

# *Природо- пользование*

**ВЫПУСК 23**



2013

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ»

# Природо- пользование

Сборник научных трудов

Основан в 1996 г.

Выпуск 23



МИНСК

«Минсктиппроект»

2013

## СОДЕРЖАНИЕ

### I. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

<b>Логинов В. Ф., Микуцкий В. С.</b>	Сезонные особенности многолетних изменений глобального климата и их возможные причины	5
<b>Логинов В. Ф., Бровка Ю. А.</b>	Оценка радиационного воздействия аэрозолей и углекислого газа на температуру воздуха в Беларуси за период с 1881 по 2012 г.	12
<b>Савич-Шемет О. Г., Мурашов Е. М.</b>	Пространственно-временной корреляционный анализ суточных атмосферных осадков	22
<b>Какарека С. В., Кокош Ю. Г.</b>	Многолетняя динамика содержания формальдегида в атмосферном воздухе городов Беларуси	31
<b>Ярмошук Т. Д., Минке М., Ракович В. А., Августин Ю., Тиле А., Тихонов В. Г., Чувашова А. А.</b>	Определение эмиссий парниковых газов при имитационном моделировании повторного заболачивания выработанных торфяных месторождений	39
<b>Струк М. И., Живнач С. Г., Бокая Г. М.</b>	Геоэкологическая оценка пригородных водохранилищ Минска	48
<b>Тановицкая Н. И., Ратникова О. Н., Навоша Ю. Ю.</b>	Создание автоматизированной системы наблюдений за гидрологическим режимом на болоте Ельня	56
<b>Селицкая В. В., Санец Е. В., Русая И. Е.</b>	Выявление фонового содержания азота нитратного в речной воде (на примере р. Березины бассейн Днепра)	63
<b>Камышенко Г. А.</b>	ТERRITORIALНЫЙ анализ эффективности использования сельскохозяйственных земель Беларуси	69
<b>Яновский А. А., Смирнова В. В., Ракович В. А., Бамбалов Н. Н.</b>	Пространственная неоднородность почвенного покрова, формирующегося при использовании мелиорированных торфяных почв Полесья	76
<b>Киселев В. Н., Матюшевская Е. В., Яротов А. Е., Митрахович П. А.</b>	Сравнительный анализ радиального прироста сосны и дуба на Белорусском Полесье в условиях естественного режима грунтовых вод	83
<b>Ничипорович З. А., Ракович В. А., Каждан Е. Н.</b>	Дистанционная диагностика состояния и динамики повторно заболачиваемых выработанных торфяных месторождений	94
<b>Обуховский Ю. М., Жидкова Т. А.</b>	Система ландшафтно-индикационных характеристик Гродненской возвышенности и Средненеманской низины	100
<b>Кравчук Л. А., Лаевская Е. В.</b>	Проблемы правового регулирования управления ландшафтно-рекреационными территориями в городах Беларуси	106
<b>Струк М. И., Живнач С. Г.</b>	Методические подходы и результаты геоэкологического районирования пригородной территории Минска	115
<b>Кухарчик Т. И., Какарека С. В., Лапко Т. Л., Козыренко М. И.</b>	Анализ сфер применения и проблемы идентификации химических веществ, дополнительно включенных в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ	125
<b>Курзо Б. В., Гайдукевич О. М., Лис Л. С., Переход Г. В., Барановский И. С., Навоша Ю. Ю.</b>	Ресурсный потенциал торфяных и сапропелевых месторождений Лельчицкого района и проблемы его освоения	134
<b>Лис Л. С., Кунцевич В. Б., Кашинская Т. Я., Мультан С. Т., Калилец Л. П., Шевченко Н. В., Макаренко Т. И., Кот Н. А., Осипов А. В.</b>	Анализ особенностей торфяных ресурсов Витебской области для обоснования рациональных направлений их освоения	145
<b>Унукович А. В., Цалко П. Б., Krakowecкий A. B., Dobryan A. A.</b>	Экономическая эффективность освоения нефтеперспективных структур Припятского прогиба	152

<b>II. БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b>		
<b>Лиштван И. И., Крайко В. М., Дударчик В. М., Ануфриева Е. В., Булгакова Н. А., Смолячкова Е. А.</b>	Качественные характеристики бурых углей Житковичского месторождения	161
<b>Цвирко Л. Ю., Пармон С. В., Бамбалов Н. Н., Соколов Г. А.</b>	Влияние гидродинамической кавитации торфа на оптическую плотность растворов гуминовых кислот	167
<b>Смирнова В. В., Бамбалов Н. Н., Пармон С. В.</b>	Особенности физико-химических свойств гуминовых кислот, выделенных водным раствором аммиака	173
<b>Цвирко Л. Ю., Бамбалов Н. Н., Соколов Г. А.</b>	Динамика выхода водорастворимых и гуминовых веществ из торфа при гидродинамической кавитации	182
<b>Лиштван И. И., Наумова Г. В., Пироговская Г. В., Жмакова Н. А., Овчинникова Т. Ф., Макарова Н. Л., Сорока В. И.</b>	Регулятор роста растений Бурогумин и агрохимическая эффективность его применения при возделывании картофеля	187
<b>Наумова Г. В., Середа Г. М., Томсон А. Э., Жмакова Н. А., Макарова Н. Л., Овчинникова Т. Ф.</b>	Комплексные гуматсодержащие препараты и исследование их фунгицидных свойств на культуре картофеля	193
<b>Першай Н. С., Янута Ю. Г., Абрамец А. М.</b>	Остаток после гидролиза каустобиолитов как сырье для получения сорбентов ионов тяжелых металлов	198
<b>Цыганов А. Р., Самсонова А. С., Томсон А. Э., Сосновская Н. Е., Соколова Т. В., Хрипович А. А., Навоша Ю. Ю., Пехтерева В. С., Шевченко П. А.</b>	Эффективность применения композиционного материала на основе торфа и микроорганизмов-деструкторов для рекультивации нефтезагрязненных земель	203
<b>Царюк Т. Я., Дребенкова И. В., Фалюшина И. П., Шапорева Л. Д.</b>	Влияние состава комбинированной основы антиадгезионной смазки на ее функциональные свойства	209
<b>Шрубок А. О., Грушова Е. И., Жибуль И. Т., Фарафонтов В. Н., Шариф А. С.</b>	Смола пиролиза как модификатор нефтяного сырья процесса окисления	216
<b>Лиштван И. И., Абрамец А. М., Янута Ю. Г., Монич Г. С., Першай Н. С., Алейникова В. Н.</b>	Перенос влаги в реологически сложных дисперсных средах	222
<b>Научные сообщения</b>		
<b>Барайшук С. М., Бровка А. Г., Дедюля И. В.</b>	Измерение углов смачивания на границе лед – вода – нефть	227
<b>Хроника</b>		
К 75-летию академика А.В. Матвеева		230
К 80-летию члена-корреспондента Р. Е. Айзберга		233
Юбилейная научная конференция «Проблемы природопользования: итоги и перспективы»		236

УДК 504.(476) (082)

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

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

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

#### РЕДКОЛЛЕГИЯ:

академик, д-р сел.-хоз наук *Н. Н. Бамбалов*, д-р техн. наук *Н. И. Березовский*,  
д-р техн. наук *Г. П. Бровка*, д-р 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](mailto:nature@ecology.basnet.by)

## I. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 551.583

В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий

### СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ ГЛОБАЛЬНОГО КЛИМАТА И ИХ ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ

Показано, что соотношение вклада аэрозолей и парниковых газов в изменении современного климата существенно варьировало в разные периоды последних 130 лет. За последние 15 лет скорость роста зимних температур, в отличие от летних, замедлилась. Эти особенности изменения температуры не согласуются с максимальной за 130-летний период скоростью роста парниковых газов в атмосфере.

