10^{-7}$; $a_6 = -1{,}25\cdot10^{-7}$ (при положительной температуре); $a_0 = 2{,}39\cdot10^{-2}$; $a_1 = 5{,}38\cdot10^{-4}$; $a_2 = -3{,}48\cdot10^{-6}$; $a_3 = 2{,}76\cdot10^{-6}$; $a_4 = 8{,}82\cdot10^{-7}$; $a_5 = 2{,}05\cdot10^{-7}$; $a_6 = 1{,}72\cdot10^{-6}$ (при отрицательной температуре).

Теплоемкость твердого скелета и эффективные объемные теплоемкости

$$C_{ск} = (1-A)\cdot C_т + A C_п;$$

$$C_{эфт} = (C_в W + C_{ск})\cdot \rho_{ск}; \quad (11)$$

$$C_{эфм} = (C_л(W - W_н) + C_в W_н + C_{ск})\cdot \rho_{ск},$$

где $C_{ск}$ – теплоемкость твердого скелета почвы, Дж/К; $C_{эфт}$, $C_{эфм}$ – эффективные объемные теплоемкости талой и мерзлой почвы, Дж/К; $C_п$, $C_т$, $C_в$, $C_л$ – удельные теплоемкости минеральной части (838 Дж/(кг·К)), органической части (1960 Дж/(кг·К)), влаги (4200 Дж/(кг·К)) и льда (2010 Дж/(кг·К)).

Объемная теплота фазового перехода

$$Q_ф = (W - W_н)\cdot L\rho_{ск}, \quad (12)$$

где L – удельная теплота фазового перехода вода-лед ($3{,}338\cdot10^5$ Дж/кг).

Также нужно записать условия, определяющие теплообмен на поверхности почвы (граничные условия). Они определяются главным образом погодными условиями, а также географической широтой местности и временем года и суток.

В задаче зимнего периода определяющим фактором является высота снежного покрова. Условия для граничной точки будут иметь следующий вид.

Начальное значение энтальпии

$$H_1^0 = \begin{cases} \left(C_{эфм}T_1^0 - Q_ф\right)\Delta x - \rho_c h_c L + \rho_c h_c C_л T_1^0, \text{если } T_1^0 < 0, \\ -Q_ф \Delta x - \rho_c h_c L, \text{если } T_1^0 = 0, \\ C_{эфт}T_1^0 \Delta x, \text{если } T_1^0 > 0. \end{cases} \quad (13)$$

где h_c – высота снежного покрова, м.

Индексы фазовых переходов

$$\text{if}_1^0 = \begin{cases} 1, \text{если } H_1^0 \geq 0, \\ 0, \text{если } -Q_ф \Delta x - \rho_c h_c L \leq H_1^0 < 0, \\ -1, \text{если } H_1^0 < -Q_ф \Delta x - \rho_c h_c L. \end{cases} \quad (14)$$

Изменение энтальпии

$$\Delta H_1^{t+1} = \frac{T_в - T_1^t}{\left(\frac{1}{\alpha} + \frac{h_c}{\lambda_c}\right)} + \frac{2\lambda_i \lambda_{i+1}}{\lambda_i + \lambda_{i+1}} \frac{T_{i+1} - T_i}{\Delta x}, \quad (15)$$

где λ_c – коэффициент теплопроводности снега.

Условия пересчета толщины снежного покрова

$$\Delta h_c = \frac{-\Delta H_1^t}{\rho_c L}, \quad (16)$$

Температура на новом временном слое

$$T_1^t = \begin{cases} \dfrac{H_i}{C_{эфт}\Delta x}, \text{если } H_i \geq 0 \\ 0, \text{если } -Q_ф \Delta x - \rho_c h_c L \leq H_i < 0 \\ \dfrac{H_1^t + Q_ф \Delta x - \rho_c h_c L}{C_{эфм}\Delta x + \rho_c h_c C_л}, \text{если } H_i < -Q_ф \Delta x - \rho_c h_c L \end{cases} \quad (17)$$

В задаче с условиями возникновения весенних заморозков внешним фактором, определяющим граничные условия, является суммарный поток теплообмена с атмосферой, который включает в себя три составляющие: радиационный, конвективный потоки и тепловой поток за счет испарения и конденсации:

$$\Delta H_1 = Q_\Sigma + \frac{2\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \frac{T_2 - T_1}{\Delta x}, \quad (18)$$

$$Q_\Sigma = Q_p + Q_к + Q_\varphi, \quad (19)$$

где Q_Σ – суммарный поток, Вт/м^2; $Q_р$ – радиационный поток, Вт/м^2; $Q_к$ – конвективный поток, Вт/м^2; Q_φ – тепловой поток за счет испарения и конденсации, Вт/м^2.

Каждый из составляющих суммарного потока рассчитывается по стандартным формулам.

Радиационный поток

$$Q_р = (1 - r)I + d_п\left(B_а - B_0\right), \quad (20)$$

где r – альбедо поверхности почвы; I – суммарная (прямая и рассеянная) солнечная радиация, Вт/м^2; $d_п$ – поглощательная способность почвы; $B_а$ – встречное излучение атмосферы; B_0 – излучение поверхности почвы.

Параметры, входящие в формулу (20) рассчитываются следующим образом.

Суммарная солнечная радиация

$$I = I^* \cdot \left(0{,}944 - 0{,}063\tau_L\right) \cdot \sin(h), \quad (21)$$

$$\sin(h) = \sin(\varphi)\sin(S) + \cos(\varphi)\cos(S)\cos\left(\frac{2\pi}{П} t_ч\right), \quad (22)$$

$$S = 23{,}5 \sin\left((D - 81{,}5)\frac{\pi}{183}\right), \quad (23)$$

где I^* – солнечная постоянная (1 370 Вт/м^2); τ_L – параметр мутности атмосферы; h – высота Солнца над горизонтом; φ – географическая широта местности; S – склонение Солнца; П – период вращения Земли (24 ч); $t_ч$ – время в часах, отсчитываемое от полудня; D – порядковый номер дня года.

Встречное излучение атмосферы и излучение поверхности почвы:

$$B_а = \sigma T_{в2}^4\left(a + b\sqrt{P}\right), \qquad B_0 = \sigma T_п^4, \quad (24)$$

где σ – постоянная Стефана–Больцмана ($5{,}67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м^{2}К^4)); $T_в$ – температура воздуха на высоте 2 м, К; $T_п$ – температура поверхности почвы, К; a, b – эмпирические коэффициенты (a = 0,526, b = 0,065); P – парциальное давление водяного пара.

Конвективный поток

$$Q_к = -\alpha_к\left(T_п - T_{в2}\right), \quad (25)$$

$$\alpha_к = \begin{cases} 8{,}5 + 2{,}0v_в, \text{если} \sin(h) > 0 \text{ (дневное время)}, \\ 4{,}0 + 2{,}0v_в, \text{если} \sin(h) \leq 0 \text{ (ночное время)}. \end{cases} \quad (26)$$

где $\alpha_к$ – коэффициент конвективного теплообмена; $v_в$ – скорость ветра, м/с.

Тепловой поток за счет испарения и конденсации:

$$Q_\varphi = -\frac{\alpha_к}{C_р}\left(I_п - I_{в2}\right)L_п, \quad (27)$$

где $C_р$ – теплоемкость воздуха при постоянном давлении; $I_п$ – удельная влажность на поверхности почвы; $I_{в2}$ – удельная влажность в приземном слое воздуха на высоте 2 м; $L_п$ – теплота испарения воды (2 500 кДж/кг).

На основе этой математической модели разработаны две прикладные программы: первая – для расчета промерзания почвы в зимний период, вторая – в период весенних (осенних) заморозков.

На рис. 1 приведен интерфейс первой программы: слева блок ввода исходных данных: характеристик почвы и погодных условий; справа – результаты расчета распределения температуры по глубине почвы в виде таблицы и графика.

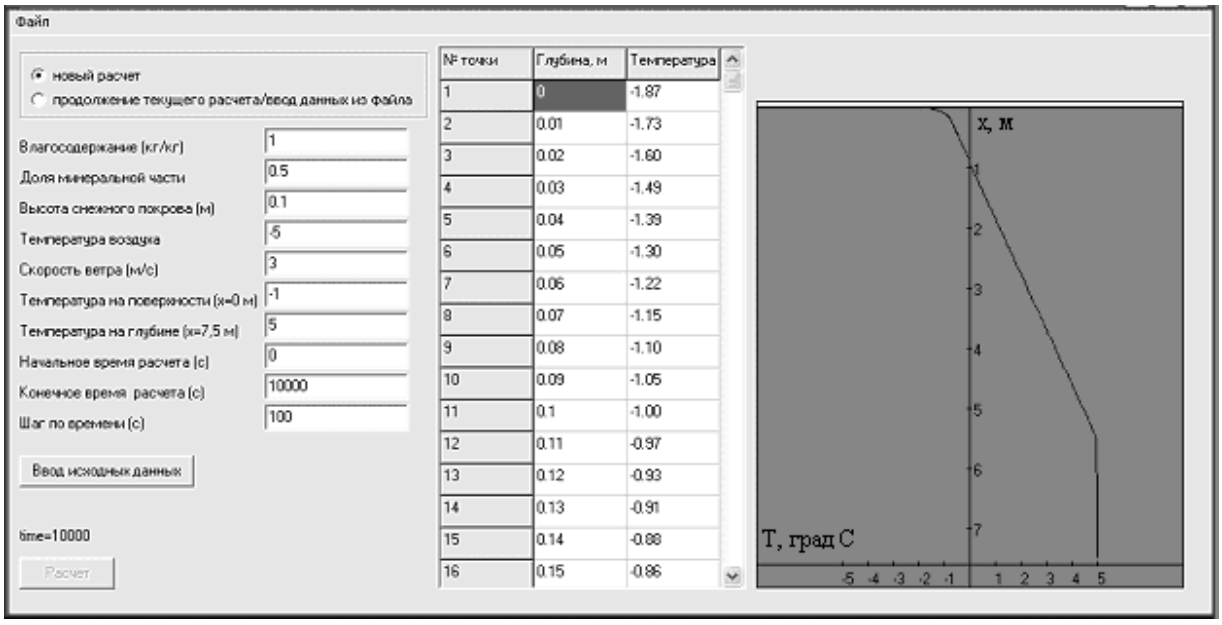
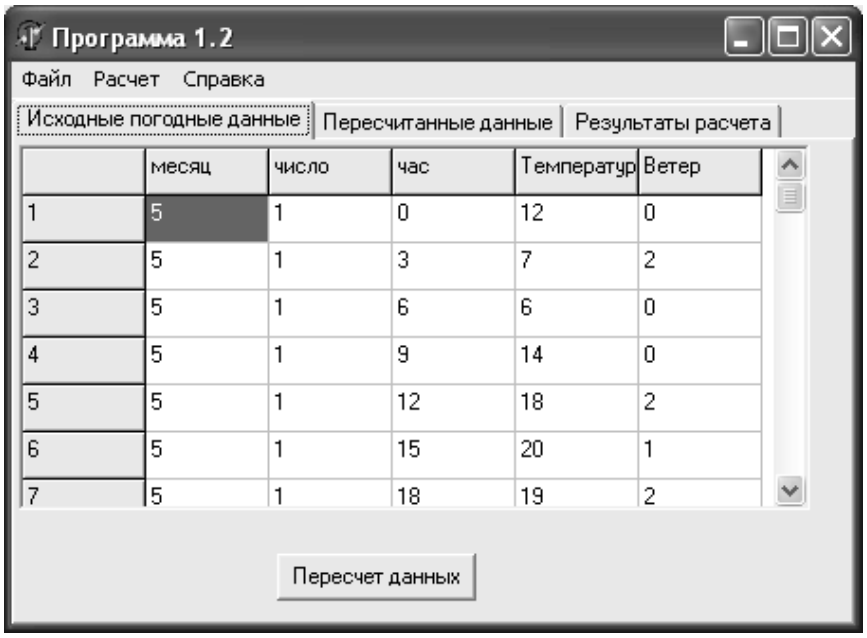


Рис. 1. Интерфейс программы для расчета промерзания почвы в зимний период

На рис. 2–4 интерфейс второй программы; на рис. 2 – блок загрузки в программу фактических погодных данных из файла на интересующий период времени. В данном случае – на первые две недели мая 2014 г. с интервалом в 3 ч. Затем программа интерполирует погодные данные (температура и скорость ветра) на каждый час и предлагает пользователю ввести другие параметры, необходимые для расчета: географическую широту местности, характеристики почвы, а также интересующий временной интервал – время начала и окончания расчета (рис. 3).

Далее программа осуществляет расчет и выводит полученные данные в таблицу (рис. 4). В таблице для каждого часа в интересующем пользователя интервале приводятся значения суммарной солнечной радиации, температуры воздуха, величины всех трех потоков (радиационного, конвективного и потока за счет испарения и конденсации), а также суммарного потока. Далее в графах таблицы приведено распределение температуры по глубине почвы также на каждый час.



	месяц	число	час	Температур	Ветер
1	5	1	0	12	0
2	5	1	3	7	2
3	5	1	6	6	0
4	5	1	9	14	0
5	5	1	12	18	2
6	5	1	15	20	1
7	5	1	18	19	2

Рис. 2. Окно ввода погодных данных на каждые 3 ч.

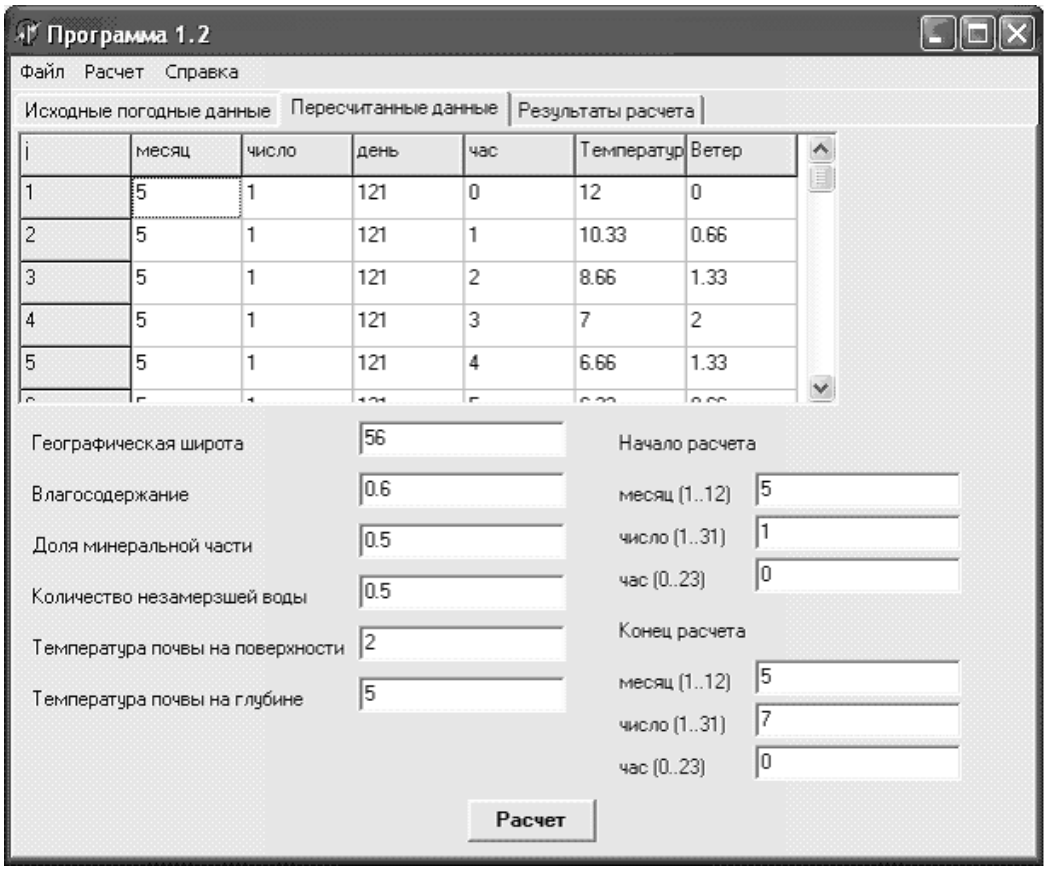
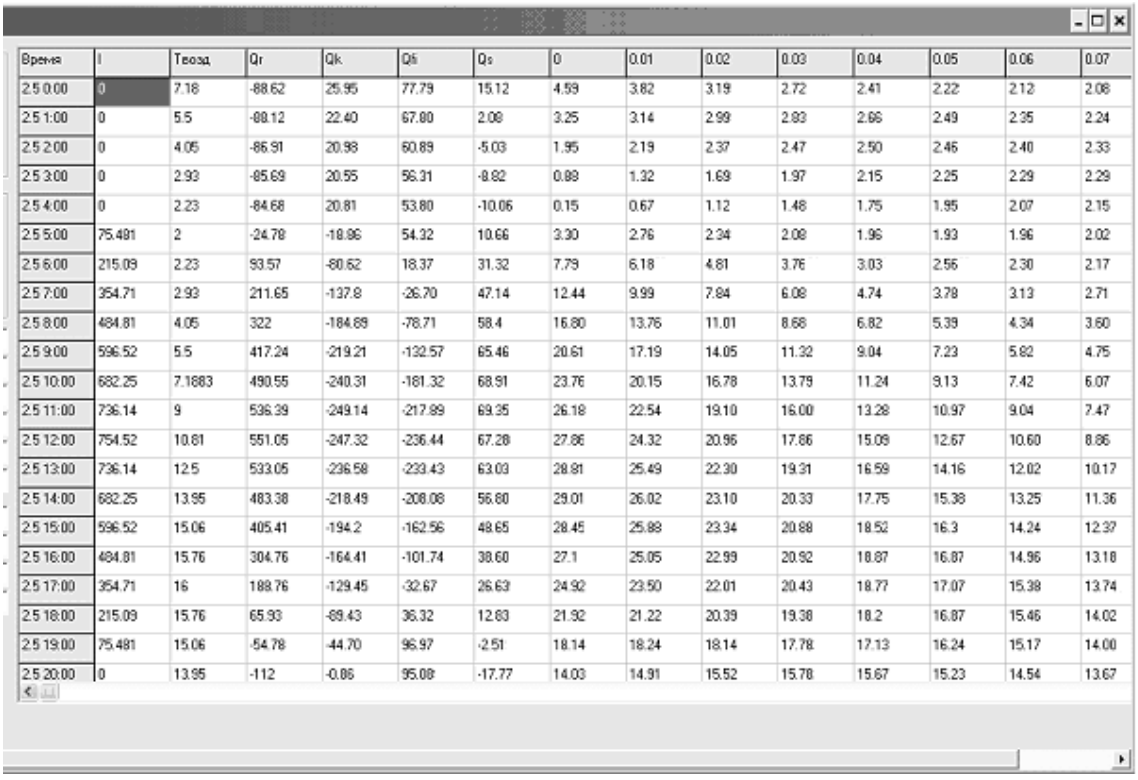


Рис. 3. Окно контроля над пересчетом программой погодных данных на каждый час и ввода параметров, необходимых для расчета



Время	I	Teозд	Qr	Qk	Qs	Qs	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07
25 0:00	0	7.18	-88.62	25.95	77.79	15.12	4.59	3.82	3.19	2.72	2.41	2.22	2.12	2.08
25 1:00	0	5.5	-89.12	22.40	67.80	2.08	3.25	3.14	2.99	2.93	2.66	2.49	2.35	2.24
25 2:00	0	4.05	-86.91	20.98	60.89	-5.03	1.95	2.19	2.37	2.47	2.50	2.46	2.40	2.33
25 3:00	0	2.93	-85.69	20.55	56.31	-8.82	0.89	1.32	1.69	1.97	2.15	2.25	2.29	2.29
25 4:00	0	2.23	-84.68	20.81	53.80	-10.05	0.15	0.67	1.12	1.48	1.75	1.95	2.07	2.15
25 5:00	75.481	2	-24.78	-18.86	54.32	10.66	3.30	2.76	2.34	2.08	1.96	1.93	1.96	2.02
25 6:00	215.09	2.23	93.57	-80.62	18.37	31.32	7.79	6.18	4.81	3.76	3.03	2.56	2.30	2.17
25 7:00	354.71	2.93	211.65	-137.8	-26.70	47.14	12.44	9.99	7.84	6.08	4.74	3.78	3.13	2.71
25 8:00	484.81	4.05	322	-184.69	-78.71	58.4	16.80	13.76	11.01	8.68	6.82	5.39	4.34	3.60
25 9:00	596.52	5.5	417.24	-219.21	-132.57	65.46	20.61	17.19	14.05	11.32	9.04	7.23	5.82	4.75
25 10:00	682.25	7.1683	490.55	-240.31	-181.32	68.91	23.76	20.15	16.78	13.79	11.24	9.13	7.42	6.07
25 11:00	736.14	9	536.39	-249.14	-217.89	69.35	26.18	22.54	19.10	16.00	13.28	10.97	9.04	7.47
25 12:00	754.52	10.81	551.05	-247.32	-236.44	67.28	27.86	24.32	20.96	17.86	15.09	12.67	10.60	8.86
25 13:00	736.14	12.5	533.05	-236.58	-239.43	63.03	28.91	25.49	22.30	19.31	16.59	14.16	12.02	10.17
25 14:00	682.25	13.95	483.38	-218.49	-208.08	56.60	29.01	26.02	23.10	20.33	17.75	15.38	13.25	11.36
25 15:00	596.52	15.06	405.41	-194.2	-162.56	48.65	28.45	25.88	23.34	20.88	18.52	16.3	14.24	12.37
25 16:00	484.81	15.76	304.76	-164.41	-101.74	38.60	27.1	25.05	22.99	20.92	18.87	16.87	14.96	13.18
25 17:00	354.71	16	188.76	-129.45	-32.67	26.63	24.92	23.50	22.01	20.43	18.77	17.07	15.38	13.74
25 18:00	215.09	15.76	65.93	-89.43	36.32	12.83	21.92	21.22	20.39	19.38	18.2	16.87	15.46	14.02
25 19:00	75.481	15.06	-54.78	-44.70	96.97	-2.51	18.14	18.24	18.14	17.78	17.13	16.24	15.17	14.00
25 20:00	0	13.95	-112	-0.86	95.09	-17.77	14.03	14.91	15.52	15.78	15.67	15.23	14.54	13.67

Рис. 4. Окно вывода результатов расчета

С использованием разработанных компьютерных программ для оценки влияния климатических факторов, таких как температура воздуха $t_в$, высота снежного покрова $h_с$, глубина промерзания почвы ξ на температуру на уровне узла кущения озимых культур (2 см), проведена серия вычислительных экспериментов. Результаты этих вычислений представлены на рис. 5–9.

Анализ полученных результатов показывает, что повышение температуры на уровне узла кущения при всех прочих условиях зависит от соотношения высоты снежного покрова и глубины промерзания почвы. Так, эффект повышения температуры за счет высоты снежного покрова при малой величине промерзания почвы будет более существен, чем при большой. Заслуживает внимания тот факт, что увеличение степени минерализации почвы и ее влагосодержания способствует повышению температуры на уровне узла кущения. За счет этих факторов можно повысить указанную температуру на 4–5 °С.

Проведенные вычислительные эксперименты показывают, что методом компьютерного моделирования можно оценить влияние различных метеорологических, гидрологических факторов и состава органогенных пород на изменение температурного и влажностного режимов торфяных залежей и почв, что позволит прогнозировать экстремальные климатические явления на мелиорированных почвах, снизить экономические потери от этих явлений. Методом компьютерного моделирования можно также количественно оценивать эффективность различных технических мероприятий по оптимизации температурно-влажностного режима мелиорированных торфяных почв.

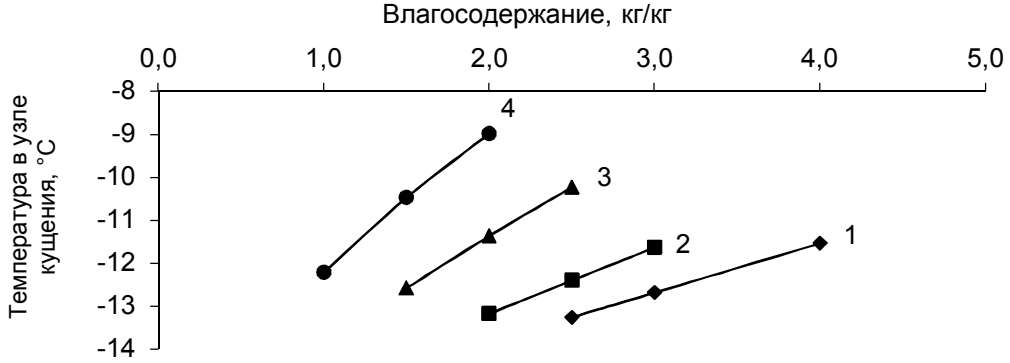


Рис. 5. Зависимость температуры в узле кущения от влагосодержания (климатические факторы: $t_в$ = –20 °С, $h_с$ = 0,01 м, ξ = 0,1 м) для почв различной степени минерализации: *1* – *A* = 0,1; *2* – 0,2; *3* – 0,4; *4* – 0,6

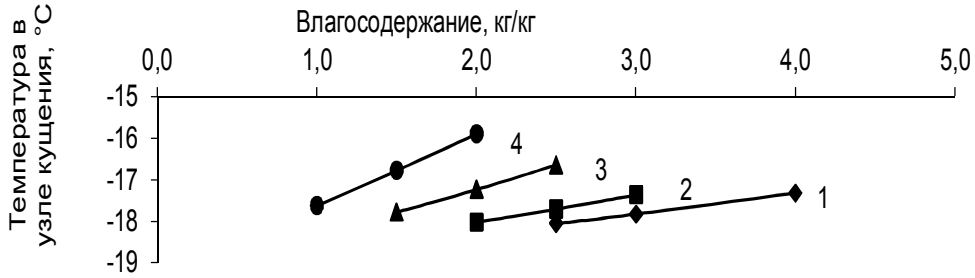


Рис. 6. Зависимость температуры в узле кущения от влагосодержания (климатические факторы: $t_в$ = –20 °С, $h_с$ = 0,01 м, ξ = 0,4 м) для почв различной степени минерализации: *1* – *A* = 0,1; *2* – 0,2; *3* – 0,4; *4* – 0,6

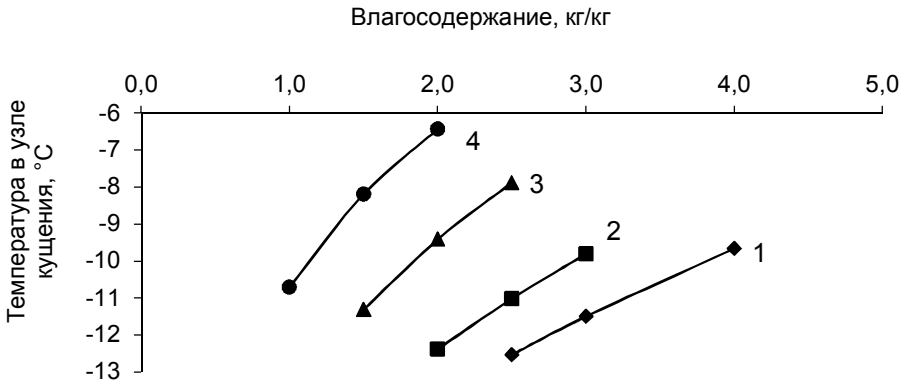


Рис. 7. Зависимость температуры в узле кущения от влагосодержания (климатические факторы: $t_в$ = –20 °С, $h_с$ = 0,1 м, ξ = 0,4 м) для почв различной степени минерализации: *1* – *A* = 0,1; *2* – 0,2; *3* – 0,4; *4* – 0,6

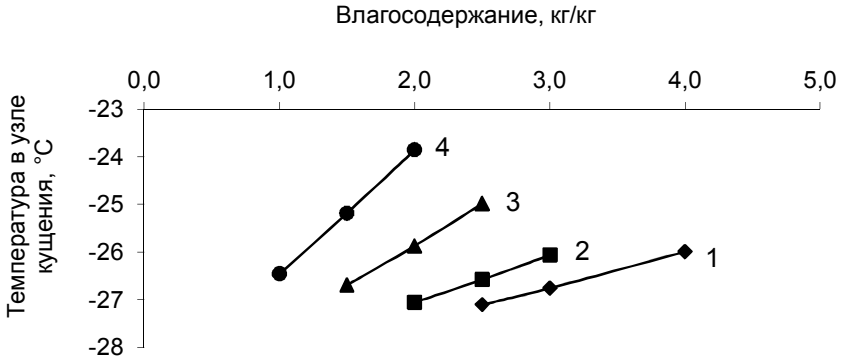


Рис. 8. Зависимость температуры в узле кущения от влагосодержания (климатические факторы: $t_в$ = –30 °С, $h_с$ = 0,01 м, ξ = 0,4 м) для почв различной степени минерализации: *1* – *A* = 0,1; *2* – 0,2; *3* – 0,4; *4* – 0,6

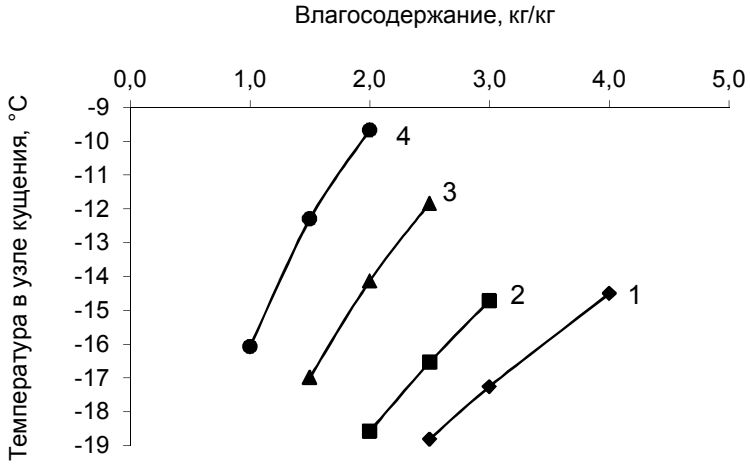


Рис. 9. Зависимость температуры в узле кущения от влагосодержания (климатические факторы: $t_в$ = –30 °С, $h_с$ = 0,1 м, ξ = 0,4 м) для почв различной степени минерализации: *1* – *A* = 0,1; *2* – 0,2; *3* – 0,4; *4* – 0,6

Литература

1. **Афанасик, Г. И.** Комплексное регулирование условий жизни растений на торфяных почвах / Г. И. Афанасик [и др.]. – Минск, 1980.
2. **Бровка, Г. П.** Взаимосвязанные процессы тепло- и массопереноса в природных дисперсных средах / Г. П. Бровка. – Минск, 2011.
3. **Павлов, А. В.** Расчет и регулирование мерзлотного режима почвы / А. В. Павлов. – Минск, 1980.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 30.04.2015 г.

Г. П. Бровка, К. А. Агутин

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ПРОМЕРЗАЮЩИХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ

При решении ряда прикладных задач возникает необходимость в расчете распределения температуры и влажности по профилю почвогрунта в условиях его промерзания, а также в оценке глубины этого промерзания. Приведены компьютерные программы использующие математическую модель, основанную на решении уравнения теплопроводности с энтальпийной постановкой задачи. С использованием разработанных компьютерных программ для оценки влияния климатических факторов, таких как температура воздуха $t_в$, высота снежного покрова h_c, глубина промерзания почвы ξ на температуру на уровне узла кущения озимых культур (2 см) проведена серия вычислительных экспериментов. Анализ полученных результатов показывает, что повышение температуры на уровне узла кущения при всех прочих условиях зависит от соотношения высоты снежного покрова и глубины промерзания почвы.

G. P. Brovka, K. A. Agutin

COMPUTER MODELING OF THE THERMAL REGIME OF FREEZING PEAT SOILS

When solving a number of applications it is necessary to calculate the distribution of temperature and humidity profile of soil-ground conditions in its freezing as well as in evaluating the depth of frost penetration. Computer programs using a mathematical model based on the solution of the heat equation with enthalpy formulation of the problem are presented. With the use of designed computer programs to evaluate the effect of climatic factors such as temperature t_i, height of snow cover h_c, the depth of soil freezing ξ on temperature at the tillering node of winter crops (2 cm), a series of numerical experiments has been conducted. Analysis of obtained results shows that the increase in temperature at the tillering node, all other conditions depends on the ratio of snow depth and the depth of soil freezing.

УДК 547.458.87+547.992.2

И. И. Лиштван, Н. П. Максимова, И. Н. Феклистова, Г. В. Наумова, Д. В. Маслак, Л. Е. Садовская, Т. Л. Скакун, Н. А. Жмакова, Н. Л. Макарова, Т. Ф. Овчинникова

НОВЫЙ КОМПЛЕКСНЫЙ БИОПРЕПАРАТ ГУЛЛИВЕР БАКТЕРИЦИДНОГО И РОСТСТИМУЛИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ ШТАММА БАКТЕРИЙ *Pseudomonas Sp.* И ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ

Приведены результаты лабораторных и мелкоделяночных испытаний нового комплексного биопрепарата Гулливер как стимулятора роста и развития растений и средства защиты овощных культур от наиболее распространенных заболеваний.

В современном сельскохозяйственном производстве нарастают темпы использования микробиологических препаратов для защиты растений от патогенов [1, 2, 9]. Существенным недостатком таких препаратов, представленных живыми клетками бактерий, является неустойчивость при хранении, что ограничивает объемы производства и сроки реализации этих субстанций.

В рамках Государственной программы «Торф» разработан новый комплексный многофункцинальный биопрепарат Гулливер, предназначенный для защиты овощных культур и картофеля от наиболее распространенных заболеваний и стимуляции роста и развития растений.

В качестве основы для создания этого препарата, использован штамм *P. aureofaciens A 8-6* титр не менее 10^9 кл/мл, обладающий высокой антибактериальной и антифунгальной активностью. В серии лабораторных экспериментов была изучена антагонистическая активность данного штамма. Выяснено, что клетки штамма *P. aureofaciens A 8-6* проявляют антагонистическую активность в отношении ряда фитопатогенных бактерий (*E. aroideae* – 2 штамма, *E. carotovora* – 7 штаммов, *E. herbicola* – 1 штамм, *P. atrofaciens* – 1 штамм, *P. glicinea* – 1 штамм, *P. lachrimans* – 2 штамма, *P. lupine* – 1 штамм, *P. pisi* – 1 штамм, *P. syringae* – 2 штамма, *P. vignae* – 1 штамм, *P. xanthochlora* – 1 штамм, *P. corrugata* – 1 штамм, *X. campestris* – 4 штамма) и фитопатогенных грибов (*A. alternata* – 1 штамм, *Ascochyta sp.* – 1 штамм, *Botrytis sp.* – 1 штамм, *B. cinerea* – 1 штамм, *Fusarium sp.* – 1 штамм, *F. avenaceum* – 2 штамма, *F. culmorum* – 3 штамма, *F. oxysporum* – 2 штамма, *F. sambucinm* – 1 штамм, *F. semitectum* – 1 штамм, *P. infestans* – 3 штамма, *S. sclerotiorum* – 1 штамм). Основными недостатками данного бактериального препарата, так же как и других подобных микробиологических препаратов, являлись неустойчивость при хранении и малый срок годности.

Предварительные исследования позволили установить, что добавление в биопрепараты гуминовых веществ позволяет повысить срок их хранения, одновременно усиливая ростстимулирующие свойства комплексного продукта.

При получении комплексного препарата Гулливер в состав бактериального продукта вносили регулятор роста растений Гидрогумат, разработанный в предыдущие годы Институтом природопользования НАН Беларуси и широко используемый в сельскохозяйственной практике. Он содержит целый комплекс биологически активных соединений: гуминовых веществ 50–70 %, низкомолекулярных карбоновых кислот 15–20 %, а также меланоидины, пектины, аминокислоты, макро- и микроэлементы [8].

При изучении особенностей биологического действия Гидрогумата установлена его способность ускорять прохождение основных фаз развития растений, повышать активность фитогормонов (ауксинов, цитокининов, гиббериллинов), а на уровне самой клетки интенсифицировать транспортные, обменные, ферментативные процессы, что обеспечивает не только повышение урожая, но и существенное улучшение качественных показателей получаемой продукции [4–7, 10].

При создании комплекса биопестицид–Гидрогумат необходимо было подобрать композиционный состав, который позволит не только обеспечить жизнеспособность клеток штамма-антагониста, но и сохранить фитостимулирующие и фитозащитные свойства препарата. Были отработаны оптимальные дозы введения Гидрогумата в комплексный препарат, при которых сохраняются его ростстимулирующие свойства и жизнеспособность бактерий.

Бактериальную суспензию смешивали с Гидрогуматом и хранили в условиях холодильника ($10 \pm 2\ ^{o}C$) и при комнатной температуре ($20 \pm 2\ ^{o}C$). Учет результатов проводили на 14-й и 30-й день хранения культуры. Полученные данные представлены в табл. 1.

Таблица 1*. Влияние концентрации Гидрогумата на жизнеспособность клеток *P. aureofaciens A 8-6

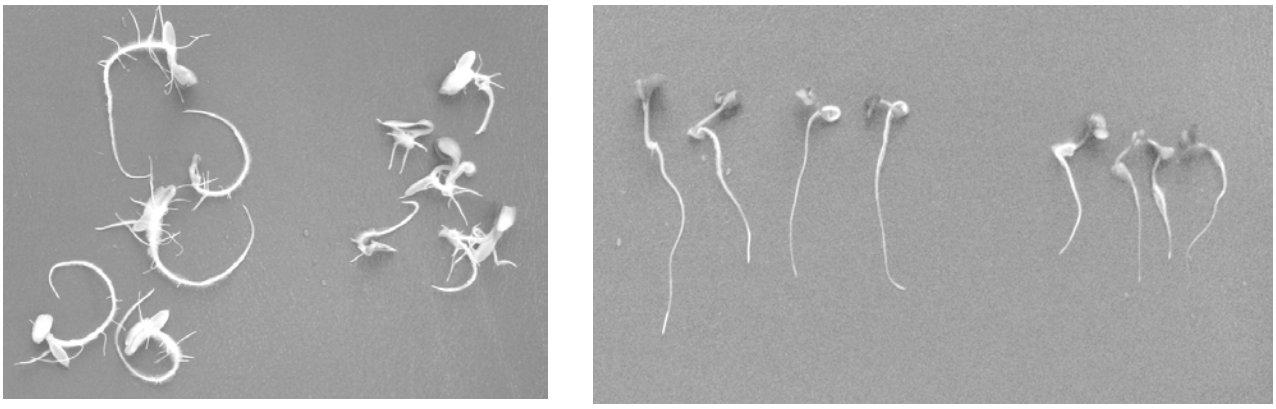
Соотношение биопестицид : Гидрогумат	Условия хранения, °С	Концентрация *P. aureofaciens A 8-6,* кл/мл		
		исходная	через 14 суток	через 30 суток
70:30	10 ± 2	$2,7 \cdot 10^{10}$	$8,1 \cdot 10^{7}$	$1,7 \cdot 10^{7}$
	20 ± 2	$2,7 \cdot 10^{10}$	$3,6 \cdot 10^{5}$	$7,9 \cdot 10^{4}$
90:10	10 ± 2	$3,8 \cdot 10^{10}$	$7,2 \cdot 10^{9}$	$1,2 \cdot 10^{9}$
	20 ± 2	$3,8 \cdot 10^{10}$	$2,9 \cdot 10^{8}$	$9,8 \cdot 10^{7}$
95:5	10 ± 2	$2,2 \cdot 10^{10}$	$5,3 \cdot 10^{9}$	$4,0 \cdot 10^{9}$
	20 ± 2	$2,2 \cdot 10^{10}$	$1,0 \cdot 10^{9}$	$3,1 \cdot 10^{8}$
99:1	10 ± 2	$4,0 \cdot 10^{10}$	$6,8 \cdot 10^{9}$	$4,5 \cdot 10^{9}$
	20 ± 2	$4,0 \cdot 10^{10}$	$5,0 \cdot 10^{8}$	$2,3 \cdot 10^{8}$
Без Гидрогумата	10 ± 2	$4,1 \cdot 10^{10}$	$1,6 \cdot 10^{10}$	$7,8 \cdot 10^{9}$
	20 ± 2	$4,1 \cdot 10^{10}$	$3,2 \cdot 10^{6}$	$6,7 \cdot 10^{4}$*

*Образовался слизистый, плохо размешивающийся осадок.