Возможными внешними причинами сезонных особенностей в изменении глобального и регионального климата за последние 130 лет, как показывают многочисленные работы [1–5, 7–9, 11–14], являются изменения газового и аэрозольного состава атмосферы и солнечная активность. Оценка роли последней детально рассмотрена в монографии [9] и поэтому здесь лишь отметим, что высокие значения яркости солнечного диска (солнечной постоянной) приходятся на большие площади солнечных факелов в 13-м (1899–1901 гг.), 17-м (1933–1943 гг.) и 21-м (1976–1986 гг.) циклах солнечной активности по цюрихской нумерации. Вблизи максимумов указанных 11-летних циклов отмечена высокая температура в тёплое время года [9]. Это было особенно заметно в конце 1930-х годов.

Идея влияния аэрозолей на климат широко обсуждалась в последние 30–40 лет в работах К. Я. Кондратьева, М. И. Будыко, В. Ф. Логинова и многих других [3, 5–8, 13–14]. Известно, что аэрозоли естественного и антропогенного происхождения оказывают влияние на радиационный режим климатической системы в тёплое время года, в особенности, летом.

С использованием данных мировой радиационной сети и опубликованных оценок мощности крупных извержений вулканов Кракатау (1883 г.), Агунг (1963 г.), Эль-Чичон (1982 г.) и Пинатубо (1992 г.) нам удалось грубо восстановить динамику содержания аэрозолей естественного и антропогенного происхождения в атмосфере.

С учётом ранее сделанных оценок радиационного воздействия аэрозолей на изменение климата за период с 1881 по 2010 гг. [9], а также основываясь на известных представлениях о сезонных особенностях проявлений такого воздействия, нами были выбраны периоды, когда аэрозольное загрязнение атмосферы было минимальным. Таких периодов оказалось три: 1881–1901, 1924–1945 и

1996–2012 гг. Период максимальной аэрозольной загрязнённости атмосферы наблюдался в 1962–1995 гг. (см. таблицу в [10]).

Прежде чем рассмотреть изменения аномалий температуры для выделенных периодов, проанализируем характер изменений аномалий температуры Северного полушария летом и зимой за последовательные десятилетия с 1883 по 2012 г. отдельно для суши Северного полушария и Северного полушария в целом \* (рис. 1).

Из рис. 1 следует, что отрицательные и положительные аномалии температуры зимой были максимальными в первые 40 и последние 30 лет указанного выше периода, причем в последнее десятилетие (2003–2012 гг.) величины аномалий температуры зимой и летом стали сопоставимыми, а на суше величина аномалий температуры летом оказалась даже больше, чем зимой. Отрицательные аномалии температуры летом в первое сорокалетие были существенно меньше, чем зимой, а в 1930–1940-е годы положительные аномалии температуры летом, наоборот, были выше, чем зимой.

Временной отрезок с 1963 по 1982 г. отличается незначительными отрицательными или положительными аномалиями температуры и только в следующем десятилетии (1983–1992 гг.) наблюдались средние по величине положительные аномалии температуры летом и зимой. Ранее нами было показано [9], что в период с 1963 по 1992 г. среднее радиационное воздействие углекислого газа и аэрозолей на климат было сопоставимым по величине (около  $0,65 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ), но противоположным по знаку.

\* В работе использованы среднемесячные аномалии за 1881–2012 гг., подготовленные Национальным центром климатических данных США. Норма температуры была вычислена за период с 1901 по 2000 г.

Для сравнительной оценки изменения суммарного вклада углекислого газа и аэрозолей в радиационное воздействие на климат за весь рассматриваемый период были использованы соответствующие индексы радиационного воздействия [9]. На рис. 2 представлены диаграммы суммарного радиационного воздействия углекислого газа и аэрозолей по десятилетиям (а) и по

выбранным ранее периодам (б). В целом ход суммарного радиационного воздействия в последние 40 лет характеризуется ростом, в соответствии с ростом концентрации углекислого газа в атмосфере (рис. 2, а), но в отдельные периоды (1924–1945 гг.) отмечаются особенности, связанные с малым аэрозольным загрязнением атмосферы.

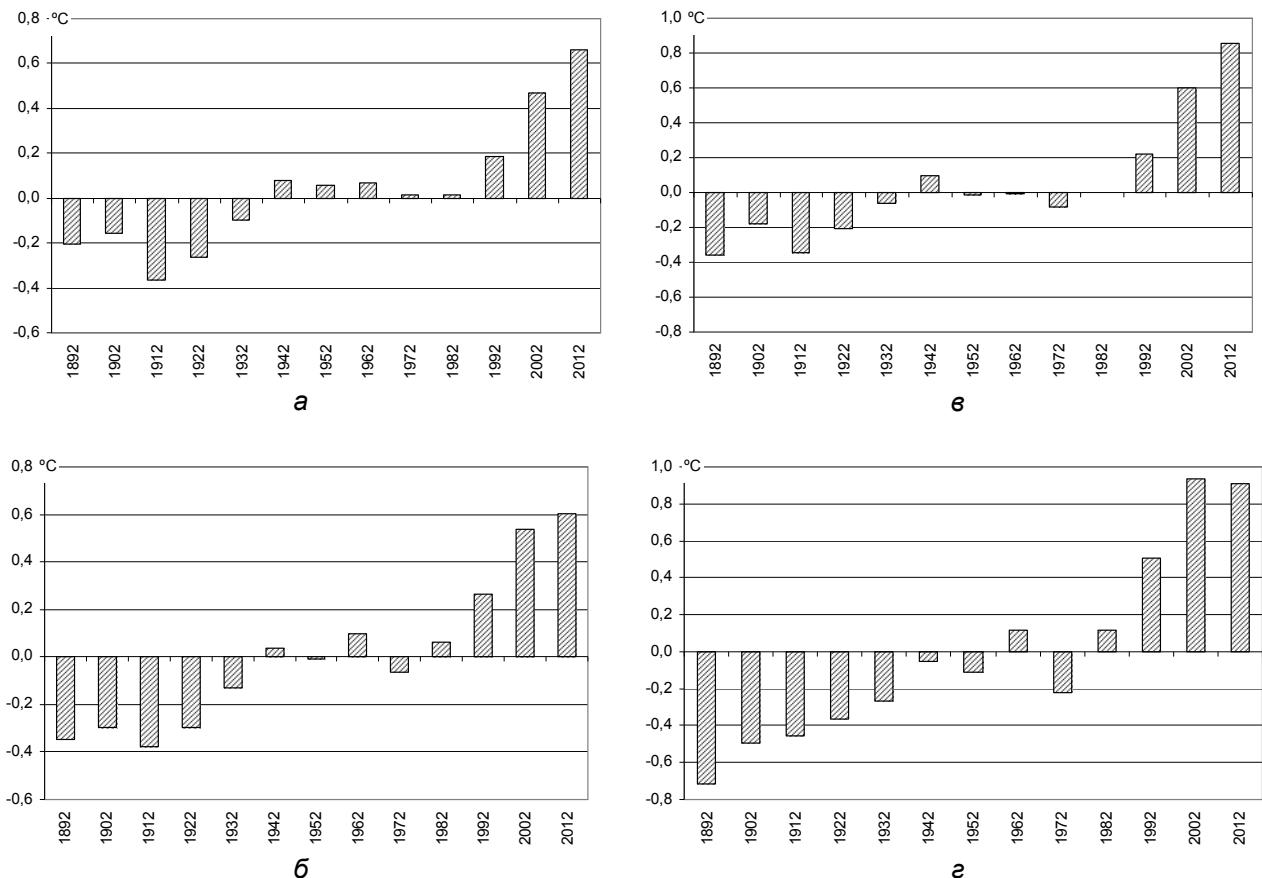


Рис. 1. Аномалии температуры летом (а, в) и зимой (б, г) по десятилетиям для Северного полушария в целом (слева) и суши Северного полушария (справа)

Рассмотрим связь температур этих периодов с содержанием углекислого газа и аэрозолей в атмосфере, выделив несколько эпох температурных аномалий.