Из представленных данных видно, что бактериальная культура и без Гидрогумата хорошо хранится при температуре 10 ± 2 ºС в течение 30 сут. Ее хранение при 20 ± 2 ºС приводит к резкому снижению жизнеспособности клеток: через две недели – до $3,2 \cdot 10^{6}$, через месяц – до $6,7 \cdot 10^{4}$кл/мл. При этом на дне емкости образуется слизистый, плохо размешивающийся осадок. Введение Гидрогумата в концентрации 1 % при температуре 10 ± 2 ºС поддерживает выживаемость культуры *P. aureofaciens A 8-6* на уровне $4,5 \cdot 10^{9}$ кл/мл, а при 20 ± 2 ºС – на уровне $2,3 \cdot 10^{8}$ что соответствует норме. Исходя из этого, установлена оптимальная доза введения в состав биопестицида Гулливер препарата Гидрогумат (1 %), гарантирующая высокую жизнеспособность культуры *P. aureofaciens A 8-6*, и достаточную для обеспечения фитозащитных и фитостимулирующих свойств разрабатываемого препарата. При этом срок годности Гулливера увеличился до 6 месяцев.

Эксперименты по оценке способности нового комплексного биопрепарата Гулливер стимулировать рост и развитие овощных культур проводили в лабораторных условиях − в светотеплице при температуре 22 ºС и 10-и часовом фотопериоде на проростках огурца, томата, картофеля и капусты. Результаты экспериментов показаны на рис. 1, 2 и в табл. 2.

Как видно из представленных результатов, препарат Гулливер начинает оказывать стимулирующее действие на рост надземных и подземных частей растений уже на стадии проростков. Подобный эффект характерен для гуминовых препаратов [5, 6] и подтверждает необходимость стадии замачивания семян в методике применения биопрепарата Гулливер.



Гулливер Контроль Гулливер Контроль

а *б*

Рис. 1. Фитостимулирующая активность препарата Гулливер на проростках: *а* – огурца (сорт «Коралл»); *б* – томата (сорт «Превосходный 176»)

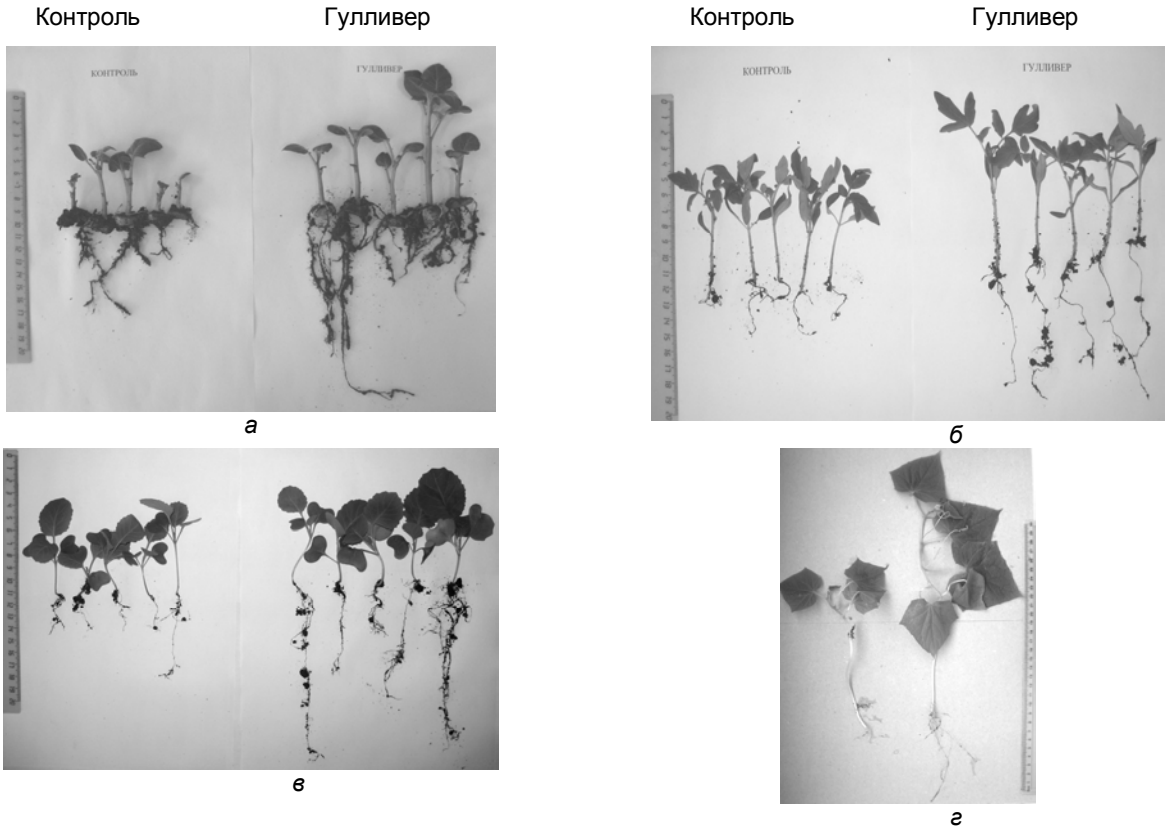


Рис. 2. Фитостимулирующая активность препарата Гулливер (30 сут выращивания): *а* – картофель (сорт «Ласунок»); *б* – томат (сорт «Превосходный 176»); *в* – капуста (сорт «Белорусская 85»); *г* – огурец (сорт «Коралл»)

Таблица 2. **Фитостимулирующая активность препарата Гулливер**

Культура	Стадия развития, сут	Удельная биомасса, %	
		стебель	корень
Капуста	10	151	153
	30	155	160
Томат	10	147	151
	30	110	150
Огурец	10	144	161
	30	159	145
Картофель	30	146	143

Необходимо отметить, что биологический эффект от использования Гулливера проявлялся уже на ранних этапах развития растений (10 сут), в отношении как надземной части растений, так и корней. Удельная биомасса корней по отношению к контролю составила 143–160 %, надземной части растений – 110–159 %. Наибольший биологический эффект препарата отмечали при обработке растений капусты. В этом случае сухая биомасса корневой системы растений возрастала в 1,6, а стебля – в 1,55 раза по сравнению с контролем.

Таким образом, в лабораторных экспериментах применение комплексного биопрепарата Гулливер позволяет увеличить сухую биомассу опытных растений по сравнению с контролем в 1,1–1,59 раза для стеблей и в 1,43–1,61 раза для корней, что подтверждает фитостимулирующий эффект препарата.

Поскольку Гулливер в первую очередь предназначен для защиты растений от заболева-

ний бактериальной и грибной этиологии, в лабораторных условиях в системе *in planta* были проведены исследования его способности подавлять развитие таких распространенных заболеваний, как альтернариоз, серая гниль, сосудистый бактериоз и фузариозное увядание. Установлена высокая биологическая эффективность нового комплексного препарата против этих заболеваний (табл. 3). Применение препарата Гулливер позволило не только снизить распространенность заболеваний (на 60–80 %), но и уменьшить степень развития болезни в среднем на 50 %.

Максимальная биологическая эффективность препарата (89 %) была отмечена в случае поражения огурцов серой гнилью. При обработке растений томатов, инфицированных *P. corrugata,* биологическая эффективность Гулливера составила 80 %, а степень развития заболевания снизилась с 69 до 5 %, т. е. на 64 %. Применение нового комплексного биопестицида позволило не только уменьшить проявления поражения растений фитопатогенами (увядание, хлоротичность, поражение листьев и стебля), но и предотвратить гибель растений.

Таблица 3. **Фитозащитная активность препарата Гулливер**

Культура	Патоген	Распространенность заболевания, %		Степень развития болезни, %		Биологическая эффективность, %
		Гулливер	контроль	Гулливер	контроль	
Капуста Июньская	*B. cinerea*	25	100	8	58	75
Огурец Парижский корнишон	*B. cinerea*	10	90	4	55	89
Томат Ляна	*B. cinerea*	25	85	11	53	71
	F. oxysporum	30	95	14	54	68
	P. corrugata	20	100	5	69	80

В дальнейшем были проведены регистрационные мелкоделяночные испытания препарата на растениях огурцах (гибрид Carteyo) и томатах (Силуэт) в ЧУП «Озерицкий-Агро» Смолевичского района Минской области в летне-осеннем культурообороте. Площадь делянок – 10 м^2; повторность – 4-кратная, расположение делянок – последовательное.

Способ применения препарата – полив под корень и опрыскивание растений при помощи ранцевого опрыскивателя «Jacto HD-300». Вегетирующие растения обрабатывали в фазу рассады, цветения и плодоношения. В ходе проведения испытаний применялась агротехника, общепринятая для возделывания огурцов и томатов в защищенном грунте в Республике Беларусь.

Агрометеорологические показатели соответствовали технологическим требованиям к защищенному грунту: температура воздуха в теплице – в пределах 20–25 ºС в дневное время и 20–22 ºС в ночное время; относительная влажность воздуха 65–70 %. В ходе проведенных исследований оценивалась способность препарата подавлять серую гниль томатов и огурцов, выращенных на минеральной вате закрытого грунта.

Учеты болезней, наблюдения за ростом и развитием растений, а также оценку биологической и хозяйственной эффективности биопрепарата проводили по общепринятым методикам [3].

Схема проведения производственных испытаний:

огурцы защищенного грунта: 1) полив рассады 2 %-ной суспензией препарата в фазу семядольных листьев и через 3 дня после пикировки, расход рабочей жидкости – 3л/м^2; 2) полив растений 2 %-ной суспензией препарата через 3–5 дней после высадки на постоянное место и через 15–20 дней, расход рабочей жидкости – 250 мл на растение; 3) опрыскивание 1 %-ной суспензией препарата при появлении первых признаков болезни с интервалом 10–15 дней, расход рабочей жидкости – 1000–2000 л/га;

томаты защищенного грунта: 1) полив рассады 2 %-ной суспензией препарата в фазу семядольных листьев и через 3 дня после пикировки, расход рабочей жидкости – 3 л/м^2; 2) опрыскивание 1 %-ной суспензией препарата при появлении первых признаков болезни с интервалом 10–15 дней, расход рабочей жидкости – 1000–2000 л/га.

В результате проведенных исследований отмечено положительное воздействие биопрепарата Гулливер (после двух поливов растений, проведенных в рассадный период) на рост и развитие как растений огурца, так и растений томата (табл. 4).

Таблица 4. **Влияние препарата Гулливер на рост и развитие растений огурца и томата (мелкоделяночный опыт)**

Вариант	Высота растений		Количество завязей/кистей на растении	
	см	% к контролю	шт.	% к контролю
Огурец, гибрид Carteyo				
Гулливер	233	16,5	13,8	33,9
Контроль (без обработки)	200	-	10,3	-
$НСР_{05}$	10,0	-	4,12	-
Томат, гибрид Силуэт				
Гулливер	169	19,0	5,8	26,1
Контроль (без обработки)	142	-	4,6	-
$НСР_{05}$	9,44	-	0,61	-

П р и м е ч а н и е. Учет проведен на 46-е сутки вегетации культуры огурца, на 53-и сутки вегетации культуры томата.

Установлено, что в опытном варианте высота томатов увеличилась относительно контроля на 19 %, огурцов – на 16,5 %. Кроме того, двукратная обработка препаратом Гулливер стимулировала увеличение количества кистей на опытных растениях томатов по отношению к контролю на 26,1 %. У огурцов количество завязей на растении по сравнению с контролем возрастало на 33,9 %, но данное значение находилось в пределах наименьшей существенной разницы.

После высадки рассады в теплицу проводился регулярный фитопатологический мониторинг. Используемая схема применения препарата и постоянное соблюдение параметров микроклимата в теплице способствовали тому, что первые симптомы серой гнили на культуре огурца были отмечены лишь на 70-е сутки выращивания, а на культуре томата – лишь на 96-е. Для ограничения развития болезни проведена двукратная обработка растений 1 %-ной суспензией препарата с интервалом в 2 недели для огурцов и с интервалом в 10 дней для томатов.

Установлено, что последовательное применение препарата Гулливер сдерживало развитие серой гнили на культуре и огурца, (табл. 5), и томата (табл. 6).

На дату последнего учета (31-е сутки после повторного опрыскивания) развитие болезни в опыте не превышало 1,8 %. В варианте с контролем степень развития болезни на дату последнего учета составляла 2,9 %. Биологическая эффективность препарата Гулливер в отношении серой гнили огурцах (учитывая депрессивное развитие болезни) на период проведения опыта составила 37,9–57,9 %.

Таблица 5. **Влияние препарата Гулливер на развитие серой гнили на огурцах (мелкоделяночный опыт, гибрид *Carteyo*)**

Вариант	Развитие болезни, %, на дату учета				Биологическая эффективность, %, на дату учета			
	19.09	28.09	14.10	21.10	19.09	28.09	14.10	21.10
Гулливер	0,3	0,8	1,3	1,8	50,0	57,9	48	37,9
Контроль (без обработки)	0,6	1,9	2,5	2,9	-	-	-	-

П р и м е ч а н и е. Высев семян произведен 27.06.11, посадка на постоянное место 15.07.11. Первая обработка проведена 07.09, вторая – 20.09.

Таблица 6. **Влияние препарата Гулливер на развитие серой гнили на растениях томата (мелкоделяночный опыт, гибрид *Силуэт*)**

Вариант	Развитие болезни, % на дату учета				Биологическая эффективность, %, на дату учета			
	29.09	14.10	21.10	1.11	29.09	14.10	21.10	1.11
Гулливер	0,7	1,2	2,5	3,2	46,2	47,9	34,2	30,4
Контроль (без обработки)	1,3	2,3	3,8	4,6	-	-	-	-

П р и м е ч а н и е. Высев семян произведен 16.06.11, посадка на постоянное место -14.07.11. Первая обработка проведена 19.09, вторая – 29.09.

Развитие серой гнили на томатах на 15-е сутки после повторного опрыскивания препаратом Гулливер достигало 1,2 %, через 33 сут – 3,2 %. Развитие болезни в контроле соответствовало 2,3 и 4,6 % . Биологическая эффективность последовательного применения препарата Гулливер на протяжении вегетационного периода роста и развития томата составила 30,4–47,9 %.

В результате анализа данных по урожайности огурцов и томатов установлено, что последовательное применение препарата Гулливер способствует увеличению урожайности плодов огурцов с 1 м^2 относительно контроля на 28,6 %, плодов томатов – на 21,1 % (табл. 7).

Таблица 7. **Влияние препарата Гулливер на урожайность огурцов и томатов (мелкоделяночный опыт)**

Вариант	Урожайность, кг/м^2	Прибавка урожая к контролю	
		кг/м^2	%
Огурец (гибрид Carteyo)			
Гулливер	5,4	1,2	28,6
Контроль (без обработки)	4,2	-	-
$НСР_{05}$	0,5	-	-
Томат (гибрид Силуэт)			
Гулливер	11,5	2,0	21,1
Контроль (без обработки)	9,5	-	-
$НСР_{05}$	0,81	-	-

Таким образом, регистрационные испытания биопрепарата Гулливер на культурах огурца и томата защищенного грунта показали эффективность его применения для стимуляции роста и развития растений, увеличения урожайности и защиты от серой гнили. Биологическая эффективность последовательного применения препарата против серой гнили огурцов составляет 37,9–57,9 %, томатов – 30,4–47,9 %.

Стимулирующее действие биопрепарата Гулливер на рост огурцов и томатов в совокупности с фитозащитными свойствами препарата способствовали повышению урожая плодов огурцов и томатов на 28,6 и 21,1 % относительно контроля соответственно.

На препарат Гулливер разработана нормативно-техническая документация, он зарегистрирован в ГУ «Главная государственная инспекция по семеноводству, карантину и защите растений» в двух разделах: «Регуляторы роста растений» и «Средства защиты растений» и разрешен к применению в хозяйствах агропромышленного комплекса и личных подсобных хозяйствах Республики Беларусь. Производство Гулливера организовано на ОАО «Бобруйский завод биотехнологий».

Литература

1. **Максимова, Н. П.** Генетические подходы к созданию штаммов-продуцентов биологически активных соединений на основе ризосферных бактерий *Pseudomonas* / Н. П. Максимова [и др.] // Молекулярная и прикладная генетика. – Минск, 2008. – Т. 8. – С. 143–151.

2. **Максимова, Н. П.** Ростостимулирующая активность комплексного препарата Гулливер / Н. П. Максимова [и др.] // Radostim 2010. Биологические препараты и регуляторы роста растений в сельском хозяйстве : материалы VI Междунар. конф., Краснодар, 24–25 ноября, 2010. – Краснодар, 2011. – С. 99–100.

3. **Методические** указания по проведению регистрационных испытаний биопрепаратов для защиты растений от вредителей и болезней / Л. И. Прищепа, Н. И. Микульская, Д. В. Войтка (РУП «Ин-т защиты растений»). – Несвиж, 2008.

4. **Наумова, Г. В.** Проявление цитокининовой активности регуляторами роста из торфа и сапропеля / Г. В. Наумова [и др.] // Сельское хозяйство: проблемы и перспективы : сб. трудов. – Гродно, 2003. – Т. 1, ч. 1. – С. 329–331.

5. **Наумова, Г. В.** Снижение токсического действия ионов меди (II) и ртути (II) на прорастание семян ячменя в присутствии гуминовых кислот / Г. В. Наумова [и др.] // Природопользование. – Минск, 2001. – Вып. 7. – С.129–133.

6. **Наумова, Г. В.** Биологически активные гуминовые препараты и различные аспекты их физиологического действия / Г. В. Наумова [и др.] // Природопользование. – Минск, 1996. Вып. 1. – С. 99–103.

7. **Наумова, Г. В.** Активизация продуционных процессов растений на искусственной ионитной почве / Г. В. Наумова [и др.] // Весці АН БССР. Сер. біял. навук. – 1986. – № 4. – С. 45–50.

8. **Томсон, А. Э.** Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. – Минск, 2009.

9. **Феклистова, И. Н.** Бактерии *Pseudomonas aurantiaca* В-162 как основа биопрепарата для защиты растений / И. Н. Феклистова, Н. П. Максимова // Земляробства і ахова раслін. – 2005. – № 5. – С. 22–25.

10. **Чайка, М. Т.** Физиологические основы действия препаратов гуминовой природы на формирование фотосинтетического аппарата и рост растений ярового ячменя / М. Т. Чайка [и др.] // Весці АН Беларусі. Сер. біял. навук. – 1993. – № 4. – С. 15–19.

Институт природопользования НАН Беларуси,
Белорусский государственный университет

Поступила в редакцию 31.03.2015 г.

И. И. Лиштван, Н. П. Максимова, И. Н. Феклистова, Г. В. Наумова, Д. В. Маслак, Л. Е. Садовская, Т. Л. Скакун, Н. А. Жмакова, Н. Л. Макарова, Т. Ф. Овчинникова

НОВЫЙ КОМПЛЕКСНЫЙ БИОПРЕПАРАТ ГУЛЛИВЕР БАКТЕРИЦИДНОГО И РОСТСТИМУЛИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ ШТАММА БАКТЕРИЙ Pseudomonas Sp. И ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ

В современном сельскохозяйственном производстве для стимуляции роста и развития растений и их защиты от грибных и бактериальных болезней находят все большее применение микробиологические препараты. Существенным недостатком этих препаратов является малый срок хранения, так как они представлены живыми клетками бактерий. Добавление в биопрепараты гуминовых веществ позволяет повысить срок их хранения, одновременно усиливая ростстимулирующие свойства комплексного продукта.

В рамках государственной программы «Торф» разработан новый комплексный биопрепарат Гулливер, предназначенный для защиты растений от болезней и стимуляции их роста и развития. В качестве основы препарата использован штамм P. aureofaciens A 8-6, обладающий высокой антибактериальной и антифунгальной активностью, а в качестве гуминового препарата – регулятор роста растений из торфа Гидрогумат. Установлена оптимальная доза введения в состав Гулливера препарата Гидрогумат (1–5 %), которая сохраняет его ростстимулирующие и защитные свойства и повышает жизнеспособность бактерий.

Регистрационные испытания Гулливера на культурах огурца и томата защищенного грунта показали высокую эффективность его применения для стимуляции роста, увеличения урожайности и защиты растений от серой гнили. Биологическая эффективность последовательного применения препарата против серой гнили огурцов составила 37,9–57,9 %, томатов – 30,4–47,9 %. Стимулирующее действие биопрепарата Гулливер на рост растений огурцов и томатов в совокупности с фитозащитными свойствами способствовали повышению урожая плодов огурца на 28,6 %, томатов на 21,1 % относительно контроля.

I. I. Lishtvan, N. P. Maksimova, I. N. Feklistova, G. V. Naumova, D. V. Maslak, L. E. Sadovskaja, T. L. Skakun, N. A. Zhmakova, N. L. Makarova, T. F. Ovchinnikova

NEW COMPLEX BIOPREPARAT GULLIVER OF BACTERIAL AND GROWTH-STIMULATING ACTION ON THE BASIS OF BACTERIAL Pseudomonas Sp. HUMIC SUBSTANCES

Microbiological preparations are highly used in modern agriculture to stimulate growth and development of plants and protect them from fungal and bacterial diseases. A significant drawback of these drugs is low shelf life, as they are represented by living bacterial cells. The addition of humic substances to biopreparations can increase their shelf life, while enhancing growth-stimulating properties of a complex product.

Under the state program «Peat» new complex biological product Gulliver has been developed, which is intended to protect plants from disease and to stimulate their growth and development. The strain P. aureofaciens A 8-6 which has high antibacterial and antifungal activity is used as a base as well as humic preparation – the plant growth regulator of peat Hydrohumat. The optimal dose of administration of the drug Gulliver of Hydrohumat (1–5 %), which stores its growth-stimulating and protective properties and improves the viability of the bacteria.

Registration tests of Gulliver on cultures of cucumber and tomato protected ground have shown high efficiency of its use for stimulation of growth, increasing yields and protection of plants against botrytis. The biological effectiveness of sequential use of the drug against gray mold of cucumber was 37,9–57,9 %, /tomatoes – 30,4–47,9 %. The stimulating effect of a biological preparation Gulliver on plant growth of /cucumbers and tomatoes together with phyto protective properties helped to improve fruit yield of cucumber by 28.6 %, tomatoes by 21,1 % compared to control.

УДК 662.7+631.41

Н. Н. Бамбалов, Д. С. Бачура-Тюликова

ИЗМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ РАСТВОРОВ ГУМАТОВ НАТРИЯ ВО ВРЕМЕНИ

Исследована динамика изменения поверхностного натяжения растворов гуминовых кислот, полученных из низинного тростниково-осокового торфа, при их различной концентрации во времени. Установлено, что растворение гуминовых кислот в 1 %-ной NaOH при комнатной температуре осуществляется поэтапно в течение 5 ч, при этом в щелочных растворах происходит разрушение части мостиковых связей между отдельными структурными ячейками (звеньями) макромолекул гуминовых кислот, но сами ячейки сохраняют свою структуру.

Гуминовые кислоты (ГК) и их соли широко применяются в сельском хозяйстве, промышленных технологиях, медицине и бальнеологии. Наличие у ГК поверхностно-активных свойств обнаружено еще в прошлом столетии и объясняется особенностями строения их молекул, прежде всего наличием в них гидрофильных и гидрофобных фрагментов. Гидрофильными свойствами обладают полярные группы атомов: –COOH, –OH, $–NH_2$, –CHO и др., гидрофобными – алифатические углеводородные цепи и ароматические фрагменты, в том числе конденсированные. Такое сочетание фрагментов обусловливает дифильность отдельных ячеек (звеньев) либо молекул ГК в целом. Благодаря гибкости макромолекул ГК в водных растворах одновалентных оснований в поверхностном слое на границе жидкость–воздух они располагаются гидрофильными фрагментами в сторону раствора, гидрофобными – в сторону воздуха, поскольку такое расположение дифильных молекул в поверхностном слое раствора энергетически наиболее выгодно и типично для всех поверхностно-активных веществ (ПАВ) [5, 15]. С поверхностно-активными свойствами ГК связывают уменьшение скорости роста бактерий и улучшение свойств шлихтующих крахмальных составов в присутствии водорастворимых ГК [4, 17]. Присутствующие в почвенных растворах ГК снижают поверхностное натяжение воды, поэтому она может заходить в мелкие поры почвы, что имеет принципиальное значение для зон поливного земледелия, так как вода, удерживаемая в мелких порах почвы, испаряется медленнее воды, находящейся в более крупных порах [20, 21]. Не менее важно снижение поверхностного натяжения водных растворов биологически активных гуминовых препаратов для их лучшего проникновения в растения при некорневой обработке. Снижение поверхностного натяжения геотехнологических растворов для подземного и кучного выщелачивания металлов с использованием добавок гуминовых веществ существенно повышает эффективность извлечения [14].

В работе [17] исследованы поверхностно-активные свойства ГК, полученных из окисленных углей Шубаркольского месторождения, и в качестве характеристики поверхностной активности изучаемых веществ авторы использовали значение предложенной Ребиндером функции $G = d\sigma/dC$ при $C \rightarrow 0$. Величина G для ГК составила 1,62 мДж·м·моль$^{-1}$, что позволяет говорить о невысокой поверхностной активности изучаемых веществ.

При комплексной оценке структуры и коллоидно-химических свойств лигногуминовых кислот (ЛГК), полученных на основе гидролизного лигнина в процессе его термохимической модификации, было установлено, что водные растворы натриевых солей ЛГК имеют более низкое по сравнению с натриевыми солями ГК поверхностное натяжение, что авторы объясняют преобладанием в молекулярной структуре лигногуминовых кислот неполярных фрагментов [10].

ГК относятся к слабым природным полиэлектролитам и проявляют свойства анионных ПАВ. Благодаря наличию активных кислых групп (–COOH и –OH) в макромолекулах ГК способны связывать катионные ПАВ с образованием комплексов [3, 8, 12, 17, 19]. Основной идеей этих работ является то, что при создании полимерных матриц для иммобилизации ферментов на основе природных полиэлектролитов и комплексов с их участием могут быть использованы ГК, функциональный состав которых открывает широкие перспективы для их модификации.

Несмотря на успешное развитие исследований поверхностно-активных свойств ГК, остается много нерешенных проблем в этом направлении. Одним из неясных вопросов при изучении поверхностно-активных свойств ГК является скорость установления равновесия их растворов во времени. В научной литературе этому вопросу не уделяется внимания, поэтому во всех цитиро-

ванных здесь публикациях не указано время, прошедшее от начала растворения ГК в водных щелочах до начала измерения поверхностного натяжения.

Целью нашей работы является определение времени установления равновесия между молекулами и мицеллами в растворах ГК различных концентраций.

Исследовали ГК низинного тростниково-осокового торфа со степенью разложения R = 35 %, зольностью A = 18,37 %, влажностью W = 12,69 % из месторождения Ореховский Мох. Перед экстракцией ГК фрезерный торф высушивали в лаборатории до воздушно-сухого состояния, измельчали и просеивали через сито с размером ячеек 1 мм. ГК извлекали 0,1 н. раствором NaOH при 18–20 °С и модуле 1:50. Щелочной экстракт гуминовых веществ отделяли от остатка торфа фильтрованием, ГК осаждали подкислением 10 %-ным раствором соляной кислоты до pH 1–2. Осадок ГК отделяли от кислого раствора центрифугированием, вымораживали при –4°С в течение суток, отмывали от ионов хлора, высушивали при 50–60°С, растирали и выдерживали в эксикаторе над хлористым кальцием. В полученных препаратах ГК содержание карбоксильных групп составило 3,24 мг-экв/г, фенольных гидроксилов 0,3 мг-экв/г.

Поверхностное натяжение измеряли сталагмометрическим методом, который основан на том, что вес капли, отрывающейся под действием силы тяжести от кончика сталагмометра, будет тем больше, чем больше поверхностное натяжение жидкости на границе с воздухом [16, 18]. В качестве стандартной жидкости была выбрана вода, в качестве эталона сравнения – 1 %-ный раствор NaOH. Оптическую плотность растворов ГК измеряли на фотоколориметре КФК-2МП при длине волны 440 нм и толщине кюветы 5,075 мм.

Для исследования приготовили растворы ГК в 1 %-ной NaOH с концентрацией 0,05, 0,3 и 0,5 %. Измерения поверхностного натяжения проводили сразу после приготовления, через 1, 3, 5 и 24 ч. По данным измерений получены изотермы зависимости величины поверхностного натяжения растворов от концентрации и продолжительности нахождения ГК в водном растворе щелочи при 20 °С (рис. 1).

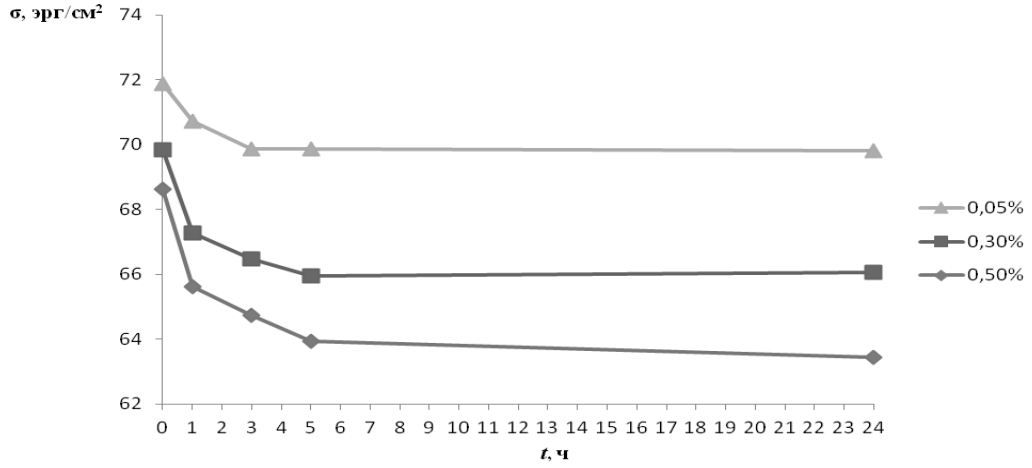


Рис. 1. Изотермы изменения поверхностного натяжения σ растворов ГК разной концентрации во времени *t*

При интерпретации результатов мы исходили из доказанного факта, что в разбавленных растворах гуматы одновалентных катионов (натрия, калия, аммония) образуют истинные растворы, а в концентрированных – коллоидные с граничной концентрацией перехода около 3–4 % [2, 6, 10, 11]. Поскольку мы исследовали свойства растворов гуматов натрия с концентрациями не более 0,5 %, то при растворении твердых ГК в гидроксиде натрия происходило образование истинных растворов. Однако растворение сухих препаратов ГК в щелочах происходит не мгновенно, а требует определенной продолжительности времени для разрушения микроагрегатов. В связи с этим на начальных этапах растворения наряду с образованием молекул гуматов натрия в растворе находятся и микроагрегаты ГК. Солевые формы ГК концентрируются на границе жидкость–воздух, поэтому происходит снижение поверхностного натяжения растворов. Как видно из рис. 1, на осуществление этих процессов требуется не менее 5 ч, после чего величина поверхностного натяжения практически не зависит от продолжительности нахождения ГК в растворе щелочи. Перегиб на кривой означает завершение перехода ГК из мицелл в фазу молекулярного раствора и завершение построения частокола Ленгмюра. Снижение величины по-

верхностного натяжения исследуемых растворов с увеличением концентрации гуматов от 0,05 до 0,50 % объясняется созданием условий для участия большего количества поверхностно-активных молекул гуматов в формировании частокола Ленгмюра, т. е. чем больше концентрация гуматов в растворе, тем больше их молекул концентрируется на границе раствор–воздух.

Существенная продолжительность формирования молекулярного раствора гуматов натрия означает, что изучать такие свойства ГК, как их молекулярно-массовое распределение, оптическая плотность, вязкость и др., наиболее правильно только по истечении 5 ч от начала взаимодействия ГК с раствором щелочи при 18–22 °С. Если осуществлять измерение раньше 5 ч, то результаты будут искажаться одновременным присутствием ГК в виде микроагрегатов и макромолекул (ионов) гуматов натрия.

Дальнейшее исследование проводилось для концентрации ГК 0,30 %. Измеряли поверхностное натяжение сразу после приготовления и далее через каждый час в течение 5 ч, а также через 24 ч. График зависимости поверхностного натяжения от времени представлен на рис. 2. Параллельно с определением поверхностного натяжения измеряли оптическую плотность. Раствор перед измерением разбавляли в 10 раз. По полученным значениям была построена зависимость изменения оптической плотности во времени, представленная на рис. 3.

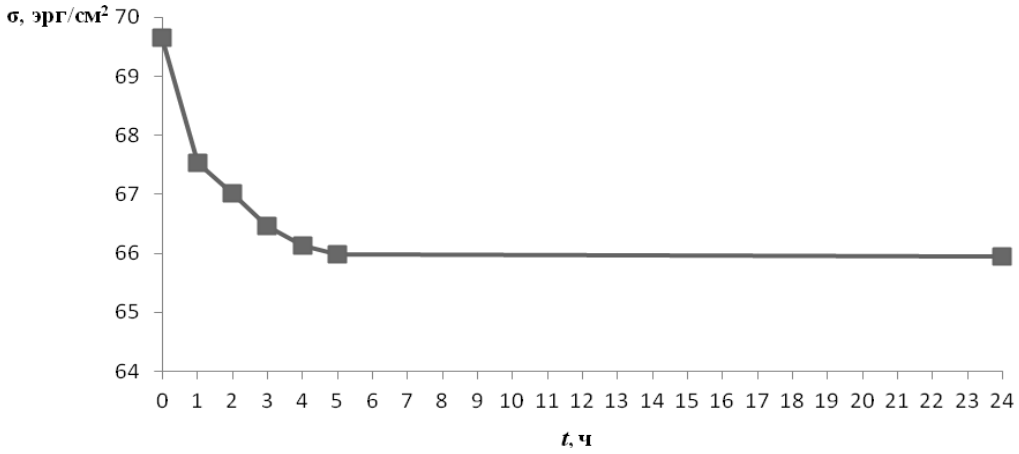


Рис. 2. Зависимость поверхностного натяжения ГК *σ* при концентрации 0,30 % от времени *t*

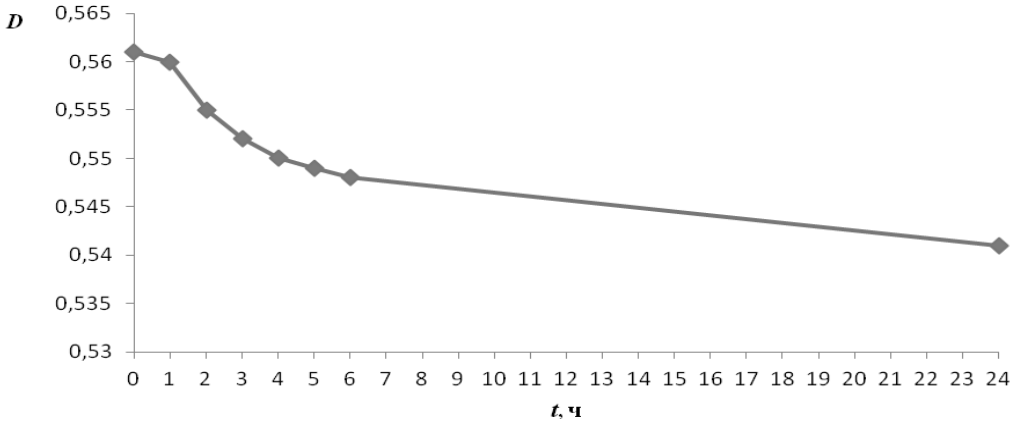


Рис. 3. Изменение оптической плотности *D* 0,03 %-ного раствора ГК во времени *t*

Уменьшение величины оптической плотности при хранении щелочных растворов ГК разного генезиса наблюдали многие исследователи. При хранении щелочных ГК в темноте без доступа воздуха в течении 12 месяцев наблюдалось снижение величины оптической плотности, за счет медленного протекания реакции щелочного гидролиза [1, 7]. Доказано, что поглощение света в видимой области растворами гуматов объясняется как поглощением системы сопряженных связей структурных ячеек, так и увеличением размеров систем полисопряжения за счет соединения

структурных ячеек мостиковыми связями, обеспечивающими полисопряжение. У растворов гуматов в щелочной среде при комнатной температуре оптическая плотность начинает снижаться через 1–3 сут, при этом сначала разрушаются мостики, а при длительном хранении таких растворов (месяцы) разрушаются структурные ячейки [9, 13].

В эксперименте, результаты которого показаны на рис. 3, ГК извлекали из раствора 0,1 н. NaOH, а их растворы для измерения поверхностного натяжения и оптической плотности приготовили в 1 %-ном NaOH, т. е. в 2,5 раза больше, поэтому в более концентрированной щелочи происходила гидролитическая деструкция макромолекул с уменьшением размеров систем полисопряжения.

Данные рис. 1 и 2 показывают, что после 6 ч от начала растворения снижение величины поверхностного натяжения прекратилось, а снижение величины оптической плотности медленно происходило в течение всего времени эксперимента. Несмотря на уменьшение размеров систем полисопряжения ГК в период от 5 до 24 ч величина поверхностного натяжения не изменялась. Это означает, что макромолекулы ГК сохранили особенности своей структуры, обусловливающие их свойства как ПАВ. Если бы они были разрушены, то был бы нарушен баланс между гидрофильными и гидрофобными фрагментами, что неизбежно отразилось бы на величине поверхностного натяжения. Таким образом, при нахождении гуматов натрия в щелочной среде без нагревания в макромолекулах ГК разрушаются только мостики, связывающие отдельные ячейки, а сами ячейки сохраняют свою структуру. В отличие от опубликованных результатов [9, 13] в нашем эксперименте обнаружено снижение величины оптической плотности растворов гуматов не через много часов, а сразу после начала растворения ГК торфа в щелочи. Возможно, это является особенностью ГК торфа в отличие от ГК почв.

Выводы. С учетом полученных нами и литературных данных можно утверждать, что растворение ГК торфа в водном растворе гидроксида осуществляется поэтапно, по схеме: микроагрегаты с поверхностью раздела фаз → ассоциаты молекул (без поверхности раздела фаз) → отдельные молекулы (ионы). Для осуществления этих процессов необходимо 5 ч, если концентрация ГК не превышает 0,5 %, а растворение осуществляется при комнатной температуре.

В щелочных растворах при комнатной температуре с начала растворения ГК начинается разрушение части мостиковых связей между отдельными структурными ячейками (звеньями) макромолекул ГК торфа, но сами ячейки сохраняют свою структуру.

Указанные особенности образования истинных (молекулярных) растворов гуматов натрия следует учитывать при определении ММР, оптической плотности, вязкости, порогов коагуляции и других свойств в разбавленных растворах гуматов. Указанные измерения следует выполнять не ранее 5 ч от начала растворения ГК.

Литература

1. **Бамбалов, Н. Н.** Зависимость оптической плотности растворов гуминовых веществ торфа от концентрации гидроксида натрия и температуры / Н. Н. Бамбалов, В. В. Смирнова, А. С. Решетник // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. навук. – 2011. – № 2. – С. 111–115.

2. **Березин, А. А.** Структура торфа-сырца и ее изменения в процессе механической переработки / А. А. Березин, И. Д. Беловидов // Тр. Моск. Торфяного ин-та. – 1958. – Вып. 8. – С. 167–208.

3. **Боголицын, К. Г.** Поверхностно-активные свойства интерполимерных комплексов на основе гуминовых кислот / К. Г. Боголицын [и др.] // Физико-химия растительных полимеров, материалы V Междунар. конф. – 2011. – С. 150–154.

4. **Вашурина, И. Ю.** Оценка возможности применения гуминовых кислот для повышения эффективности шлихтования хлопчатобумажной ткани / И. Ю. Вашурина, И. Е. Шарова, Ю. А. Калинников // Текстильная химия. – 2000. – № 1.

5. **Воюцкий, С. С.** Курс коллоидной химии / С. С. Воюцкий. – М., 1975.

6. **Драгунов, С. С.** Извлечение торфяных гуминовых кислот аминами жирного ряда / А. П. Рождественский / С. С. Драгунов // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. – Т. 3. – С. 206–211.

7. **Жданок, С. Л.** Влияние pH на устойчивость окраски растворов гуминовых кислот / С. Л. Жданок, Н. Н. Бамбалов // Вести НАН Беларуси. Сер. хим. наук. – 2005. – № 1. – С. 90–92.

8. **Ковтун, А. И.** Влияние pH среды на реологические характеристики смесей цетилтриметиламмоний бромида и гумата натрия / А. И. Ковтун, С. Л. Хилько, В. И. Рыбаченко // Наносистемы. – 2011. – Т. 9. – № 1. – С. 219–225.

9. **Кононова, М. М.** Органическое вещество почв / М. М. Кононова. – М., 1963.

10. **Лиштван, И. И.** Лигногуминовые кислоты: получение и свойства / И. И. Лиштван, Ф. Н. Капуцкий, А. М. Абрамец // Вестник БГУ. – 2012. – № 2. – С. 3–7.