1. Эпоха низких температур (1881–1922 гг.). Величины отрицательных аномалий температуры зимой были примерно в 1,5 раза больше, чем летних температур. Это была эпоха сравнительно большой аэрозольной загрязнённости атмосферы и низкой концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Последней должны отвечать низкие зимние температуры. Близкая к норме или несколько ниже нормы аэрозольная загрязнённость атмосферы не могла оказать существенного влияния на изменение зимних температур.

2. Эпоха высоких летних температур (1924–1945 гг.). Аномалии летних температур

были выше, чем аномалии зимних температур. Это была эпоха самой «чистой» атмосферы – содержание аэрозолей было минимальным (индекс радиационного воздействия аэрозолей А составил  $-0,14 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ). Вклад радиационного воздействия углекислого газа в изменение температуры был небольшим и соизмеримым с вкладом аэрозолей.

3. Эпоха небольших аномалий как летних, так и зимних температур (1960–1980-е гг.). Вклады радиационного воздействия углекислого газа и аэрозолей в изменение температуры были соизмеримыми.

4. Эпоха больших аномалий летних и, особенно, зимних температур (1983–2012 гг.). Это была эпоха, когда вклад углекислого газа существенно превышал вклад аэрозолей (более чем

на 1 Вт/м<sup>2</sup>). В это время особенно сильно должны были увеличиваться зимние температуры. Известно, что рост температуры, если исходить из теории парникового потепления климата, должен быть наибольшим в высоких широтах. Это обусловлено вкладом альбедной обратной связи и воздействием сильной гравитационной устойчивости, создаваемой выхолаживанием вблизи земной поверхности. Последнее подавляет конвекцию и перенос длинноволнового излучения,

приводя к концентрации обусловленного ростом содержания углекислого газа нагревания в тонком приповерхностном слое. В тропиках потепление «размазывается» по большой высоте в силу влияния влажной конвекции. На материках создаются более благоприятные условия для усвоения длинноволновой радиации по сравнению с коротковолновой. В этой связи потепление сильнее выражено в центре материка и особенно ночью.

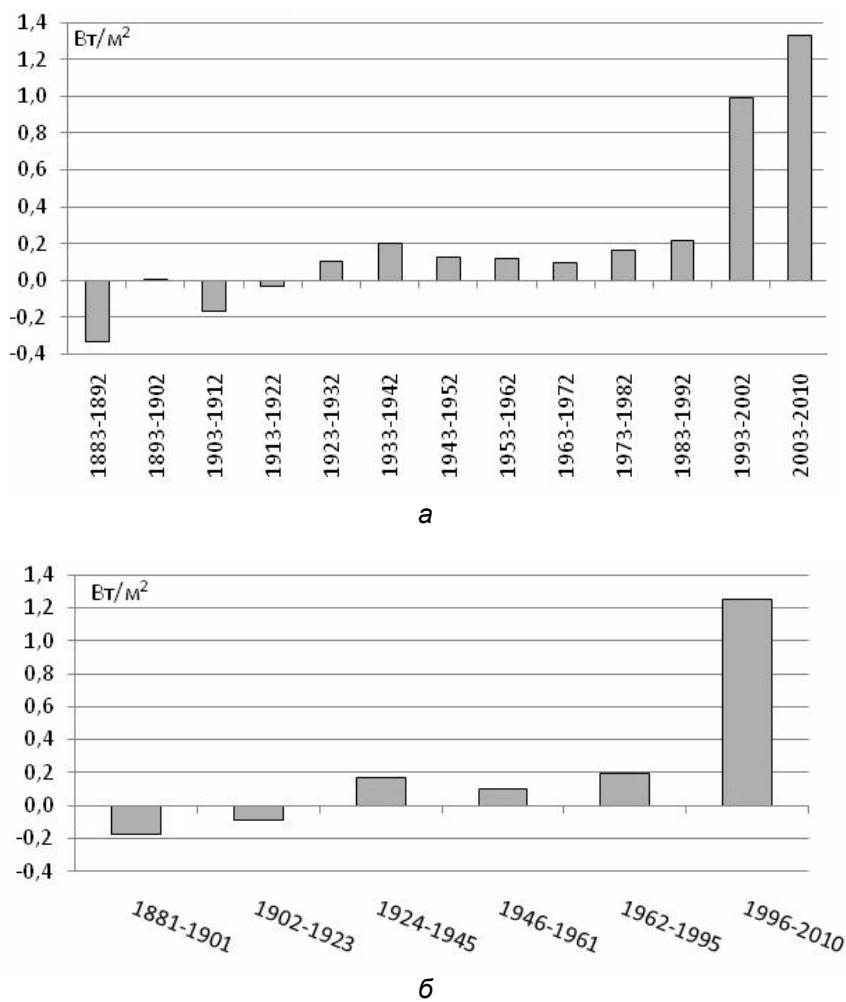


Рис. 2. Значения суммарного радиационного воздействия углекислого газа (а) и аэрозолей (б) в различные периоды 1881–2010 гг.

На океанах складывается обратное соотношение, поскольку поглощение прямой солнечной радиации происходит днем в слое, а длинноволновой радиации – в поверхностной пленке, что стимулирует рост испарения и снижение температуры поверхности океана.

Вышеизложенное позволяет считать, что если современное потепление климата имеет парниковую природу, то оно должно быть наиболее выражено в высоких широтах в холодное время года, когда наиболее часто наблюдается инверсионное распределение температуры с высотой, а также в центре континентов.

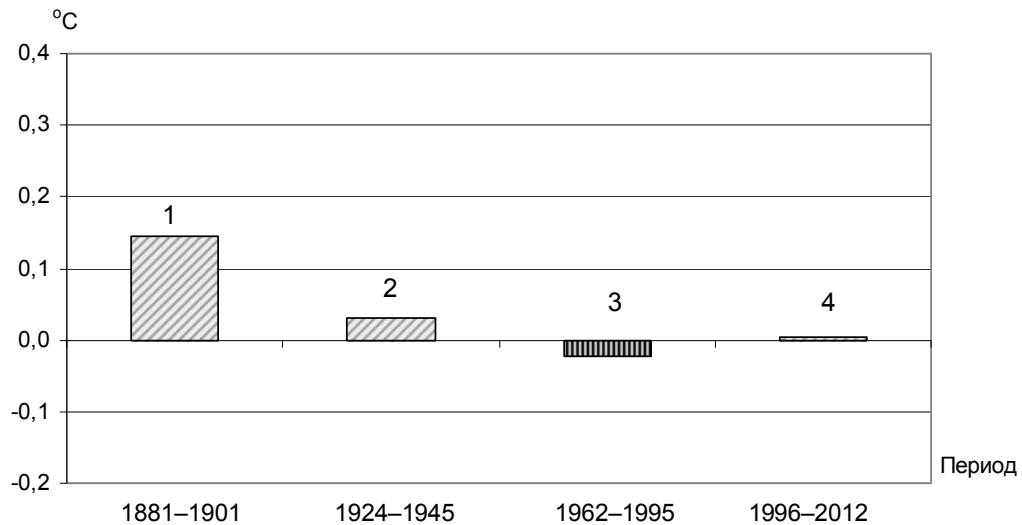
В последние 10–15 лет, когда атмосфера существенно очистилась от вулканических аэрозолей, летние аномалии начали расти более быстрыми темпами, чем зимние (величины аномалий летних температур в период с 2003 по 2012 г. стали выше зимних).

Рассмотрим разности аномалий летних и зимних температур отдельно в периоды низкой и высокой аэрозольной загрязнённости атмосферы (рис. 3). Разности аномалий температуры в период сравнительно низкой аэрозольной загрязнённости атмосферы в период с 1881 по 1901 г. оказались высокими за счёт очень низких зимних

температур. В другие периоды разности аномалий температуры оказались незначительными. Разность аномалий температур в период с 1924 по 1945 г. положительна за счёт значительных по величине летних температур.

Период с 1962 по 1995 г. характеризовался самым сильным аэрозольным загрязнением атмосферы. В последнюю часть этого периода наблюдался существенный рост аномалий зимних температур по сравнению с летними, а в большую часть этого периода отмечались небольшие

по величине положительные и отрицательные аномалии температуры как зимой, так и летом. Следует отметить, что в этот период радиационное воздействие углекислого газа мало отличалось по величине от противоположного по знаку радиационного воздействия аэрозолей (см. таблицу 1 в [10]). Вероятно, это и привело к формированию небольших по величине аномалий как зимой, так и летом, и, как следствие, небольших разностей аномалий температуры «лето – зима» (рис. 3).



**Рис. 3. Разность аномалий температуры «лето–зима» для Северного полушария (1), суши Северного полушария (2), Южного полушария (3) и суши Южного полушария (4)**

В Южном полушарии величина разностей аномалий температуры «лето–зима» оказалась существенно меньшей. Причины этого будут рассмотрены ниже.

Концентрация наиболее важного антропогенного парникового газа –  $\text{CO}_2$  – в последний период (1996–2012 гг.) и, как следствие, его радиационное воздействие на климат существенно увеличилось (см. таблицу 1 в [10]). Это должно приводить к наибольшему росту температуры зимой по сравнению с ростом температуры в летнее время года.

В последний выделенный период очищения атмосферы от вулканического аэрозоля после извержения вулкана Пинатубо в 1991 г. разности аномалий температуры «лето–зима» в Северном полушарии должны были увеличиться, но их увеличение оказалось несколько меньшим, чем для ярко выраженного периода «чистой атмосферы» с 1924 по 1945 г.

Таким образом, если исходить из вышеизложенного, то роль аэрозольного загрязнения атмосферы в изменении климата оказалась заметной в первый (1881–1901 гг.) и особенно во второй (1924–1945 гг.) периоды очищения атмосферы, нежели в последний период (1996–2012 гг.). Уменьшение разностей аномалий тем-

пературы «лето–зима» за счет более быстрого роста зимних температур по сравнению с летними связано с наиболее интенсивным увеличением концентраций углекислого и других парниковых газов в период с 1996 по 2012 г., когда его средний радиационный эффект превысил радиационный эффект аэрозолей на 1,3 Вт/м<sup>2</sup> (см. табл. 1 в [10]).

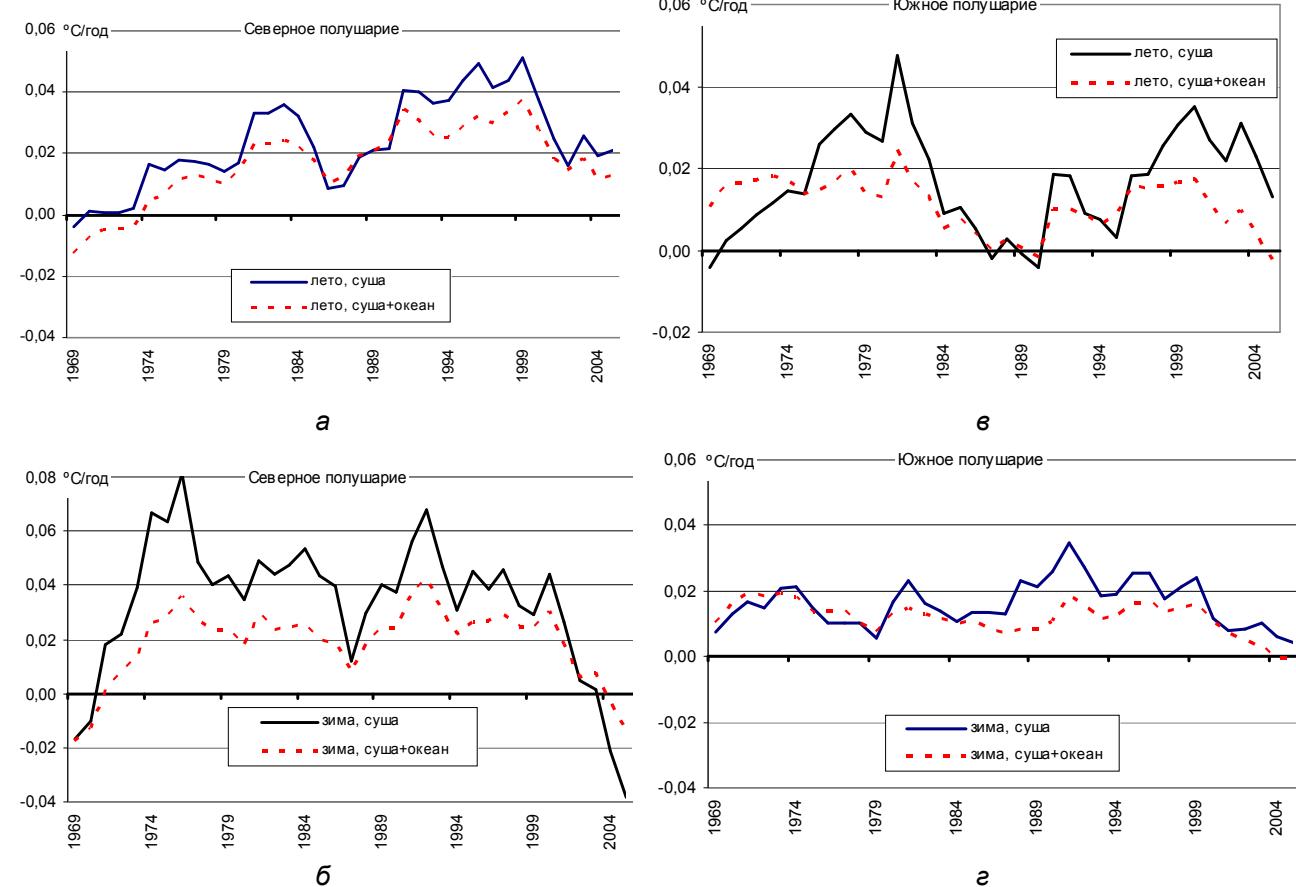
В Южном, океаническом, полушарии, где климатическая система более инерционна, чем в Северном, особенности проявления аэрозольного загрязнения в изменении климата выражены слабо в период с конца XIX в. до 70-х годов XX в.; потепление климата в 1920–1940-е гг. здесь практически незаметно. Различия аномалий температуры «лето–зима» в Южном полушарии меньше, чем в Северном в среднем в 1,5 раза. Величина аномалий температуры в последовательные десятилетние периоды также в среднем здесь меньше в 1,5 раза, чем в Северном полушарии. Наибольшие положительные и соизмеримые по величине аномалии температуры характерны для последнего 40-летия как зимой, так и летом. Причём, как и в Северном полушарии в последнем десятилетии (2003–2012 гг.), величины положительных аномалий температуры на суше Южного полушария летом

были больше, чем зимой. Это свидетельствует о начале новой сезонной тенденции (или появления очередной флюктуации) в изменении климата в глобальном масштабе.

С целью выявления изменений скорости роста летних и зимних температур за период самого интенсивного их роста в последний 50-летний период было произведено вычисление скользящих трендов аномалий температуры с использованием 15-летнего интервала осреднения.

Анализ линейных трендов аномалий зимней и летней температуры для Северного и Южного полушарий, а также отдельно для суши Северного и Южного полушарий показал значительные временные вариации этих трендов. Величина тренда характеризовалась значениями

коэффициента  $a$  в известном уравнении линейного тренда:  $y = ax + b$ . На рис. 4 приведены сглаженные за 15-летние интервалы осреднения значения коэффициентов  $a$  линейных трендов (сглажение по середине интервалов). В подавляющем большинстве 15-летних интервалов тренды аномалий температуры оказались положительными, но характер их изменений различается для летнего и зимнего сезонов, а также для Северного и Южного полушарий. Для летних аномалий температур отмечается рост величины трендов с середины 70-х годов XX в. до начала XXI в. со значительными непродолжительными скачками величин линейных трендов. В последнее десятилетие наметилось снижение величин линейных трендов аномалий температуры.