11. **Лиштван, И. И.** Физико-химическая механика гуминовых веществ / И. И. Лиштван, Н. Н. Круглицкий, В. Ю. Третинник. – Минск, 1976.

12. **Мальцева, Е. В.** Особенности адсорбционного взаимодействия гуминовых кислот с биоцидами / Е. В. Мальцева, А. А. Иванов, Н. В. Юдина // Журн. физ. химии. – 2009. – Т. 83. – № 11. – С. 2175–2179.
13. **Орлов, Д. С.** Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д. С. Орлов. – М., 1990.
14. **Пантелеев, В. М.** Пути решения проблем добычи урана и геоэкологического неблагополучия регионов / В. М. Пантелеев. – М., 2008.
15. **Пасынский, А. Г.** Коллоидная химия / А. Г. Пасынский. – М., 1963.
16. **Рубина, Х. М.** Практикум по физической и коллоидной химии / Х. М. Рубина, М. А. Добринская, Л. А. Романчук. – М., 1972.
17. **Рябова, И. Н.** Поверхностно-активные свойства гуминовых и сульфохлоргуминовых кислот / И. Н. Рябова, Г. А. Мустафина, З. Г. Аккулова // Коллоид. журн. – 2009. – Т. 71. – № 5. – С. 716–718.
18. **Фролов, Ю. Г.** Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии / Ю. Г. Фролов, А. С. Гродский. – М., 1986. – С. 216.
19. **Хилько, С. Л.** Адсорбционные характеристики смесей цетилтриметиламмоний бромида и солей гуминовых кислот на границе раздела жидкость – газ / С. Л. Хилько [и др.] // Химия. – 2010. – № 1. – С. 34–40.
20. **Mikhail, M. I.** Effect of some organic ameliorants on some soil properties and plant growth // Egypt. – 1997. – P. 609–620.
21. **Sokolov, G.** Influence of different organic materials on physical properties of desert and cultivated soils / G. Sokolov, I. Michael, N. Bambalov // Int. Agrophysics. – 2005. – 19. – P. 337–343.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 28.04.2015 г.

Н. Н. Бамбалов, Д. С. Бачура-Тюликова

ИЗМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ РАСТВОРОВ ГУМАТОВ НАТРИЯ ВО ВРЕМЕНИ

На основании изучения динамики величины поверхностного натяжения растворов гуминовых кислот (ГК) торфа в 1 %-ном NaOH показано, что образование истинных (молекулярных) растворов гуматов натрия из сухих препаратов происходит поэтапно, по схеме: микроагрегаты (мицеллы) с поверхностью раздела фаз → ассоциаты молекул (без поверхности раздела фаз) → отдельные молекулы (ионы). Для осуществления этих процессов необходимо 5 часов, если концентрация гуматов не превышает 0,5 %, а растворение осуществляется при комнатной температуре. В этих условиях с начала растворения происходит разрушение части мостиковых связей между отдельными структурными ячейками (звеньями) макромолекул ГК, но сами ячейки сохраняют свою структуру. Указанные особенности образования истинных растворов гуматов натрия следует учитывать при определении молекулярно-массового распределения, оптической плотности, вязкости, порогов коагуляции и других свойств, поэтому указанные измерения следует выполнять не ранее 5 часов от начала растворения ГК.

N. N. Bambalov, D. S. Bachura-Tyulikova

CHANGES IN THE SURFACE TENSION OF THE SOLUTION OF SODIUM HUMATE IN TIME

Based on the study of the dynamics of the surface tension of solutions of humic acids (HA) of peat in a 1 % NaOH it is shown that the formation of true (molecular) solutions of sodium humate from dry preparations occurs in stages, according to the scheme: microaggregates (micelles) → associates of molecules → individual molecules (ions). These processes need 5 hours if humate concentration does not exceed 0.5 %, and the dissolution is carried out at room temperature. Under these conditions, there is a destruction of the bridge bonds between the individual structural cells (units) of HA macromolecules, but the cells themselves keep their structure. It is need to consider these properties of the formation of true solutions of sodium humates when determining the molecular weight distribution, optical density, viscosity, coagulation threshold and other properties, so the measurement should be performed no earlier than 5 hours from the beginning of the dissolution of the HA.

УДК 662.7 +631.41

Н. Н. Бамбалов, М. С. Милевич

ВЛИЯНИЕ ТОРФЯНЫХ СТРУКТУРООБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА АГРЕГАТНЫЙ СОСТАВ ПОЧВ

Представлены результаты испытаний торфяных гуминовых структурообразователей почв. При пропитывании структурообразователем почвы и ее последующем подсушивании до воздушно-сухого состояния происходит склеивание частиц почвы размерами менее 0,25 мм в более крупные агрегаты (до 10 мм и более). При многократной обработке почвы гуминовым структурообразователем образуются агрегаты крупнее 10 мм. Гуминовый структурообразователь перспективен для применения на эродированных суглинистых и рыхлых песчаных почвах.

Благоприятные водно-физические свойства почв являются важнейшим фактором их плодородия. Продуктивность почвы, бедной питательными веществами, но с благоприятными для растений условиями аэрации и водного режима бывает иногда выше продуктивности почвы, богатой питательными веществами, но с неудовлетворительными водно-физическими свойствами.

По данным государственного земельного кадастра Республики Беларусь, по состоянию на 1 января 2014 г. эродированные почвы занимают в республике около 556,5 га, из них пахотные – 479,5 га [5, 10, 18]. Проблема эрозии почв актуальна для Беларуси, так как особенности рельефа, геоморфологии, характер почвообразующих пород и интенсивная антропогенная нагрузка на почвенный покров обусловили значительное ее развитие. Одна из важнейших причин низкого плодородия эродированных почв, их слабой противоэрозионной устойчивости и снижения эффективности применения минеральных и органических удобрений – ухудшение водно-физических свойств из-за утраты агрономически ценной структуры в результате смыва. Поэтому особую актуальность для эродированных почв в последнее время приобретает применение структурообразователей, формирующих мелкокомковатую структуру, в результате чего повышается водопроницаемость и водоудерживающая способность почв и их аэрация, что в целом создает оптимальные условия для роста и развития растений.

Не менее актуальна проблема предотвращения передвижения песков ветром в аридной и семи-аридной зонах, наносящая большой ущерб сельскому хозяйству, дорожному строительству и обслуживанию дорог. Предотвратить перемещение песков ветром можно путем создания мелкокомковатой структуры поверхностного слоя таких почв.

Проблемы улучшения физических свойств суглинистых и песчаных почв могут быть решены путем применения недорогих структурообразователей на основе натурального сырья, в частности, на основе гуминовых веществ, которые могут взаимодействовать с глинистыми минералами и другими тонкодисперсными частицами. Во всяком песке имеется от 2 до 5 % глинистых частиц, и этого количества достаточно для оструктурирования поверхностного слоя (до 10 см) песчаных почв с помощью гуминовых структурообразователей. Наиболее перспективны структурообразователи на основе гуминовых веществ (ГВ) торфа. Кроме структурообразующего эффекта они являются эколого-безопасными продуктами [4, 19].

Структурообразующие свойства ГВ определяются строением и формой их молекул, функциональными группами, а сам процесс взаимодействия ГВ с почвенными частицами включает явления адсорбции, коагуляции и образования водопрочных агрегатов [1, 2, 8, 9].

Цель данной работы – оценка действия жидких структурообразователей почв, полученных на основе торфа, на агрегатный состав суглинистой и песчаной почв.

Структурообразователи получали путем специальной обработки торфа низинного типа. Два лабораторных образца структурообразователей, обозначенные в дальнейшем как № 1 и 2, отличались методами получения гуминовых препаратов из торфа, их концентрацией и количеством механических примесей торфяных частиц. Для изучения их агрегирующего действия брали одинаковые навески суглинистой и песчаной почв, предвари-

тельно просеянные через сито 2 мм, помещали в кристаллизаторы и опрыскивали раствором структурообразователя до полного смачивания почвы. Далее обработанные структурообразователем образцы почвы доводили до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре. Такую обработку проводили пять раз в случае внесения структурообразователя № 1 и два раза – структурообразователя № 2. Суммарные количества растворов структурообразователей составляли для суглинистой почвы 20 %, для песчаной – 12 % от массы почвы. Причина такой разницы в количестве обработок связана с различиями в структурообразующей способности данных структурообразователей. После каждой обработки определяли изменение агрегатного состава почвенных образцов методом Н. И. Саввинова [6]. Для этого обработанный образец просеивали через сита с диаметром ячеек 10; 5; 3; 2; 1; 0,5 и 0,25 мм. Затем агрегаты, оставшиеся на каждом сите, взвешивали на весах для определения их массы. Далее вычисляли массовое содержание воздушно-сухих агрегатов в обработанном образце. Результаты исследований для структурообразователя № 1 представлены в табл. 1.

Таблица 1. **Содержание, воздушно-сухих агрегатов почв после обработки структурообразователем № 1 мас., %**

Количество обработок	Размер воздушно-сухих агрегатов, мм							
	> 10	10–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	< 0,25
Суглинистая почва								
Исходный образец	0	0	0	0	19,9	53,2	20,8	6,1
1	0	0	0,7	1,3	19,8	46,8	21,6	9,8
2	0	0	3,7	6,8	26,1	44,6	13,7	5,0
3	0	3,6	6,9	12,1	29,1	30,2	11,1	6,9
4	0,6	9,5	11,5	12,2	29,8	24,5	8,2	3,8
5	6,3	14,5	18,4	13,2	21,4	14,2	9,0	3,0
Песчаная почва								
Исходный образец	0	0	0	0	2,3	29,3	41,5	26,9
1	0	0	0,2	0,4	5,3	42,2	34,8	17,1
2	0	0	0	0,5	5,2	43,6	34,7	16,0
3	0	0,3	0,6	1,2	2,7	29,1	42,7	23,3
4	0	1,9	2,5	1,6	8,6	36,8	34,4	14,2
5	0	2,3	2,6	1,9	9,4	34,9	34,8	14,0

Из табл. 1 видно, что применение структурообразователя № 1 для исследованных образцов почв способствует укрупнению почвенных агрегатов. Наиболее существенные изменения наблюдались в случае образца суглинистой почвы. Так, уже после первой обработки структурообразователем № 1 произошло уменьшение количества фракции 1–0,5 мм с 53,2 до 46,8 %, а также сформировались более крупные фракции, в том числе с размерами от 2 до 5 мм, которых в исходной почве не было. После второй – четвертой обработок образцов суглинистой почвы структурообразователем наблюдалось значительное уменьшение содержания фракций до 1 мм на 20 %, при этом доля фракций размерами 1–10 мм возрастала от 36,3 до 63,6 %, т.е. в результате действия структурообразователя в почве увеличилась доля агрономически ценных агрегатов. Описанные изменения связаны с способностью структурообразователя агрегировать мелкие частицы в более крупные. После пятой обработки уменьшение содержания агрегатов размерами менее 1 мм продолжилось, однако доля агрономически менее ценных фракций размерами более 10 мм увеличилась почти в 10 раз, что свидетельствует о нецелесообразности обработок более 4 раз. Аналогичная тенденция наблюдалась при обработке данным структурообразователем образца песчаной почвы. Содержание фракций менее 0,25 мм после 5-кратной обработки снизилось почти в 2 раза, а содержание фракций размерами от 1 до 10 мм увеличилось в 7 раз по сравнению с исходным образцом. При этом не наблюдалось образования частиц размерами более 10 мм, что связано с особенностями агрофизических свойств песчаной почвы. Описанные изменения представлены на рис. 1 и 2.

Образование мелкокомковатой структуры под воздействием торфяного гуминового структурообразователя происходит благодаря его взаимодействию с глинистыми и песчаными частицами почв и может быть объяснено с позиций фундаментальных работ в области коллоидной химии почв. Коллоидно-химические процессы взаимодействия гуминовых веществ с высокодисперсными глинистыми минералами и солями имеют принципиальное значение для формирования агрономически ценной структуры почв, о чем свидетельствуют капитальные труды основоположника учения о почвенных коллоидах К. К. Гедройца [3]. Экспериментально доказано образование в почве гуминовых органоминеральных веществ, покрывающих пленками обломки минералов [11–14, 16, 17]. При этом минеральные частицы размерами менее 0,01 мм, покрытые органоминеральными пленками, обладающие свойствами коллоидных частиц, были названы первичными частицами [12]. Последующее агрегирование первичных частиц обусловливает формирование благоприятной для сельскохозяйственных растений мелкокомковатой структуры почв.

а *б*

Рис. 1. Структура суглинистой почвы до (*а*) и после (*б*) пяти обработок структурообразователем № 1

а *б*

Рис. 2. Структура песчаной почвы до (*а*) и после (*б*) пяти обработок структурообразователем № 1

Установлено, что процессы формирования почвенных агрегатов, структуры и других агрофизических свойств почв, их водно-воздушного режима, а также способности посевов противостоять засухам и заморозкам во многом зависят от коллоидно-химических процессов в почвах [3, 7, 12–14,

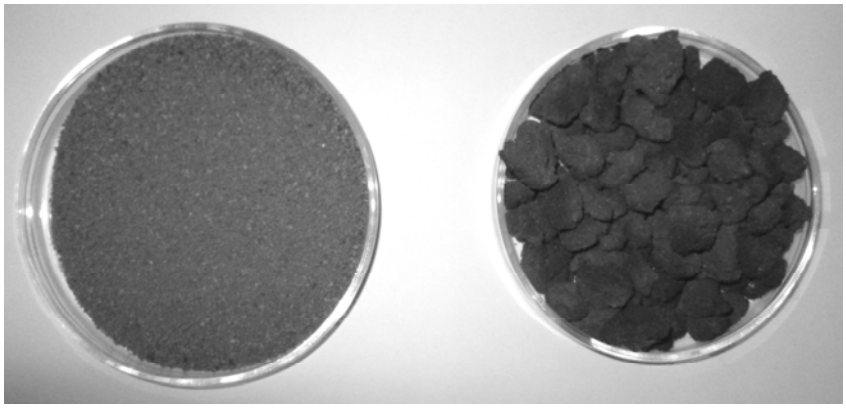
16, 17]. В частности, растворы гуминовых веществ обволакивают частицы почвенных минералов и при взаимодействии с многовалентными катионами выпадают в осадок, а образовавшиеся пленки гуматов (в основном кальция) при высыхании цементируют контактирующие частицы в более крупные агрегаты. Оптимизация коллоидно-химических свойств почв является важным инструментом управления их структурой, водными, тепловыми и другими свойствами, при этом особая роль принадлежит оптимизации содержания и состава гуминовых веществ в почве, так как при их недостатке агрономически ценная структура почвы не образуется даже при наличии в ней необходимого количества минеральных коллоидных частиц. Для регулирования этих процессов применяют гуминовые удобрения на основе торфа, бурого угля и сапропеля, причем лучшие результаты получаются, если их предварительно активизируют, переводя часть гуминовых веществ в водорастворимые формы [11, 15]. Как показали наши исследования, более ощутимых результатов можно достичь применением специально приготовленных на основе торфа гуминовых структурообразователей.

В табл. 2 представлены результаты изменения агрегатного состава образца суглинистой почвы после обработки структурообразователем № 2.

Таблица 2. **Содержание воздушно-сухих агрегатов суглинистой почвы после обработки структурообразователем № 2 мас., %**

Количество обработок	Размер воздушно-сухих агрегатов, мм							
	> 10	10–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	< 0,25
Исходный образец	0	0	0	0	19,9	52,8	20,6	6,6
1	26,2	31,5	9,5	6,6	9,7	9,6	4,6	2,4
2	67,8	19,0	2,9	1,5	2,6	3,2	1,7	1,1

Однократная обработка структурообразователем № 2 образца суглинистой почвы привела к уменьшению содержания структурных агрегатов размером менее 1 мм почти в 5 раз по сравнению с исходным образцом, при этом образовались агрегаты размерами более 10 мм (26,2 %). Двукратная обработка данным структурообразователем сопровождалась укрупнением агрономически ценных агрегатов размерами от 1 до 10 мм в менее ценные агрегаты с размерами более 10 мм (до 67,8 %). Поскольку агрегаты размерами более 10 мм способствуют ухудшению водно-физических свойств, то третья обработка почвы этим структурообразователем не проводилась. Чтобы избежать столь интенсивного агрегирования почвенных частиц структурообразователем № 2, необходимо уменьшить его концентрацию. Результаты действия струртурообразователя № 2 на почву представлены на рис. 3.



а ***б***

Рис. 3. Структура суглинистой почвы до (*а*) и после (*б*) обработки структурообразователем № 2

Таким образом, на основе торфа получены два перспективных структурообразователя, обеспечивающие улучшение структуры почв разного гранулометрического состава, в том числе песчаных, наиболее трудно поддающихся структурированию. Из двух разных структурообразователей, полученных в нашем исследовании, более сильным и более перспективным является структурообразователь № 2, но для создания оптимальной структуры почвы в дальнейшем следует подобрать его оптимальную концентрацию, чтобы избежать образования агрегатов, имеющих размеры крупнее 10 мм. Варьируя свойства и концентрацию структурообразователя, можно получить препарат, однократное внесение которого обеспечит формирование благоприятной агрономической структуры почвы для возделываемых культур.

Литература

1. **Александрова, Л. Н.** Органическое вещество почв и пути его трансформации / Л. Н. Александрова. – Л., 1980.

2. **Варшал, Г. М**. Комплексообразование с гуминовыми кислотами как фактор рассеяния и концентрирования загрязняющих элементов в объектах окружающей среды / Г. М. Варшал [и др.] // Химия радионуклидов и металлических ионов в природных объектах : тез. докл. Междунар. конф., Москва, 31 февр. 1992 г. / Моск. гос. ун-т. – М., 1992. – С. 33–34.

3. **Гедройц, К. К.** Почвенные коллоиды и сорбционная способность почв / К. К. Гедройц // Избранные труды. – М., 1955. – Т. 1.

4. **Горовая, А. И.** Гуминовые вещества / А. И. Горовая, Д. С. Орлов, О. В. Щербенко. – Киев, 1995.

5. **Государственный** комитет по имуществу Республики Беларусь. Национальное кадастровое агентство [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://nca.by/. – Дата доступа : 07.04.2015.

6. **Гречин, И. П.** Практикум по почвоведению / И. П. Гречин [и др.] – М., 1964. – С. 182–185.

7. **Кохерина, Е. И.** Некоторые химические и физические свойства отдельных механических фракций дерново-подзолистой почвы / Е. И. Кохерина // Почвоведение. – 1934. – № 12. – С. 53–71.

8. **Лиштван, И. И.** Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. – Минск, 1975.

9. **Орлов, Д. С.** Гумусовые кислоты почв / Д. С. Орлов. – М., 1974.

10. **Охрана** окружающей среды в Республике Беларусь // Статист. сб. ; отв. за выпуск В. Н. Зиновский. – Минск, 2015.

11. **Соколов, Г. А.,** Торф и сапропель в решении агроэкологических проблем / Г. А. Соколов [и др.] // Природопользование. – Минск, 2002. – Вып. 8. – С. 154–166.

12. **Соколовский, А. Н**. К познанию свойств почвенных коллоидов / А. Н. Соколовский // Почвоведение. – 1924. – № 1–2. – С. 59–79.

13. **Соколовский, А. Н.** Агропочвоведение / А. Н. Соколовский. – М., 1956.

14. **Соколовский, А. Н.** Избранные труды / А. Н. Соколовский. – Киев, 1970.

15. **Тишкович, А. В.** Теория и практика аммонизации торфа / А. В. Тишкович**.** – Минск, 1972.

16. **Тюлин, А. Ф.** Органоминеральные коллоиды почв, их генезис и значение для корневого питания высших растений / А. Ф. Тюлин. – М., 1958.

17. **Тюлин, А. Ф.** Значение почвенного поглощающего комплекса для познания некоторых агрофизических свойств почв / А. Ф. Тюлин // Почвоведение. – 1934. – № 1. – С. 87–92.

18. **Эрозия** почв [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://studopedia.ru/1_64726_eroziya-pochv.html. – Дата доступа : 07.04.2015.

19. **Ягодин, Б. А.** Агрохимия / Б. А. Ягодин. – М., 1989.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 16.03.2015 г.

Н. Н. Бамбалов, М. С. Милевич

ВЛИЯНИЕ ТОРФЯНЫХ СТРУКТУРООБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА АГРЕГАТНЫЙ СОСТАВ ПОЧВ

На основе гуминовых веществ торфа получены два гуминовых структурообразователя, улучшающих агрегатный состав и агрономическую структуру песчаной и суглинистой почв путем склеивания мелких почвенных частиц (менее 1 мм) в более крупные. Для улучшения агрегатного состава почву пропитывают одним из структурообразователей и высушивают до воздушно-сухого состояния. Гуминовые структурообразователи на основе торфа перспективны для применения на почвах разного гранулометрического состава, в том числе песчаных.

N. N. Bambalov, M. S. Milevich

THE INFLUENCE OF PEAT STRUCTURANTS ON THE AGGREGATE SOIL COMPOSITION

Two structurants, which improve aggregate composition and structure of the agronomic and sandy loam soil by gluing the small soil particles (less than 1 mm) into larger ones were received on the basis of humic substances in peat. To improve aggregate composition, soil impregnated one of the builders and dried to air-dry state. Humic nucleators based on peat promising for application on soils of different particle size distribution, including sand are perspective in use.

УДК 622.331.002.5:553.973

Б. В. Курзо, В. К. Жуков, О. М. Гайдукевич, И. В. Кляуззе, А. И. Муравьёв, Л. П. Калилец, М. В. Барановская

ВОДОПОГЛОЩАЕМОСТЬ ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ НА ОСНОВЕ ТОРФА

Для разработки технологических приемов хранения и транспорта пеллетизированной продукции в изменяющихся климатических условиях изучено влияние добавок органического происхождения на водопоглотительные и прочностные показатели композиционных топливных гранул на основе торфа

Использование местных источников органического сырья для решения топливно-энергетических проблем республики в настоящее время особенно актуально. Исследования последних лет показали возможность получения нового технологичного вида топлива – топливных гранул (пеллет) на основе торфа с добавками не используемых органических отходов сельского хозяйства и деревообработки. Пеллеты на основе торфа, по сравнению с чисто древесными, обладают выраженными гидрофобными свойствами [6], позволяют автоматизировать процесс получения тепловой энергии, утилизировать отходы хозяйственной деятельности человека и получать продукцию топливного назначения заданного качества по содержанию зольных элементов, прочностным и водопоглотительным характеристикам. Водопоглотительные свойства пеллет особенно важны при их хранении и транспортировке.

В работах И. И. Лиштвана, А. М. Лыча и др. по исследованию гидрофильных и гидрофобных свойств торфа выявлено влияние химического состава и структуры надмолекулярных ассоциатов на гидрофильность торфа [5, 6]. Установлено, что нагревание торфа при формовании, сопровождается разложением гидрофильных составляющих, в основном углеводного комплекса (водорастворимых и легкогидролизуемых веществ) с переходом системы в гидрофобное состояние. При этом снижается сорбционная активность торфа, уменьшается содержание физико-химически связанной воды. Торф, подвергшийся глубокой сушке при термическом воздействии, в той или иной мере теряет способность вновь впитывать воду вследствие необратимых процессов, прошедших в его коллоидно-высокомолекулярной составляющей. Гидрофобизация способствует усилению влагоотдачи, повышению прочности и возможности получения новых композиционных, строительных и теплоизоляционных материалов [3, 4, 7–9].

Изучение процессов поглощения воды и изменение параметров механической прочности топливных гранул на основе торфа осуществляли в соответствии с положениями физико-химической механики природных дисперсных систем, методами, известными в практике технического анализа торфа и продукции из него [2]. Качественные изменения гранул при хранении контролировали по показателям водопоглощаемости и прочности на сжатие.

Сырьем для пеллет служили верховой торф месторождения Топиловское Лельчицкого района Гомельской области зольностью 13,5 % и степенью разложения 10–15 % и отходы деревообработки – опилки зольностью 2,6 %.

Подготовка сырья к гранулированию заключалась в добавлении к торфу отходов деревообработки с последующей искусственной сушкой в сушильной камере до содержания влаги 10–15 % и измельчении до содержания фракции размером менее 1 мм 95 %.

После гранулирования подготовленного сырья в шнековом грануляторе КЭМ-36/220-4 пеллеты подвергали сушке в радиационно-конвективном режиме при температуре 18–20 ºС. Конечный продукт – гранулы топливные на основе торфа цилиндрической формы диаметром 7 мм с содержанием влаги 10–15 % в соответствии с ТУ BY 400009031.004-2013.

В зависимости от погодных условий пеллеты при хранении и транспортировке поглощают или отдают влагу. В экспериментах для пеллет создавали различные влажностные условия в широком диапазоне. В соответствии с [1] равновесная влага – часть гигроскопической влаги, которую нельзя удалить при данной относительной влажности воздуха (φ) и температуре. Для пеллет из торфа и из опилок при φ = 78 % (средняя годовая для условий Беларуси) и температуре 18–20 ºС равновесная влага составляет соответственно 13,6 % и 7,4 %.

Опыты, на основе метода тензиметрического анализа [2], проводили в изотермических условиях при температуре 20 ºС в камерах над поверхностью воды и растворами серной кислоты определённой концентрации. Последнее условие обеспечивало в камерах с пеллетами различную φ: 98, 92, 75, 56 и 25 %. Периодически определяли изменяющиеся во времени водопоглощаемость В, содержание влаги *w*, влагосо-

держание пеллет U и их производные при различной φ.

Проведенные исследования показывают, что величина водопоглощаемости и скорость впитывания влаги пеллетами существенно зависит от условий среды. На рис. 1 показаны обобщенные кривые водопоглощаемости пеллет в средах с различной φ.

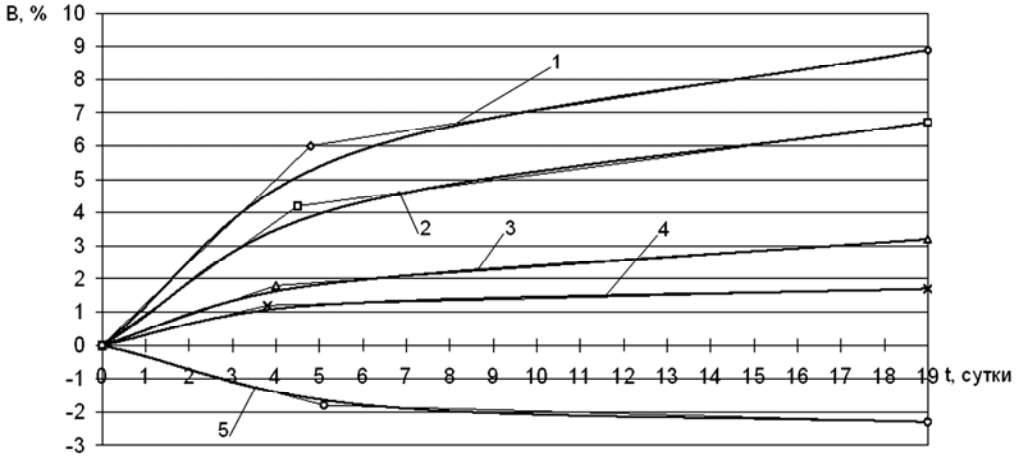


Рис. 1. Кривые водопоглощаемости пеллет с выделенными областями сорбционно-капиллярного и энтропийного впитывания в средах с относительной влажностью воздуха 98 % (*1*), 92 % (*2*), 75 % (*3*), 56 % (*4*) и 25 % (*5*)

На полученных кривых поглощения влаги (рис. 1) выделяются 2 области с существенно разными скоростями впитывания I (табл. 1). Первая область характеризуется максимальной скоростью впитывания I_1 и, в соответствии с [5], называется участком сорбционно-капиллярного впитывания. Вторая область энтропийного впитывания со значительно меньшей скоростью впитывания I_2. В [5] отмечается, что такое разделение условно, т. к. нельзя набухание торфа представить разделенными во времени процессами в начале заполнения пор, а затем проникновения жидкости внутрь структуры с раздвижкой элементов каркаса. Эти процессы идут одновременно, но на первом этапе скорость поглощения воды капиллярами больше, чем на втором.

Таблица 1. **Основные характеристики водопоглощения пеллет при различном состоянии среды**

φ, %	Участок впитывания					
	сорбционно-капиллярного			энтропийного		
	B_1,%	I_1, кг/кг сутки	U_1, кг/кг	B_2,%	I_2, кг/кг сутки	U_2, кг/кг
98	6,0	0,0140	0,16	9,0	0,0020	0,19
92	4,2	0,0105	0,14	7,0	0,0016	0,17
75	1,8	0,0049	0,12	3,2	0,0011	0,13
56	1,1	0,0021	0,11	1,8	0,0003	0,11
25	-1,6	-0,0032	-0,11	-1,9	-0,0002	-0,08

Как показывают данные табл. 1, в начальный период водопоглощения в области сорбционно-капиллярного впитывания скорость поглощения влаги и максимальная водопоглощаемсть пеллетами пропорциональна φ. На участке энтропийного впитывания скорость поглощения влаги замедляется что находит отражение на максимальной водопоглощаемости Последующее увлажнение пеллет может происходить уже только в результате непосредственного контакта с водой.

На рис. 1 пеллеты, находящиеся в средах с φ = 56–98 %, сорбировали влагу, причем чем больше φ, тем более активно. В то же время пеллеты в среде с φ = 25 % отдавали содержащуюся в них влагу. Рис. 2 показывает изменение водопоглощаемости пеллет в зависимости от φ. При относительной влажности воздуха φ = 43 % процессы сорбции-десорбции уравновешены и водопоглощаемость B = 0.

При φ = 100 % влагосодержание принимает максимальное значение $U_{м.г.}$. У торфяных пеллет $U_{м.г.}$ наибольшее и составляет 0,27 кг/кг. Пеллеты из опилок и из смешанного сырья на основе торфа и опилок имеют $U_{м.г.}$ порядка 0,20 кг/кг.

Установлено, что у пеллет из торфа и пеллет из отходов деревообработки при хранении во влажной среде (φ ~ 98 %) содержание равновесной влаги составляет соответственно 20,5 и 15,5 %. Водопоглощение увеличивается на 10 %, из них на первой, сорбционно-капиллярной стадии, около 7 % и еще 3 % на энтропийной стадии, когда процессы поглощения влаги затухают.

На рис. 3 приведена диаграмма влажностного состояния пеллет, которая показывает, что в равных условиях при одной и той же влажности воздуха, пеллеты с увеличением содержания торфа в них поглощают и больше влаги. Верхний уровень поглощения влаги пеллетами определяется φ.

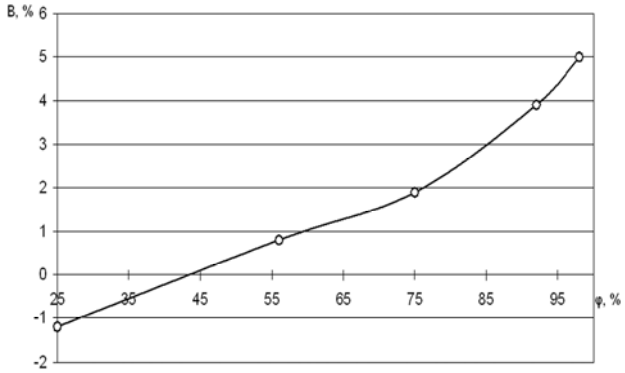


Рис. 2. Изменение водопоглощаемости пеллет в зависимости от относительной влажности воздуха

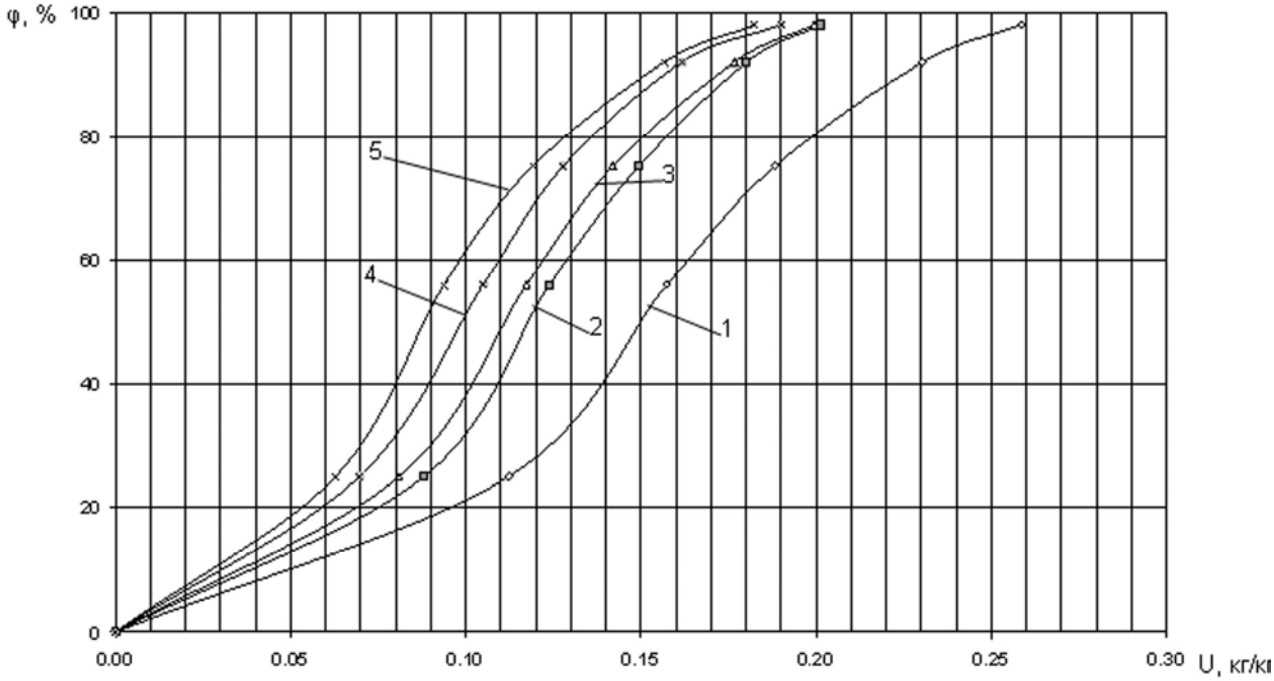


Рис. 3. Диаграмма влажностного состояния пеллет из торфа и отходов деревообработки:
***1* – содержание торфа в пеллетах *q* = 100 %; *2* – *q* = 75 %; *3* – *q* = 50 %; *4* – *q* = 25 %; *5* – *q* = 0 %**

Результаты измерения прочностных параметров пеллет на основе торфа, при хранении в различных влажностных условиях приведены в табл. 2. Данные показывают снижение прочности пеллет при хранении во влажных условиях за 4 месяца на 20–30 %.

В начальный период хранения пеллеты характеризуются высоким уровнем обезвоживания, вода в них находится в связанном состоянии и прочность определяется межмолекулярными и водородными связями. Добавление в торфяное сырье отходов деревообработки в целом способствует увеличению содержания влаги в пеллетах, особенно в зимний период за счет высокой относительной влажности воздуха. Во влажных условиях хранения в процессе сорбции влаги пеллетами значительно снижается прочность. У пеллет из торфа при φ = 98 % сопротивление сжатию уменьшается с 32 МПа до 22 МПа. Еще заметнее снижение прочности у пеллет из отходов деревообработки, несмотря на меньшее набухание.

***Таблица 2.* Изменение прочности пеллет при хранении в различных влажностных условиях**

Содержание в пеллетах, %		φ, %	Продолжительность хранения, сутки			
торфа *q*	отходов деревообработки		0	40	86	119
			Прочность пеллет, МПа			
100	0	25	31,8	27,0	28,0	29,9
100	0	98	31,8	24,3	21,2	22,2
75	25	98	35,7	33,7	29,5	30,5
50	50	98	36,7	34,2	30,1	28,3
25	75	98	39,6	35,6	31,4	31,2
0	100	25	33,8	33,2	32,8	32,8
0	100	98	33,8	33,8	29,9	24,1

Наибольшее водопоглощение и набухание, наименьшая прочность у всех видов пеллет характерны при максимальной относительной влажности. При нахождении в водной среде пеллеты разрушаются достаточно быстро. Скорость разрушения максимальна у пеллет из отходов деревообработки. Пеллеты из торфа разрушаются медленнее, очевидно за счет содержащихся в нем битумов.

Анализ колебаний относительной влажности воздуха в условиях Беларуси в течении года (по данным [10] за длительный период обобщения 1966–2000 гг.) показывает их значительную вариабельность. Погодные условия в Беларуси характеризуются достаточно высокими значениями φ (в среднем в течении года φ = 78 %). В зимний и позднеосенний период во все время суток, а в остальные сезоны в тёмную часть суток среднемесячная относительная влажность воздуха превышает 80 %. Наименьшая средняя относительная влажность воздуха (φ = 67 %) наблюдается в мае.

На основе знаний об изменении влажностного состояния пеллет в зависимости от относительной влажности воздуха и ее среднемесячного значения в условиях Беларуси получена зависимость изменения равновесной влаги пеллет из торфа и отходов деревообработки в течение года (рис. 4). Полученное при анализе линии тренда уравнение регрессии, показывает значения равновесной влаги в любой период года для пеллет из торфа при коэффициенте корреляции R = 0,95:

$$w_p = 0{,}097\ m^2 - 1{,}172\ m + 18{,}773,$$

где m – порядковый номер месяца.

Значения равновесной влаги пеллет при средней годовой φ = 78 % приведены в табл. 3.

Таблица 3. **Значения равновесной влаги пеллет при средней годовой φ = 78 %**

Содержание в пеллетах, %		Равновесная влага w_p, %	Разность равновесной влаги dw_p, %
торфа q	отходов деревообработки		
100	0	16,4	0
75	25	13,5	2,9
50	50	13,0	3,4
25	75	11,9	4,5
0	100	11,2	5,2

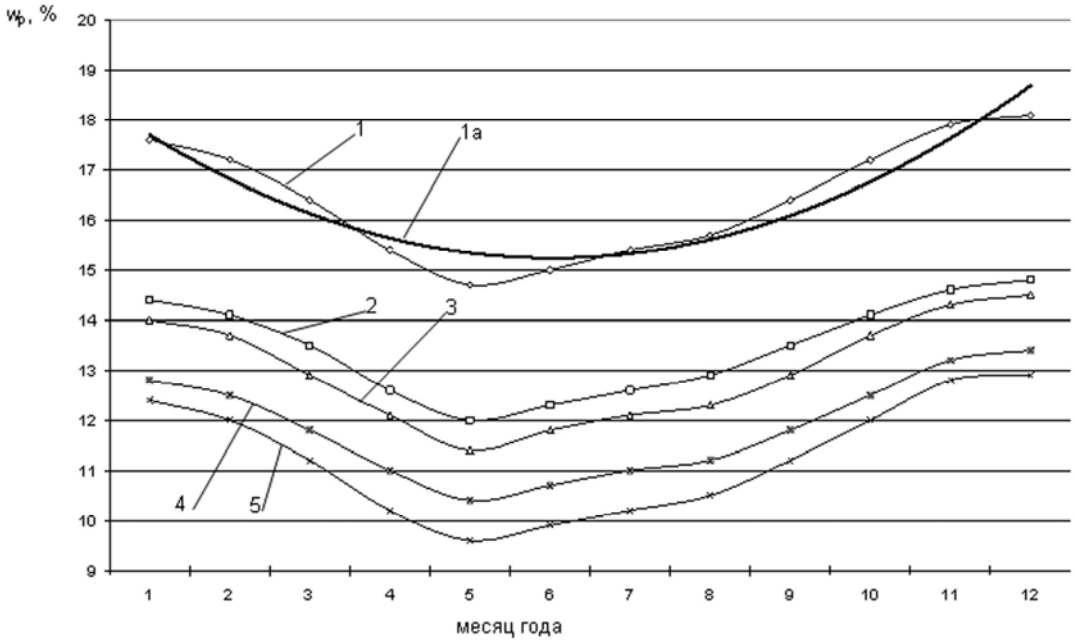


Рис. 4. Изменение равновесной влаги пеллет из торфа и отходов деревообработки в течение года при хранении (содержание торфа в пеллетах):
***1* – *q* = 100 %; *1a* – линия тренда; *2* – *q* = 75 %; *3* – *q* = 50 %; *4* – *q* = 25 %; *5* – *q* = 0 %)**

Уравнение регрессии, показывающее значение разности равновесной влаги в зависимости от содержания торфа в пеллетах при R = 0,98:

$$dw_p = 5{,}486\ 10^{-4}\ q^2 + 6{,}857\ 10^{-3}\ q + 5{,}074,$$

где q – содержание торфа в пеллетах, %.

Таким образом, содержание влаги в пеллетах при хранении по рассчитанным уравнениям регрессий можно определить как:

$$w_p = 0{,}097\ m^2 - 1{,}172\ m + 5{,}486\ 10^{-4}\ q^2 - 6{,}857\ 10^{-3}\ q + 13{,}699,\ R = 0{,}93.$$

Полученное уравнение регрессии позволяет прогнозировать влажностные параметры пеллет на основе торфа при хранении в разные периоды года.

Выводы. В результате обобщения и анализа результатов экспериментов по водопоглотительной способности топливных гранул на основе торфа и отходов деревообработки установлены границы содержания влаги в гранулах в равновесном состоянии. Получены диаграммы влажностного состояния гранул на основе торфа во всем диапазоне его содержания, зависимости изменения массовой доли равновесной влаги в гранулах, что дает возможность прогноза и контроля содержания влаги при хранении и транспортировке гранулированной продукции на основе торфа.

Исследования кинетики поглощения воды топливными гранулами на основе торфа и его композиций с отходами деревообработки выявили 2 стадии этого процесса: сорбционно-капиллярную и энтропийную.

Установлено, что водопоглощение пеллет при хранении в навалах или негерметичной упаковке определяется внешними условиями – относительной влажностью воздуха и, в значительно меньшей степени – температурой и качественными характеристиками материала. На первой (сорбционно-капиллярной) стадии водопоглощения при относительной влажности воздуха 56 % скорость поглощения влаги пеллетами составляет 0,0021 кг/кг сухого вещества в сутки, а при влажности 98 % – 0,014 кг/кг.

У пеллет при хранении во влажной среде (относительная влажность воздуха 98 %) содержание равновесной влаги увеличивается до 20,5 % (пеллеты из торфа) и 15,5 % (пеллеты из отходов деревообработки). Показатель водопоглощения увеличивается на 10 %, из них на первой, сорбционно-капиллярной стадии, около 7 % и еще 3 % на энтропийной стадии, когда процессы поглощения влаги затухают.

Рассчитано уравнение регрессии, устанавливающее зависимость поглощения воды топливными гранулами на основе торфа в композиции с отходами деревообработки в зависимости от состава сырья и условий хранения.

Полученные результаты важны для разработки технологических приемов получения, хранения и транспорта гранулированной продукции топливного назначения.

Литература

1. **Антонов, В. Я.** Технология полевой сушки торфа / В. Я. Антонов, Л. М. Малков, Н. И. Гамаюнов. – М., 1981.

2. **Базин, Е.Т.** Технический анализ торфа / Е. Т. Базин [и др.]. – М., 1992.

3. **Косов, В. И.** От геоэкологии до нанотехнологий. Композитные строительные и топливно-энергетические материалы из органогенных горных пород и отходов / В. И. Косов, А. П. Золотухин. – СПб., 2010.

4. **Кудяков, А. И**. Композиционные строительные материалы на основе модифицированных торфов / А. И. Кудяков [и др.] // Инновационные аспекты добычи, переработки и применения торфа : материалы Междунар. конф., посвященной 115-летию Национального исследовательского Томского политехнического университета. – Томск, 18–20 октября 2011. – С. 13–21.

5. **Лиштван, И. И.** Физические свойства торфа и торфяных залежей / И. И. Лиштван, Е. Т. Базин, В. И. Косов. – Минск, 1985.

6. **Лыч, А. М.** Гидрофильность торфа / А. М. Лыч. – Минск, 1991.

7. **Мисников, О. С.** Гидрофобная модификация минеральных дисперсных материалов продуктами переработки торфа / О. С. Мисников, В. А. Иванов // Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири : материалы второй науч.-практ. конф. – Томск, 18–21 авг. – С. 202–206.

8. **Мисников, О. С**. Торфяной гранулированный мелиорант почв для рекультивации и озеленения территорий / О. С. Мисников, А. Е. Тимофеев, С. Н. Гамаюнов // Инновационные аспекты добычи, переработки и применения торфа : материалы Междунар. конф., посвященной 115-летию Национального исследовательского Томского политехнического университета. – Томск, 18–2 окт., 2011. – С. 83–85.

9. **Соловьев, Н. Л.** Исследование теплоизоляционных композиционных материалов на основе торфа / Н. Л. Соловьев, К. Л. Шахматов // Торф в решении проблем энергетики, сельского хозяйства и экологии : материалы Междунар. конф. Минск, 29 мая – 2 июня 2006. – С. 69–70.

10. **Справочник** по климату Беларуси. Часть 5. Влажность воздуха. Солнечное сияние. Метеорологическая дальность видимости ; под общ. ред. В. И. Мельник. – Минск, 2007.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 30.05.2015 г.

Б. В. Курзо, В. К. Жуков, О. М. Гайдукевич,
И. В. Кляуззе, А. И. Муравьёв, Л. П. Калилец, М. В. Барановская

ВОДОПОГЛОЩАЕМОСТЬ ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ НА ОСНОВЕ ТОРФА

Для разработки технологических приемов хранения и транспорта пеллетизированной продукции в изменяющихся климатических условиях установлено влияние добавок органического происхождения на водопоглотительные и прочностные показатели композиционных топливных гранул на основе торфа. Получена зависимость поглощения воды топливными гранулами на основе торфа в композиции с отходами деревообработки в зависимости от состава сырья и погодных условий при хранении.

B. V. Kurzo, V. K. Zhukov, O. M. Gaidukevich,
I. V. Kljauzze, A. I. Muravjov, L. P. Kalilets, M. V. Baranovskaja

WATER ABSORPTION OF PELLETS BASED ON PEAT

For the development of technological methods of storage and transport pellet products in changing climatic conditions determined the influence of additives on the water absorption of organic origin and strength characteristics of composite pellets based on peat. The dependence of water absorption of fuel pellets based on peat composition with wood waste depending on the feed composition and the weather during storage has been given.

УДК 547.458.87+547.992.2

Г. В. Наумова, А. Э. Томсон, Н. А. Жмакова, Н. Л. Макарова, Т. Ф. Овчинникова, Т. Я. Царюк

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЕКТИНСОДЕРЖАЩЕЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ

Исследования химического состава биологически активной кормовой добавки, получаемой на основе смешанного растительного сырья – ростков солода и свекловичного жома, показали, что около половины ее органической массы представлено кислыми полисахаридами – пектинами, выявлено также наличие широкого спектра биологически активных веществ – меланоидинов, аминокислот, фенольных соединений, низкомолекулярных карбоновых кислот.

В Институте природопользования НАН Беларуси разрабатывается новая биологически активная кормовая добавка, получаемая на основе продуктов химической переработки отходов пивоваренного и сахарного производств – ростков солода и свекловичного жома.

В ростках солода имеется широкий набор биологически активных веществ – витаминов, ферментов, протеинов, аминокислот, пектинов, фенольных соединений. Кроме того, они содержат меланоидины, образующиеся в процессе сушки проросшего ячменя, предусмотренной технологией пивоварения.

Соединения этого класса образуются во многих промышленных процессах тепловой обработки растительного сырья, приготовления пищевых продуктов (хлеб, солод, пиво, напитки, копчености, консервы). В природных условиях меланоидины образуются при отмирании растительных тканей. Общепризнано, что меланоидинообразование лежит в основе формирования торфа, лигнитов, бурых и каменных углей.

Реакция меланоидинообразования – это сложный окислительно-восстановительный процесс взаимодействия аминосоединений, имеющих свободные аминогруппы, с веществами, содержащими свободные карбонильные группы, с образованием высококонденсированных азотсодержащих темноокрашенных веществ. Летучие промежуточные соединения этой реакции, в основном альдегиды, обусловливают аромат пищевых продуктов. При меланоидинообразовании в продуктах уменьшается содержание сахаров, азотсодержащих веществ и снижается pH. Реакция идет как в кислой, так и в щелочной среде. В щелочной среде реакция меланоидинообразования протекает наиболее интенсивно. Предполагают, что в интервале pH 6,5–8,5 реакция катализируется гидроксильными ионами [4].

Свекловичный жом – это высоложенная свекловичная стружка, выход которой при переработке свеклы составляет около 30 % от ее сухого вещества. Около половины углеводного комплекса свекловичного жома представлено пектиновыми веществами. Это полисахариды, образованные остатками частично метоксилированной D-галактуроновой кислоты, в которой атом водорода заменен на метоксильную группу. К пектиновым веществам относятся пектовая кислота, которая является основой всех пектиновых веществ и построена из остатков D-галактуроновой кислоты, связанных α-1,4-гликозидными связями в длинные цепи; пектаты – соли пектовой кислоты; пектины – продукты различной степени метилирования пектовой кислоты по карбоксильным группам, пектинаты – соли пектинов; протопектины – нерастворимые в воде вещества высокого молекулярного веса, в которых линейные молекулы пектинов связаны поперечными мостиками, и другие производные пектина [7].

Согласно литературным данным, более половины пектиновых веществ жома сахарной свеклы представлены нерастворимыми протопектинами, нерастворимость которых обусловлена механическим переплетением пектиновых молекул с высокомолекулярными компонентами клеточной стенки и наличием многовалентных ионных мостиковых связей через кальций и магний между свободными карбоксильными группами пектиновых молекул. Протопектины переходят в растворимое состояние только в результате химической деструкции [15].

В настоящее время разработан способ получения кормовой добавки, заключающийся в окислительной деструкции смеси ростков солода и свекловичного жома в щелочной среде, в результате которой в раствор переходят пектины сахарной свеклы, биологически активные соединения ростков солода и происходят вторичные реакции синтеза биологически активных соединений – меланоидинов. Так как свекловичный жом и ростки солода являются гемицеллюлозосодержащим сырьем [11], в процессе их химической деструкции образуется избыток соединений, содержащих карбонильные группы (углеводы,

органические кислоты и др.), поэтому с целью интенсификации процесса меланоидинообразования в реакционную среду вводится карбамид в качестве азотсодержащего агента, имеющего в своем составе две аминогруппы.

Следует подчеркнуть, что при окислении сырья в выбранных технологических условиях щелочь способна вступать во взаимодействие с полуацетальными гидроксильными группами восстанавливающих концов полисахаридов и окислять концевые полисахаридные остатки до 5-кетоальдоновых кислот, которые разрушаются в щелочной среде, приводя к образованию свободной полуацетальной группы второго от конца моносахарида. Процесс окислительной деструкции приводит к деградации полисахаридов, уменьшению их молекулярной массы [14].

Преобладающими компонентом новой биологически активной кормовой добавки являются пектины, поэтому ее можно отнести к пектинсодержащим. Такие добавки имеют большую перспективу в животноводстве в связи с многообразными биологическими свойствами этих соединений. В литературе есть сведения о их противоопухолевом, противовирусном, антикоагулянтном действии [1, 5, 6, 8, 12].

Очень важной является водопоглотительная функция пектинов, которые характеризуются связыванием воды с образованием гелей и полным растворением при избытке жидкости. Это обстоятельство, а также выраженное раздражающее действие на механорецепторы слизистой оболочки кишечника определяют их ведущую роль в стимуляции перистальтики кишечника и регуляции его моторной функции.

Благодаря наличию в молекулах пектинов большого количества свободных карбоксильных групп они обладают высокой комплексообразующей способностью. В связи с этим весьма важны сорбирующие свойства пектинов – способность связывать и выводить из организма холестерин, тяжелые и радиоактивные металлы. В процессе усвоения пектины превращаются в пектиновую кислоту, которая соединяется с тяжелыми металлами и радионуклидами, образуя нерастворимые соли, выделяемые из организма естественным путем. Пектины способствуют ускоренному выведению из организма различных вредных веществ, содержащихся в кормах, включая канцерогены и различные экзо- и эндотоксины, продукты неполного переваривания пищевых веществ, а также уменьшению уровня свободного аммиака, образующегося в процессе гниения или брожения. Пектины адсорбируют на себе или растворяют токсины, тем самым уменьшая опасность их контакта со слизистой оболочкой кишечника, выраженность интоксикационного синдрома и воспалительно-дистрофических изменений слизистой оболочки [3]. Поскольку пектины не всасываются в кишечнике, они быстро выводятся из организма вместе с сорбированными ими соединениями.

Известен еще один механизм выведения из организма вредных веществ пектинами: он возможен благодаря способности низкомолекулярной фракции пектина проникать в кровь и образовывать связанные комплексы с последующим естественным удалением. Благодаря этому механизму пектины оказывают положительное влияние на некоторые показатели иммунитета [8].

Для исследования физико-химических свойств и химического состава новой кормовой добавки был наработан ее лабораторный образец. Наряду с препаратом из смешанного сырья в качестве опытных образцов были получены также оксидат ростков солода и оксидат свекловичного жома при тех же технологических режимах, что позволило выявить лабильность каждого вида сырья при его химической деструкции, а также установить влияние этого сырья на физико-химические свойства препарата.

Важными показателями кормовых, пищевых и других продуктов являются их органолептические и физико-химические свойства.

К первичной оценке новой кормовой добавки относятся органолептические показатели, такие как цвет и запах. Эти показатели будут входить в состав технических требований, предъявляемых к данному продукту.

Существенно более важную характеристику можно получить при исследовании физико-химических свойств препарата, включая плотность, реакцию среды в единицах pH, кинетическую вязкость, массовую долю минеральных, сухих и органических веществ, а также механических примесей.

Плотность исследуемых образцов измеряли с использованием ареометра, вязкость в диапазоне температур 20, 25, 30 и 40 ^{o}C при помощи вискозиметров, реакцию среды (pH) при помощи иономера марки И-120.2. Массовую долю сухих и органических веществ в препаратах определяли весовым методом. Массовую долю минеральных веществ находили как разницу между массовыми долями сухих и органических веществ. Результаты определения основных физико-химических показателей исследуемых препаратов представлены в табл. 1.

Как показывают приведенные экспериментальные данные, и кормовая добавка и препараты, изготовленные исключительно из одних ростков солода или свекловичного жома, характеризуются примерно одинаковой зольностью, что обусловлено близкими показателями зольности самого исходного сырья, а также одинаковым количеством реагентов, вводимых в окисляемую суспензию при их получении.

Таблица 1. **Физико-химические показатели исследуемых препаратов**

Показатель	Препарат		
	оксидат из ростков солода	оксидат из свекловичного жома	оксидат из смешанного сырья
Цвет	Коричневый	Коричневый	Коричневый
Запах	Щелочи	Щелочи	Щелочи
Массовая доля минеральных веществ, % на СВ	3,0	3,3	3,2
Массовая доля сухих веществ, %	9,1	6,8	8,5
Массовая доля органических веществ, %	6,1	3,5	5,3
Массовая доля механических примесей, %	0,1	0,1	0,1
pH	10,4	10,5	10,1
Плотность, г/см^3	1,02	1,05	1,04

Наибольшим содержанием сухих веществ характеризуется оксидат ростков солода (9,1 %), а наименьшим – свекловичного жома (6,8 %); в целевом продукте биологически активной кормовой добавке, содержание этих соединений составляет 8,5 %. Такая же закономерность наблюдается и для массовой доли органических веществ (ОВ) в исследуемых препаратах. Близки по значению показатели pH, а показатели их плотности лежат в пределах 1,02–1,05 г/см^3, увеличиваясь от оксидата ростков солода к оксидату жома, что связано с присутствием в продуктах окисления жома, а также в целевом продукте пектинов, переходящих в жидкую фазу оксидатов из свекловичного жома.

Пектиновые вещества, содержащиеся в кормовой добавке, обладают высокими гидрофильными свойствами и поэтому отличаются повышенной вязкостью, так как их молекулы склонны к агрегации из-за чрезмерной гидратации. С учетом существенных различий в показателях плотности исследуемых препаратов представлялось целесообразным исследовать их кинетическую вязкость, так как применение целевого продукта связано с его подачей через дозаторы.

Кинетическую вязкость препаратов определяли при помощи вискозиметров при разных температурных параметрах. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2. **Кинетическая вязкость исследуемых препаратов**

Препарат	Вязкость при различных температурах, мм^2/с			
	20 °С	25 °С	30 °С	40 °С
Оксидат ростков солода	12,2	10,7	8,9	7,6
Оксидат свекловичного жома	36,4	31,5	28,8	24,1
Кормовая добавка ПКД	26,2	24,3	20,1	17,8

Из приведенных данных следует, что исходное сырье оказывает существенное влияние не только на плотность препаратов, но и на такое реологическое свойство, как их вязкость. Наименьшей вязкостью отличается оксидат из ростков солода, который при 20 °С имеет вязкость 12,2 мм^2/с, а с повышением температуры до 40 °С вязкость снижается до 7,6 мм^2/с. Наибольшая вязкость установлена для оксидата свекловичного жома, которая при 20 °С достигает 36,4 мм^2/с, а при 40 °С снижается лишь до 24,1 мм^2/с, т. е. остается достаточно высокой. Вязкость самой кормовой добавки занимает промежуточное положение. При использовании жома и ростков солода в выбранной пропорции при получении кормовой добавки вязкость конечного продукта составляет 26,2 мм^2/с при 20 °С и 17,8 мм^2/с при 40 °С.

Таким образом, совместная переработка солодовенных ростков и свекловичного жома методом их окисления в щелочной среде позволила получить кормовую добавку с улучшенными реологическими свойствами в сравнении с оксидатом из одного жома, что имеет важное практическое значение в технологическом процессе при ее изготовлении, перекачке и дозировке сельскохозяйственным животным.

На опытной установке была произведена экспериментальная партия биологически активной кормовой добавки и выполнена химическая характеристика полученного продукта. В химическом составе кормовой добавки определены такие биологически активные компоненты, как пектины, меланоидины, низкомолекулярные карбоновые кислоты, свободные фенольные соединения, аминокислоты.

Пектины выделяли путем осаждения из подкисленного раствора пятикратным объемом этилового спирта [9]. Для сравнения выделили эти соединения как из экспериментального, так и из лабораторного образцов. Выпавший осадок полисахаридов выдерживали в холодильнике 24 ч, а затем отделяли центрифугированием, промывали этиловым спиртом и высушивали до воздушно-сухого состояния.

Образцы пектинов были охарактеризованы по содержанию золы, сухих и органических веществ, табл. 3.

Таблица 3. **Характеристика пектинов лабораторного и экспериментального образцов кормовой добавки**

Образец	Влага, %	Зольность, %	Содержание пектинов в добавке, % на ОВ	Выход пектинов, % на ОВ исходного сырья
Лабораторный	18,5	15,9	49,48	29,2
Экспериментальный	12,3	13,4	50,19	30,5

Пектины, выделенные из лабораторного и экспериментального образцов кормовой добавки ПКД, характеризуются высоким содержанием минеральных веществ – 15,9 и 13,4 % соответственно, что, по-видимому, связано с их высокой сорбционной способностью по отношению к металлам. Массовая доля пектинов в органическом веществе препарата и в том и в другом образцах составляет около 50 % , а выход пектинов из исходного сырья – около 30 %.

Для выделения фракции аминокислот были использованы известные методы ионообменной хроматографии. На аминокислотном анализаторе марки «Agelent 1100» идентифицировано 17 аминокислот (табл. 4).

Содержание аминокислот в препарате составляет 0,06 %, или 1,29 % от общего содержания органических веществ. Кормовая добавка содержит биологически активные и незаменимые несинтезируемые в животном организме – валин, лейцин, изолейцин, треонин, метионин, лизин, фенилаланин, триптофан, гистидин и аргинин. Установлено наиболее высокое содержание аспарагиновой кислоты (16,75 % от суммы аминокислот), глутаминовой (12,58 %), аланина (10,26 %), глицина (9,84 %).

Анализ их распределения по группам (табл. 5) показал, что в структуре аминокислотного комплекса представлены аминокислоты всех групп.

Таблица 4. **Аминокислотный состав кормовой добавки**

Аминокислота	Содержание	
	мг/кг в растворе	% от суммы
Цистеин	33,28	5,35
Лизин	10,25	1,64
Гистидин	2,71	0,43
Аргинин	38,10	6,13
Аспарагиновая	100,68	16,75
Серин	41,05	6,51
Глицин	61,73	9,84
Глутаминовая	78,75	12,58
Треонин	7,96	1,28
Аланин	63,72	10,26
Пролин	42,20	6,79
Тирозин	19,41	3,11
Метионин	26,47	4,25
Валин	23,45	3,66
Фенилаланин	26,10	4,19
Лейцины	19,59	3,14
Триптофан	25,50	4,09
Сумма аминокислот	620,95	100,0

Таблица 5. **Распределение аминокислот по группам**

Группа аминокислот	Содержание	
	мг/кг в растворе	% от суммы
Моноаминомонокарбоновые	247,70	23,55
Моноаминодикарбоновые	140,48	22,42
Диаминомонокарбоновые	38,10	7,77
Гидроксиаминокислоты	68,42	7,79
Тиоаминокислоты	59,75	9,60
Гетероциклические	70,41	11,31
Фенольные	71,01	11,39

Около половины всех аминокислот приходится на моноаминомонокарбоновые (23,55 %) и моноаминодикарбоновые (22,42 %). Содержание гетероциклических, фенольных и тиоаминокислот находится примерно на одном уровне (11,31; 11,39 и 9,60 % соответственно). Несколько меньше доля диаминомонокарбоновых (7,77 %) и гидроксиаминокислот (7,79 %) (табл. 5).

Общее содержание карбоновых кислот определяли в пересчете на янтарную в растворе, прошедшем через катиониты, титрованием 0,05 н NaOH [13]. Содержание кислот в препарате составляет 0,69 %, или 14,5 от ОВ.

Фракцию фенольных соединений получали путем их экстракции диэтиловым эфиром. Для определения суммарного содержания фенольных соединений использовали методику, основанную на их взаимодействии с реактивом Фолина–Дениса (смеси фосфомолибденовой и фосфовольфрамовой кислот) в присутствии углекислого натрия. В результате реакции развивается синее окрашивание, основанное на образовании молибденовой и вольфрамовой сини. Оптическую плотность растворов измеряли на спектрофотометре при 725–730 нм. Количество фенольных соединений определяли по калибровочной кривой, построенной по хлорогеновой кислоте [10]. Содержание фенольных соединений в составе кормовой добавки – 0,07 %, или 1,4 % от органической массы.

Меланоидины выделяли путем осаждения безводным ацетоном [2]. Препараты предварительно диализовали против проточной воды до pH 8,5, а затем обрабатывали ацетоном. Полученную суспензию меланоидинов центрифугировали, осадок промывали этанолом, а затем высушивали при температуре 60^0С. Содержание меланоидинов в кормовой добавке составляет 27,5 % от массы органических веществ.

Химический состав кормовой добавки приведен в табл. 6.

Таблица 6. **Химический состав кормовой добавки**

Компонент препарата	Содержание компонентов, %	
	в препарате	на ОВ
Органические вещества	4,80	100,0
Пектины	2,41	50,19
Низкомолекулярные карбоновые кислоты	0,69	14,50
Аминокислоты	0,06	1,29
Фенольные соединения	0,07	1,40
Меланоидины	1,32	27,5
Минеральные вещества	3,7	–

Таким образом, исследование химического состава новой кормовой добавки показало, что около половины ее органического вещества представлено кислыми полисахаридами – пектинами. Выявлено также наличие широкого спектра других биологически активных веществ – меланоидинов, аминокислот, фенольных соединений, низкомолекулярных карбоновых кислот.

Выполненные исследования будут использованы при разработке технических требований к данному продукту, которые являются критерием оценки его качества.

Литература

1. Беседнова, Н. Н. Иммунотропные свойства 1—*3;1 —6-р-0-глюканов / Н. Н. Беседнова, Т. Н.Звягинцева, Л. А Елякова // Антибиотики и химиотерапия. – 2000. – Т. 45. – С 37–44.

2. Бугаенко, И. Ф. Выделение красящих веществ и определение их молекулярной массы методом гель-фильтрации / И. Ф. Бугаенко // Сахарная промышленность. – 1971.– № 6.– С. 5–8.

3. Голубев, В. Н. Пектин: химия, технология, применение / В. Н. Голубев. – М., 1995.

4. Дамберг, Б. Э. Реакция меланоидинообразования и ее биологическое значение / Б.Э. Дамберг // Изв. АН Латвийской ССР. – 1976. – Т. 1. – С. 97–105.

5. Елякова, Л. А. Сравнительная характеристика и изучение сорбционных свойств активных центров эндо-Р-1,3-глюканаз / Л. А. Елякова, Т. Н Звягинцева, Н. М. Привалова // Биоорганическая химия. – 1978. – Т. 4. – С. 1553–1559.

6. Запорожец, Т. С. Влияние транслама на иммунный ответ облученных мышей **/** Т. С. Запорожец [и др.] // Радиационная биология радиоэкология. – 1995.– Т. 35. – С. 260–263.

7. Кочетков, Н. К. Химия углеводов / Н. К. Кочетков. – М., 1967. – С. 477–556.

8. Лысенко, Т. А Биологическая активность комплекса водорастворимых полисахаридов из растительного сырья / Т. А. Лысенко [и др.] // Международный журн. эксперимент. образования. – 2012. – № 12. – С. 103–110.

9. Методы биохимического исследования растений / Под ред. А. И. Ермакова. – Л., 1987. – С. 174–180.

10. Методы биохимического исследования растений / Под ред. А. И. Ермакова. – Л., 1987. – С. 112–113.

11. Наумова, Г. В., Химическая характеристика сырья новой биологически активной пектинсодержащей кормовой добавки / Г. В. Наумова и [др.] // Природопользование. – Минск, 2014. – Вып. 26. – С. 186–190.

12. Оводов, Ю. С. Полисахариды цветковых растений / Ю. С. Оводов // Биоорганическая химия. – Т. 24, № 7. – С. 483–505.

13. Солдатенков, С. В. Анализ органических кислот растений методом ионообменных смол и хроматографии на бумаге / С. В. Солдатенков, Т. А. Мазурова // Методика количественной бумажной хроматографии сахаров, органических кислот и аминокислот у растений. – М.; Л., 1962. – С. 27–42.

14. Тимербаева, Г. Р. Окисление и деструкция цитрусового пектина в водной среде / Г. Р. Тимербаева и [др.] // Вестник Башкирского ун-та. – 2008. – Т. 4, № 13.– С. 889–902.

15. Химия биологически активных природных соединений / Под ред. Н. А. Преображенского, Р. П. Евстигнеевой. – М., 1976.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 25.03.2015 г.

Г. В. Наумова, А. Э. Томсон, Н. А. Жмакова, Н. Л. Макарова, Т. Ф. Овчинникова, Т. Я. Царюк

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЕКТИНСОДЕРЖАЩЕЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ

Исследован химический состав новой пектинсодержащей кормовой добавки, получаемой методом химической деструкции смешанного растительного сырья – ростков солода и свекловичного жома. В ее составе выявлено наличие таких биологически активных соединений, как кислые полисахариды – пектины, меланоидины, аминокислоты, фенольные соединения, низкомолекулярные карбоновые кислоты. Установлено, что массовая доля пектинов в органическом веществе препарата составляет около 50 % , а их выход из исходного сырья – около 30 % .

Пектины, выделенные из лабораторного и экспериментального образцов кормовой добавки, характеризуются высоким содержанием минеральных веществ – 15,9 и 13,4 % соответственно, что, по-видимому, связано с их высокой сорбционной способностью по отношению к металлам.

Изучены физико-химические свойства кормовой добавки, включая плотность, реакцию среды (pH), кинетическую вязкость, массовую долю минеральных, сухих и органических веществ, а также механических примесей.

G. V. Naumova, A. E. Thomson, N. A. Zhmakova, N. L. Makarova, T. F. Ovchinnikova, T. Ja. Tsaruk

PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND CHEMICAL COMPOSITION OF PECTIN FEED ADDITIVE

The chemical composition of new pectin feed additive obtained by chemical destruction of mixed vegetable raw materials – malt sprouts, and beet pulp has been studied. The presence of biologically active compounds such as acidic polysaccharides – pectins, melanoidins, amino acids, phenolic compounds, low molecular weight carboxylic acids reveal in its structure. It has been established that the mass fraction of pectins in the organic matter of the preparation is about 50 %, and their output from the feedstock – 30 %.

Pectins isolated from laboratory and pilot samples of the feed additive, characterized by high mineral content – 15.9 and 13.4 % respectively, which is apparently due to its high sorption capacity in relation to metals.

Physicochemical properties of the feed additive including the density, the reaction (pH), kinetic viscosity, the weight fraction of mineral, dry substances and organic and mechanical impurities have been studied.

УДК 662.331:665.662

Т. Я. Кашинская

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ДОБЫЧИ НА КАЧЕСТВО ТОРФА КАК БИТУМИНОЗНОГО СЫРЬЯ

Обобщены направления использования битумов, требования к сырью для получения битумов, влияние различных технологических приемов подготовки торфяного сырья на качественные и количественные характеристики его битумов. Выявлены геоморфологические условия формирования торфяных месторождений, обладающих запасами торфа, пригодного для получения продукции на основе его битумного комплекса.

При обработке твердых топлив органическими растворителями в раствор переходят вещества, которые принято называть битумами. Торф содержит сложную смесь органических соединений, экстрагируемых различными растворителями. В состав торфяных битумов входят парафиновые, терпеновые и ароматические углеводороды, различные кислородсодержащие соединения (спирты, кислоты, эфиры).

Органическая часть торфяных битумов (так называемый сырой торфяной воск) состоит из собственно воска, смол и асфальтенов. В Институте торфа была принята классификация, разработанная С. И. Рыбиным и В. Е. Раковским применительно к торфяным дегтям и уточненная для сырого торфяного воска, согласно которой последний делят аналитически на воск, смолы и парафины [19]. Для этого сырой воск растворяют в горячем бензине, лишенном ароматических соединений. При охлаждении бензинового раствора до 0 ^{o}C из него выпадает воск, при последующем охлаждении до –20 ^{o}C выпадают «парафины». На способности сырого торфяного воска фракционироваться в органических растворителях основаны методы его промышленного обессмоливания, сущность которых сводится к разделению воска на восковую и смолистую части.

Выход сырого торфяного воска и его состав зависят от вида торфа, степени разложения, природы растворителя и условий экстрагирования. Применение для экстракции торфов полярных растворителей приводит к большему выходу битумов, но смолистая часть его очень велика. Особенно богаты смолистой частью битумы, извлеченные метанолом, этанолом, ацетоном, бензолом и смесью бензола с этанолом. При экстракции торфов бензином, петролейным эфиром отмечается меньший выход сырого торфяного воска. Но этот воск содержит меньшее количество смол, а поэтому более пригоден для практического применения [4].

По содержанию битумов различные виды торфа расположены в следующий ряд: верховой тип – сосново-пушицевый > пушицевый > сосновый > сосново-сфагновый > шейхцериевый > пушицево-сфагновый > шейхцериево-сфагновый; низинный тип – шейхцериевый > сосновый > древесно-тростниковый > древесно-осоковый > сфагновый > осоково-гипновый > осоково-сфагновый. Из верховых видов торфа извлекается значительно больше битумов, чем из низинных [3]. В торфе верхового и переходного типов наблюдается прямая зависимость содержания битумов от степени разложения. С ростом степени разложения торфа увеличивается количество извлекаемых битумов. В низинном торфе эта связь искажена влиянием водно-минерального режима торфообразования и практически не прослеживается. В таком торфе содержание битумов тесно связано с составом золы. Увеличение в составе минеральной части торфа кальция, как правило, влечет за собой уменьшение битуминозности [12]. Экстракты из низинных торфов содержат меньше смол, т. е. получаемый из них воск более качественный [24].

Благодаря специфическим физико-химическим, химическим и диэлектрическим свойствам битумы находят широкое применение в различных отраслях промышленности: в модельных составах для точного литья, в антиадгезионных составах для формования изделий из полиуретанов, в полировочных мастиках, производстве пластмасс, полиграфии, текстильной и деревообрабатывающей промышленности, бытовой химии и медицине. Согласно [3], битумы применяются в 200 отраслях промышленности.

Широкий круг направлений использования торфяного битума требует определения качественного состава и количественного его содержания не только в торфе залежи, но и возможность прогнозировать изменение качества торфяного сырья на всех стадиях технологической схемы получения конечного продукта.

Так как геоботаническая характеристика торфа определяет устойчивость его химического состава антропогенному воздействию, при планировании освоения того или иного месторождения в качестве сырьевой базы для производства битумов необходимо учитывать их возможные

превращения в период добычи и хранения торфа, что, безусловно, необходимо при столь широком круге продуктов, получаемых на основе битумов торфа.

Добыча торфа начинается с осушения торфяной залежи. В литературе имеются следующие сведения по изменениям состава и свойств битумов торфа в процессе осушения. Так, Г. Окрушко и А. Казакевич [27] наблюдали уменьшение выхода битума с 5,5 до 2,5 и с 4,5 до 1,0, связывая это с интенсификацией процессов окисления органического вещества торфа после осушения. С. Г. Скоропанов и др. [21] отметили лишь слабую тенденцию к уменьшению содержания битумов (0,13 % за 4 года). В то же время В. А. Олиневич и И. Я. Кофман [15] приводят данные, свидетельствующие о накоплении битумов в процессе мелиорации и освоения кислых торфяных почв Украины, особенно заметном в начальный период. В лабораторных опытах по минерализации осоково-тростникового торфа получены результаты, свидетельствующие об уменьшении выхода битума, и сделан вывод, что это уменьшение зависит от pH среды: чем более щелочная среда, тем заметнее количественные потери битумов [11]. По данным [1], потери битумоидов в пахотном слое торфяной почвы достигают 4,3 % за 1 год и 9,3 % за 4 года. Неоднозначны результаты, получаемые одними и теми же авторами, но на различных торфяных массивах. Так, в работе [2] для одного массива наблюдали уменьшение содержания битума с 3,25 до 2,30 % после 5-летнего освоения, для другого – прирост от 3,23 до 4,93 % через 10 лет и до 8,39 % через 32 года освоения. Результаты приводятся относительно осушенного, но не подвергшегося распашке массива.

В работе [26] при изучении свойств верхового малоразложившегося торфа на осушенных и разрабатываемых залежах было показано, что при освоении залежи содержание бензольного битума возросло от 2 до 4,5 %.

Нами также на примере различных видов торфа и различных условий осушения изучено изменение выхода и качественного состава битумов. С этой целью представительные пробы торфов различных видов были заложены на разные глубины осушенной и естественной залежи. Через 2 и 5 лет пробы извлекались из залежей и анализировались. Выделение битумов проведено бензином БР-2 в аппарате Грефе [8].

Полученные данные для пушицево-сфагнового торфа со степенью разложения 40 % и магелланикум-торфа со степенью разложения 5 % свидетельствуют, что двухлетнее хранение образцов торфа в осушенной и неосушенной залежи мало влияет на выход и качественные характеристики битума. Так, изменение содержания битумов в образцах пушицево-сфагнового торфа колеблется от – 11 до +16 % (осушенная залежь) и уменьшается на 7–8 % (неосушенная залежь) при точности определений ±5 %. И только для магелланикум торфа, хранившегося на глубине 1,4 м в осушенной залежи, отмечается 34 % увеличение выхода битума по сравнению с исходным образцом. В составе битумов образцов, хранившихся в осушенной залежи, наблюдается некоторое увеличение количества непредельных соединений (возрастает йодное число) и кислых групп, причем более существенное в верхнем слое осушенной залежи. Омылением спиртовой щелочью из битумов были выделены нейтральные и кислотные соединения. Кислоты метилировали диазометаном и анализировали методом тонкослойной хроматографии. Получили практически одинаковые хроматограммы для кислот битумов пушицево-сфагнового торфа, хранившегося в осушенной залежи на глубине 0,5 и 1,3 м, т. е. выше и ниже уровня стояния грунтовых вод.

Влияние степени осушенности залежи и продолжительности хранения образцов на выход и состав битумов, проведенное для других верховых видов торфа, подтверждают вывод об определенной стабильности битумов торфа: за два года хранения в различных условиях залежи содержание битумов в образцах как комплексно-верхового (R = 10 %), так и магелланикум (R = 15 %), а также ангустифолиум (R=10 %) и пушицево-сфагнового со степенью разложения 20 и 25 % видов торфа изменилось мало.

За 5 лет хранения образцов торфа в осушенной залежи происходят изменения количественного содержания и качественного состава их битумной части. Для комплексного верхового торфа с R = 10 % содержание битумов в основном возрастает и для некоторых образцов существенно (в 2 раза для образца, хранившегося на глубине 1,1 м). В случае магелланикум-торфа с R = 15 % содержание битумов возросло для образцов, хранившихся в зоне выше уровня стояния грунтовых вод, от 2,6 % для исходного до 3,8 и 3,6 % для образцов из глубины 0,2–0,4 и 0,4–0,6 м соответственно. Для этих же образцов заметно повышается и содержание непредельных соединений в составе битумов (растет йодное число). Для всех образцов магелланикум-торфа после пяти лет хранения в осушенной залежи увеличивается содержание кислотных соединений в битумах.

Для образцов пушицево-сфагнового торфа с R = 20 % после пятилетнего пребывания в осушенной залежи наблюдается увеличение выхода битума за исключением образцов, находившихся вблизи поверхности залежи (на глубине 0–20 и 20–40 см). Исходным материалом, дающим начало битумам торфа, являются липоиды, которые содержатся в растениях-торфообразо-

вателях и составляют самую стабильную часть живых организмов. Более высокую битуминозность в образцах торфа после пятилетнего пребывания в залежи можно объяснить избирательным накоплением восковой части битумов относительно других более лабильных компонентов органического вещества торфа. Для наименее осушенного разреза торфяной залежи, где грунтовые воды находились вблизи поверхности, наблюдается снижение выхода битума для проб, хранившихся на глубине до 40 см, с 4,6 до 3,2–3,5 % и повышение выхода до 5,2–5,6 % для нижележавших проб. Окислительная обстановка залежи приводит к увеличению кислотных соединений в битуме (кислотное число повышается от 29,0 мг КОН/г для исходной пробы до 50–60 после пяти лет хранения в залежи). Количество непредельных соединений в битумах практически не изменяется. Температура каплепадения колеблется в пределах ±1,5°С. В образцах, хранившихся в наиболее осушенной части залежи, где уровень грунтовых вод опускался до глубины 80 см, наблюдалось увеличение выхода битума от 4,6 % до 5,5–5,9. На глубине 100–120 см, т. е. ниже уровня грунтовых вод, отмечался максимальный выход по разрезу – 7,5 %. Температура каплепадения выделенных битумов изменялась в пределах ±3°С по сравнению с исходной пробой, отмечалась тенденция некоторого роста кислотных и непредельных соединений в составе битумов (повышение кислотного и йодного чисел). Для образцов из разреза, где уровень грунтовых вод колебался от 20 до 65 см, выход битума возрос до 5,7–5,8 % в зоне колебания уровня грунтовых вод, достигнув 8,4 % для образца, находившегося на максимальной исследованной глубине, т. е. 80–100 см. В работах [16, 22] при обследовании торфяных месторождений было также замечено низкое содержание битумов в верхних слоях залежи и повышение содержания битумов в 2–3 раза при переходе к более глубоким слоям. Этот эффект можно объяснить процессами миграции вод торфяника, совершающейся из года в год в торфяной залежи, в результате чего может происходить вымывание и переотложение органического вещества торфа.

В работе [20] представлены данные об изучении химического состава битуминозных компонентов торфов естественных и осушенных участков верховых болот. Углеводороды и кислородсодержащие органические соединения из торфа выделяли 7 %-ным раствором метанола в хлороформе и анализировали методом газовой хромато-масс-спектроскопии. Во всех исследованных торфах идентифицированы представители н-алканов, аренов, жирных кислот и их эфиров, алканонов, альдегидов, ациклических, а также би-, три-, тетра- и пентациклических изопреноидов, токоферолов и трифенилфосфатов. Доминирующими классами органических соединений в нативных торфах являются н-алканы и тритерпены, их содержание составляет около 70 % от общей суммы идентифицированных соединений. Образец торфа осушенного участка по групповому составу липидов близок нативным, но в нем повышена доля жирных кислот. В образце торфа из осушенного участка содержание большинства групп органических соединений выше, чем в торфе нативного участка. Исключением являются н-алканы, арены и токоферолы, количество которых не изменяется. Наиболее заметно увеличение содержания в торфе осушенного верхового болота циклических изопреноидов – стероидов и сесквитерпенов (в 5 и 9 раз соответственно). Разнообразие же тритерпенов в торфах нативных участков болот существенно выше по сравнению с осушенными участками, что объясняется частичным разрушением отдельных структур при осушении и накоплением устойчивых соединений.