**Рис. 4. Изменение величин трендов аномалий температуры за период с 1962 по 2012 г. в Северном и Южном полушариях летом и зимой**

В зимнее время характер изменения величин аномалий температуры в Северном полушарии оказался несколько иным: резкий скачок почти десятилетней продолжительности, затем величина линейных трендов слабо флюктуировала, а в последние 10–15 лет наметилось интенсивное уменьшение величины линейных трендов аномалий температуры, в самые же последние годы тренд аномалий температуры оказался даже отрицательным. Это свидетельствует

о том, что наступает новая фаза в сезонных особенностях изменения климата. Следует также отметить, что падение величины трендов аномалий температуры в Северном полушарии наступило в эпоху самого интенсивного роста содержания парниковых газов в атмосфере.

Несколько иной характер изменения температуры наблюдается в высоких широтах: там величины аномалий температуры с 2002 г. были самыми высокими и величина аномалий темпе-

ратуры превысила норму в отдельные годы на 2,5 °С, температура же арктических широт (60°–90°) впервые стала выше температуры начала 1940-х годов (максимум потепления Арктики) [4].

На суше Северного полушария величина линейного тренда аномалий температуры оказалась в среднем почти в 2 раза выше зимой и несколько меньше летом, чем в Северном полушарии в целом.

Временная структура изменения величины трендов аномалий температуры в Южном полу-

шарии носит более выраженный циклический характер с очень слабой трендовой составляющей в период с 1970-х до конца 1990-х годов. Величина линейного тренда аномалий температуры в Южном полушарии оказалась в среднем в 1,5 раза меньше, чем в Северном, что связано с его большей океаничностью. На суше Южного полушария она оказалась больше, чем в Южном полушарии в целом.

## Литература

1. Абдусаматов, Х. И. Солнце определяет климат / Х. И. Абдусаматов // Наука и жизнь. 2009. № 1. С. 34–42.
2. Будыко, М. И. Климат в прошлом и будущем / М. И. Будыко. Л., 1980. С. 351.
3. Будыко, М. И. Извержение вулканов и климат / М. И. Будыко // Метеорология и гидрология. 1983. № 1. С. 98–99.
4. Грайсман, П. Я. Региональные климатические изменения в Восточной Европе: документальные подтверждения и их связь с глобальными изменениями / П. Я. Грайсман, С. В. Иванов, Ю. О. Паламарчук // Глобальные и региональные изменения климата. Киев, 2011. С. 38–56.
5. Кондратьев, К. Я. Современные изменения климата и определяющие их факторы. (Изменения солнечной постоянной газового и аэрозольного состава атмосферы). Итоги науки и техники / К. Я. Кондратьев // Метеорология и климатология. М., 1977. С. 202.
6. Кондратьев, К. Я. Радиационные факторы изменения климата / К. Я. Кондратьев. Л., 1980.
7. Логинов, В. Ф. Причины и следствия климатических изменений / В. Ф. Логинов. Минск, 1992.
8. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. Минск, 2008.
9. Логинов, В. Ф. Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата / В. Ф. Логинов. Минск, 2012.
10. Логинов, В. Ф. Оценка радиационного воздействия аэрозолей и углекислого газа на температуру воздуха в Беларуси за период с 1881 по 2012 г. / В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка // Природопользование. Вып. 23. 2013. С. 12–21.
11. Морской лёд / И. Е. Фролов [и др.] // Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. Под ред. С. М. Семенова. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). М., 2012. С. 400–429.
12. Шерстюков, Б. Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата / Б. Г. Шерстюков // Обнинск, 2008.
13. Climate change 2001: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Third of Assessment report of the intergovernmental Panel on Climate Change / IPCC, WMO, UNEP. Cambridge: Cambridge Univ. press, 2001.
14. Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Third of Assessment report of the intergovernmental Panel on Climate Change / IPCC, WMO, UNEP. Cambridge: Cambridge Univ. press, 2007.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 27.02.2013 г.

**В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий**

## СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ ГЛОБАЛЬНОГО КЛИМАТА И ИХ ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ

Рассмотрены вопросы интерпретации результатов исследований климата в различных пространственно-временных масштабах. Особое внимание уделено дискуссионным вопросам оценки роли парниковых газов и аэрозолей в формировании сезонных особенностей изменения температуры Северного и Южного полушарий. Показано, что соотношение вклада аэрозолей и парниковых газов в изменении современного климата существенно варьировало в разные периоды последних 130 лет.

Потепление климата в 1920–1940-ые годы было потеплением летнего типа и отличалось от потепления климата, начавшегося в середине 1970-х годов, которое в значительной мере связано с ростом парниковых газов в атмосфере. Очищение атмосферы от аэрозоля совпало с периодами более крупных летних положительных аномалий температуры по сравнению с зимними. Периоды, когда аэрозольное загрязнение атмосферы было ниже нормы, наблюдались в 1881–1901, 1924–1945 и 1996–2012 гг. За последние 15 лет, хотя величины положительных аномалий температуры в оба сезона и оставались высокими, рост зимних аномалий температур замедлился, тогда как для летних аномалий температур такого существенного замедления положительных трендов температуры не произошло. Эти особенности изменения температуры не согласуются с максимальной скоростью роста парниковых газов в атмосфере.

V. F. Loginov, V. S. Mikutskiy

**SEASONAL FEATURES OF LONG-TERM CHANGES  
OF GLOBAL CLIMATE AND THEIR POSSIBLE REASONS**

---

*Questions of interpretation of climate research results in various existential scales are considered in the article. Special attention is paid to debatable questions of the estimation of greenhouse gases and aerosols role assessment in the formation of seasonal features of temperature change in Northern and Southern hemispheres. It has been shown, that the parity of contribution of aerosols and greenhouse gases in the change of modern climate essentially varied in different periods of last 130 years.*

*Climate warming in 1920–1940-s' years was the warming of summer type and it is differed from climate warming which has begun in the middle of the 70's and which is connected greatly with greenhouse gases increase in the atmosphere. Clarification of atmosphere from aerosol has coincided with periods of greater summer positive anomalies of temperature in comparison with winter. The periods when aerosol pollution of the atmosphere was below the norm, are fixed in 1881–1901, 1924–1945 and 1996–2012. For the last 15 years, though values of positive anomalies of temperature during both seasons also remained high, the rise of winter anomalies of temperatures slowed down, whereas for summer anomalies of temperatures such essential delay of positive trends of temperature has not occurred. These features contradict maximum growth rate of greenhouse gases in the atmosphere.*

УДК 551.583(476)

В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка

## ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АЭРОЗОЛЕЙ И УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА НА ТЕМПЕРАТУРУ ВОЗДУХА В БЕЛАРУСИ ЗА ПЕРИОД С 1881 ПО 2012 Г.

*Исследованы внутригодовые особенности изменений температуры воздуха с 1881 по 2012 г. на территории Беларуси и их возможные причины. Представлены результаты анализа годового хода среднемесячных температур воздуха, а также их аномалий в различные периоды времени с учетом изменения радиационного воздействия на климат аэрозольного загрязнения и углекислого газа.*

Исследованиям сезонных особенностей изменения климата в глобальном и региональном масштабах по сравнению с исследованиями среднегодовых характеристик климата уделяется меньше внимания, хотя анализ среднемесячных и сезонных характеристик климата, а также амплитуд изменения годового хода позволяет выявить более «тонкие» свойства в характере изменений климата и приблизиться к пониманию возможных причин таких изменений. Так, исследование изменений асимметрии годового хода температуры позволяет определить факторы изменений климата, поскольку характер и величина воздействия одного и того же фактора определяются начальными условиями в атмосфере (сезоном года, районом, высотой над уровнем моря). Классическим примером влияния сезона на величину и знак проявления вулканических аэрозолей на климат [4, 5] является снижение температуры после крупных вулканических извержений в теплое время года и меньшее по величине падение или даже рост температуры после ряда крупных вулканических извержений в холодное время года.