В естественном состоянии торф содержит более 80 % воды, при добыче его обезвоживают до товарного влагосодержания. Влагоудаление, повышенный газообмен, тепловое и радиационное воздействие в период сушки приводят к изменению не только физико-технических свойств, но и химического состава торфа. Причем по мере усиления жесткости режима сушки, сопровождающейся увеличением пористости торфа и снижением термической устойчивости в первую очередь углеводного комплекса, возрастает скорость химических превращений при хранении торфа и соответственно увеличиваются потери органического вещества [7, 9]. Особенно существенное воздействие на органическое вещество торфа оказывает ультрафиолетовое облучение, способствуя его окислению. При этом возрастает концентрация перекисных соединений, происходит разрушение углеводов и увеличивается склонность торфа к саморазогреванию [13].

В работе [10] изучали влияние искусственной сушки при температуре 150 °С фрезерного торфа до товарного влагосодержания сырья (с 50 до 20 % влажности) и показали, что выход и качество сырого торфяного воска при этом не изменяются. В то же время из практики использования торфяного сырья часто отмечается несоответствие прогнозируемого и реально получаемого содержания сырого торфяного воска. В связи с этим был исследован процесс сушки торфа от естественного (86 %) до товарного состояния. Торф сушили в лабораторных условиях на воздухе (t = 20 °С, конвективная сушка), под ИК-лампой (t = 80 °С, радиационно-конвективная сушка), а досушку с начальной влажности 56 % до 20 % влажности осуществляли в промышленных условиях на парогазобарабанной сушилке (t = 120 °С) и в псевдоожиженном слое на сушил-

ке СК-7 *(t* = 100 °С). Экстракцию высушенного торфа проводили в аппарате Грефе нефрасом C_2 – 80/120 в течение 4 ч при температуре кипения растворителя [8].

Как свидетельствуют полученные данные, условия сушки практически не сказываются как на выходе воска, который колеблется в пределах 5,8–5,9 % на ОВ, так и на его общетехнических свойствах – температуре каплепадения, кислотном и йодном числах. Исследован химический состав полученных восков методами тонкослойной и газожидкостной хроматографии и показано, что при сушке торфа в конвективном и радиационно-конвективном режимах групповой состав получаемых восков практически одинаковый; при искусственной досушке торфа в парогазобарабанной сушилке несколько увеличивается количество нейтральных гетероатомных соединений в воске (от 26,2 до 31,2 %) и соответственно наблюдается снижение содержания кислот (с 69 до 64 %). Анализ данных индивидуального состава кислот сырых торфяных восков, полученных из торфа, высушенного в разных режимах, свидетельствует о том, что досушка торфа с влажности 56 % до влажности экстракции вне зависимости от условий сушки практически не сказывается на индивидуальном составе кислот торфяного воска. Однако в случае сушки торфа с исходной влажностью выше 80 % условия сушки оказывают заметное влияние. Так, при сушке торфа в радиационно-конвективном режиме по сравнению с конвективным количеством кислот в воске возрастает на 10–13 % и соответственно уменьшается количество фракций нейтральных гетероатомных соединений, возможно, за счет окисления спиртов.

Определен индивидуальный состав н-жирных кислот восков, полученных из торфа, высушенного в конвективном и радиационно-конвективном режимах, идентифицированы н-кислоты насыщенного ряда с числом атомов углерода в молекуле от 12 до 34. Отмечается преобладание кислот с четным количеством атомов углерода, причем в случае сушки торфа в конвективном режиме на долю кислот C_{22}–C_{28} приходится 60 % от общего количества кислот, а в случае радиационно-конвективной сушки – только 46 %, т. е. преобладают кислоты с меньшим числом атомов углерода, что позволяет говорить о деструктивных процессах, происходящих при радиационно-конвективной сушке.

Наиболее значительные преобразования органического вещества происходят при хранении торфа в складочных единицах. Еще в первых работах по изучению изменения химического состава торфа, проведенных в 30-е годы XX в. в Институте торфа, было замечено уменьшение выхода бензольного битума в образцах, прошедших стадию интенсивного саморазогревания при хранении фрезерного торфа в производственных складочных единицах [6]. В работе [23] указывается, что в гревшемся торфе содержание битумов ниже, чем в исходном, и объясняется это полимеризацией смолистой части. Наиболее обстоятельное исследование по изучению влияния саморазогревания на выход и состав битумов торфа было проведено П. И. Белькевичем и др. [5] на примере сосново-пушицевого торфа с *R* = 35–40 %. Показано, что при хранении образцов из верхних слоев штабеля заметно падает выход как бензинового, так и бензольного битума, а также йодных чисел (следовательно, количества непредельных соединений). Для образцов, хранившихся на всех глубинах складочной единицы, падает число омыления, следовательно, происходят изменения в качественном составе экстрагируемых веществ.

В работе [14] исследовались виды торфа, перспективные в качестве сырья для производства торфяного воска, а именно сосново-пушицевый *(R* = 45 %) и осоковый низинный (*R* = 30 %). Через 10 месяцев хранения количество битума, извлекаемого бензином, уменьшилось на 20 %, причем снижение выхода было тем значительнее, чем выше температура разогревания. Сырой воск гревшегося торфа характеризовался более высокой температурой плавления, низким числом омыления и эфирным числом. Причем эти изменения более заметны для верхового торфа, так как известно [25], что в составе битумов верховых торфов больше смол. На стадии же микробиологической и ферментативной деятельности в греющемся торфе битумная часть в основном количественно стабильна.

Влияние автоокисления на состав сырого торфяного воска также изучено на образцах верхового переходного торфа со степенью разложения 30 % (ботанический состав: осока – 45 %, пушица – 25 %, сфагновые мхи – 25 %, кора сосны – 5 %), отобранных из штабеля после хранения в течение четырех месяцев [8]. Установлено, что наиболее существенные изменения выхода и состава воска наблюдались в тех зонах, где имели место значительные превращения торфа (на глубине 0,6–1,0 м) и максимальная температура саморазогревания достигала 82 °С. Высокая температура и аэробные условия способствовали снижению выхода и превращениям сырого торфяного воска. На глубине более 1 м снижение выхода незначительно (~ 5 %), причем наблюдается хорошая корреляционная связь между выходом воска, влажностью и степенью превращения компонентов торфа. Уменьшение выхода битумов при хранении фрезерного торфа связано, по-видимому, с процессами полимеризации смолистых веществ с образованием нерастворимых в бензине продуктов, что приводит к снижению содержания смолистых веществ на 15–

20 % в воске из гревшегося торфа и росту температуры каплепадения на 5–10 °С, т. е. при саморазогревании торфа происходит обогащение торфяных битумов собственно восковой частью, Наблюдаются и изменения в химическом составе выделяемых из гревшихся образцов торфа битумах (изменяется количество спиртов, кислотных соединений и углеводородов). Проведено тестирование битумов, полученных из исходных и гревшихся образцов торфа на содержание стеринов. Если битум, выделенный из исходного торфа, содержит физиологически активные вещества стерины, то в битумах, полученных из гревшихся при хранении в производственных складочных единицах образцах торфа, стерины либо отсутствуют, либо присутствуют в виде следов [8].

Таким образом, полученные данные показывают, что добыча битуминозного сырья фрезерным способом приводит не только к снижению выхода бензинового экстракта, но и к изменению качества сырого торфяного воска. Это обусловлено как полимеризацией низкомолекулярной составляющей сырого воска – ее смолистой части, сопровождающейся повышением температуры каплепадения, так и окислением спиртов восковой части. Для исключения такого явления необходимо проводить профилактические мероприятия при хранении торфа, исключающие саморазогревание, или заготавливать битуминозное торфяное сырье в виде кусковой продукции, не подвергающейся саморазогреванию. Это и осуществлялось при поставке торфяного сырья на Завод горного воска.

При изучении промышленного процесса экстракции сырого торфяного воска пришли к выводу, что сырьем для производства воска методом непрерывной экстракции может быть торф, добытый фрезерным способом и способом глубинно-щелевого фрезерования с частицами размером 0,5–3 мм, а также гранулированный (фракции 0,5–5 мм), получаемый из фрезерного торфа или торфяной пыли методом окатывания [3]. Но поскольку средняя скорость фильтрации растворителя через слои фрезерного торфа примерно в 2 раза ниже, чем через слой гранулированного торфа, то экономически более целесообразно использовать для экстракции битума гранулированный торф. Кроме того, гранулированный торф имеет насыпную плотность в 1,5 раза большую, чем фрезерный, что позволяет увеличить объем воска, получаемого с единицы объема экстрактора.

Для получения сырого торфяного воска более стабильного качества предпочтительным является его добыча не методом послойного фрезерования, а глубинно-щелевой экскавации. Экскавацию торфа следует проводить на всю глубину восконосного слоя [24]. Целесообразно удаление древесных остатков, так как экстракты древесины (канифольные кислоты и другие продукты) – нежелательная примесь, загрязняющая воск. При экстрагировании битума из торфяной крошки, полученной путем дробления кускового экскаваторного торфа и экскаваторно-фрезерного торфа без дробления, было показано, что из фрезерно-экскаваторного торфа извлечение воска происходило более быстро и полно, чем из крошки, полученной из кускового торфа. Таким образом, лучшим сырьем для производства торфа является экскаваторно-фрезерный торф [24]. По мнению исследователей, фрезерный торф для промышленного использования в качестве сырья для извлечения битумов малопригоден из-за низкого объемного веса. Кроме того, в нем содержится большее количество частиц менее 0,5 мм. Экскаваторный торф хотя и приемлем, но требует больших затрат для получения из него крошки, пригодной для экстракции. При этом неизбежен большой отход в виде пыли (частиц < 0,5 мм).

Для освоения природных ресурсов необходимы разработки технологий, позволяющих полно использовать торфяное сырье с минимизацией отрицательных воздействий на окружающую среду. При принятии решения о целесообразности использования запасов торфяного сырья при освоении торфяного месторождения следует учитывать не только экономические выгоды, запасы, глубину залежи и качественные характеристики торфяного сырья, но и экологические последствия техногенного воздействия на торфяную залежь и окружающую среду. Более того, в зависимости от качественного состава торфа и условий формирования торфяной залежи необходимо использовать различные технологии разработки и извлечения торфяных запасов. Процесс освоения торфяных месторождений должен включать по меньшей мере три этапа. Первый этап – прогноз качественного и количественного состава на стадии оценки сырьевых ресурсов. Второй – прогноз качества торфа в ходе технологического процесса добычи сырья с учетом техногенных факторов. Третий – прогноз качества и количества конечного продукта, получаемого из добытого торфа, на этапе осуществления технологического процесса термобиохимической (заводской) переработки торфяного сырья.

При принятии решения об освоении торфяных месторождений с целью получения сырья, богатого битумами, помимо выбора технологических приемов, позволяющих уменьшить изменения его химического состава, сопровождающие процесс добычи, следует иметь в виду и необходимость минимизации отрицательного воздействия добычи торфа на окружающую среду. Как следует из анализа данных по содержанию битумов в составе торфов различных видов,

наиболее битуминозными являются сосново-пушицевые, пушицевые и пушицево-сфагновые торфа верхового типа высокой степени разложения. Их и следует рассматривать в первую очередь в качестве сырья для получения торфяного воска.

Формирование того или иного типа месторождения тесно связано с рельефом поверхности, поскольку именно геоморфологические условия наряду с водным режимом являются решающими для определения типа растительности торфяного месторождения (верховой, переходный, низинный). Проводя исследования торфяных месторождений Беларуси, А. П. Пидопличко разработал геоморфологическую классификацию, которая включает в себя три категории: водораздельные, древних террас и пойменные, которые, в свою очередь, подразделяются на 18 геоморфологических групп [17]. Геоморфологические условия формирования торфяных месторождений обуславливают и стратиграфию торфяных залежей. Анализируя стратиграфию торфа различных геоморфологических групп торфяных месторождений с точки зрения возможности их использования в качестве сырья для получения торфяных битумов, приходим к выводу, что месторождения с подходящим видовым составом торфа следует искать среди торфяных месторождений водораздельного залегания, так как в залежах месторождений данной группы встречаются мощные слои верховых торфов высокой степени разложения. Среди месторождений водораздельного залегания мощные прослойки с сосново-пушицевым торфом высокой степени разложения наиболее вероятно встретить среди торфяных месторождений бессточных котловин, среди торфяных месторождений неглубоких междуречных впадин ложбинного характера, подстилаемых озерными глинами, в составе водораздельных торфяных месторождений пологоволнистых абляционных равнин, среди торфяных месторождений бессточных межморенных котловин конечно-мореннного ландшафта и, наконец, в составе торфяных месторождений междуречных межгривных понижений. Имеется некоторая вероятность обнаружения прослоек сильноразложившегося сосново-пушицевого торфа либо пушицево-сфагнового с сосной у основания торфяных месторождений староречий [17].

Отличия в условиях болотообразования и торфонакопления в разных естественных районах республики привели к различным стратиграфическим схемам в строении торфяных залежей. Так, в северных районах республики преобладают отложения больших толщ комплексно-верхового и шейхцериево-сфагнового торфов [17]. На контакте нижних слоев верховых торфов с переходными или минеральным дном, как правило, выделяется слой пушицевого, сосново-пушицевого или сосново-сфагнового торфа. Для торфяных месторождений западных районов средней полосы республики характерно почти полное отсутствие верховых залежей. Центральные районы Беларуси в стратиграфии торфяных залежей характеризуются наличием большого количества как верховых, так и низинных торфяных месторождений. При этом первые на контакте с минеральным грунтом или подстилающим переходным торфом имеют мощную прослойку пушицевых торфов. В восточной части Беларуси, охватывающей большинство районов Могилевской и восток Гомельской области, развитие верховой залежи начинается непосредственно со значительной толщи сосново-пушицевого торфа. Для Полесья характерны низинные торфяные месторождения.

При принятии решения о выборе технологии добычи торфа как сырья для получения той или иной продукции на его основе необходимо принимать во внимание и тот факт, что геоморфологические условия формирования торфяного месторождения накладывают ограничения на выбор того или иного способа добычи. В частности, торфяные месторождения бессточных котловин трудно поддаются осушению. Для обеспечения стока дренажных вод необходима их откачка. Характер торфяного месторождения также определяет выбор того или иного способа добычи [18]. Так, применение экскаваторного способа добычи лимитируется степенью разложения торфяной залежи. Она должна быть в среднем по залежи на глубину экскавации не ниже 15 %, так как в противном случае получаемый кусок будет обладать влагоемкостью и малой прочностью. При выборе способа добычи торфа необходимо учитывать и такой важный момент, как полноту использования торфяной залежи.

Таким образом, анализ имеющихся в литературе и собственных данных об изменении содержания и качественных характеристик битумов на этапах технологического процесса подготовки торфяного сырья к переработке свидетельствует о том, что происходящие превращения касаются в большей степени смолистой составляющей торфяного битума. Окислительные процессы, сопровождающие длительное пребывание торфа в осушенной залежи, как и хранение в разогревающейся складочной единице фрезерного торфа приводят к увеличению доли восков в составе торфяных битумов. В соответствии с этим особенно внимательно необходимо подходить к вопросам подготовки торфяного сырья при квалифицированном использовании смолистой составляющей «сырого торфяного воска».

Литература

1. **Бамбалов, Н. Н.** Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения / Н. Н. Бамбалов. – Минск, 1984.

2**. Барсуков, А. И.** Пути снижения минерализации органического вещества торфяно-болотных почв / А. И. Барсуков [и др.] // Проблемы Полесья. – Минск, 1977. – Вып. 3. – С. 69–93.

3. **Белькевич, П. И.** Битумы торфа и бурого угля / П. И. Белькевич, Н. Г. Голованов, Е. Ф. Долидович. – Минск, 1989.

4. **Белькевич, П. И**. Влияние некоторых органических растворителей на выход и состав экстрактов из торфа / П. И. Белькевич, Л. А. Иванова, Я. В. Церлюкевич // Изв. АН БССР. Сер. хим. наук. – 1974.– № 4.– С. 121–123.

5**. Белькевич, П. И.** Об изменении битумов в процессе саморазогревания верхового фрезерного торфа высокой степени разложения / П. И. Белькевич [и др.] // Комплексное использование торфа. – М., Л. 1965. – С. 34–38.

6. **Бегак, Д. А.** Изменение фрезерного торфа при саморазогревании / Д. А. Бегак // Тр. Инсторфа. – 1934. – Вып. 13.– С. 78–95.

7. **Гаврильчик, А. П.** Превращения торфа при добыче и переработке / А. П. Гаврильчик. – Минск, 1992.

8. **Гаврильчик, А. П.** Трансформация свойств торфа при антропогенном воздействии / А. П. Гаврильчик, Т. Я. Кашинская. – Минск, 2013.

9. **Гаврильчик, А. П.** Влияние условий сушки торфа на скорость его превращения при хранении / А. П. Гаврильчик [и др.] // Торф. пром-ть – 1984. – № 12. – С. 21–24.

10. **Зубко, С. В.** Влияние температуры сушки гранулированного торфа на выход и качество воска / С. В. Зубко, П. И. Белькевич // Торф. пром-ть – 1984. – № 5. – С. 24–26.

11. **Лабораторное** моделирование процесса разложения торфа в связи с мелиорацией и сельскохозяйственным освоением торфяно-болотных почв. – Минск, 1980.

12. **Лиштван, И. И.** Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. – Минск, 1976.

13. Маль, С. С. Изменения в углеводном составе торфа под действием УФ-излучения / С. С. Маль, С. С. Поваркова // Новые процессы и продукты переработки торфа. – Минск, 1982. – С. 39-42.

14. **Наумова, Г. В.** О характере изменения воска верхового и низинного торфа при саморазогревании / Г. В. Наумова // Исследование по технологии, механической и химической переработке торфа. – Минск, 1972. – С. 160-164.

15. **Олиневич, В. А.** Качественный состав органического вещества торфяных почв Украинской ССР и влияние на него сельскохозяйственного использования / В. А. Олиневич**,** И. Я. Кофман // Почвоведение. – 1977. – № 1. – С. 72–82.

16. **Пигулевская, Л. В.** Изменение химического состава отдельных видов торфов в зависимости от их возраста. Возраст и изменение состава битумов торфов / Л. В. Пигулевская, В. Е. Раковский // Тр. Ин-та торфа АН БССР. – Минск, 1957. – С. 110–122.

17. **Пидопличко, А. П.** Торфяные месторождения Беларуси / А. П. Пидопличко. – Минск, 1961.

18**. Пичугин, А. В.** Торфяные месторождения / А. В. Пичугин – М., 1967.

19. **Позняк**, **В. С.** Содержание битумов в торфах и их состав / В. С. Позняк, В. Е. Раковский // Тр. Инта торфа. – Минск. 1957. – Т. 6. – С. 88–95.

20. **Серебренникова, О. В.** Особенности состава органических соединений торфов верховых болот Беларуси и Западной Сибири / О. В. Серебренникова [и др.] // Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири : материалы Второй междунар. науч.-практ. конф. 18–21 авг. 2014 г. – Томск, 2014. – С. 207–211.

21. **Скоропанов, С. Г.** Минерализация органического вещества окультуренной торфяной почвы / С. Г. Скоропанов [и др.] // Весці АН БССР. Сер. сел.-гас. навук. – 1973. – № 4. – С. 37–43.

22. **Стадников, Г. Л**. Химия торфа. – М.; Л., 1932.

23. **Стрелков, С. С.** Изменение химического состава торфа и роль железа при саморазогревании / С. С. Стрелков**,** К. И. Малышев // Тр. ВНИИТП. – 1957. – Вып. 15. – С. 21–25.

24. **Торфяно**й воск и сопутствующие продукты. – Минск, 1977.

25. **Раковский, В. Е.** Химия и генезис торфа / В. Е. Раковский**,** Л. В. Пигулевская. – М., 1978.

26. **Шишкене, Я. И.** Изменение свойств верхового малоразложившегося торфа на осушенных и разрабатываемых залежах / Я. И. Шишкене, Ю. П. Видмантас // Торф. пром-сть. – 1972. – № 5. – С. 16–18.

27. **Okruszko, H.** Humifikacja i mineralizacja jaco elementy skladowe procesu murcznenia gleb forfowych / H. Okruszko**,** A. Kozakiewicz // Zenz. probl. postep. nayk roln. – 1973. – № 146. – P. 63–76.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 6.04.2015 г.

Т. Я. Кашинская

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ДОБЫЧИ НА КАЧЕСТВО ТОРФА КАК БИТУМИНОЗНОГО СЫРЬЯ

С целью разработки предложений по выбору технологий добычи торфа как сырья для производства продукции на основе битумов обобщены направления использования битумов, требования к сырью для получения битумов, влияние различных технологических приемов подготовки торфяного сырья на качественные и количественные характеристики его битумов. Наблюдаемые изменения содержания и качественных характеристик битумов на этапах технологического процесса при различных известных способах добычи торфяного сырья свидетельствуют о том, что происходящие превращения касаются в большей степени смолистой составляющей торфяного битума. Окислительные процессы, сопровождающие длительное пребывание торфа в осушенной залежи, как и хранение в разогревающейся складочной единице фрезерного торфа, приводят к увеличению доли восков в составе торфяных битумов. В соответствии с этим особенно внимательно необходимо подходить к вопросам подготовки торфяного сырья при квалифицированном использовании смолистой составляющей «сырого торфяного воска».

Выявлены геоморфологические условия формирования торфяных месторождений, обладающих запасами торфа, пригодного для получения продукции на основе его битумного комплекса «сырого торфяного воска». Перспективное битуминозное сырье следует искать среди торфяных месторождений водораздельного залегания.

T. Ya. Kashinskaja

THE INFLUENCE OF TECHNOLOGY EXTRACTION ON THE QUALITY OF PEAT AS BITUMINOUS RAW MATERIAL

In order to develop proposals for the selection of technologies for the extraction of peat as a raw material for the manufacture of products based on bitumen, uses of bitumen, requirements for raw materials to produce bitumen, the effect of various processing methods of preparing peat raw materials on qualitative and quantitative characteristics of its bitumen have been generalized. Observed changes in the content and quality characteristics of bitumen at stages of the process in different known methods of extraction of the peat raw material indicates that the conversion occurring relate mostly resinous component peat bitumen. Oxidation processes that accompany prolonged exposure in drained peat deposits, as well as storage in the heating reserve unit of milled peat, lead to an increase in the proportion of wax in the composition of peat bitumen. Accordingly, particular attention should be approached to the preparation of the peat raw material by skilled use of a resin component of the «raw peat wax».

Geomorphologic conditions of formation of peat deposits with reserves of peat, suitable for production on the basis of its bitumen complex «raw peat wax» have been identified. Prospective bituminous materials should be found among the peat deposits watershed.

УДК 628.3

А. Э. Томсон, Н. О. Павлюшнева

ПРИМЕНЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ СБОРА НЕФТИ С ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ И ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕМАСЛОПРОДУКТОВ

Сравнительные исследования эффективности очистки модельных сточных вод от нефтемаслопродуктов в растворенном и эмульгированном состояниях органическими сорбентами показали, что создание композиционных фильтрующих загрузок на их основе позволяют улучшать качественные показатели очищенных сточных вод. Использование дисперсного сорбента на основе сфагнового торфа для сбора нефти с поверхности воды является преимущественным по сравнению с сорбентом «Ливсор-С» ввиду более низких значений водопоглощения, простоты нанесения на поверхность воды, экологичности, наличию больших сырьевых запасов и невысокой стоимости.

Одной из наиболее важных проблем современности является предотвращение загрязнения окружающей среды (водоемов и атмосферы от промышленных выбросов), вызываемого в основном сбросом неочищенных сточных вод (СВ) и газов, образующихся в различных технологических процессах. Самыми распространенными видами загрязнений водоемов (рек, водохранилищ) являются нефть и нефтемаслопродукты (НМП).

Несмотря на то, что Республика Беларусь не является крупным нефтедобывающим государством, на ее территории сконцентрировано значительное количество потенциально опасных, использующих нефть объектов (нефтедобывающие и нефтеперерабатывающие предприятия, нефте- и нефтепродуктопроводы, автотракторные и машиностроительные предприятия, резервуарные топливные парки, автомобильный и железнодорожный транспорт). Наиболее масштабные загрязнения объектов окружающей среды НМП происходят в результате нарушения целостности нефтепродуктопроводов, аварий на железнодорожном и автомобильном транспорте, сброса неочищенных сточных вод.

Для очистки СВ от НМП в настоящее время применяют механические, физико-химические и биологические методы. Практическое значение имеют методы отстаивания, центрифугирования, фильтрования, из физико-химических – флотация, коагуляция, сорбция. Из химических методов в основном используются окисление хлором (хлорирование) и окисление озоном (озонирование). В смеси с бытовыми водами возможна очистка на сооружениях биологической очистки. Гравитационным методом посредством механического отстаивания удаляются НМП, находящиеся во взвешенном состоянии, а также другие грубодисперсные примеси. Данным методом НМП удаляются на 40 %, взвешенные вещества – на 50 % [2, 4, 5, 7]. Флотационные методы очистки предназначены для замены некоторых гравитационных методов, их использование позволяет удалять те же уровни загрязнения [8].

Для глубокой очистки воды от НМП, находящихся в тонкоэмульгированном и растворенном состояниях, необходимо применять сорбционный метод; в частности для очистки воды от НМП практическое значение имеет адсорбция. При адсорбции молекулы растворенных НМП под воздействием силового поля поверхности переходят на поверхность сорбента. Сила, с которой удерживаются извлеченные из воды вещества на поверхности сорбента, обусловлена межмолекулярными взаимодействиями.

Большинство используемых в настоящее время сорбционных (нефтепоглощающих) материалов (НПМ) для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов получают на основе синтетических и природных полимеров. Типичными представителями НПМ, полученных на основе синтетических полимеров и изделий из них являются сорбенты на основе полипропиленовых волокон, пенографита, пенопластов (пенополиуретаны), изделий из поливинилхлорида (ПВХ), фенолформальдегидных смол, резиновой крошки и др. По имеющимся литературным данным для изделий из синтетических полимеров приводятся величины нефтеемкости, находящиеся в пределах до 40–50 г/г. В основном такие высокие значения величин сорбционной емкости этих материалов обусловлены весьма низкими значениями насыпной плотности (< 0,1 т/м^3). С учетом малых величин насыпной плотности для сбора одинакового количества нефти вспененные полимерные материалы занимают объем в 4 раза больший, чем природные органические НМП, что создает определенные трудности при хранении и транспортировке этих материалов. Низкие значения плотности приводят к определенным трудностям нанесения легких вспененных полимеров на нефтезагрязненные объекты в ветреную погоду и при низких температурах воздуха. К основным недостаткам этих материалов следует отне-

сти их высокую стоимость и существенные проблемы, возникающие при утилизации синтетических нефтенасыщенных сорбентов. Известно, что в ряде регионов РФ директивными решениями органов хозяйствования использование сорбционных материалов для ликвидации аварийных разливов нефти не допускается без специальных решений по их утилизации. Материалы, полученные на основе фенолформальдегидных смол, пенополиуретана, ПВХ и др., не могут быть утилизированы ни путем сжигания, ни захоронения в почве. По некоторым данным концентрация синильной кислоты в продуктах горения пенополиуретана при повышении температуры горения от 700 до 1000 °С возрастает в 50 раз, в связи с чем рекомендуется избегать совместного применения пенополиуретана с легковозгораемыми материалами, выделяющими большое количество теплоты при горении (в частности, нефтепродуктами).

Большинства этих недостатков лишены сорбционные материалы, полученные на основе природных полимеров (мхи, торф, сапропели, отходы хлопкового и льняного производства и др.), а также продуктов их переработки. В мировой практике использования сорбционных технологий для ликвидации последствий аварийных разливов нефти именно этим материалам отдается предпочтение. Широко известны НПМ «Peatsorb» и «Sphag Sorb» (Канада), «Ripotin» Финляндия, «Turbo-Jet» Франция, «Лессорб», «Сибсорбент», «Сорбойл» (Россия), «Экоторф» (Беларусь), полученные на основе торфа. Нефтепоглощающая способность этих материалов находится в пределах 10–12 г/г. С учетом того, что основой этих НПМ является торф (природный биоразлагаемый полимер), торфяные НПМ легко подвергаются утилизации путем сжигания либо захоронения в почве.

Цель настоящей работы – сравнительная оценка возможности применения органических сорбентов для сбора НМП с водной поверхности и очистки сточных вод, содержащих НМП в эмульгированном и растворенном состояниях.

Исследование физико-химических свойств и сорбционно-адгезионной активности органических сорбентов, применяемых для ликвидации аварийных разливов нефти на воде.

В качестве объектов исследования выбраны:

1) сорбционный материал на основе торфа, полученный по технологии, разработанной в Институте природопользования НАН Беларуси;

2) сорбент «Ливсор-С» порошкообразный серо-черный материал, полученный в результате термического расщепления специально обработанного графита и предназначенный в первую очередь для сбора и удаления аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на морских и пресноводных акваториях, на реках и озерах, в портах, на территориях и акваториях нефтяных терминалов, на грунтах, примыкающих к трубопроводам или нефтехранилищам, на автозаправочных станциях. Сорбент «Ливсор-С» инертен к кислотам и щелочам, нерастворим в газовом конденсате, бензине и прочих нефтяных производных; отличается от применяемых в настоящее время сорбентов своими физическими свойствами, структурой и высокой величиной адгезии; имеет развитую поверхность макропор, которая удерживает жидкие углеводороды в количествах, в несколько десятков раз превосходящих массу самого сорбента. Данный сорбент обладает значительной сорбирующей способностью (сорбционная емкость 1 г сорбента составляет 20–35 г нефти) и 100 %-ной плавучестью. Благодаря своей высокой термостойкости «Ливсор-С» может быть использован для сбора нефтепродуктов даже в условиях их возгорания. Сорбент «Ливсор-С» готов к применению в системах очистки промышленных, ливневых и бытовых сточных вод как самостоятельно, так и в качестве наполнителя к различным фильтрам;

3) дисперсный сорбент на основе сфагнового торфа.

В соответствии с нормативным документом «Программа и методика испытаний сорбентов для ликвидации аварийных разливов нефти на воде и почве», разработанным Институтом природопользования НАН Беларуси, ГП БелНИИтоппроект, Полоцким государственным университетом, ООО «Экойл Сервис», эффективность сорбентов в лабораторных условиях оценивали по следующим показателям:

насыпная плотность;

сорбирующая способность – объемная и поверхностная (нефтеемкость);

водопоглощение;

Определение насыпной плотности сорбентов проводили в соответствии с ГОСТ 24701–81, ГОСТ 16190–70 и ТУ 9010-001-35615057–94.

Насыпную плотность ρ вычисляли по формуле

$$\rho = (M_2 - M_1) / V,$$

где M_1 – масса пустого цилиндра, г; M_2 – масса цилиндра с сорбентом, г; V – объем цилиндра, см³.

Определение сорбирующей емкости по нефти (нефтеемкости) проводили с учетом требований ГОСТ 24160–80, ТУ 9010-001-35615057–94 и методики [1].

Нефтеемкость Q_0 в процентах по массе вычисляли с точностью до 0,1 % по формуле

$$Q_0 = [(M_2 - M_1)/M_1] \cdot 100,$$

где M_1 – масса сухой навески сорбента, г; M_2 – масса навески после поглощения нефти, г.

Определение водопоглощения сорбентов $B_п$ проводили в соответствии с ГОСТ 24160–80 и вычисляли по формуле

$$B_п = [(m_к – m_н)/m_н] \cdot 100,$$

где $m_к$ и $m_н$ – масса сорбента после и до намокания.

Результаты определений указанных выше характеристик представлены в табл. 1.

Таблица 1. **Физико-химические и сорбционные характеристики нефтемаслопоглощающих сорбентов**

Сорбент	Насыпная плотность, кг/м³	Нефтепоглощение, кг/кг	Водопоглощение, %
«Ливсор-С»	7,4	58,6	7500
Гранулированный сорбент на основе торфа	328,0	1,9	84,9
Дисперсный сорбент на основе сфагнового торфа	84,0	10,1	325,5

Из табл. 1 следует, что наиболее высокими показателями по нефтеемкости характеризуется сорбент Ливсор-С. Дисперсный сорбент на основе сфагнового торфа также обладает достаточно высокими значениями нефтепоглощения. Гранулированный сорбент на основе торфа имеет низкую нефтеемкость, так как при разработке технологии производства не ставилась задача его использования для сбора нефти с поверхности воды, а предполагалось использовать для очистки нефтемаслосодержащих сточных вод. Несмотря на то что «Ливсор-С» обладает высокими значениями нефтепоглощения, показатели водопоглощения его также очень высокие. В результате этого сорбент «Ливсор-С» при применении его для ликвидации аварийных разливов нефти на поверхности воды не будет реализовывать заявленные высокие значения нефтепоглощения, так как будет происходить конкурентный процесс поглощения воды.

Дисперсный сорбент на основе сфагнового торфа и гранулированный сорбент обладают в 34 и 88 раз меньшими значениями водопоглощения по сравнению с «Ливсор-С», что служит преимуществом при применении для сбора нефти с поверхности воды.

Использование сверхлегких материалов, каким является «Ливсор-С» (насыпная плотность 7,4 кг/м³), является затруднительным при нанесении его на поверхность воды в реальных условиях вследствие легкости уноса его ветром за пределы нефтяного пятна.

Применение органических сорбентов для очистки нефтемаслосодержащих сточных вод.

В качестве объектов исследовались:

гранулированный торф, упомянутый выше;

сорбент «Ливсор-С»;

активированный уголь, полученный на основе сосново-пушицевого торфа со степенью разложения 40–45 % по технологии, разработанной в Институте природопользования НАН Беларуси; сорбционная активность по метиленовому голубому – 169 мг/г;

фильтрующая загрузка, включающая гранулированный торф и «Ливсор-С» в равных частях.

Лабораторные исследования сравнительной эффективности применения указанных сорбентов для очистки модельных сточных вод от 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 исходной 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. Модельная вода готовилась на водопроводной воде с добавлением нефтемаслосодержащей 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 рассчитывали по формуле

$$(C_0 – C)/C_0 \cdot 100,$$

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 [3]. Результаты эксперимента представлены в табл. 2.

Анализ данных, представленных в табл. 2, показывает, что применение органических сорбентов для очистки сточных вод, содержащих НМП, является достаточно эффективным. Степень очистки модельной воды гранулированным торфом и сорбентом «Ливсор-С» составляет

94–96 %, а остаточное содержание НМП – 3,4–2,5 мг/дм^3. Положительный эффект достигается при сочетании гранулированного торфа и сорбента «Ливсор-С» в соотношении 1:1. Степень очистки повышается до 97,3 % при остаточной концентрации НМП в модельной воде 1,7 мг/дм^3. Включение в композиционную загрузку активированного угля на основе торфа повысило степень очистки модельной воды до 98 %, остаточная концентрация НМП снизилась до 1,2 мг/дм^3, что отвечает требованиям, предъявляемым к технической воде на технические нужды и для мойки автомашин.

Таблица 2. **Эффективность очистки модельной нефтемаслосодержащей сточной воды органическими сорбентами**

Сорбент	Концентрация НМП в модельной воде, мг/дм³		Эффективность очистки, %
	до очистки	после очистки	
Гранулированный торф	57,5	3,4	94,1
«Ливсор-С»	63,4	2,5	96,3
Гранулированный торф: «Ливсор-С» 1:1	61,9	1,7	97,3
Гранулированный торф: «Ливсор-С» : активированный уголь 1:1:1	56,54	1,2	97,9

Таким образом, применение органических сорбентов для очистки сточных вод от НМП в эмульгированном и растворенном состояниях позволяет достичь остаточной их концентрации в фильтрате 1,7–1,2 мг/дм^3, что согласуется с данными, приведенными в литературе [6]. По литературным данным для снижения концентрации НМП в очищенной сточной воде до значений меньше 1 мг/дм^3 необходимо применение методов электрокоагуляции и флотации [5].

Литература

1. **Гидрофобный** вспученный перлит. – Киев, 1977.

2. **Мясников, И. Н.** Очистка сточных вод мясоперерабатывающих предприятий и свинокомплексов / И. Н. Мясников [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 1993. – № 9. – С. 30–31.

3. **Руководство** по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А. Д. Семенова. – Л., 1977.

4. **Табаков, Д.** Локальная очистка сточных вод молочной промышленности посредством механического отстаивания **/** Д. Табаков, Н. Чолаков // Науч. тр. Пловдивского ун-та. – Химия. – 1985. – Т. 23. – № 1.

5. **Томсон, А. Э.** Устойчивость системы нефтепродукты – вода и способы ее регулирования / А. Э. Томсон, Т. В. Соколова, В. С. Пехтерева // Природопользование. – Минск, 2006. – Вып. 12. – С. 117–121.

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. – Минск, 2001. – Вып. 7. – С. 113–116.

7. **Holland, C. R**. Dissolved air flotation as a means for protein recovery. World Congress III / C. R. Holland, M. J Shahbaz // Chem. Eng. Tokyo, Sept. 22–25. 1986. – № 1, S. 1. – P. 1048–1051.

8. **Kallel V.** Efficacite des stations d'epuration dans la degradation des graisses / V. Kallel, B. Vedry, R. Letolle // Techn. Sci. Meth. – 1990. № 3. – P. 145–151.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 26.03.2015 г.

А. Э. Томсон, Н. О. Павлюшнева

ПРИМЕНЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ СБОРА НЕФТИ С ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ И ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕМАСЛОПРОДУКТОВ

Исследованы физико-химические и адсорбционно-адгезионные свойства органических сорбентов: гранулированного торфа, сорбента «Ливсор-С» и дисперсного сорбента на основе сфагнового торфа. Показано, что сорбент «Ливсор-С» характеризуется наиболее высокими показателями нефтеемкости, водопоглощения, низкими значениями насыпной плотности. Сорбент на основе сфагнового торфа, несмотря на более низкие значения нефтепоглощения, обладает рядом преимуществ: является дешевым природным материалом, имеет значительно более низкие значения водопоглощения, более прост в процессе нанесения и сборе нефтенасыщенного сорбента с поверхности воды.

Проведены сравнительные исследования эффективности очистки модельных сточных вод от нефтемаслопродуктов, находящихся в эмульгированном и растворенном состояниях. Показано, что применение композиционной загрузки, содержащей гранулированный торф, сорбент «Ливсор-С» и активированный уголь, обеспечивает степень очистки модельных сточных вод от нефтемаслопродуктов до 98 % при остаточной концентрации 1,2 мг/дм^3, что отвечает требованиям, предъявляемым к технической воде на технические нужды и для мойки автомашин.

A. E. Thomson, N. O. Pavlushneva

THE USE OF ORGANIC SORBENTS FOR OIL COLLECTION FROM WATER AND WASTE WATER TREATMENT FROM OIL PRODUCTS

Physicochemical and adsorption adhesion properties of organic sorbents: granulated peat sorbent «Livsor-S» and particulate sorbent based on sphagnum peat have been studied. It is shown that the sorbent «Livsor-S» is characterized by the highest rates of oil capacity, water absorption, low values of bulk density. Sorbent based on sphagnum peat, despite lower oil absorption values, has a number of advantages: a cheap natural material, has a significantly lower values of water absorption, easier to process of the application and collection of oil-saturated sorbent from the surface of the water.

Comparative studies of the cleaning efficiency of model waste water from oil products, which are emulsified and dissolved, have been done. It is shown that the use of the composite charge containing granulated peat sorbent «Livsor-S» and activated carbon, the model provides a degree of purification of waste water from oil products to 98 % at a residual concentration of 1.2 mg/dm^3, which meets the requirements of process water for technical needs and washing cars.

УДК 661.183:665.7.032.5

А. Р. Цыганов[1], С. Г. Прохоров[2], В. П. Стригуцкий[1], Т. В. Соколова[1], А. Э. Томсон[1], В. С. Пехтерева[1], К. Г. Боголицын[3], С. Б. Селянина[3]

О ВКЛАДЕ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ В ПАРАМАГНЕТИЗМ ТОРФЯНЫХ БИТУМОВ

С использованием методов «нелинейной ЭПР-спектроскопии» и оптической спектроскопии установлено, что парамагнетизм торфяных битумов не объясняется примесью гуминовых кислот и семихинонными (СХ) радикалами. Он обязан синергическому эффекту взаимодействия одиночных ароматических колец и водородных связей, сформированных функциональными группами, приводящему к образованию систем «квазиполисопряжения». Вклад СХ-радикалов является превалирующим только при воздействии щелочной среды.

Битумы являются второй по значимости групповой составляющей торфа [5]. Парамагнетизм является неотъемлемым свойством битумов твердых горючих ископаемых. Торфяные битумы характеризуются наличием сигнала ЭПР низкой интенсивности с типичной для гумусовых образований бесструктурностью. В связи с этим парамагнетизм битумов объясняется примесью гуминовых кислот (ГК) [4, 12], что вследствие различных условий их экстракции [5] представляется сомнительным. Поэтому целью представляемой работы являлось получение ответа на правомерность вышеприведенной трактовки.

Основными объектами исследования являлись битумы, выделенные из образцов торфа умеренно континентального и тропического климата используемыми для этих целей экстрагентами [1].

Радиоспектроскопические исследования были выполнены на модернизованном спектрометре РЭ-1301, снабженном источником повышенной СВЧ-мощности. Установка в цепи опорного напряжения синхронного детектора фазовращателя позволяла регистрировать сигналы ЭПР при различных фазовых соотношениях между опорным и полезным сигналами [5]. В данной работе определялся параметр Δφ – разность фаз между опорным напряжением синхронного детектора и напряжением модуляции, при котором наблюдается квадратурный (минимальный) сигнал. Значение $\Delta\varphi$ определяется природой парамагнитного центра (ПМЦ). Для коротких T_1 (время спин-решеточной релаксации) ненасыщающийся сигнал имеет $\Delta\varphi = 90°$. С увеличением T_1 $\Delta\varphi$ уменьшается.

Исследование ИК-спектров осуществлялось с использованием спектрофотометрического комплекса, созданного на основе спектрометра «Specord M-80» и ПЭВМ IBM, оригинального программного обеспечения. Разработанное программное обеспечение позволяло проводить сбор данных, их первичную обработку, архивацию, симуляцию, сравнение со спектрами соединений из имеющихся баз данных [8, 11]. Для исследований методом инфракрасной спектрофотометрии с Фурье преобразованием (FTIR) использовался прибор «IR Prestige-21» (Япония). Регистрация спектров производилась с использованием двух алмазных пластинок, между которыми помещалось небольшое количество образца битума. Последующее сдавливание образца (в некоторых случаях и с предварительным нагревом) позволяло получать пленки битума, пригодные для последующей регистрации снятия ИК-спектра поглощения.

Электронные спектры поглощения 0,01 %-ных растворов ГВ в 0,1 н NaOH регистрировали на спектрофотометре Specord M-40 (Германия) в диапазоне длин волн 400–700 нм в кварцевой кювете толщиной 1 см. Из полученных спектров определяли значения оптической плотности при 465 нм (D_{465}) и 650 нм (D_{650}) и вычисляли коэффициент цветности $Q_{4/6}$ как отношение D_{465}/D_{650}.

Регистрация электронных спектров поглощения битумов осуществлялась на спектрофотометре Specord M-40 (Германия) в диапазоне длин волн 300–470 нм в кварцевой кювете толщиной 1 см. Для измерений готовились растворы с концентрацией 1 мг в 1 мл бензина БР-2.

При низких уровнях СВЧ-мощности спектры ЭПР исследованных препаратов торфяных битумов представляют собой относительно симметричную синглетную линию с шириной $\Delta H \sim 5$ Гс. При высоких же уровнях СВЧ-мощности регистрируется, как и в ГК, дополнительный более широкий спектр с $\Delta H \sim 15$ Гс (рис. 1), что характерно для плоскостных (ароматических) структур полисопряжения [6]. Однако имеют место и существенные различия по сравнению с ГК. Во-первых, последние характеризуются наименьшей шириной сигнала, несмотря на наибольшее содержание кислорода (табл. 1), что должно, казалось бы, приводить к росту g-фактора и уширению сигнала [4]. Принципиальным представляется и другое направление сдвига широкого спектра относительно узкого сигнала в битумах по сравнению с ГК (рис. 1).

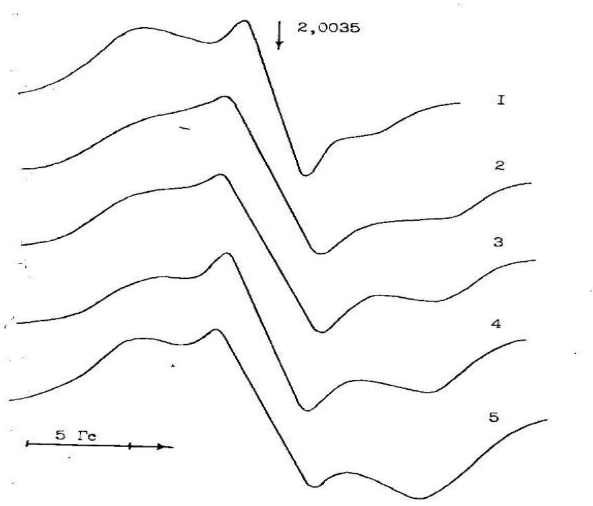


Рис. 1. Спектры ЭПР при СВЧ-мощности 50 мВт: *1* – ГК; *2* – бензинового битума; *3* – бензольного битума; *4* – битума диметилформамидного ДМФА; *5* – спиртовой фракции сланцевой присадки

Таблица 1. **Зависимость выхода и молекулярной структуры битумов от вида растворителя**

Образец	Выход битума, масс. %	Δ*H*, Гс	*g*	*I*, 10^{16} спин/г	С, %	Н, %	O+N, %	С/Н	D_{600}
ГК	–	3,3	2,0034	114	62,0	6,6	31,4	0,78	0,70
Бензиновый битум	4,0	5,2	2,0034	1,6	81,7	13,1	5,2	0,52	0,01
Гексановый битум	4,0	Не регистр.	82,1	13,3	4,6	0,51	0,01		
Амиловый битум	–	4,2	2,0034	8,6	66,0	9,6	24,4	0,57	0,06
Бензольный битум	7,6	5,4	2,0038	14,7	77,7	11,2	11,1	0,58	0,06
Перхлорэтиленовый битум	8,3	4,7	2,0037	5,4	75,5	11,0	13,5	0,57	0,07
Хлороформенный битум	8,5	4,3	2,0036	6,1	75,9	10,9	14,8	0,58	0,08
Бутиловый битум	–	4,3	2,0034	20,8	66,5	9,4	24,1	0,59	0,11
Битум ДМФА	22,0	4,4	2,0033	31,2	76,1	10,4	13,5	0,61	0,21
Битум диметилсульфоксидный ДМСО	25,0	5,0	2,0048	63,0	–	–	–	–	0,23
Буроугольный воск	–	6,0	2,0035	3,9	82,7	12,1	5,2	0,57	0,05
СФСП	–	5,1	2,0033	173	73,9	7,8	18,3	0,79	1,15

Одной из распространенных точек зрения на природу парамагнетизма твердых горючих ископаемых (ТГИ) является предположение о семихинонных (СХ) радикалах [4, 12]. Данное обстоятельство обусловило необходимость решения вопроса о возможном вкладе СХ-состояний в парамагнетизм битумов. Для решения поставленной задачи было проведено сравнительное изучение сигналов ЭПР исходных восков и их СХ- и Н-форм. СХ-формы битумов были получены обработкой растворов исследуемых образцов спиртовой щелочью. Получение Н-формы производилось обработкой СХ-форм 0,1 н раствором HCl. Полученные результаты представлены в табл. 2.

Наблюдаемое возрастание концентрации ПМЦ в СХ-формах исследованных образцах свидетельствует об образовании анион-радикалов СХ типа [13], о практически полном восстановлении интенсивности и формы сигнала ЭПР после обработки HCl – о переходе СХ-форм ион-радикалов в диамагнитное состояние.

Ширина линии ЭПР поглощения в СХ-формах выше, чем в исходных образцах, и составляет 6–8 Гс (табл. 2). Это значение совпадает с литературными данными для СХ-радикалов и объясняется наличием неразрешенной сверхтонкой структуры (СТС) [3], а наблюдаемое уширение сигнала с ростом СВЧ-мощности можно объяснить меньшей степенью насыщения крайних компонент СТС по сравнению с центральными. Вклад же СТС в ширину линии исходных образцов битумов практически отсутствует. Для них она в основном обусловлена анизотропией *g*-фактора. Следует отметить, что ширина линии СХ-форм битумов выше, чем ширина линии СХ-радикалов ГК [7]. На наш взгляд, это объясняется большей степенью замещения хиноидных колец в последних.

Таблица 2. **Параметры спектров ЭПР битумов**

Образец	$\Delta H_{0,1\ мВт}$, Гс	$\Delta H_{50\ мВт}$, Гс	*g*-фактор	*I*, 10^{16} спин/г	$\Delta\varphi$, град
Торфяной воск:					
Исходный	4,6	4,7	2,0035	2,6	55
СХ-форма	6,7	7,0	2,0046	14,0	85
Н-форма	4,6	4,6	2,0036	2,1	55
Смола торфяного воска:					
Исходная	4,5	4,6	2,0034	4,2	55
СХ-форма	6,5	6,8	2,0047	25,2	85
Н-форма	4,6	4,7	2,0035	4,5	55
Этанольный экстракт:					
Исходный	5,5	5,5	2,0038	0,65	60
СХ-форма	6,1	6,4	2,0044	10,4	85
Н-форма	5,7	5,7	2,0037	1,0	60
Бензольный битум:					
Исходный	5,4	5,5	2,0038	14,7	50
СХ-форма	6,8	7,2	2,0044	140	80
Н-форма	5,5	5,5	2,0037	15,1	50
Буроугольный воск:					
Исходный	6,0	6,0	2,0036	3,9	55
СХ-форма	7,6	8,4	2,0045	13,5	85
Н-форма	5,8	5,9	2,0036	4,1	55
Буроугольная смола:					
Исходная	6,0	6,0	2,0035	5,1	55
СХ-форма	7,0	8,0	2,0046	29,5	85
Н-форма	5,7	5,9	2,0035	7,7	55

Возрастание на 0,0009–0,0013 значения *g*-фактора в СХ-формах по сравнению с исходными образцами объясняется спин-орбитальным взаимодействием неспаренного электрона с электронной оболочкой атома кислорода. Следует отметить, что абсолютные значения *g*-фактора в битумах совпадают с установленными для мономерных СХ-радикалов [2] в отличие от значений *g*-фактора в СХ-формах полигидрохинонов [7], которые ближе к нафтасемихинону [2]. ПМЦ исходных образцов отличаются от СХ-ион-радикалов и по времени спин-решеточной релаксации, что, объясняется спин-орбитальным взаимодействием неспаренного электрона с электронной оболочкой атома кислорода и сверхтонким взаимодействием с протонами атомов водорода в ароматическом кольце СХ-радикалов.

Таким образом, использование метода «нелинейной ЭПР-спектроскопии» позволило установить, что парамагнетизм торфяных битумов не объясняется примесью ГК- и СХ-радикалами. Он обусловлен образованием ассоциатов вследствие синергического эффекта взаимодействия одиночных ароматических колец и водородных связей функциональных групп – системы «квазиполисопряжения».

Заметим, что аналогичные результаты получены и для буроугольных битумов (табл. 1, 2).

Результаты, полученные методами ИК- и UV–VIS-спектрометрии, подтверждают наличие в ГК систем истинного молекулярного полисопряжения, а в торфяных битумах – квазиполисопряжения (рис. 2, 3).

Прежде всего обращает на себя внимание высокая интенсивность полос CH_2– и CH_3–групп – 2920 и 2850 $см^{-1}$, сопровождаемая четким проявлением полос 1465 и 1377 $см^{-1}$ – $\delta_{CH2,\ CH3}$. Наблюдается отсутствующая в спектрах гуминовых кислот четкая полоса 1735 $см^{-1}$ – $\nu_{C=O}$ валентные колебания карбонильной группы сложных эфиров, альдегидов. Принципиальным представляется весьма слабое в отличие от ГК поглощение в области 1600 $см^{-1}$ $\nu_{-C=C-}$.

Следует отметить, что на всех спектрах наблюдается слабая полоса поглощения на 1508 $см^{-1}$, относимая к колебаниям –C=C– одиночных ароматических соединений. Эта полоса наиболее четко проявляется на спектрах образцов битумов, выделенных из пушицево-сфагновых торфов (спектр 3–5). На образцах битумов из низинных торфов (древесно-тростникового, Беларусь и тростниково-осокового, Китай) она проявляется значительно слабее.

Битумы характеризуются низкой интенсивностью электронных спектров поглощения по сравнению с ГК (см. табл. 1). Самое слабое оптическое поглощение битумов китайских и древесно-осокового торфа (рис. 3) согласуется с полным отсутствием полос 1600 $см^{-1}$ (рис. 2).

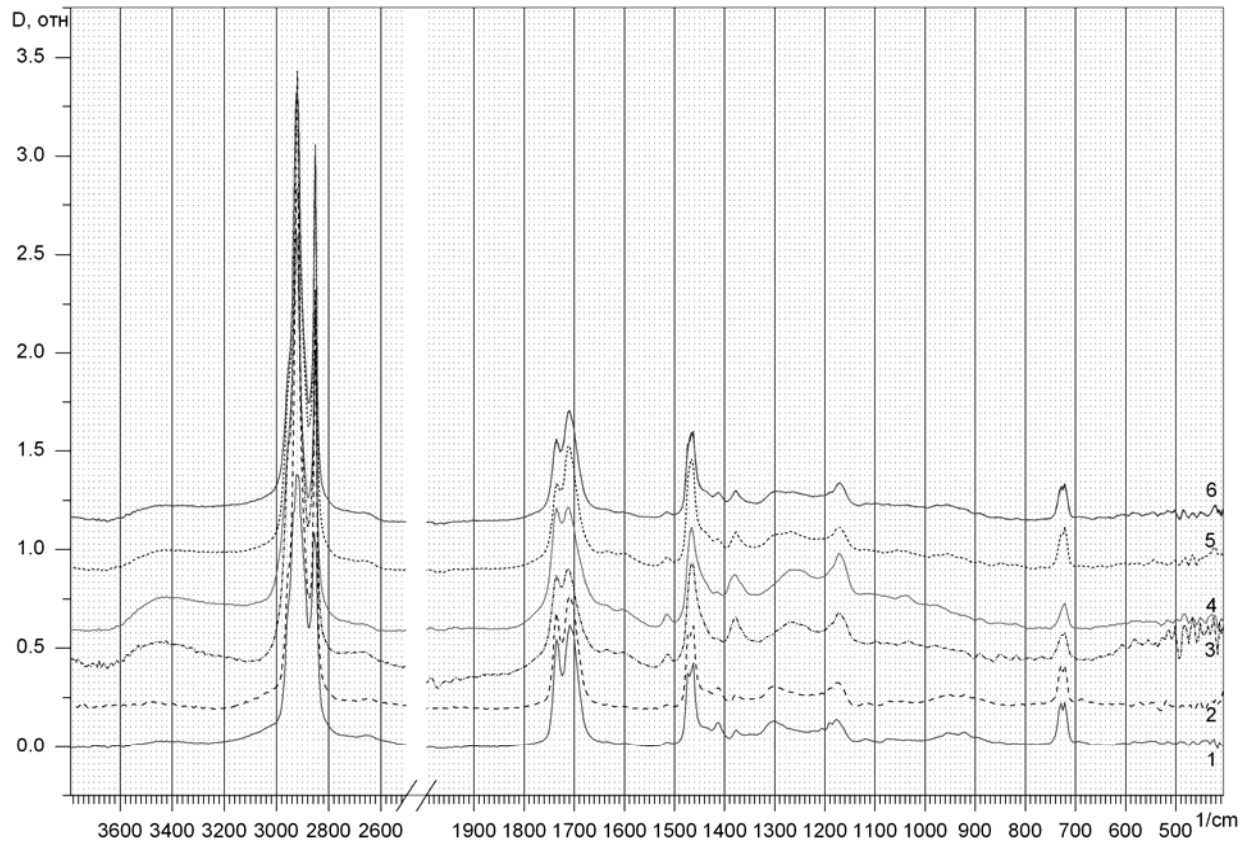


Рис. 2. ИК-спектры битумов, выделенных из проб белорусского и китайского торфа: *1,2* – тростниково-осоковый (Китай); *3* – пушицево-сфагновый, *R* = 15–20 %; *4* – пушицево-сфагновый, *R* = 25–30 %; *5* – пушицевый, *R* = 40–45 %; *6* – древесно-тростниковый, *R* = 45–50 %

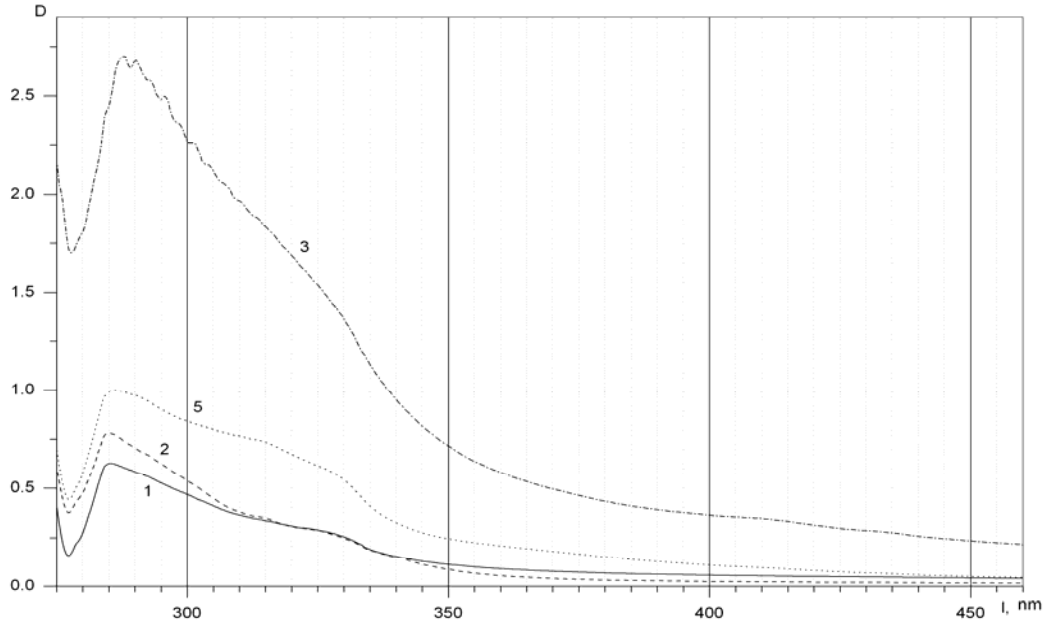


Рис. 3. Электронные спектры поглощения растворов битумов: *1, 2* – тростниково-осокового торфа, (Китай); *3* – пушицево-сфагнового торфа *R* = 25–30 %; *5* – древесно-тростникового торфа *R* = 45–50 %

Представленные результаты свидетельствуют, что парамагнетизм битумов обусловлен образованием ассоциатов, включающих соединения с одиночными ароматическими кольцами и водородными связями, формируемыми функциональными группами, синергический эффект взаимодействия которых способен придавать воскам и битумам ТГИ свойства полимеров с развитой системой сопряженных связей (системы «квазиполисопряжения»). Очевидно, что формирование таких ассоциатов в значительной мере будет определяться содержанием и природой функциональных групп, а также характером их связи с ароматическими кольцами, что и объясняет вариабельность параметров сигнала ЭПР битумов в отличие от ГК, парамагнетизм которых обусловлен классическими молекулярными системами полисопряжения. Анализ сотен образцов ГК, выделенных из верхового торфа различных месторождений, показал, что их параметры сигнала ЭПР находятся в весьма узком диапазоне (например, ΔH = 3,5 ± 0,2 Гс [9]). Повышение содержания битумов с увеличением степени разложения верхового (битуминозного) торфа [3] можно объяснить наличием в них систем «квазиполисопряжения», придающим битумам стабильность и устойчивость в процессе метаморфизма торфяных месторождений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 12-03-90018-Бел а, 14-05-90011-Бел-а) и БРФФИ (проекты Х12Р-147, Х14Р-233).

Авторы выражают благодарность Ю. Ю. Навоше за регистрацию и обработку ИК- и UV–VIS-спектров.

Литература

1. **Белькевич, П. И.** Битумы торфа и бурого угля / П. И. Белькевич, Н. Г. Голованов, Е. Ф. Долидович. – Минск, 1989.

2. **Блойс, М.** Точные измерения *g*-фактора свободных радикалов / М. Блойс, Г. В. Броун, Дж. Малинг // Свободные радикалы в биологических системах. – М., 1963. – С. 150–167.

3. **Блюменфельд, Л. А.** Применение электронного парамагнитного резонанса в химии / Л. А. Блюменфельд, В. В. Воеводский, А. Г. Семенов. – Новосибирск, 1962.

4. **Ларина, Н. К.** Гуминовые вещества / Н. К. Ларина // Структурная химия углерода и углей. – М., 1969. – С. 249–256.

5. **Лиштван, И. И.** Физико-химические основы технологии торфяного производства / И. И. Лиштван [и др.]. – Минск, 1983.

6. **Любченко, Л. С.** Механизм возникновения парамагнитных центров в природных высокомолекулярных образованиях / Л. С. Любченко, Е. С. Черепанова, А. Ф. Луковников // Химия твердого топлива. – 1985. – № 5. – С. 14–21.

7. **Навоша, Ю. Ю.** ЭПР-спектроскопические исследования строения полисопряженных природных (гуминовые кислоты) и синтетических макромолекулярных образований и их модификаций с металлами : автореф. дис ... канд. физ.-мат. наук. / Ю. Ю. Навоша. – М., 1982.

8. **Навоша, Ю. Ю.** Применение количественной ИК-спектроскопии в исследовании гуминовых веществ / Ю. Ю. Навоша // Гуминовые вещества в биосфере : тез. докл. Всеросс. конф. – СПб., 2005. – С. 35.

9. **Стригуцкий, В. П.** О природе парамагнетизма гумусовых веществ и перспективах применения метода ЭПР в почвоведении / В. П. Стригуцкий [и др.] // Почвоведение. – 1989. – № 7. – С. 41–51.

10. **Труды** IV Всерос. конф. «Гуминовые вещества в биосфере». – СПб., 2007.

11. **Alquie, A. M.** Resonance paramagnetique / A. M. Alquie, C. Taupin, A.-P. Legrand // Comptes rendus hebdomadaires des séances. – 1971. – Vol. 272, N 17. – P. 973–976.

12. **Lisanti, L. E.** Researche sulle proprieta paramagnetiche dei composite umici. VI. Lidentificasione della specia radicaliche mediante spectrometria EPR / L. E. Lisanti, C. Testini, N. Senesi // Agrochimica. – 1977. – Vol. 21, N 1–2. – P. 47–56.

13. **Wilson, S. A.** Electron spin resonance analysis of semiquinone free radicals of aquatic and soil fulvic and humic acids / S. A. Wilson, J. H. Weber // Anal. Lett. – 1977. – Vol. 10, N 1. – P. 75–84

14. **Witwicki, M.** Influence of Pb (II) ions on the EPR properties of semiquinone radicals of humic acids and model compounds high field EPR and relativistic DFT studies / M. Witwicki [et al] // J. Phys. Chem. A. – 2009. – Vol. 113, N 51. – P. 14115–14122.

[1] Институт природопользования НАН Беларуси,
[2] Чистопольский филиал «Восток» ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ»,
[3] Институт экологических проблем Севера УрОРАН

Поступила в редакцию 26.03.2015 г.

А. Р. Цыганов, С. Г. Прохоров, В. П. Стригуцкий, Т. В. Соколова, А. Э. Томсон, В. С. Пехтерева, К. Г. Боголицын, С. Б. Селянина

О ВКЛАДЕ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ В ПАРАМАГНЕТИЗМ ТОРФЯНЫХ БИТУМОВ

Статья посвящена природе парамагнетизма торфяных битумов. Характерные для гумусовых образований бесструктурность и низкая интенсивность их спектров ЭПР затрудняют получение ответа на данный вопрос.

Совместное использование методов «нелинейной ЭПР спектроскопии» и оптической спектроскопии позволило авторам показать, что парамагнетизм торфяных битумов не объясняется примесью ГК или семихинонными радикалами, как это принято считать в литературе. Он обусловлен образованием ассоциатов вследствие синергического эффекта взаимодействия одиночных ароматических колец и водородных связей, сформированных функциональными группами, что приводит к образованию систем «квазиполисопряжения». Данный механизм обусловливает существенные отличия параметров спектров ЭПР битумов от ГК, характеризующихся наличием истинных молекулярных систем сопряжения, и высокую их вариабельность.

Вклад семихинонных радикалов является превалирующим лишь при воздействии щелочной среды.

A. R. Tsyganov, S. G. Prohorov, V. P. Strigytsky, T. V. Sokolova, A. E. Thomson, V. S. Pehtereva, K. G. Bogolitsyn, S. B. Seljanina

ABOUT THE CONTRIBUTION OF HUMIC ACIDS IN PARAMAGNETISM OF PEAT BITUMENS

The article is devoted to the nature of paramagnetism of peat bitumen. Lack of structure and low intensity of the ESR spectra, which are specific to humus formation make it difficult to answer this question.

Combined use of the «non-linear EPR» and optical spectroscopy methods allowed the authors to show that the paramagnetism of peat bitumen is not explained by an admixture of CC or semiquinone radicals, as usually considered in the literature. It is caused by the formation of associates due to the synergistic effect of interaction of individual aromatic rings and hydrogen bonds formed by functional groups, which leads to the formation of «quasi polyconjugation» systems. This mechanism determines significant differences EPR parameters of bitumen from CC, characterized by the presence of the true molecular systems interface, and their high variability.

The contribution of semiquinone radicals prevails only when exposed to alkaline environment.

УДК 622.7+631.41

С. И. Коврик[1], Н. Н. Бамбалов[1], Г. А. Соколов[1], Н. С. Гаврильчик[1], К. А. Павлов[2], М. М. Крышнев[2]

ОЦЕНКА ПРЕЦИЗИОННОСТИ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССОВОЙ ДОЛИ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ В ЖИДКИХ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТАХ

Использование результатов математической статистики массива данных, полученных в ходе межлабораторного эксперимента и проверенных на наличие статистических разбросов и выбросов по критериям Кохрена и Граббса, позволило установить показатели прецизионности методики определения гуминовых кислот в жидких гуминовых препаратах. Эти исследования были использованы для аттестации «Методики определения массовой доли гуминовых кислот в препаратах гуминовых жидких» (МВИ.МН 4765-2013) в БелГИМ. Сущность методики заключается в осаждении гуминовых кислот из раствора, полученного после удаления механических примесей, избытком соляной кислоты, и определении массы осадка. Диапазон измерений составляет 0,1–10,0 мас. %.

Введение в действие с начала июля 2015 г. СТБ 2392-2014 «Препараты гуминовые жидкие. Общие технические требования и методы контроля» позволит проводить оценку качества промышленных жидких гуминовых препаратов (ГП) по единым техническим требованиям. Действие указанного СТБ распространяется на ГП, представляющие собой гуминовые жидкие удобрения, гуминовые биологически активные жидкие препараты и гуминовые жидкие препараты для введения в карбамидно-аммиачную смесь, получаемые из торфа, сапропеля, бурого угля, навоза, компоста, биогумуса и их смесей и предназначенные для растениеводства, в состав которых не входят синтетические лиганды [8,10].

В экспериментах с различными сельскохозяйственными культурами установлено, что применение гуматов натрия, калия и аммония в оптимальных дозах заметно стимулирует прорастание семян, улучшает дыхание и питание растений, увеличивает длину и биомассу проростков, усиливает ферментативную активность и сокращает поступление в растения тяжелых металлов и радионуклидов [5, 9, 10, 12, 13]. Поэтому одной из обязательных характеристик качества ГП является содержание гуминовых кислот (ГК).

Разнообразие источников сырья и технологических приемов получения промышленных ГП обусловливает высокую вариабельность их свойств [3, 12, 15], поэтому до недавнего времени не было разработано единой методики определения ГК в ГП. Это привело к тому, что каждый производитель, как правило, обосновывал свой метод определения ГК исходя из собственных задач без учета возможных требований потребителей продукции. Например, указывали содержание ГК на сухое вещество, путали концентрацию органических веществ с концентрацией ГК или вообще не указывали содержания ГК.

Для быстрого определения содержания ГК в ГП могут использоваться спектральные методы [1, 2, 7, 10, 14]. Однако промышленные ГП, полученные из органического сырья разного генезиса с применением различных экстрагентов, отличаются друг от друга содержанием ароматических структурных единиц и хромофорных групп, а следовательно, размерами систем полисопряжения и оптической плотностью. Поэтому данные методы не являются универсальными и не могут применяться для определения массовой доли ГК в ГП. Так, стандартным фотометрическим методом можно воспользоваться только для внутреннего экспресс-контроля содержания ГК на одном предприятии при условии использования однородного сырья и одной и той же технологии его получения. Другие спектральные методы (в частности, спектрально-люминесцентный) [14] позволяют только классифицировать ГП по источнику их получения. Но для определения содержания ГК в ГП спектральные методы не могут быть использованы. Поэтому для определения содержания ГК в различных промышленных ГП был обоснован гравиметрический метод, представленный далее в статье.

Институтом природопользования в рамках Государственной программы «Торф» разработана и аттестована методика выполнения измерений (МВИ) «Методика определения массовой доли гуминовых кислот в препаратах гуминовых жидких» [6]. С целью аттестации методики выполнения измерений были проведены межлабораторные сличительные испытания с участием следующих лабораторий: лаборатории агроэкологии Института природопользования; центральной лаборатории филиала РУП «Белгео»; лабораторно-аналитического исследовательского центра РУП «Институт почвоведения и агрохимии»; испытательной лаборатории отдела изысканий и проектирования открытых горных разработок РУП «Белниитоппроект»; научно-исследовательской аналитической лаборатории Научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства при БГАТУ.

На момент проведения испытаний первые четыре лаборатории были аккредитованы на право проведения испытаний в Национальной системе аккредитации Республики Беларусь.

Цель данной статьи – определить показатели прецизионности результатов измерений, полученных при проведении межлабораторных сличительных испытаний по определению массовой доли ГК в ГП, с использованием алгоритма статистической обработки, регламентированного серией стандартов СТБ ИСО 5725 [11].

Эксперимент проводили следующим образом: в фильтрат, полученный после удаления механических примесей [6, 8], добавляли из пипетки по каплям раствор соляной кислоты с массовой долей 5 % до значения pH 1–2, которое определяли по универсальной индикаторной бумаге. Для выделения ГК лучше использовать соляную кислоту. Это связано с тем, что при осаждении ГК серной кислотой образуются нерастворимые сульфаты, которые невозможно отмыть от осадка ГК. В результате значения массовых долей ГК в ГП в 1,5 раза выше, чем при осаждении соляной кислотой [10].

Полученную после подкисления суспензию оставляли на 18–20 ч для полного осаждения ГК. Далее суспензию фильтровали через бумажный фильтр, предварительно высушенный в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре 90 ± 5 °С и взвешенный. Осадок ГК на фильтре промывали дистиллированной водой до получения фильтрата со значением pH 3–4.

Фильтр с осадком ГК помещали во взвешенный алюминиевый бюкс, предварительно высушенный в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре 90 ± 5 °С, и сушили при температуре 90 ± 5 °С в течение 1 ч. После этого вынимали из сушильного шкафа, охлаждали 5 мин на воздухе, а затем в эксикаторе до комнатной температуры и взвешивали. Контрольные высушивания, охлаждения и взвешивания проводили до тех пор, пока разность масс после двух последовательных взвешиваний не составила менее 0,001 г. Учитывая массу стаканчика и фильтра, определяли массу осадка. Высушенный фильтр с осадком переносили в предварительно прокаленный в муфельной печи при температуре 600 ± 25 °С до постоянной массы и взвешенный тигель, который ставили в муфельную печь и прокаливали при температуре 600 ± 25 °С в течение 2 ч. Тигель вынимали из муфельной печи, охлаждали 5 мин на воздухе, а затем в эксикаторе до комнатной температуры и взвешивали. Контрольные прокаливания проводили при той же температуре в течение 15 мин, охлаждения и взвешивания – до тех пор, пока разность масс после двух последовательных взвешиваний становилась менее 0,001 г. Учитывая массу тигля, определяли массу ГК.

Массовую долю гуминовых кислот $С^{ГК}$, вычисляли по формуле

$$С^{ГК} = \frac{m_1 - m_2}{m} \cdot 100\ \%, \qquad (1)$$

где m_1 – масса сухого осадка ГК до озоления, г; m_2 – масса золы ГК, г; m – масса ГП, взятого на испытание, г.

За результат испытания принимали среднеарифметическое значение результатов двух параллельных определений в пределах допускаемых расхождений. Если расхождение между результатами двух параллельных определений превышало допускаемые значения, проводили третье определение и за результат испытания принимали среднеарифметическое значение результатов двух наиболее близких определений в пределах допускаемых расхождений. Вычисление результатов определений проводили до второго десятичного знака, окончательные результаты округляли до первого десятичного знака. Результаты для оценивания показателей прецизионности МВИ, полученные при определении ГК во всех лабораториях, представлены на рисунке. Дальнейшие определения показателей точности измерений устанавливали в соответствии с требованиями [11].

Данные проверки стандартного отклонения результатов полученных измерений на наличие разбросов и статистических выбросов по критерию Кохрена представлены в табл. 1. Поскольку выполняется условие $C_i \le C_{cr}(v = 16,\ f = 5,\ P = 95\ \%)$, то представленная группа результатов измерений считается корректной.

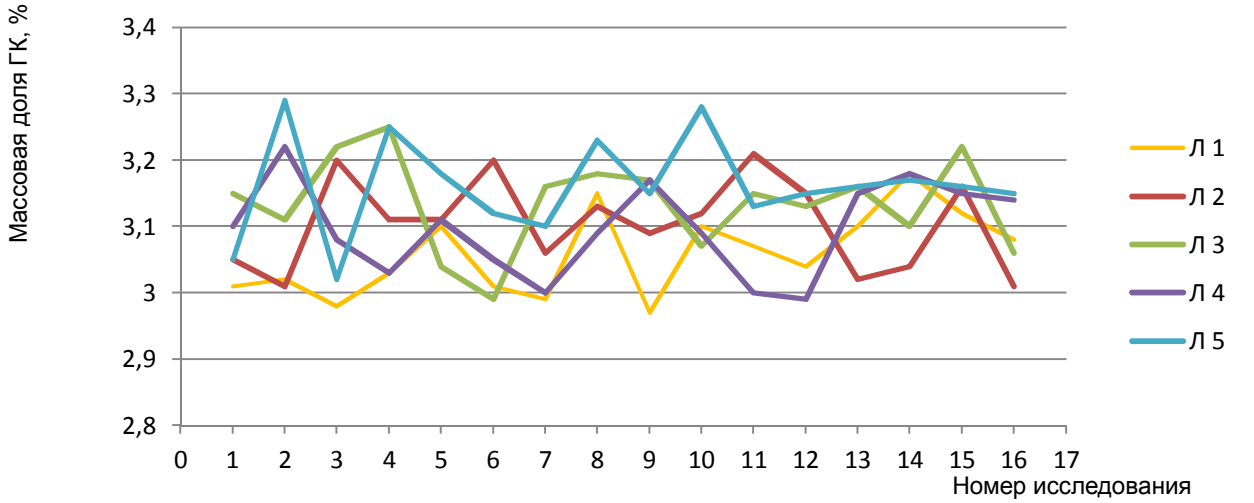
Проверка средних значений результатов групп измерений на наличие разбросов и статистических выбросов по критерию Граббса также подтвердила отсутствие разбросов или статистических выбросов (табл. 2).

Аналогичный межлабораторный эксперимент по определению массовой доли ГК был проведен для ГП типа «Оксидат торфа», «Гидрогумат», «Гидрогумин», «Гумовет» и др. Показатели точности измерений также определялись в соответствии с требованиями [11]. По критериям Кохрена и Граббса подтверждена корректность результатов измерений, полученных в ходе межлабораторного эксперимента.

Математическая модель определения массовой доли ГК в образцах выглядит следующим образом:

$$с = c_{ind} + C_{си} + C_{суб} + C_{мет} + C_{усл}, \qquad (2)$$

где $с_{ind}$ – точечная оценка измеряемой величины (массовой доли ГК); $C_{си}$ – поправка, обусловленная несовершенством используемых средств измерений; $C_{суб}$ – поправка, обусловленная особенностями оператора; $C_{мет}$ – поправка, обусловленная несовершенством метода измерения; $C_{усл}$ – поправка, обусловленная несоответствием условий измерения нормальным.



Результаты определения массовой доли ГК гравиметрическим методом в ГП «Гидрогумин», %: Л 1 – Научно-исследовательская аналитическая лаборатории Научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства при БГАТУ; Л 2 – Лабораторно-аналитический исследовательский центр РУП «Институт почвоведения и агрохимии; Л 3 – Лаборатория агроэкологии Института природопользования; Л 4 – Испытательная лаборатория отдела изысканий и проектирования открытых горных разработок РУП «Белниитоппроект»; Л 5 – Центральная лаборатория филиала РУП «Белгео»

Таблица 1. **Проверка по критерию Кохрена на наличие разбросов и статистических выбросов**

Стандартные отклонения S_{ij}					Коэффициент Кохрена C_i	C_{cr} (v = 15, f = 4, P = 95 %)	C_{cr} ($v = n_{jk}$-1, $f = p$, P = 95 %)	Вывод
Л 1	Л 2	Л 3	Л 4	Л 5				
0,0682	0,0626	0,0743	0,0689	0,0675	0,2361	0,3645	0,4090	Результат корректный

Таблица 2. **Проверка по критерию Граббса на наличие разбросов и статистических выбросов средних значений измерений**

Показатель	Средние значения $\bar{x}_j$ и s_j					G_j для $(\bar{x}_j)_{\max}$, $(\bar{x}_j)_{\min}$ max и min значения					G_{cr} (p=5)		Вывод
	Л 1	Л 2	Л 3	Л 4	Л 5	Л 1	Л 2	Л 3	Л 4	Л 5	99 %	95 %	
$\bar{x}_j$	3,01	2,97	3,02	2,99	2,99	$(\bar{x}_j)_{max}$					1,764	1,715	Результат корректный
						1,3183	1,2512	1,2098	1,4834	1,3223			
s_j	3,21	3,18	3,29	3,22	3,25	$(\bar{x}_j)_{\min}$							
						1,1779	0,9271	1,0316	1,2876	1,2272			

Входные величины c_{ind}, $C_{си}$, $C_{суб}$, $C_{мет}$, $C_{усл}$ могут в свою очередь зависеть от других величин, включая поправки и поправочные коэффициенты на систематические эффекты. Все входные величины, вовлеченные в процесс измерения, рассматриваются как некоррелированные.

Анализ входных величин и оценку их неопределенности проводили по аналогии с анализом, представленным в [4]. Для оценивания неопределенности результата измерений, полученных в ходе межлабораторного эксперимента, использовали комбинированный подход. Согласно данному подходу, относительная стандартная неопределенность $\frac{u_c(x)}{x}$ находится по формуле

$$\frac{u_c(x)}{x} = 100\sqrt{\sigma_R^2 - \frac{\sigma_r^2}{2} + \left[\frac{u(x)}{\bar{\bar{x}}}\right]_{\max}^2}, \qquad (3)$$

где σ_R^2 – относительное стандартное отклонение воспроизводимости, %; σ_r^2 – относительное стандартное отклонение повторяемости, %; $\left[\frac{u(x)}{\bar{\bar{x}}}\right]_{\max}$ – максимальное значение относитель-

ной стандартной неопределенности массовой доли ГК в образце.

Тогда относительная расширенная стандартная неопределенность рассчитывается из уравнения

$$U = \frac{2u_c(x)}{x}. \quad (4)$$

Относительные стандартные отклонения воспроизводимости и повторяемости (σ_R^2 и σ_r^2) являются результатом статистической обработке массива результатов измерений, полученного в ходе межлабораторного эксперимента. В основу статистической обработки положен дисперсионный анализ.

Максимальное значение относительной стандартной неопределенности массовой доли ГК в образце $\left(\left[\frac{u(x)}{\bar{\bar{x}}}\right]\right)_{\max}$ представляет собой наибольшее значение неопределенности, обусловленное приготовлением растворов из стандартного образца.

Таким образом, используя результаты статистической обработки массива результатов измерений, полученных при межлабораторном эксперименте, по формулам (3) и (4) были определены относительная стандартная неопределенность и расширенная стандартная неопределенность массовой доли ГК в образцах. Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Таблица 3. **Данные для оценивания относительных стандартных неопределенностей массовой доли ГК в образцах для проведения эксперимента**

σ_R^2, %	σ_r^2, %	$\left[\frac{u(X)}{X}\right]^2_{\max}$, %	$\frac{u_c(x)}{x}$, %	U, %
49,744809	24,661156	$7{,}15 \cdot 10^{-5}$	*6,1*	*12,2*

Согласно этим данным, результаты измерения массовой доли ГК можно представить в виде

$$C = (\text{с} \pm U)\ \%\ (k = 2,\ p = 95\%)$$
$$\text{или } C = (\text{с} \pm U)\ \%, \quad (5)$$

где число, следующее за знаком ±, является численным значением расширенной неопределенности $U = ku_c(c)$, причем *U* найдено из суммарной стандартной неопределенности u_c (*c*) и коэффициента охвата *k* = 2, основанного на нормальном распределении, и определяет интервал, оцененный как имеющий уровень доверия 95 %.