Модели климата при учете удвоения концентрации углекислого газа в атмосфере показывают уменьшение глобальной годовой амплитуды температуры [13]. В то же время очищение атмосферы от аэрозолей должно приводить к росту летних температур и, как следствие, к увеличению годовой амплитуды температуры.

В подавляющем числе работ современное потепление, по крайней мере его трендовая

составляющая, связывается с изменением интенсивности источников и стоков парниковых газов в атмосфере в результате хозяйственной деятельности человека [12, 13].

Однако многочисленными являются и работы, где парниковые газы наряду с другими климатообразующими факторами, принимаются только одним из возможных факторов изменений современного климата [3, 6, 11].

Имеются также работы, где основная роль в изменении современного климата отводится солнечной активности и другим естественным климатообразующим факторам [1–3, 5, 7, 9, 10, 11].

Используя данные мировой актинометрической сети и опубликованные оценки мощности крупных извержений вулканов Кракатау (1883 г.), Агунг (1963 г.), Эль-Чичон (1982 г.) и Пинатубо (1992 г.), нам удалось восстановить динамику содержания аэрозолей естественного и антропогенного происхождения в атмосфере и грубо оценить радиационное воздействие аэрозолей на изменение климата за период с 1881 по 2010 г. [6].

Основываясь на этих оценках, а также на известных представлениях о сезонных особенностях проявлений аэрозолей в изменениях климата, нами за ближайший 133-летний отрезок времени были выбраны периоды, когда аэрозольное загрязнение атмосферы было минимальным. Таких периодов оказалось три: 1881–1901, 1924–1945 и 1996–2012 гг. Период максимальной аэрозольной загрязненности атмосферы наблюдался в 1962–1995 гг. (табл. 1).

**Таблица 1. Значения индексов радиационного воздействия аэрозолей и углекислого газа на климат, Вт/м<sup>2</sup>**

Показатель	Период низкой и высокой аэрозольной загрязненности атмосферы, гг.			
	1881–1901	1924–1945	1996–2012	1962–1995
Индексы радиационного воздействия аэрозолей А (норма за 1881–2010 гг. составляет $-0,33 \text{ Вт}/\text{м}^2$ )	-0,26	-0,14	-0,21	-0,59
Индекс радиационного воздействия углекислого газа	0,09	0,30	1,50	0,79
Разность радиационного воздействия углекислого газа и аэрозолей на климат	-0,17*	+0,16	+1,29	+0,20

\* Вклад радиационного воздействия аэрозолей был выше, чем вклад радиационного воздействия углекислого газа.

Рассмотрим особенности изменений температуры в Беларуси в самый теплый (июль–август) и самый холодный (январь–февраль) периоды года. На рис. 1, 2 представлены нормированные аномалии температур воздуха: отношение отклонений температур от нормы ( $\Delta T$ ) к среднеквадратическому отклонению  $\sigma$ . Норма рассчитана за период инструментальных наблюдений с 1881 по 2012 г.

В июле–августе самые высокие положительные аномалии температуры приходятся на периоды низкой аэрозольной загрязненности атмосферы: 1883–1902, 1933–1942 и 1993–2012 гг., а самая большая отрицательная аномалия температуры – на середину эпохи самой высокой аэрозольной загрязненности атмосферы (1973–1982 гг.).

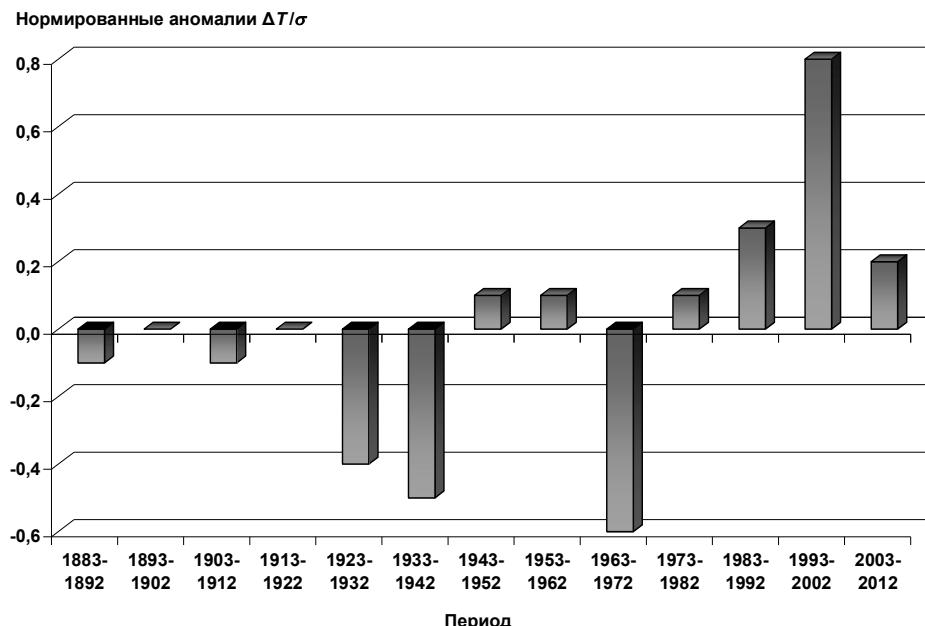


Рис. 1. Изменение нормированных аномалий температуры воздуха в самые холодные месяцы года (январь–февраль)

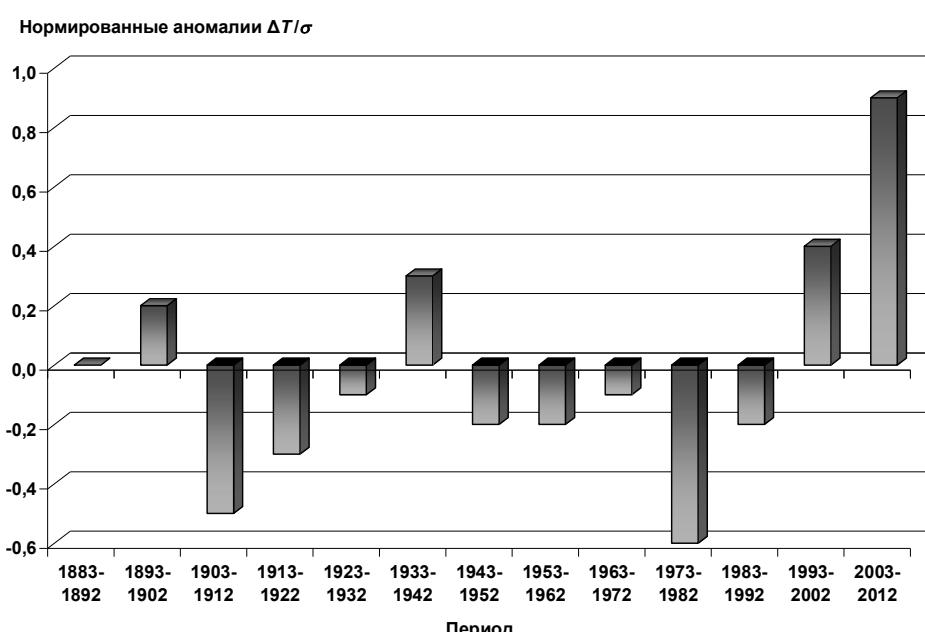


Рис. 2. Изменение нормированных аномалий температуры воздуха в самые теплые месяцы года (июль–август)

В январе–феврале особенности изменения температуры не обнаруживают какой-либо зависимости от состояния аэрозольной загрязненности атмосферы. Значительные отрицательные аномалии температуры приходятся как на период слабой аэрозольной загрязненности атмосферы (1923–1942 гг.), так и на период существенной аэрозольной загрязненности атмосферы (1963–1972 гг.).