Таким образом, результаты межлабораторного эксперимента, проведенного в пяти различных лабораториях с использованием алгоритма статистической обработки, позволили установить показатели прецизионности и точности МВИ по определению массовой доли ГК в ГП. Характеристики функционирования во всех лабораториях для всех измеряемых величин не превысили предупреждающих границ и признаются удовлетворительными. Диапазон измерений МВИ составляет от 0,1 до 10 %, так как ГП с более высоким содержанием ГК достаточно трудно получить. Представленные данные были использованы для прохождения аттестации МВИ «Методика определения массовой доли гуминовых кислот в препаратах гуминовых жидких» в БелГИМ [5]. Аттестованная МВИ занесена в национальный реестр методик выполнения измерений (МВИ.МН 4765-2013*)* и использовалась как основа для разработки государственного стандарта Республики Беларусь СТБ 2392-2014 «Препараты гуминовые жидкие. Общие технические требования и методы контроля» [8].

Литература

1. **Аринушкина, Е. В.** Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – Москва, 1970.

2. **Воробьева, Л. А.** Теория и практика химического анализа почв / Л. А. Воробьева. – Москва, 2006.

3. **Гаврильчик, А. П.** Превращения торфа при добыче и переработке / А. П. Гаврильчик. – Минск, 1992.

4. **Коврик, С. И.** Оценка показателей прецизионности методики определения массовой доли механических примесей в жидких гуминовых препаратах / С. И. Коврик и [др.] // Природопользование. – Минск, 2014.– Вып. 26.– С. 160–165.

5. **Malcolm, R. L.** Effects of humic acid fractions on invertase activities in plant tissues / R. L. Malcolm, D. Vaughan // Soil Biology & Biochemistry. – 1978. – Vol. 11. – P. 65–72.

6. **МВИ. МН 4765-2013** Методика определения массовой доли гуминовых кислот в препаратах гуминовых жидких. Свид-во № 802/2013 от 30.10.2013.

7. **Орлов, Д. С.** Практикум по химии гумуса : учеб. пособие / Д. С. Орлов, Л. А. Гришина. – М., 1981.

8. **Препараты** гуминовые жидкие. Общие технические требования и методы контроля : СТБ 2392–2014.– Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2015.

9. **Применение** комплексных гуминовых микроудобрений «Элегум» : рекомендации / М. В. Рак, В. В Лапа, Г. А. Соколов / Ин-т природопользования, Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2013.

10. **Создать** научно-методическую базу для сертификационной оценки качества продукции, производимой на основе торфа для сельского хозяйства и охраны окружающей среды : отчет о НИР (заключ.)/ ГНУ Институт природопользования ; рук. темы Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов. – Минск, 2013.– № ГР 20122617.

11. **Точность** (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений : СТБ ИСО 5725-2-2002. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2002.

12. **Христева, Л. А.** Применение гумата натрия в качестве стимулятора роста/ Л. А. Христева, В. А. Реутов // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения : сб. науч. тр. – Днепропетровск, 1973. – Т. 4. – С. 308–310.

13. **Христева, Л. А.** Стимулирующее влияние гуминовой кислоты на рост высших растений и природа этого явления / Л. А. Христева // Гуминовые удобрения: теория и практика их применения. – Харьков, 1957. – С. 75–93.

14. **Шубина, Д. М.** Спектральные свойства водных растворов промышленных гуминовых препаратов (продолжение) / Д. М. Шубина и [др.] // Вода: химия и экология [Электронный ресурс]. – 2010. – № 3. – С. 21–25. – Режим доступа : http://watchemec.ru/article/11000/. – Дата доступа : 09.02.2015.

15. **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.

[1]Институт природопользования НАН Беларуси,
[2]Белорусский национальный технический университет

Поступила в редакцию 23.03.2015 г.

С. И. Коврик, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов, Н. С. Гаврильчик, К. А. Павлов, М. М. Крышнев

ОЦЕНКА ПРЕЦИЗИОННОСТИ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССОВОЙ ДОЛИ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ В ЖИДКИХ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТАХ

Проанализированы результаты межлабораторных сличительных испытаний по определению массовой доли гуминовых кислот в жидких гуминовых препаратах (на примере гуминового препарата «Гидрогумин») с использованием методов математической статистики (критерии Кохрена и Граббса). Установлено, что характеристики функционирования во всех пяти лабораториях для всех измеряемых величин не превысили предупреждающих границ и признаются удовлетворительными.

Полученные данные позволили не только аттестовать МВИ «Методика определения массовой доли гуминовых кислот в препаратах гуминовых жидких» в системе БелГИМ, но и разработать СТБ 2392-2014 «Препараты гуминовые жидкие. Общие технические требования и методы контроля». Диапазон измерений МВИ составляет 0,1 % – 10 мас. %.

S. I. Kovrick, N. N. Bambalov, G. A. Sokolov, N. S. Gavrilchick, K. A. Pavlov, M. M. Kryshnev

THE EVALUATION OF THE PRECISION OF METHODS FOR DETERMINING THE MASS FRACTION OF HUMIC ACIDS IN LIQUID HUMIC PRODUCTS

Results of interlaboratory collation tests by mass fraction definition humic acids in liquid humic preparations (on an example of humic preparation «Hydrohumin») with use of methods of mathematical statistics (criteria Korhogo and Grubbs) are analysed. It is established, that functioning characteristics in all five laboratories for all measured sizes have not exceeded warning borders and admit satisfactory.

The obtained data have allowed not only to certify MWR «The Technique of definition of a mass fraction of humic acids in humic liquid preparations» in system BelSIM, but also to develop STB 2392-2014 «Liquid humic preparations. General specifications and test methods». The measuring range of the method is 0.1 % to 10 mass %.

УДК 550.4:551.3

С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В РАЙОНАХ БАЗИРОВАНИЯ АНТАРКТИЧЕСКИХ НАУЧНЫХ СТАНЦИЙ

В статье проанализирована информация о воздействии на окружающую среду Антарктики в районах базирования научных станций различных стран. Показаны масштабы накопления отходов, уровни загрязнения почв и донных отложений, описаны наиболее загрязненные территории. Отмечены основные проблемы в связи с загрязнением природной среды Антарктики. Результаты анализа использованы при разработке Всесторонней оценки воздействия на окружающую среду (ВООС) строительства Белорусской антарктической станции на горе Вечерней, Земля Эндерби.

Начало антропогенного воздействия на природную среду Антарктиды относится к концу XVIII века и связано с появлением путешественников, экспедиций, сопровождавшихся охотой на тюленей, пингвинов и других представителей животного мира, а также развитием китобойного промысла. Новый вид деятельности – открытие научных станций – способствовал значительному увеличению техногенных нагрузок на окружающую среду. Начавшийся в конце XIX в., этот процесс активизировался в период подготовки к Международному геофизическому году в 1957–1958 г., когда было открыто около 60 научных баз и станций.

Научные станции, предназначенные для проживания полярников и проведения исследований, включают различные элементы инфраструктуры, в том числе здания и сооружения, источники электро- и теплоснабжения, транспортные средства, приборно-аналитическую и навигационную базу, системы водопотребления и водоотведения. Ежегодно на протяжении более 100 лет к берегам Антарктиды доставляются тысячи тонн различных грузов. Неизбежным следствием строительства и функционирования научных станций является образование выбросов, сточных вод и отходов и, соответственно, поступление загрязняющих веществ в окружающую среду.

За время использования (освоения) Антарктиды масштабы и интенсивность антропогенного воздействия менялись, что связано с одной стороны с изменением законодательного регулирования деятельности на континенте, повышением природоохранных требований, с другой – возрастающей доступностью Антарктиды, в том числе ее континентальных регионов. К настоящему времени в Антарктиде, которая является самым чистым континентом планеты, появились экологические проблемы, обусловленные загрязнением окружающей среды и накоплением в различных компонентах, включая биотические, широкого спектра загрязняющих вещества: тяжелых металлов, полихлорированных бифенилов (ПХБ), полибромдифениловых эфиров (ПБДЭ), полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) и других токсикантов [5, 8, 10, 14, 18]. В местах накопления/захоронения отходов и сброса сточных вод сформировались загрязненные территории. Значительную обеспокоенность вызывают утечки топлива или их разливы при аварийных ситуациях, зачастую спровоцированные экстремальными климатическими условиями, затрудняющими своевременное принятие природоохранных мер. К негативным последствиям деятельности в Антарктиде относятся также заброшенные станции и неиспользуемая техника (в том числе провалившаяся под лед или в трещины).

После подписания в 1991 г. Протокола по охране окружающей среды в Антарктиде запрещены любые виды деятельности, кроме научной [1]. Однако в последние годы все более существенным фактором воздействия на окружающую среду Антарктики становится туризм, включающий морские и воздушные круизы: за последние 10 лет количество туристов выросло на три порядка и составило в 2007 г. около 60 тысяч человек [14].

Беларусь как Сторона Договора об Антарктиде планирует построить собственную научную станцию на горе Вечерней в районе Земли Эндерби. В 2014 г. был подготовлен проект Всесторонней оценки воздействия строительства и функционирования станции. Предварительно была обобщена информация о состоянии окружающей среды в районах базирования антарктических научных станций, чему и посвящена настоящая статья.

В качестве фактических материалов использованы документы, размещенные на сайте Договора об Антарктике (преимущественно ВООС разных стран), опубликованные научные статьи, материалы конференций.

Общие сведения о научных станциях. Согласно [4], всего в пределах действия Договора об Антарктике создано около 240 научных станций, полевых баз и лагерей. Примерно 190 из них активно используются, обеспечивая про-

живание в летний период до 5,4 тыс. человек и в зимний – до 1,1 тыс. человек. Станции принадлежат 28 странам, в том числе Чили, Аргентине, США, России, Австралии, Франции, Новой Зеландии и другим.

Станции подразделяются на сезонные и круглогодичные и значительно различаются занимаемой площадью и численностью персонала, который может составлять от нескольких человек до нескольких сотен человек. На крупных станциях количество полярников, особенно в период смены состава, может превышать тысячу человек. Самой крупной станцией является станция Мак-Мердо (McMerdo, США), где насчитывается около 100 различных строений, занимающих площадь около 40 тыс.м^2 [22]. Станция предназначена для проживания 1,5 тыс. полярников в летнее время и около 500 – в зимнее. В период 1957–1958 гг. население станции достигало 3,5 тысяч человек. Здесь проложены автострады, около 6,5 км стальных нефтепроводов, построены обширные складские помещения, три аэродрома, вертолетная площадка, ледовый пирс, эстакада, оранжерея для выращивания овощей и фруктов, телевизионная станция и другие элементы инфраструктуры.

Основное количество научных станций сосредоточено в пятикилометровой зоне побережья в оазисах, свободных от льда. Именно эти территории представляют собой редкие и уникальные типы полярных экосистем, весьма уязвимые к техногенному воздействию. Между тем на долю свободных ото льда поверхностей приходится лишь около 0,34 % от общей площади Антарктики.

Размещение научных станций на побережье обусловлено также транспортной доступностью континента для морских судов, осуществляющих основной объем грузоперевозок. Функционирование научных станций, расположенных в континентальной части Антарктиды, как например ст. Восток, обеспечивается за счет доставки грузов воздушным путем, а также санно-тракторными поездами.

Среди «освоенных» оазисов Антарктиды – Сухие долины Мак-Мердо, оазисы Ларсемана, Ширмахера, Бангера, Вестфолль, Молодежный и другие. Наибольшее количество научных станций расположено на Антарктическом полуострове.

Основные факторы воздействия на окружающую среду. Важнейшие экологические проблемы Антарктики обусловлены, прежде всего, накоплением отходов и разливами/утечками топлива. Значительную роль в загрязнении окружающей среды играют также выбросы от сжигания топлива и сбросы сточных вод. Имеет значение также поступление загрязняющих веществ с трансграничным переносом, прежде всего это касается стойких органических загрязнителей (СОЗ).

Накопление отходов. В связи с высокой стоимостью и техническими сложностями вывоза образующихся отходов за пределы Антарктиды, основная их часть остается на материке. Практически на каждой полярной станции имеются свалки, где складируются строительный мусор, пустые бочки, ненужная техника, отходы нефтепродуктов, бытовой мусор, аккумуляторные батареи, фотохимические отходы, упаковочный материал и многое другое.

Примеры заброшенных свалок и оставленной техники приведены на рис. 1–3.

Проведенные исследования в рамках проекта под эгидой Федерального Агентства по охране окружающей среды Германии на полуострове Филдс, где размещено 7 научных станций, показали, что значительную проблему представляют старые свалки [21]. Всего на полуострове выявлено 46 свалок общей площадью 51 тыс. м^2; примерно 90 % свалок было создано еще в 1990-е гг. Общее же количество мест, где зафиксированы отходы различного класса опасности, составило 220; многие из них были перенесены ветром, как например 200-литровые бочки из-под топлива, канистры различных размеров, в т. ч. содержащие остатки антифриза или авиационного топлива.

Рис. 1. Хранение пустых бочек на заброшенной станции Уилкс [14]

Рис. 2. Остатки техники на одной из полярных станций [12]

Рис. 3. Свалка бытовых отходов на острове Кинг-Джорж возле станции Грейт Уолл [21]

В отходы превращаются также заброшенные здания и сооружения (рис. 4). Их поверхность корродирует и разрушается, в результате чего в окружающую среду поступают и рассеиваются краска, различные виды пластика, в том числе полистирольные изделия.

Рис. 4. Заброшенная полевая станция на полуострове Филдс [21]

Один из способов обращения с отходами в прошлом – их сжигание на открытых участках. Несмотря на запреты, сжигание отходов все еще осуществляется [21]*;* это означает, что на месте утилизации могут быть высокие уровни загрязнения почв различными поллютантами.

Опасность представляют также и органические отходы, в том числе остатки пищевых продуктов и фекалии. По данным полярника Л. Дубровина, число зимовщиков в Антарктиде за 110 лет (с 1899 по 2009 г.) достигало примерно 50 тысяч человек: только вследствие жизнедеятельности человека за это время общий вес образовавшихся бытовых отходов и фекалий в Антарктиде может составить около 36 тыс. т (*http://www.eco-pravda.ru/page.php?id=5256)*.

Согласно [18], всего в Антарктиде объем отходов и загрязненных почв оценивается примерно в 1–10 млн м^3. Их опасность заключается в том, что в условиях холодного климата они могут сохраняться сотни и тысячи лет. В ряде случаев отходы, а также целые станции занесены снегом и вряд ли могут быть извлечены, как например, сооружения станции Пионерская, которая функционировала в период 1956–1959 гг. [2]. Имеется опасность перемещения таких отходов при движении выводных ледников или подледных течений и поступления в прибрежные бухты.

Разливы/утечки топлива. Основным видом топлива на научных станциях Антарктиды является дизельное, используемое для энергообеспечения станций и работы транспортных средств. Так, на его долю приходится до 98% общих потребностей топлива научными станциями США [9]. Используются также авиационные бензины, смазочные масла, антифризы и другие жидкости.

Топливо доставляется в Антарктиду морскими судами и затем перекачивается по трубопроводам либо перевозится вертолетами/самолетами или сухопутными средствами в бочках (или других емкостях) к пунктам назначения. Способы хранения топлива на станциях также различаются: в специально установленных емкостях или в бочках, в которых оно и поступило. Объемы хранения топлива на некоторых станциях могут достигать десятков тысяч метров кубических, как например на ст. Мак-Мердо, куда первоначально поступает все топливо, предназначенное для американских станций. По данным [22], к 2000 г. на станции насчитывалось около 20 емкостей с суммарной вместимостью около 17 млн галлонов нефтепродуктов (что соответствует 65 тыс. м^3). Емкость отдельных топливных баков составляет 8 тыс. м^3.

На бразильской станции Команданте Феррас топливо хранится в 17 стальных емкостях с двойными стенками; общий объем дизельного топлива – 340 м^3 [16]. По данным [2], нефтебаза на ст. Мирный включала 28 резервуаров общей емкостью 6,7 м^3. На ст. Молодежная общая мощ-

ность дизель-электрических станций составляла 4,5 тыс. кВт, а общий объем нефтехранилищ позволял принять трехлетний запас топлива, равный 23 тыс. т [3].

В условиях Антарктиды все операции по доставке, перекачке и хранению топлива представляют значительную сложность и могут сопровождаться его утечками. В условиях низких температур и воздействия снега происходит коррозия металлических конструкций, в особенности днищ, которые сложно обслужить и своевременно выявить утечки [16, 19, 21]. В ряде случаев только после таяния снега возможно обнаружение загрязнения.

По сути, каждая емкость с топливом является потенциальным источником загрязнения и в случае аварийных ситуаций в окружающей среде могут оказаться большие объемы топлива.

Согласно исследованиям [21], утечки нефтепродуктов были зафиксированы практически во всех местах, где осуществляются операции с топливом: заправки самолетов и дорожных транспортных средств, места хранения, трассы трубопроводов. Установлено, что в 2009 г. на станции Фрей утечки топлива составили около 4 м^3, на станции Белинсгаузен – от 3 до 5 м^3. С талыми водами загрязняющие вещества поступали в залив Максвелл. Принимаемые меры, как например, использование барьеров на чилийских станциях лишь частично позволяли задержать распространение утечек.

В [19] указывается на утечку топлива объемом 90 м^3, произошедшую в результате перекачки топлива с судна на берег на станции Австралии.

По обобщениям [7] в конце 1980-х гг. ежегодно на станциях Антарктиды использовалось до 62 тыс. м^3 топлива; считается, что от 0,1 до 1 % общего объема используемого топлива поступают в окружающую среду в результате обычных утечек и значительно больше при авариях.

Загрязнение нефтепродуктами (и другими веществами, присутствующими в топливе в качестве примесей) от наземных станций распространяется, как правило, на расстояния, измеряемое сотнями метров. В то же время разливы в море проявляются на значительно большей территории. Крупнейший аварийный разлив нефтепродуктов из аргентинского судна Bahia Paraiso в море произошел 29 января 1989 г., в 2 км от американской станции Палмер у Антарктического полуострова. На судне находилось около 1100 м^3 нефтепродуктов, из которых примерно 600 м^3 поступило в море [23]. Последствия аварии фиксировались в радиусе 3 км; площадь покрытой нефтепродуктами акватории через несколько дней у порта Артура составила около 100 км^2. Несмотря на предпринятые меры по сбору нефтепродуктов, значительная их часть достигла береговой линии, местами сформировав сплошную нефтяную пленку. Наиболее пострадали пингвины Адели и бакланы (было обнаружено около 300 мертвых птиц), хотя полностью негативные последствия сложно оценить.

Сточные воды. Поступление загрязняющих веществ в окружающую среду со сточными водами возможно при аварийных ситуациях, а также при отсутствии очистных сооружений. По данным [20], более половины общего количества станций (52 %) из числа обследованных (71) не имеют очистных сооружений. Со сбросом сточных вод и поступлением в морские воды большого количества патогенных организмов и бактерий связывают высокую смертность морских животных в 1990–1991 гг. на базе Скотта (остров Росса), в том числе морских львов в 1998 г. на острове Окленд [24].

Сточные воды являются также существенным источники поступления в окружающую среду химических веществ. Результаты обобщения [14] показали, что очистка сточных вод на ряде станций недостаточно эффективна, чтобы предотвратить поступление таких опасных веществ как полибромдифениловые эфиры. В особенности это касается таких станций, как Мак-Мердо, где используется большое количество материалов, обработанных антипиренами на основе ПБДЭ, обнаруженных в сточных водах, а также в донных отложениях и рыбе, отобранных непосредственно в месте сброса сточных вод [5]. Было показано, что уровни ПБДЭ в рыбе сравнимы с данными для урбанизированных районов в Северной Америке.

Содержание загрязняющих веществ в депонирующих компонентах. Загрязняющие вещества, в том числе радиоактивные и стойкие органические загрязнители (включая хлорорганические пестициды, которые никогда не использовались в Антарктике, как например, ДДТ) обнаруживаются во всех компонентах природной среды этого континента, что обусловлено в значительной степени трансграничным переносом [6, 7, 14]. Однако наибольшую обеспокоенность вызывает накопление загрязняющих веществ в связи с деятельностью непосредственно в Антарктиде. После подписания Протокола по охране окружающей среды значительно активизировались научные исследования, посвященные изучению загрязнения природной среды Антарктиды и последствий загрязнения, а также разработке мер по восстановлению и очистке загрязненных территорий. Выполненные к настоящему времени исследования в районах действия научных станций разных стран (США, Аргентины, Индии, Австралии, Новой Зеландии, Италии и других) подтвердили высокие уровни содержания опасных загрязняющих веществ в депонирующих компонентах [6, 10, 11].

Так, в районе Мак-Мердо на участках Мэрбл и Прэм еще в 1990-х гг. было выявлено накопление тяжелых металлов в почвах [11]. Свинец, цинк и медь были зафиксированы вблизи мест хранения измельченных свинцовых батарей и других отходов. Было показано, что, несмотря на локальный характер загрязнения, имеет место перераспределение тяжелых металлов: за 32 года латеральная и радиальная миграция подвижных форм тяжелых металлов составила примерно 50 см. В перечне источников поступления тяжелых металлов в почву названо сжигание топлива. Загрязнение почв цинком обусловлено также его выщелачиванием с оцинкованных металлических поверхностей и рассеянием со старой краской.

Накопление тяжелых металлов зафиксировано в донных отложениях залива Адмиралтейства вблизи бразильской станции Команданте Ферраз, где за 19 лет функционирования станции содержание бора, молибдена и свинца увеличилось почти в 2 раза, ванадия и цинка – на 70–80 %, никеля, меди и марганца – на 30–40 % по сравнению с фоновыми территориями [10].

В почвах Холмов Тала в местах хранения отходов содержание меди, свинца и цинка достигало 1970, 4500 и 5920 мг/кг соответственно [18]. Загрязнение почв зафиксировано на глубине 20–50 см. Помимо тяжелых металлов почвы оказались загрязнены ПАУ и нефтепродуктами. Было установлено, что загрязняющие вещества, первоначально поступающие в почву и сорбирующиеся твердыми частицами, впоследствии перераспределяются с талыми водами, поступая в морскую акваторию.

Загрязнение почв нефтепродуктами – типичная проблема практически всех станций, где имеется топливо. По данным [17], их содержание на ряде научных российских станций превышает фон от 5–10 до 500 раз, достигая наиболее высоких уровней в местах хранения топлива, стоянок транспорта и других мест, связанных с обращением с топливом. Экстремально высокие уровни углеводородов (до 30 000–33 000 мг/кг) зафиксированы на станции Скотта и в лагере Марбл в район моря Росса, почвы загрязнены также на станциях Кейси, Палмера, Дэвиса, Ванда, Мак-Мердо [13]. В местах утечек нефтепродуктов почвы загрязнены ПАУ: содержание нафталинов достигает 7–27 мг/кг, аценафтилена и аценафтена – 16–18 мг/кг, фенантрена – 0,5–2,5 мг/кг.

В целом высокие уровни загрязнения почв и донных отложений в Антарктиде вызваны разливами топлива, накоплением и рассеянием загрязняющих веществ в составе отходов на заброшенных свалках, сбросами сточных вод, что является преимущественно результатом прошлой деятельности или аварийных ситуаций [7, 8, 14]. Однако поскольку биодеградация в условиях холодного климата протекает крайне медленно, то загрязненные вследствие утечек нефтепродуктов участки обнаруживаются даже спустя 30 лет после утечек [13].

Одно из самых загрязненных мест Антарктиды – залив Уинтер Куортес (Winter Quarters Bay), на берегу которого расположена станция Мак-Мердо [14]. Залив начал использоваться как морской порт в 1901 г.; его ширина составляет 250 м, максимальная глубина – 33 метра. Здесь было затоплено большое количество отходов, в том числе машин, оборудования, металлолома и других. Кроме того, на крутом берегу залива в прошлом складировались отходы от станции Мак-Мердо, которые затем обливались топливом и поджигались [8]. Эта практика прекращена, однако на берегу остались отходы, часть которых была смыта в залив.

Площадь загрязненной части залива – около 20 га. В донных отложениях зафиксированы ПАУ, ПХБ, ПБДЭ, тяжелые металлы и нефтепродукты. Содержание углеводородов в верховьях залива достигало 4500 мг/кг и выше, ПХБ – 1,4 мг/кг. Была установлена зависимость содержания ПХБ с расстоянием от берега (источников): через 1 км их концентрации снизились на два порядка величин, через 9 и 15 км – на четыре порядка.

Среди наиболее загрязненных территорий в Антарктиде считается также долина Тала и побережье залива Браун на станции Кейси (Австралия), которая располагается на побережье Земли Уилкса островов Уиндмилл. Загрязнение обусловлено размещением отходов в долине и на побережье; топографические особенности местности способствовали поступлению загрязняющих веществ в залив (через полигон бытовых отходов). Кроме того, в залив поступали и собственно отходы жизнедеятельности (рис. 5).

Рис. 5. Состояние залива Браун вблизи австралийской станции Кейси [15]

Также загрязнены тяжелыми металлами, ПАУ и ПХБ донные отложения заливов Браун и Ньюкомб, которые подвергались воздействию старых свалок отходов на станциях Уилкс и Кейси [6].

Многими исследователями отмечается, что распространение загрязняющих веществ в условиях Антарктиды определяется интенсивностью снеготаяния [14, 21]. Например, на заброшенной свалке отходов на станции Уилкс в восточной Антарктиде временами практически не было талых вод и не происходило распространение загрязнения. В то же время в годы с интенсивным снеготаянием пятно топлива продвигалось на несколько километров.

Меры по предотвращению загрязнения, очистке и восстановлению загрязненных территорий. Согласно Протоколу об охране окружающей среды (Приложение III, Удаление и управление ликвидацией отходов), любые места складирования отходов (прошлые или настоящие) на действующих или заброшенных станциях должны быть очищены пользователем. Это обязательства должно выполняться с расчетом на то, чтобы меры по очистке территории не привели к еще большим негативным последствиям. В перечне мер, направленных на предотвращение поступления загрязняющих веществ в окружающую среду – запреты на сжигание опасных отходов, а также использование материалов/оборудования, содержащих ПХБ, ПБДЭ и другие СОЗ.

Следует отметить, что на станции Мак-Мердо обширная программа работ по очистке началась в конце 1980-х гг. и включала, прежде всего, вывоз отходов. Кроме того, было запрещено складирование отходов вдоль береговой линии и их открытое сжигание; внедрена также очистка сточных вод до сброса их в залив. К настоящему времени проведены работы по замене многих элементов инфраструктуры, в первую очередь, емкостей хранения топлива, ряда зданий и сооружений, а также обновлению дорог [22].

Аналогичные работы активно проводятся в последние годы на многих станциях. Так, Великобританией вывезены отходы со станции Фоссил Блаф, Японией – со станции Сева; провели такие работы США, Новая Зеландия, Бразилия, Аргентина, Россия и др. Особое внимание уделяется установлению емкостей с улучшенными характеристиками для хранения топлива в условиях Антарктиды и принятию мер по предотвращению утечек, своевременной ликвидации аварийных ситуаций.

В 2003 г. Австралийским Антарктическим отделом была разработана Первоначальная оценка воздействия на окружающую среду в связи с извлечением и вывозом загрязненных отходов в Хобарт (Тасмания) для утилизации [15]. Первоначально было вывезено примерно 830 т отходов, около 530 т было изъято и упаковано. Завершены работы по удалению отходов в 2011 г.; создана система мониторинга для подтверждения требуемых уровней очистки и восстановления территории. Для удаление отходов и загрязненного грунта использовались металлические контейнеры (рис. 6).

Рис. 6. Металлические контейнеры, использовавшиеся для складирования и транспортировки отходов и загрязненного грунта со станции Кейси [15]

Об опыте по обращению с отходами жизнедеятельности, а также по очистке загрязненных территорий свидетельствует перечень предварительных и всесторонних оценок воздействия на окружающую среду, подготовленных в разных странах и размещенных на сайте секретариата Договора об Антарктике (http://www.ats/).

Вместе с тем, согласно обобщениям [14], за прошедшие годы после вступления в силу Протокола об охране окружающей среды прогресс в отношении очистки загрязненных территорий незначителен. Кроме того, не определены уровни загрязнения, при которых должны быть приняты меры по очистке, не рассматриваются политические действия, санкции или механизм для компенсации убытков, не определен характер контроля с целью предупреждения неблагоприятных воздействий на окружающую среду. Не проведена инвентаризация загрязненных территорий в Антарктиде.

Заключение. Многолетняя антропогенная деятельность на территории Антарктиды привела к значительным изменениям природной среды в оазисах. Несмотря на прогресс в улучшении состояния окружающей среды, негативные эффекты в связи с загрязнением природных компонентов возможны еще в течение значительного периода из-за низкой скорости разложения поллютантов в условиях холодного климата.

При разработке Всесторонней оценки состояния окружающей среды при строительстве Белорусской антарктической станции (БАС) учтен фактический уровень загрязнения природной среды, обусловленный техногенным воздей-

ствием в связи с функционированием здесь полевой аэродромной базы «Гора Вечерняя» в течение 10 лет (с 1979 по 1989 г.). Предусмотренные меры на предотвращение поступления загрязняющих веществ в окружающую среду и минимизации последствий при строительстве и функционировании БАС во многом базируются на результатах обобщения многолетнего опыта других стран, имеющих научные станции.

Статья подготовлена по материалам работ, полученным в ходе выполнения задания 418-12 ГП «Мониторинг полярных районов Земли и обеспечение деятельности арктических и антарктических экспедиций на 2011–2015 годы».

Литература

1. **Протокол** об охране окружающей среды к Договору об Антарктике. Мадрид, 4 октября 1991 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http:// www.ats.aq/r/ats_keydocs.htm/vol1_4_AT_Protocol_on_EP_r.pdf.

2. **Саватюгин, Л. М.** Российские исследования в Антарктике. Том I (первая – двадцатая советская антарктическая экспедиция) / Л. М. Саватюгин, М. А. Преображенская ; под ред. А. И. Данилова. – Санкт-Петербург, 1999.

3. **Саватюгин, Л. М.** Российские научные исследования в Антарктике (1956–2003 гг.) : автореферат дис. ... д-ра геогр. наук. – Санкт-Петербург, 2004.

4. **Antarctic** Futures: Human Engagement with the Antarctic Environment / T. Tin [et al.]. – Springer, 2014 [Electronic resource]. – Mode of access : http://www.springer.com.

5. **Antarctic** research bases: local sources of Polybrominated Diphenyl Ether (PBDE) flame retardants/ R. C. Hale [et al.] // Environmental Science and Technology, 2008. 42. – P. 1452–1457.

6. **Bargagli, R.** Antarctic Ecosystems: Environmental Contamination, Climate Change, and Human Impact/Ecological Studies. – Springer, 2005.

7. **Chen, J.** Impact of Human Activities on the Terrestrial Ecosystem of Antarctica: A Review / J. Chen, H-P. Blume // Polarforschung 65 (2), 1995 (erschienen 1997). – P. 83–92.

8. **Crockett, A. B.** Mapping sediment contamination and toxicity in Winter Quarters Bay, McMurdo Station, Antarctica / A. B. Crockett, G. J. White // Environ Monit Assess. 2003. Jul.; 85(3). – P. 257–275.

9. **Environmental** Document Concurrence. Activity: Construction of Five Bulk Fuel Storage Tanks at McMurdo Station, Antarctica. MCST0701.IEE. National Science Foundation Office of Polar Programs. – Arlington, Virginia. 2007 [Electronic resource]. – Mode of access : http://www.nsf.gov/about/contracting/rfqs/support_ant/docs/environ_health_safety/mcst0701_iee.pdf.

10. **Heavy** metal contamination in coastal sediments and soils near the Brazilian Antarctic Station, King George Island / I. R. Santos [et al.] // Marine Pollution Bulletin, 50, 2005. – P.185–194.

11. **Heavy** metal contamination in some soils of the McMurdo Sound region, Antarctica / G. G. C. Claridge [et al.] // Antarctic Science. 1995. 7(1). – P. 9–14.

12. **Human** Impacts on Antarctica and Threats to the Environment – Overview. 2014 [Electronic resource]. – Mode of access : http://coolantarctica.com/Antarctica%20fact%20file/science/human_impact_on_antarctica.php.

13. **Hydrocarbon** Spills on Antarctic Soils: Effects and Management / J. M. Aislabie [et al.] // Environmental Science & Technology Vol. 38, N. 5, 2004. – P. 1265–1274.

14. **Impacts** of local human activities on the Antarctic environment / T. Tin [et al.] // Antarctic Science. 2009. 21 (1). – P. 3–33.

15. **Initial** Environmental Evaluation for Clean-up of Thala Valley Waste Disposal Site at Casey Station, Antarctica\\Kappa\EMS\000 – EMAU FILES\C – Environmental Impact Assessment Annex I\IEEs \ IEE Thala Valley, Casey Station, Antarctica.doc. 2003.

16. **Initial** Environmental Evaluation. Replacement of Fuel tanks at the Comandante Ferraz Antarctic Station. XXX Antarctic Treaty Consultative Meeting. New Delhi, 30 April to 11 May 2007.

17. **Lupachev, A.** Soils of Antarctic Oases Within the Territory of Russian Antarctic Stations: Preliminary Specification and Diversity // Abstr. 11th International Symposium on Antarctic Earth Sciences. – Edinburgh, 2011. July 10–15th. – P. 380.

18. **Management** and remediation of contaminated sites at Casey Station, Antarctica / I. Snape [et al.] // Polar Record, 2001. 37. – P. 199–214.

19. **State** of the Environment 2011 Committee. Australia state of the environment 2011. Independent report to the Australian Government Minister for Sustainability, Environment, Water, Population and ties. – Canberra: DSEWPaC, 2011 [Electronic resource]. – Mode of access : http://www.environment.gov.au/science/soe/2011-report/.

20. **Survey** of waste water disposal practices at Antarctic research station / F. Gröndahl, J. Sidenmark & A. Thomsen // Polar Research, 28, 2009. – P. 298–306.

21. **The current** environmental situation and proposals for the management of the Fildes Peninsula Region / H.-U. Peter [et al.]. TEXTE 03/2013/. Dessau-Roslau, February 2013 [Electronic resource]. – Mode of access : http://www.uba.de/uba-info-medien-e/4424.htm.

22. **The historical** development of McMurdo station, Antarctica, an environmental perspective / A. G. Klein [et al.] // Polar Geography. Vol. 31, Nos. 3Б4, September–December 2008. – P. 119–144.

23. **The loss** of the Bahia Paraiso / The State of the Environment in Antarctica – Report of the Secretary General. United Nations, New York. 1996 [Electronic resource]. – Mode of access : http://www.antarctica.ac.uk/about_antarctica/teacher_resources/resources/schoolspack/14environment_dl.pdf.

24. **Thomsen, A**. Waste water treatment in Antarctica – a feasibility study for grey water at Wasa station. – Stockholm, 2005.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 25.05.2015 г.

С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В РАЙОНАХ БАЗИРОВАНИЯ АНТАРКТИЧЕСКИХ НАУЧНЫХ СТАНЦИЙ

Многолетняя антропогенная деятельность на территории Антарктиды привела к значительным изменениям природной среды в оазисах, занимающих лишь 0,34 % ее территории. Начавшийся в конце XIX в., процесс создания научных станций активизировался в период подготовки к Международному геофизическому году в 1957–1958 гг. Всего в пределах действия Договора об Антарктике к настоящему времени создано около 240 научных станций, полевых баз и лагерей; примерно 190 из них активно используются, обеспечивая проживание в летний период до 5,4 тыс. человек и в зимний – до 1,1 тыс. человек.

В статье проанализирована информация о воздействии на окружающую среду Антарктики в районах базирования научных станций различных стран. Показаны масштабы антропогенного воздействия на природную среду Антарктики в связи с функционированием научных станций, в первую очередь, в связи с накоплением отходов и утечками горюче-смазочных материалов. Показано, что объемы накопления отходов, вместе с загрязненными почвами, оценивается в 1–10 млн м^3. Описаны уровни загрязнения почв и донных отложений в районах размещения некоторых станций, и наиболее загрязненные территории. Охарактеризованы основные проблемы в связи с загрязнением природной среды Антарктики. Приведены примеры реализации мер по предотвращению загрязнения, очистке и восстановлению загрязненных территорий, предпринятых в соответствии с Протоколом об охране окружающей среды к Договору об Антарктике.

Результаты анализа проблем в связи с загрязнением окружающей среды использованы при разработке Всесторонней оценки воздействия на окружающую среду строительства Белорусской антарктической станции на горе Вечерней, Земля Эндерби.

S. Kakareka, T. Kukharchyk

ENVIRONMENTAL CONTAMINATION OF ANTARCTIC SCIENTIFIC STATIONS LOCATION SITES

Long-term human activities in Antarctica led to significant environmental changes in the oases which occupy only 0.34 % of its territory. Starting in the late XIX century the process of establishing of research stations intensified during preparation for the International Geophysical Year in 1957–1958. To the date within the Antarctic Treaty area there were created about 240 research stations, field bases and camps; about 190 of them are actively used, accommodating in the summer up to 5.4 thousand staff, and in the winter – to 1.1 thousand.

The article analyzes the information on the impact on the Antarctic environment in the areas of research stations of different countries. The article shows the scale of human impact on the environment of the Antarctic in connection with the operation of research stations, primarily due to the accumulation of waste and leaks of fuel and lubricants. It is shown that the volume of waste accumulation, along with contaminated soil is estimated at 1–10 million m^3. The levels of contamination of soils and sediments in areas of some stations, and the most contaminated areas are described. Main problems in connection with environmental pollution in Antarctica are discussed. Examples of implementation of pollution prevention, measures treatment and rehabilitation of contaminated areas, undertaken in accordance with the Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty are given.

Results of the analysis of environmental contamination problems were used in the development of Comprehensive environmental evaluation of the construction Belarusian Antarctic research station, Mount Vechernyaya, Enderby Land.

УДК 628.381.1; 658.567.5

А. Н. Лицкевич, М. В. Гулькович, О. А. Черничко

ОСАДКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД МОЛОКОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ КАК ВТОРИЧНОЕ СЫРЬЕ

Рассматривается возможность применения осадка производственных сточных вод молокоперерабатывающего предприятия в качестве вторичного сырья. Проведены исследования физических свойств и химического состава осадка производственных сточных вод молокоперерабатывающего предприятия, которые указывают на высокое содержание соединений азота, фосфора и калия.

С ростом численности населения возрастают масштабы производственной деятельности, поэтому проблема оптимизации взаимодействия человека и природы является актуальной и решение ее имеет большое значение в улучшении окружающей среды. Так, любая степень очистки производственных сточных вод связана с выделением осадков, которые, накапливаясь в больших объемах, представляют серьезную экологическую угрозу. В связи с этим возникает проблема использования осадков сточных вод (ОСВ) и их побочных продуктов, чтобы уменьшить довольно большие эксплуатационные расходы на очистных станциях, а может быть, добиться их самоокупаемости и даже рентабельности [6, 10]?

ОСВ представляют собой примеси в твердой фазе, выделенные из воды в результате механической, физико-химической и биологической очистки или сочетания этих методов. По своему химическому составу осадки производственных сточных вод могут служить удобрением для сельскохозяйственных культур. Однако, по литературным данным, имеется ряд ограничений использования их в этом направлении (наличие в них тяжелых металлов и др.). В каждом конкретном случае требуется специфический подход к использованию ОСВ, так как каждое предприятие имеет осадки определенного качества, количества и состава.

Опыт утилизации ОСВ в ФРГ, США, Франции, Финляндии и ряде других стран свидетельствует о том, что при наличии эффективной технологии обработки осадков и контроле за их применением большая часть ОСВ (до 60 %) может быть использована в качестве удобрения в сельском хозяйстве, в городском озеленении, а также при рекультивации земель, лесовосстановительных и других работах [2, 9].

Целью данной работы являются исследование осадка производственных сточных вод очистных сооружений молокоперерабатывающего предприятия и разработка способа его применения в качестве вторичного сырья для производства органических удобрений.

Объектом исследования является осадок производственных сточных вод ОАО «Щучинский маслосырзавод». Анализ образцов отходов осуществляли по стандартным методикам выполнения измерений, допущенных к применению в деятельности лабораторий экологического контроля предприятий и организаций Республики Беларусь. Качественный состав исследуемого осадка анализировали по следующим показателям: относительная влажность, зольность, органическое вещество, pH, общий азот, подвижный фосфор, подвижный калий, тяжелые металлы (валовое содержание). Содержание $N_{общ.}$, P_2O_5, K_2O в осадке определяли по ГОСТ 26107-84 п. 4.2 [3]; ГОСТ 26207-91 [4].