Самые высокие положительные аномалии температуры в январе–феврале в период с 1983 по 2002 г. совпадают с эпохой глобального потепления климата и интенсивным ростом содержания парниковых газов в атмосфере.

Если исходить из теории парникового потепления климата, рост температуры должен быть наибольшим в высоких широтах, что обусловлено вкладом альбедной обратной связи и воздействием сильной гравитационной устойчивости, создаваемой выхолаживанием вблизи земной поверхности, которая подавляет конвекцию и перенос длинноволнового излучения, приводя к обусловленному ростом содержания парниковых газов (в первую очередь углекислого газа) нагреванию в тонком приповерхностном слое. В тропиках потепление «размазывается» по большой высоте в силу влияния влажной конвекции. На материках создаются более благоприятные условия для усвоения длинноволновой радиации по сравнению с коротковолновой. В этой

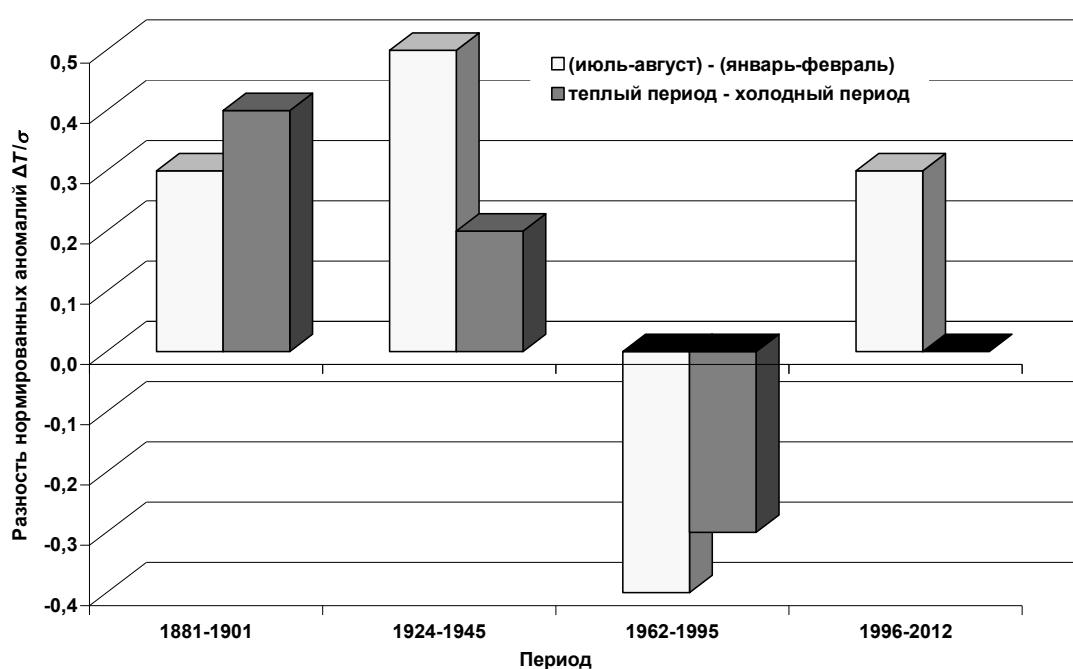
связи потепление сильнее выражено в центре материка, в особенности ночью.

Поглощение коротковолновой солнечной радиации в океане днем происходит в слое, а длинноволновой радиации – в поверхностной пленке, что стимулирует рост испарения и снижение температуры поверхности океана.

Вышеизложенное позволяет считать, что если современное потепление климата имеет парниковую природу, то оно должно быть наиболее выражено в высоких широтах в холодное время года, когда более часто наблюдается инверсионное распределение температуры с высотой, а также в центре континентов.

Как показали наши работы, выполненные еще более двадцати лет назад [4, 8], в разностях аномалий температуры «лето–зима» должны акцентироваться эффекты радиационного воздействия аэрозолей и парниковых газов.

Разности нормированных значений температуры в июле–августе и январе–феврале и разности температуры в теплый (май–сентябрь) и холодный (ноябрь–март) сезоны года представлены на рис. 3. Они оказались положительными в периоды низкой аэрозольной загрязненности атмосферы (1881–1901, 1924–1945 и 1996–2012 гг.) и отрицательными в период высокой аэрозольной загрязненности атмосферы (1962–1995 г.).



**Рис. 3. Разности нормированных аномалий температуры воздуха в периоды высокой и низкой аэрозольной загрязненности атмосферы**

Следует отметить, что положительные разности температуры в рассмотренные периоды времени могут быть обусловлены либо большими положительными аномалиями температуры в теплое время года, либо большими отрицательными аномалиями температуры в холодное время года. В этой связи необходим более детальный анализ особенностей изменений температуры в сезонном ходе с учетом особенностей проявления радиационного воздействия аэрозолей и парниковых газов в сезонном ходе.

С целью оценки изменений температуры в годовом ходе были получены значения температуры для каждого месяца года в различные периоды времени: 1881–1901, 1902–1923, 1924–1945, 1946–1977, 1978–2000, 2001–2012 гг. (рис. 4). Эти периоды были выбраны исходя из особенностей изменения во времени каждого из двух важных факторов радиационного воздействия на климат: аэрозольного загрязнения и углекислого газа.

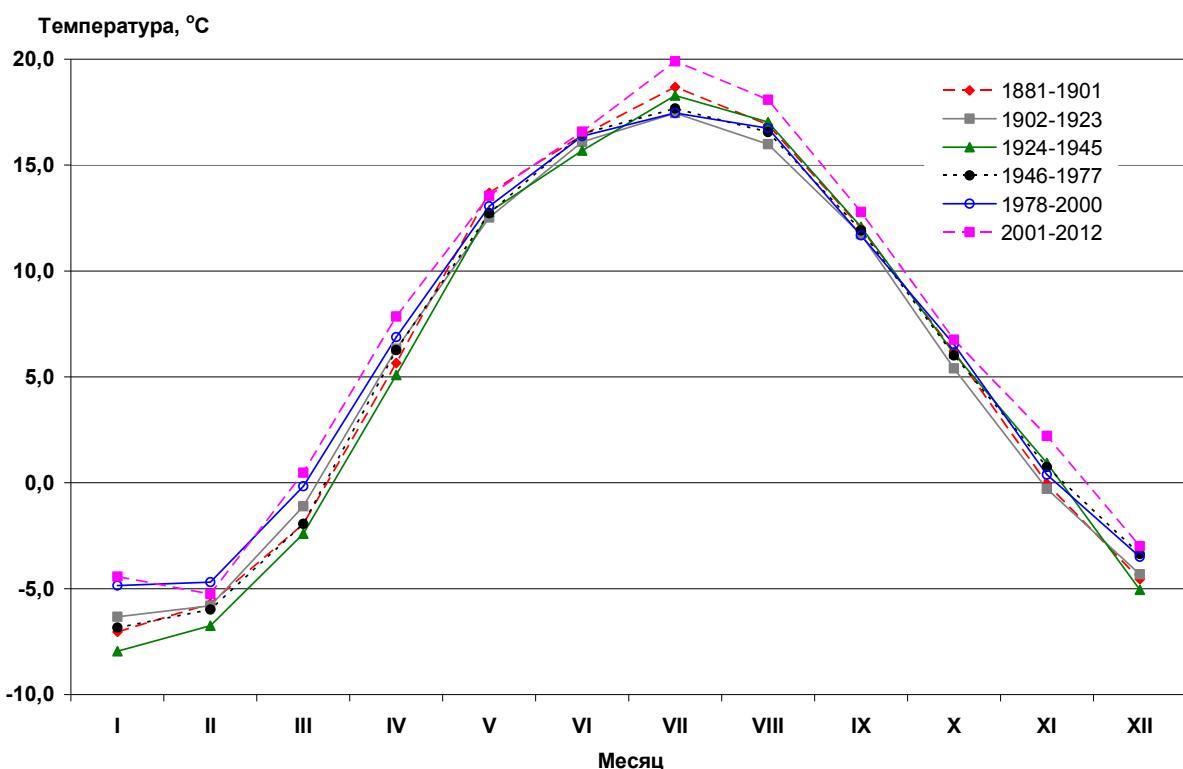


Рис. 4. Годовой ход среднемесячной температуры воздуха

Из рис. 4 видно, что в последние годы (2001–2012 гг.) температура практически во все месяцы года выше, чем в другие периоды 133-летнего периода инструментальных наблюдений. Температура в самые теплые месяцы года (июль, август) была самой высокой в периоды

минимальной аэрозольной загрязненности атмосферы: 1881–1901, 1924–1945 и 2001–2012 гг. В эти же периоды времени амплитуда годового хода температуры, которая характеризуется в первую очередь летними и зимними температурами, была максимальной (табл. 2).