ОАО «Щучинский маслосырзавод» – предприятие, способное перерабатывать более 300 т молока в сутки. Основной вид деятельности завода – производство сыров, они составляют наибольший удельный вес в продукции предприятия.

На ОАО «Щучинский маслосырзавод» образуются 3 типа сточных вод:

1) загрязненные производственные стоки от промывки и обеззараживания технологического оборудования и трубопроводов, сточные воды в результате мокрой уборки цеховых и вспомогательных помещений; аварийные спуски молочных продуктов и сыворотки;

2) хозяйственно-бытовые сточные воды;

3) поверхностные сточные воды с территории завода.

Первый из перечисленных типов сточных вод составляет основу от всего объема образующихся стоков и наиболее загрязнен органическими веществами.

Поверхностные сточные воды предприятия образуются в результате смывания дождевой, талой и поливочной водой компонентов, скапливающихся на крышах и стенах производственных зданий и на территории предприятия. Основными компонентами этих вод являются твердые частицы (песок, камень, пыль, остатки растений и т. п.) и нефтепродукты, используемые в двигателях транспортных средств.

На предприятии нет раздельного учета отводимой воды. Три вышеуказанных типа сточных

вод выпускаются совместно. Общий объем сточных вод составляет 1000 м^3/сут.

Технология очистки сточных вод ОАО «Щучинский маслосырзавод» включает в себя следующие процессы:

механическая очистка на барабанном сите;

физико-химическая очистка (флокуляция, флотация);

биологическая очистка в аэротенке;

обезвоживание осадка.

На данном предприятии ежегодно образуется около 2190 т обезвоженного осадка, качественные и количественные характеристики которого были исследованы сотрудниками лаборатории № 4 «Гидроэкологии и экотехнологий» ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси».

Исследуемый осадок представляет дисперсную систему, в которой дисперсной фазой являются твердые частицы, а дисперсионной средой – сточная вода с растворами соединений органической и неорганической природы. По внешнему виду обезвоженный осадок представляет собой текучую субстанцию светло-серого цвета. Наличие в нестабилизированном осадке высокой доли легкоокисляемой органики является причиной наличия запаха органической природы [7, 11]. Основные показатели физических свойств сырого осадка приведены в табл. 1. Относительная влажность осадка составляет 85,46 %. Концентрация сухого вещества равна 145 г/кг. Зольность осадка составляет 22,95 %.

Из-за высокой влажности осадка предприятие столкнулось с проблемой невозможности вывоза его на полигон твердых бытовых отходов. Обезвоживание на ОАО «Щучинский маслосырзавод» осуществляется на ленточном фильтр-прессе, позволяющем получать осадок влажностью около 67 %, однако проектное значение влажности не достигается, что, возможно, связано с использованием не совсем подходящего флокулянта.

В табл. 2 представлены данные по основному составу осадка производственных сточных вод.

Осадок производственных сточных вод характеризуется высоким содержанием органического вещества (основную долю составляют белки).

Исследования химического состава осадка показали высокое содержание биогенных элементов, что свидетельствует о его хорошей удобрительной ценности (табл. 3).

Сравнение химического состава осадка и полужидкого навоза КРС показало, что в осадке производственных сточных вод ОАО «Щучинский маслосырзавод» содержится больше общего азота, подвижных соединений фосфора и калия, чем валовых форм N, P, K в навозе (табл. 4).

Таблица 1. **Основные показатели физических свойств сырого осадка очистных сооружений ОАО «Щучинский маслосырзавод»**

Влажность осадка, %	Гигроскопическая влажность, %	Концентрация сухого вещества, г/кг	Зольность осадка, %	Содержание беззольного вещества, %	Плотность, т/м^3
85,46	10,27	145,4	22,95	77,05	0,9855

Таблица 2. **Основной состав обезвоженного осадка очистных сооружений ОАО «Щучинский маслосырзавод», %**

Показатель	Содержание
Сырой протеин	36,84
Сырой жир	3,77
Сырая клетчатка	4,3
Углеводы	1,8

Таблица 3. **Показатели химического состава осадка производственных сточных вод ОАО «Щучинский маслосырзавод»**

Исследуемый образец	$N_{общ}$, %	Нитраты, %	Аммоний, %	P_2O_5, %	K_2O, %	pH
ОПСВ: на сухое вещество	2,11	0,0022	0,0145	2,75	0,91	5,7
на естественную влажность	0,307	0,00032	0,0021	0,40	0,13	

Таблица 4. **Состав органического удобрения [1]**

Удобрение	Влажность, %	Содержание, %		
		$N_{общ}$	P_2O_5	K_2O
Полужидкий навоз КРС	90	0,35	0,15	0,4

Поскольку в различных производствах возможно образование отходов и сточных вод, содержащих тяжелые металлы и их соединения, которые загрязняют окружающую среду, в ходе выполнения научно-исследовательской работы были проведены исследования на содержание данного вида загрязнений в осадке производственных сточных вод ОАО «Щучинский маслосырзавод» (табл. 5).

Таблица 5. **Содержание тяжелых металлов в осадке сточных вод ОАО «Щучинский маслосырзавод», мг/кг**

Элемент		ОПСВ	ПДК для почв	ПДК для осадков группы I [5]
Mn	1	13,49	1500	–-
	2	0,196		
Cd	1	0,03	0,5	15
	2	0,0004		
Pb	1	0,76	30	250
	2	0,011		
Ni	1	1,57	85	200
	2	0,023		
Co	1	0,28	20	-
	2	0,004		
Cr	1	10,68	100	500
	2	0,155		
Zn	1	31,40	100	1750
	2	0,456		
Cu	1	3,79	55	70
	2	0,055		

Примечание: 1 – на сухое вещество; 2 – на естественную влажность.

Результаты проведенных исследований показали незначительное содержание тяжелых металлов в осадке.

По содержанию подвижных соединений фосфора и калия, а также валовому содержанию азота, осадок производственных сточных вод ОАО «Щучинский маслосырзавод» более насыщен биогенными элементами, чем полужидкий навоз КРС валовыми формами N, P, K, что дает возможность судить о пригодности осадка в качестве сырья для получения органического удобрения.

Массовая доля азота в осадке составляет 2,11 %, подвижного фосфора – 2,75, подвижного калия – 0,91 %.

Осадок характеризуется высоким содержанием органического вещества (77,05 %), что является несомненным достоинством, поскольку органическое вещество образует из частиц почвы агрегаты, между которыми остаются большие поры, через которые воздух может проникать к корням, а излишки воды – испаряться.

В настоящее время разработаны экспериментальные составы органического удобрения на основе осадка производственных сточных вод ОАО «Щучинский маслосырзавод», в которых будут определены валовые формы биогенных элементов N, P, K.

Главное условие эффективного использования органических удобрений – равномерное их внесение в оптимальные сроки и своевременная заделка в почву. Правильно забуртованные компосты хорошо вызревают, в них погибает большинство возбудителей болезней и семян сорных растений. Следует также учитывать, что основная масса питательных веществ органических удобрений становится доступной для питания растений только после минерализации.

В ходе внесения осадков в почву рекомендуется контролировать дозу внесения осадка по содержанию загрязнений. При внесении в почву нестабилизированных и необеззараженных осадков сточных вод необходимо следить за санитарными показателями [7, 8, 11].

Литература

1. **Босак, В. Н.** Органические удобрения / В. Н. Босак. – Пинск, 2009.

2. **Гольдфарб, Л. П.** Опыт утилизации ОСВ в качестве удобрения / Л. П. Гольдфарб, М. С. Туровский, С. Д. Беляева. – М., 1983.

3. **ГОСТ 26107-84 п. 4.2** Почвы. Методы определения общего азота.

4. **ГОСТ 26207-91** Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО.

5. **ГОСТ Р 17.4.3.07-2001** Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений.

6. **Евилевич, А. З.** Осадки сточных вод: удаление, обработка, использование / А. З. Евилевич. – М., 1965.

7. **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. темы А. Н. Лицкевич. – Брест, 2015. – № ГР 20150092.

8. **Прикладная** экобиотехнология : учеб. пособие : в 2 т. / А. Е. Кузнецов [и др.]. – М., 2010. – Т. 1.

9. **Соколова, Л. А.** Тяжелые металлы в окружающей среде и сельскохозяйственной продукции : уч.-мет. пособие / Л. А. Соколова, Х. Х. Сюняев. – Калуга, 2000.

10. **Сюняев, Н. К.** Очистка сточных вод и утилизация их осадков / Н. К. Сюняев, М. В. Тютюнькова, А. А. Слипец. – М., 2005.

11. **Яромский, В. Н.** Очистка сточных вод пищевых и перерабатывающих предприятий / В. Н. Яромский. – Минск, 2009.

Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси

Поступила в редакцию 16.03.2015 г.

А. Н. Лицкевич, М. В. Гулькович, О. А. Черничко

ОСАДКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД МОЛОКОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ КАК ВТОРИЧНОЕ СЫРЬЕ

Рассмотрены результаты комплексного исследования осадка производственных сточных вод молокоперерабатывающего предприятия. Установлено, что физические свойства и химический состав осадка позволяют использовать его в качестве сырья для производства удобрений; содержание ионов тяжелых металлов в осадке незначительно, что не может ограничить его применение в данном направлении.

A. N. Litskevich, M. V. Gulkovich, O. A. Chernichko

SEWAGE SEDIMENTS OF MILK PROCESSING PLANTS AS SECONDARY RAW MATERIALS

The results of comprehensive study of the sewage sediment of a milk processing plant are considered. It was found that the physical properties and chemical composition of the sludge allow to use it as a raw material for the production of fertilizers; the content of heavy metals in the sludge is insignificant and can't limit its use in this direction.

Природные ресурсы Полесья: оценка, использование, охрана

8–11 июня 2015 г. Институтом природопользования Национальной академии наук Беларуси совместно с Учреждением образования «Полесский государственный университет» при участии Научного совета по проблемам природопользования при Президиуме НАН Беларуси и Научного совета по проблемам Полесья при Отделении аграрных наук НАН Беларуси в г. Пинске была проведена Международная научно-практическая конференция «Природные ресурсы Полесья: оценка, использование, охрана». Конференция проводилась с целью анализа и обобщения национального и зарубежного опыта в области природопользования в специфических природных условиях Полесья.

В работе конференции приняли участие более 70 ученых и специалистов из Национальной академии наук Беларуси (Института природопользования, Института мелиорации, Института экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича, Института леса, Института почвоведения и агрохимии, Полесского аграрно-экологического института, Центрального ботанического сада, Института системных исследований в АПК, НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам, НПЦ НАН Беларуси по животноводству), учреждений образования (Белорусского государственного университета, Полесского государственного университета, Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины, Брестского государственного университета им. А. С. Пушкина), Института радиологии, РУП «Проектный институт Белгипрозем», БелНИЦ «Экология», представителей Министерства по чрезвычайным ситуациям и Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Пинского райисполкома, Пинской районной инспекции природных ресурсов и охраны окружающей среды, УП «Лунинецкое ПМС».

Зарубежные участники конференции (10 ученых и специалистов) представляли организации Национальной академии наук Украины (Институт географии, Институт зоологии, Национальный научно-природоведческий музей), Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины.

Конференция включала пленарное заседание, круглые столы «Природные ресурсы Полесья. Социально-экономические и экологические проблемы природопользования в Полесском регионе» и «Научные и прикладные аспекты рационального использования пойменных земель и развития мясного скотоводства», полевую экскурсию с посещением СПК «Федорский» в Столинском районе.

На конференции были рассмотрены следующие вопросы:

– состояние и использование природных ресурсов Полесья;

– социально-экономические и экологические проблемы природопользования в Полесском регионе;

– научные и прикладные аспекты рационального использования пойменных земель и развития мясного скотоводства;

– анализ перспектив природно-ресурсного обеспечения развития региона с учетом реализации мероприятий Государственной программы социально-экономического развития и комплексного использования природных ресурсов Припятского Полесья на 2010–2015 годы (далее – Государственная программа «Припятское Полесье») и основных положений проекта Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь до 2030 г.

С приветственным словом к участникам конференции выступили заместитель председателя Пинского райисполкома *И. М. Брилевич* и ректор Полесского государственного университета доктор экономических наук профессор *К. К. Шебеко*. С приветственным словом и докладом, посвященным научному обеспечению Государственной программы «Припятское Полесье» выступил директор Института природопользования НАН Беларуси академик *А. К. Карабанов*. Докладчик отметил, что, несмотря на имеющиеся сложности с финансированием части мероприятий Государственной программы, большинство из них выполнены или выполняются, тем самым обеспечивая достижение ее целей.

Пленарное заседание конференции включало ряд проблемных обзорных докладов, касающихся возможностей использования природно-ресурсного потенциала Полесья, состояния и перспектив развития мясного скотоводства и биотехнологий в регионе.

С оценкой современных и прогнозных биосферных изменений Полесской низменности выступил академик *В. И. Парфенов*. В докладе говорилось, что в ходе выполнения Государственной программы «Припятское Полесье» приходится решать сложные долговременные научные задачи: природно-экологические, хозяйственные, экономические и социальные, в связи с чем в полном объеме встает задача устойчиво-длительного развития региона с учетом современных приемов биосферносовместимого природопользования. Следует отметить, что такой научно-обоснованный, концептуальный подход к развитию территории, основанный на сбаланси-

рованности хозяйствования с учетом возможностей саморегулируемости природной среды, принимается впервые за всю историю природопользования в Белорусском Полесье. В этом аспекте следует обратить должное внимание на транснациональный аспект и необходимость согласованного подхода к решению многих вопросов по развитию обширного региона, в целом, включая сопредельные страны (Россию, Украину, Польшу).

Академик *И. И. Лиштван* изложил свое видение проблемы использования ресурсов торфа в Белорусском Полесье. Докладчик подчеркнул, что обширные запасы торфа – ценного промышленного сырья – в сочетании с наличием научного и кадрового потенциала свидетельствует о возможности увеличения промышленной добычи и переработки торфа с получением широкой гаммы новых химических продуктов. Широкая распространенность торфа в Припятском Полесье и высокая ценность его органической части обуславливают необходимость комплексного подхода к использованию торфа и получению широкого набора разнообразных продуктов и материалов, не имеющих аналога при переработке других видов природных ресурсов, включая создание альтернативных производств по глубокой переработке отдельных видов торфа с получением продуктов и материалов для сельскохозяйственного, химико-технологического, топливно-энергетического, бальнеологического и природоохранного назначений.

Одна из важнейших проблем сельскохозяйственного производства в Полесье – воспроизводство плодородия почв – была представлена академиком *И. М. Богдевичем*. Низкий естественный уровень плодородия почв Полесья и неравномерные темпы окультуривания их по полям и хозяйствам предопределили необходимость долговременного управления процессами формирования их плодородия. Около половины пашни и 57 % площади сенокосов и пастбищ здесь представлено осушенными землями. Для получения высокой урожайности сельскохозяйственных культур, продукции хорошего качества, необходимо оптимизировать содержание макро- и микроэлементов в почвах путем дозированного внесения удобрений. Высокоплодородные почвы лучше противостоят колебаниям погоды, механическим и техногенным нагрузкам, снижают негативное действие токсических веществ.

Директор Института экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси кандидат биологических наук *А. В. Пугачевский* представил доклад по проблемам и перспективам рационального использования и охраны растительных и лесных ресурсов Припятского Полесья. Докладчик выделил факторы, оказывающие негативное влияние на состояние природной растительности, сохранность и возобновление лесных ресурсов и ресурсов растительного мира, а также предложил комплекс мер по сохранению биоразнообразия растительного мира и повышению эффективности использования лесных и растительных ресурсов в регионе.

С докладом о стратегических направлениях развития мясного скотоводства в регионе Припятского Полесья выступил заместитель генерального директора РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству» кандидат сельскохозяйственных наук *И. С. Петрушко*. Игорь Сергеевич подчеркнул, что создание в зоне Припятского Полесья конкурентоспособной отрасли специализированного мясного скотоводства для увеличения производства высококачественной говядины возможно только на основе рационального использования природных ресурсов региона в сочетании с эффективными энергосберегающими технологиями ведения отрасли, осуществлением государственной поддержки и формированием устойчивого спроса потребителей на высококачественную говядину.

С докладом о состоянии и перспективах развития биотехнологий в Полесском регионе, о проведении исследований в области биотехнологий в Полесском государственном университете выступил декан биотехнологического факультета кандидат биологических наук *А. А. Волотович*.

На примере Украинского Полесья академик *Л. Г. Руденко* – директор Института географии НАН Украины – представил опыт географов Украины в исследовании проблем природопользования и устойчивого развития. Докладчик особо подчеркнул, что чрезвычайная сложность, многоаспектность и междисциплинарный характер проблем обеспечения перехода человечества к модели устойчивого развития объективно обуславливают необходимость привлечения к их решению представителей широкого спектра отдельных отраслей и направлений научных знаний, представляющих естественные, общественные и технические дисциплины. Среди них особое место должно принадлежать географии, как одной из фундаментальных наук, изучающей территориальные аспекты взаимодействия общества и природы.

Программа круглого стола «Природные ресурсы Полесья. Социально-экономические и экологические проблемы природопользования в Полесском регионе» (ведущие – академики В. И. Парфенов и И. М. Богдевич) включала восемь докладов и кратких сообщений, касающихся различных аспектов использования природных ресурсов и природопользования в регионе.

С оценкой эффективности использования мелиорированных почв в сельском хозяйстве Полесья выступил главный научный сотрудник РУП «Институт мелиорации» доктор сельскохо-

зяйственных наук профессор *А. С. Мееровский*. Анатолий Семенович отметил, что в настоящее время оценка возможностей «мелиорированного гектара» Полесья более сдержанная, чем 30–40 лет назад. Нельзя игнорировать быструю динамику почвенного покрова, аридизацию климата, рост числа экстремальных природных явлений, старение мелиоративных систем. Совершенно очевидны дополнительные затраты на реконструкцию и модернизацию мелиоративных систем, их ремонт и эксплуатацию. Тем не менее, исследования показывают, что при всех изменениях мелиорированных почв их потенциал находится на очень высоком уровне.

Перспективы использования ресурсов сапропеля в Припятском Полесье были оценены в докладе старшего научного сотрудника Института природопользования НАН Беларуси кандидата технических наук *О. М. Гайдукевича*. Были обоснованы перспективные для промышленной разработки месторождения, определены направления возможного использования сырья.

Директор Пинского филиала Института радиологии кандидат экономических наук *В. С. Филипенко* в своем докладе рассмотрел различные аспекты использования загрязненных радионуклидами антропогенно-преобразованных торфяных почв на территории Белорусского Полесья.

В докладе ведущего научного сотрудника НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам кандидата сельскохозяйственных наук *Н. А. Юргенсон* были рассмотрены стратегические направления охраны и использования ресурсов животного мира Припятского Полесья в связи с реализацией Государственной программы «Припятское Полесье».

Доклад заместителя директора Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси кандидата биологических наук *В. Т. Демянчика* был посвящен оценке современного состояния агроэкотуризма в Припятском Полесье и разработке рекомендаций по его развитию в рамках научного обеспечения Государственной программы «Припятское Полесье».

Заведующий научно-исследовательской лабораторией экологии ландшафтов Белорусского государственного университета кандидат сельскохозяйственных наук *В. М. Яцухно* посвятил свой доклад оценке территориальной рассредоточенности аграрного землепользования Полесского региона как фактора, влияющего на его эффективность. Докладчик подчеркнул, что территориальное удаление земель не только приводит к увеличению транспортных затрат при возделывании и уборке сельскохозяйственных культур, но и косвенно влияет на окультуренность земель и степень реализации их потенциального плодородия. Фактор местоположения аграрного землепользования необходимо учитывать при модернизации сельскохозяйственных организаций и их укрупнении, принимая во внимание, что чрезмерная концентрация объектов производственной инфраструктуры приведет к ухудшению состояния удаленных (периферийных) участков пахотных и луговых земель. В совокупности это нейтрализует предполагаемый эффект от инвестиций в модернизацию непосредственно производственных объектов и может негативно сказываться на экономике аграрного производства в целом.

Научное обеспечение Государственной программы «Припятское Полесье» включает разработку технологии фиторекультивации выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений на основе культивирования ягодных растений семейства *Ericaceae*. Результаты работы по данному заданию нашли свое отражение в докладе заведующего лабораторией Центрального ботанического сада НАН Беларуси кандидата биологических наук *А. П. Яковлева*.

Представитель Института географии НАН Украины *Е. И. Иваненко* в своем докладе рассмотрел географические параметры расширения природно-заповедного фонда (ПЗФ) Украинского Полесья. Докладчик подчеркнул наличие наилучших, по сравнению с другими равнинными регионами Украины, условий для развития ПЗФ в Украинском Полесье и необходимость межгосударственного сотрудничества Беларуси и Украины при разработке национальных систем особо охраняемых природных территорий и интеграции их в общеевропейскую сеть.

Круглый стол «Научные и прикладные аспекты рационального использования пойменных земель и развития мясного скотоводства» (ведущие – академики И. И. Лиштван и И. П. Шейко) включал семь докладов и краткие выступления, касающиеся в основном перспектив развития мясного скотоводства в Полесье и формирования кормовой базы для него.

В докладе ведущего научного сотрудника Института экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси кандидата биологических наук *М. Л. Романовой* анализировался природно-ресурсный потенциал естественных лугов Припятского Полесья, перспективы их использования в качестве сенокосов и пастбищ. Докладчиком было подчеркнуто, что охрана лугов связана с поддержанием их продуктивности в хорошем культуртехническом состоянии, для чего необходимо постоянное их использование, в противном случае сенокосы и пастбища лесной зоны быстро зарастают кустарниками и деревьями, а пойменные луга становятся монодоминантными – мало пригодными для использования их в качестве кормовой базы животноводства.

Природно-ресурсный потенциал лугов на мелиорированных землях Припятского Полесья и

роль мелиоративной составляющей в обеспечении кормовой базы животноводства рассматривались в докладе заведующего лабораторией РУП «Институт мелиорации» кандидата технических наук *Э. Н. Шкутова*.

В докладе заведующего лабораторией РУП «Институт мелиорации» кандидата сельскохозяйственных наук *А. Л. Бирюковича* рассматривались вопросы воздействия интенсификации кормопроизводства на мелиорированные луговые земли. Были обоснованы меры по минимизации негативных последствий этого воздействия.

Доклад представителя Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь *И. П. Янель* был посвящен анализу структуры племенного мясного скотоводства в Беларуси.

Ряд докладов сотрудников РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству» касался различных аспектов развития мясного скотоводства в Припятском Полесье: качественным показателям мяса абердин-ангузских бычков разных возрастов и весовых кондиций (кандидат сельскохозяйственных наук *Р. В. Лобан*); сравнительной оценке мясной продуктивности бычков черно-пестрой, абердин-ангузской пород и их помесей (кандидат ветеринарных наук *В. И. Леткевич*); особенностям кормления мясного скота (доктор сельскохозяйственных наук профессор *В. Ф. Радчиков*).

С особенностями научных и прикладных аспектов развития и рационального использования мясного скотоводства в условиях Полесья Украины участники конференции познакомились из доклада профессора Национального университета биоресурсов и природопользования Украины доктора сельскохозяйственных наук *А. Н. Угнивенко*.

Ведущим научным сотрудником Института природопользования НАН Беларуси кандидатом технических наук *В. А. Раковичем* были представлены результаты работы международного коллектива авторов по сравнительной продуктивности биомассы при искусственном подтоплении и затоплении на выработанных торфяниках и пойменных аллювиальных почвах. В докладе подчеркивалось, что для получения высокопродуктивной биомассы на повторно заболоченных выработанных торфяниках для использования ее в энергетических целях недостаточно провести затопление территории с произрастающей на ней естественной болотной растительностью. Необходимо целенаправленно культивировать виды растений, выдерживающие затопление и регулировать степень и продолжительность затопления и подтопления.

Обсуждение вопросов, касающихся рационального использования природно-ресурсного потенциала и социально-экономического развития Полесского региона было продолжено во время полевой экскурсии в СПК «Федорский» Столинского района. Председатель правления СПК *Г. А. Демко* любезно предоставил участникам конференции возможность ознакомится с особенностями хозяйствования предприятия, специализирующегося на производстве молока, говядины и кормов, и обсудить проблемы природопользования в регионе на примере отдельного хозяйства.

Участниками конференции неоднократно подчеркивалось, что Полесский регион, с одной стороны, располагает значительным природно-ресурсным потенциалом хозяйственного развития, включая почвенно-земельные, водные, биологические, рекреационные, минерально-сырьевые ресурсы. С другой стороны, в его пределах располагаются крупные естественные лесо-болотные экосистемы, имеющие не только национальное, но и европейское значение для сохранения биологического и ландшафтного разнообразия, что обуславливает особые экологические требования к использованию местных природных ресурсов.

На конференции были подведены предварительные итоги заданий по научному обеспечению Государственной программы социально-экономического развития и комплексного использования природных ресурсов Припятского Полесья на 2010–2015 годы, уточнены перспективные для региона направления природопользования с учетом соблюдения экологических интересов и хозяйственных требований.

В целом программа конференции включала более 90 докладов, кратких сообщений, выступлений в дискуссиях по основным направлениям работы конференции. Материалы конференции опубликованы в сборнике *Природные ресурсы Полесья: оценка, использование, охрана : материалы Международной науч.-практ. конференции, Пинск, 8–11 июня 2015 г.: в 2 ч. / Институт природопользования НАН Беларуси, Полесский государственный университет [и др.]; редкол. : В. С. Хомич (отв. ред.) [и др.]. – Пинск: УО «Полесский государственный университет», 2015. – Ч. 1: 177 с.; Ч. 2: 180 с.*

По итогам работы принято решение конференции, включающее следующие рекомендации:

1. С целью дальнейшего развития Полесского региона предусмотреть разработку специальной комплексной Государственной программы «Биосферносовместимое природопользование, охрана окружающей среды Белорусского Полесья», научная концепция которой должна включать основные направления социально-экономического развития региона.

2. Рекомендовать учреждениям НАН Беларуси (Институту мелиорации, Институту почвове-

дения и агрохимии, Институту природопользования, Полесского аграрно-экологического института и др.) и учреждениям Министерства образования Республики Беларусь включить в планы исследований на 2016–2020 гг. следующие задачи:

– совершенствование методов инвентаризации, картографирования и оценки состояния мелиоративных систем с использованием современных геоинформационных технологий;

– разработка методологии и проведение оценки сохранности органического вещества торфяных почв с учетом их вещественного состава;

– разработка научно-обоснованных технологий глубокой переработки и комплексного использования промышленно значимых видов минерально-сырьевых ресурсов Белорусского Полесья.

– изучение теплофизических свойств торфяных почв и разработка на их основе технологий минимизации потерь урожая сельскохозяйственных культур в результате действия экстремальных метеорологических явлений, включая заморозки, засухи, наводнения, половодья и последствия ветровой эрозии.

3. Институту природопользования НАН Беларуси совместно с Институтом мелиорации, НПЦ НАН Беларуси по животноводству, НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам, Институтом экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Центральным ботаническим садом НАН Беларуси, Полесским аграрно-экологическим институтом НАН Беларуси обобщить результаты исследований и рекомендации по рациональному использованию природных ресурсов, в том числе пойменных земель, разработанные в рамках Госпрограммы «Припятское Полесье» и направить их заинтересованным министерствам и местным органам управления.

4. Активизировать деятельность Научного совета по проблемам Полесья, сделав его постоянно действующим научным органом.

5. В связи с имеющей место в большинстве административных районов тенденцией снижения плодородия почв сельскохозяйственных угодий обратить внимание органов управления АПК на необходимость:

– организации воспроизводства плодородия почв за счет восстановления почвозащитной структуры посевов (доля многолетних трав не менее 20 % при соотношении многолетние травы: пропашные не менее 1,0–1,5) для обеспечения бездефицитного или положительного баланса гумуса пахотных почв;

– предотвращения дальнейшего подкисления пахотных и луговых почв и оптимизации реакции почв, финансирования химической мелиорации почв по потребности;

– сбалансированного применения макро- и микроудобрений и предотвращения дальнейшего обеднения пахотных почв подвижными формами меди, бора и цинка.

6. Разработать Закон об охране и использовании почв.

7. Рекомендовать Министерству сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь при доработке Стратегии развития животноводства на 2016–2020 и последующие годы и разработке иных нормативных документов в области животноводства включать разделы по развитию специализированного мясного скотоводства в Республике Беларусь.

8. Рекомендовать НПЦ НАН Беларуси по животноводству и Институту экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси разработать и реализовать совместно с одним из сельскохозяйственных предприятий региона пилотный проект в сфере мясного животноводства на основе естественных луговых угодий поймы Припяти.

9. Рекомендовать Министерству сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь и НАН Беларуси (НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства) проработать вопрос о разработке специализированных технических средств для обработки мелиорированных торфяных почв и реконструкции мелиоративных систем.

10. Принять меры по восстановлению и развитию системы полезащитного лесоразведения в районах Припятского Полесья для предотвращения дальнейшей деградации земель.

11. Рекомендовать Министерству лесного хозяйства Республики Беларусь совместно с Институтом экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси разработать и реализовать комплекс мер по вовлечению в хозяйственный оборот дикорастущих хозяйственноценных растений, а также лесосечных и лесопильных отходов, образующихся в процессе лесозаготовок и первичной обработки древесины.

Участники конференции выразили благодарность Институту природопользования НАН Беларуси и Полесскому государственному университету за высокий уровень организации и проведения конференции. Выражена также благодарность председателю СПК «Федорский» заслуженному работнику сельского хозяйства Республики Беларусь Г. А. Демко за организацию полевой экскурсии и ознакомление с деятельностью предприятия.

В. С. Хомич, Е. В. Санец

К 75-летию академика Владимира Федоровича Логинова

8 марта 2015 г. исполнилось 75 лет Владимиру Федоровичу Логинову, академику Национальной академии наук Беларуси, доктору географических наук, профессору, лауреату Государственной премии Республики Беларусь. В этом же году отмечается и 50-летие его научной деятельности.

В. Ф. Логинов родился в Беларуси в д. Зеленовка Витебской области. Научная деятельность началась с 1965 г., практически сразу после окончания арктического факультета Высшего инженерного морского училища им. адмирала С. О. Макарова, когда он поступил в аспирантуру Ленинградского государственного университета. Его кандидатская диссертация заложила основы всей последующей научной деятельности, связанной с изучением одного из важнейших компонентов географической оболочки Земли – климата.

В. Ф. Логинов работал в крупнейших научных центрах бывшего СССР (Сибирском институте земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн СО АН СССР, Всесоюзном институте гидрометеорологической информации, Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова), а также в Стэнфордском университете США, Всемирной метеорологической организации ООН. Высокий научный и интеллектуальный потенциал этих учреждений, творческая атмосфера 1970–1980-х гг., энтузиазм и увлеченность самого исследователя – все это способствовало профессиональному росту В. Ф. Логинова. В перечне важнейших научных трудов этого периода следует назвать ряд монографий: «Солнечно-тропосферные связи» (1969, соавт. Б. И. Сазонов); «Характер солнечно-атмосферных связей» (1973); «Вулканические извержения и климат» (1984); «Короткопериодные циклические изменения в нижней части атмосферы и гелиогеофизические процессы» (1986, соавт. Б. Г. Шерстюков).

В 1982 г. в Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова Владимир Федорович успешно защитил докторскую диссертацию. На основании углубленного изучения внешних климатообразующих факторов (вулканической и солнечной активности) им обоснована гипотеза о непостоянстве одной из известных в астрофизике констант – солнечной постоянной и нестабильности солнечно-атмосферных связей. В. Ф. Логиновым представлены наиболее полные оценки вклада вулканического и антропогенного аэрозоля в изменение солнечной радиации и климата в различных географических районах и обоснованы принципиальные возможности использования актинометрических наблюдений для мониторинга загрязнения атмосферы.

В 1990 г. В. Ф. Логинов вернулся на родину – в Беларусь, где его творческая деятельность тесно связана с Институтом природопользования НАН Беларуси. На протяжении почти двух десятилетий он занимал руководящие должности в институте: сначала заместителя директора по научной работе, а затем – директора.

В Беларуси В. Ф. Логинов организует проведение фундаментальных и прикладных исследований в области климатологии, направленных на получение оценок влияния изменений климата на хозяйственную деятельность и хозяйственной деятельности на климат. В сферу его научных интересов входят задачи по исследованию современных тенденций в изменении климата и экстремальных климатических явлений (засух, наводнений) под влиянием естественных и антропогенных факторов, устанавливаются пространственно-временные закономерности его изменений, разрабатывается Национальная климатическая программа. Им изучена повторяемость холодных и теплых зим и произведена оценка роли Атлантического океана в формировании экстремальных климатических явлений и потепления климата на территории Беларуси и других районах северного полушария.

В последние годы главное внимание ученого сконцентрировано на проблеме глобальных изменений климата и оценке социально-

экономических последствий этих изменений в контексте экономической, продовольственной и экологической безопасности. Неоценимое значение для практики природопользования имеют оценки воздействия климата на различные отрасли хозяйства и социальную сферу, разработанные сценарии изменений климата, гидрологических и агроклиматических показателей и их последствий, предложения по адаптации наиболее уязвимых отраслей экономики к изменяющемуся климату. В 2010 г. им разработана Концепция экологической безопасности в составе Концепции национальной безопасности Республики Беларусь. Важное практическое значение имеют работы В. Ф. Логинова, касающиеся оценки агроклиматических ресурсов на территории Беларуси.

В. Ф. Логинов внес существенный вклад в становление и развитие международного научно-технического сотрудничества в области охраны окружающей среды. Работая во Всемирной Метеорологической организации ООН, он принимал участие в разработке и реализации ряда проектов Всемирной климатической программы. В течение 1993–1996 гг. был заместителем председателя международного организационного комитета и руководящей группы Совета Европы по проведению Европейского года охраны природы. На протяжении длительного времени В. Ф. Логинов принимает активное участие в координации научно-исследовательских работ в области географии и природопользования в качестве члена Объединенного Научного совета по фундаментальным географическим проблемам при Международной ассоциации Академий наук (МААН).

Большое внимание В. Ф. Логинов уделял и уделяет научно-педагогической деятельности. В течение многих лет он читал лекции в Ленинградском, Иркутском и Белорусском государственном университетах. Он подготовил 12 кандидатов наук и был консультантом у 3-х докторов наук.

Большая научная, научно-педагогическая и организационная работа В. Ф. Логинова получила высокую оценку. Он дважды лауреат премии НАН Беларуси (1997 и 2007 гг.). В 2002 г. В. Ф. Логинову совместно с группой ученых-физиков и химиков присуждена Государственная премия Республики Беларусь в области науки и техники. В. Ф. Логинов награжден медалью Франциска Скорины.

Признанием научных достижений В. Ф. Логинова в области климатической науки в республике явилось избрание его членом-корреспондентом Национальной академии наук в 1994 г. и академиком НАН Беларуси в 2000 г.

За вклад в развитие научных исследований В. Ф. Логинов избран академиком Петровской академии наук и искусств, Международной академии наук Евразии, Международной академии организационных и управленческих наук, Международной славянской академии наук, образования, искусств и культуры (белорусского отделения).

В. Ф. Логинов является автором более 500 научных работ, в т. ч. 35 монографий, брошюр и справочников. Под его редакцией издано более 50 монографий, книг, бюллетеней, сборников научных трудов Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова, Всесоюзного научного института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных, Института проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси. Он является членом нескольких редколлегий научных журналов: Доклады Академии наук Беларуси, Украинского географического журнала, География и природные ресурсы СО РАН, Проблемы региональной экологии (Россия),

В 2008 г. Владимир Федорович добровольно оставил административную работу и занял должность главного научного сотрудника. Освобождение от директорских обязанностей не замедлило сказаться: после 2008 г. им подготовлено и опубликовано несколько монографий и около 100 научных статей. Перечень основных монографий свидетельствует о широком круге интересов и продуктивности его научных исследований: Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия (2008); Изменения климата в Беларуси и их последствия для ключевых секторов экономики (сельское, лесное и водное хозяйство) (2010); Опасные метеорологические явления на территории Беларуси (соавторы А. А. Волчек, И. Н. Шпока; 2010); Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата (2012); Экстремальные климатические явления: пространственно-временные закономерности их изменений и предпосылки прогнозирования (2012, соавтор Бровка Ю. А.); Весенние половодья на реках Беларуси: пространственно-временные колебания и прогноз (2014, соавторы Волчек А. А. и Волчек Ан. А.).

Изданные монографии, перечень рассматриваемых В. Ф. Логиновым вопросов, в том числе дискуссионных, убедительно демонстрируют необходимость развития исследований в области климатологии. При этом сам Владимир Федорович глубоко убежден, что очень важно принимать во внимание неопределенность существующих знаний причин изменения климата, большой разброс сценарных оценок изменений климата будущего. Поэтому, чтобы не оказаться в климатической «ловушке», наряду с разработкой адаптационных мер, базирующихся на сценарии потепления климата, необходимо разрабатывать многовариантные адаптационные меры в климатозависимых отраслях экономики.

Искренне поздравляем Владимира Федоровича с юбилеем и желаем доброго здоровья, творческой энергии и сил для новых научных поисков и свершений.

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

В сборнике публикуются статьи теоретического, методического и научно-технического характера, содержащие оригинальный материал исследований автора(ов), учитывающий современную литературу и ранее нигде не опубликованный.

В статье должно быть освещено современное состояние вопроса, описание методики исследований и обсуждение результатов.

Редакция не принимает в один выпуск сборника более двух статей с участием одного автора.

Материал дается в такой последовательности:

- номер УДК (универсальная десятичная классификация);
- инициалы и фамилии авторов;
- название;
- аннотация — короткая информация об основных идеях и результатах (5–6 строк);
- основной текст;
- список литературы;
- название организации;
- список подрисуночных подписей;
- рефераты на русском и английском языках (примерно по 1/2 страницы каждый) с полным названием подаваемой публикации, именами, отчествами и фамилиями авторов на соответствующих языках.

Статья должна быть подписана всеми авторами.

Объем статьи – не более 40 000 знаков, количество иллюстраций – не более 3–4.

Правила оформления:

- поля – верхнее и нижнее по 2,5 см, левое и правое по 2 см;
- текст – шрифт Arial размером 10 пунктов, межстрочный интервал – полуторный (страницы не нумеровать!);
- таблицы – шрифт Arial размером 9 пунктов; название **жирным**; в числах целая и дробная часть должны быть разделены десятичной запятой, а не точкой;
- формулы выполняются с помощью редактора формул Word Equation;
- рисунки – четкие, не размытые, надписи не должны быть сделаны «от руки», формат – не более А4. Рисунки, выполненные в одном из графических форматов, представляются отдельным файлом (не внедренным в Word). Разрешение для цветных рисунков – 300 dpi, графический формат – tif. Подпись к рисунку должна быть отдельно от рисунка – шрифт Arial 9 пунктов **жирный** по центру; условные обозначения на рисунке нумеруются цифрами, разъяснение которых обязательно дается под подписью к рисунку;
- список литературы – в алфавитном порядке и нумеруется. Номера ссылок по тексту приводятся в квадратных скобках. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. В списке должны быть указаны: книга – фамилия и инициалы автора, полное название, год издания; статья – фамилия и инициалы автора, название периодического издания, год, том, номера страниц.

Не допускается повторения одних и тех же данных в тексте, таблицах и на иллюстрациях.

В конце статьи указывается фамилию, имя, отчество (полностью) автора, с которым редакция будет решать возникшие вопросы по статье, его адрес, телефон, факс, E-mail.

Для авторов из других организаций необходимо представить сопроводительное письмо на имя редколлегии сборника «Природопользования» на фирменном бланке организации.

Рецензирование, научное и литературное редактирование статей организует редакция. Доработанный после замечаний рецензента вариант статьи необходимо возвратить в редакцию вместе с пояснительным письмом о проделанной работе для последующего редактирования. Исправленный вариант статьи с редакционными пометками и приложенным к нему электронным вариантом передаются для окончательной верстки.

Авторское вознаграждение за издание статей в сборнике не начисляется.

Авторам и соавторам передается по экземпляру сборника.

Адрес редакции сборника «Природопользование»:
220114 Минск, ул. Ф. Скорины, 10.
Факс: +375(17) 267-24-13. Телефон: +375 (17) 268-84-55.
Веб-сайт: http://ecology.basnet.by/sbornik.html.
E-mail: eco@ecology.basnet.by.

Научное издание

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Сборник научных трудов
Выпуск 27

Редактор *Г. В. Малахова*

Компьютерная верстка *Т. Н. Козловская*

Переводчик *М. Ю. Козловская*

Подписано в печать 28.072015. Формат 60×90/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. 30,25. Уч.-изд. л. 27,71.
Тираж 110 экз. Заказ № 1004.

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.