Таблица 2. Амплитуда годового хода среднемесячной температуры воздуха, °C

Амплитуда температуры, °C	Период, гг.					
	1881–1901	1902–1923	1924–1945	1946–1977	1978–2000	2001–2012
	25,7	23,8	26,2	24,5	22,3	25,1

Если сравнивать среднюю амплитуду годового хода в период минимальной аэрозольной загрязненности атмосферы и среднюю амплитуду годового хода в другие периоды, то она оказалась более чем на 2,0 °C выше. Как правило, эпоха высоких летних температур продолжалась

в среднем два десятилетия и была связана с очищением атмосферы от аэрозолей вулканического происхождения. Длительное отсутствие крупных вулканических извержений после извержения вулкана Пинатубо в 1991 г. позволяет считать, что связанная с очищением атмосферы по-

следняя эпоха высоких летних температур может скоро закончиться.

Результаты анализа годового хода нормированных среднемесячных отклонений температуры воздуха ( $\Delta T/\sigma$ ) для выделенных периодов с

1881 по 2012 г. приведены на рис. 5 и в табл. 3, в которой указаны нормированные значения отклонений температуры для каждого месяца года, а также группы месяцев с наибольшими отклонениями температуры.

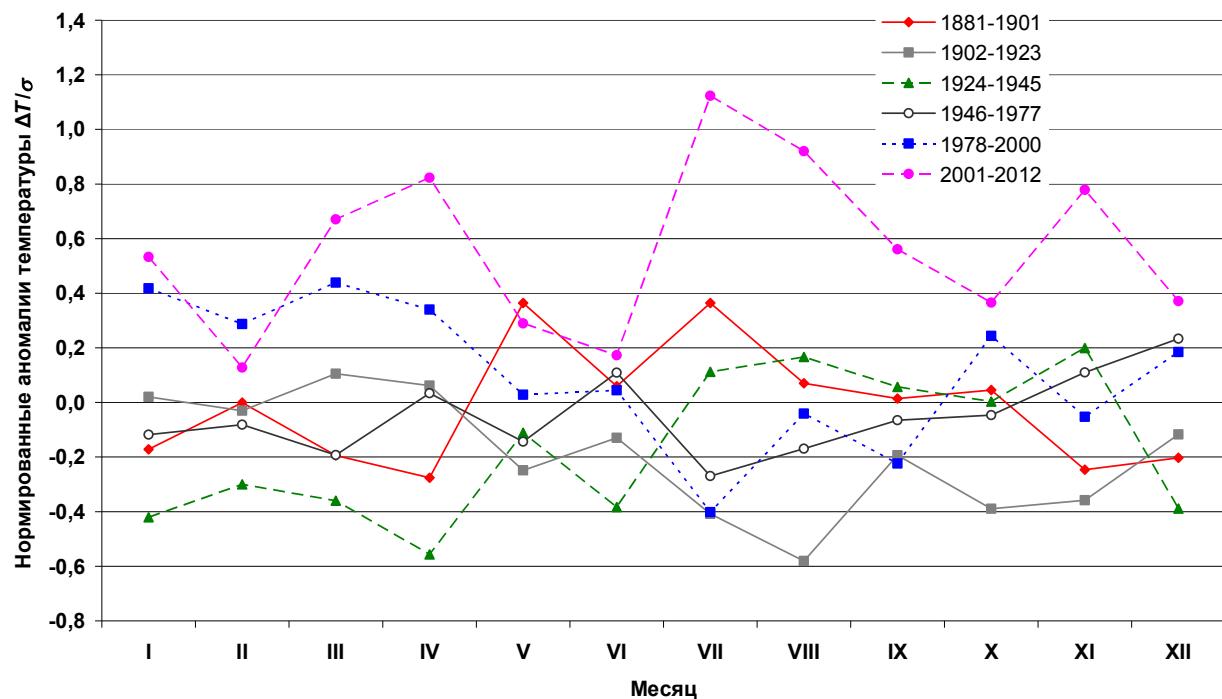


Рис. 5. Годовой ход нормированных аномалий температуры ( $\Delta T/\sigma$ )

Таблица 3. Годовой ход нормированных среднемесячных отклонений температуры воздуха  $\Delta T_n$  ( $\Delta T/\sigma$ )

Период, гг.	Показатель	Месяц											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1881–1901	$\Delta T_n$	-0,2	0,0	-0,2	-0,3	0,4	0,1	0,4	0,1	0,0	0,0	-0,2	-0,2
	Среднее $\Delta T_n^*$	—	—	—	—	0,25	—	—	—	—	—	—	—
1902–1923	$\Delta T_n$	0,0	0,0	0,1	0,1	-0,2	-0,1	-0,4	-0,6	-0,2	-0,4	-0,4	-0,1
	Среднее $\Delta T_n$	—	—	—	—	—	—	—	—0,3	—	—	—	—
1924–1945	$\Delta T_n$	-0,4	-0,3	-0,4	-0,6	-0,1	-0,4	0,1	0,2	0,1	0,0	0,2	-0,4
	Среднее $\Delta T_n$	—	—	—0,37	—	—	—	0,13	—	—	—	—	—
1946–1977	$\Delta T_n$	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	-0,1	0,1	-0,3	-0,2	-0,1	0,0	0,1	0,2
	Среднее $\Delta T_n$	—	—0,13	—	—	—	—	—0,2	—	—	—	—	—
1978–2000	$\Delta T_n$	0,4	0,3	0,4	0,3	0,0	0,0	-0,4	0,0	-0,2	0,2	-0,1	0,2
	Среднее $\Delta T_n$	—	0,35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2001–2012	$\Delta T_n$	0,5	0,1	0,7	0,8	0,3	0,2	1,1	0,9	0,6	0,4	0,8	0,4
	Среднее $\Delta T_n$	—	—	—	—	—	—	0,57	—	—	—	—	—

\* Для непрерывных положительных или отрицательных серий ( $\geq$  трех месяцев) аномалий температуры; полужирным шрифтом выделены периоды, в которые наблюдаются длительные серии положительных аномалий температуры, а полужирным курсивным шрифтом – отрицательных аномалий температуры.

Из рис. 5 и табл. 3 следует, что в период, когда среднее радиационное воздействие углекислого газа на климат превысило 1,0 Вт/ $m^2$  (1978–2000 гг.), рост температуры стал максимальным в холодное время года (январь, февраль, март) и в переходный месяц от холодного к теплому времени года (апрель).

В период времени (1946–1977 гг.), когда радиационное воздействие углекислого газа и аэрозолей незначительно отличалось от нормы (0,49 Вт/ $m^2$  и -0,38 Вт/ $m^2$ ), не обнаружено каких-либо системных отклонений температуры от нормы в годовом ходе. Нормы вычислены за период с 1881 по 2012 г. и составили 0,54 Вт/ $m^2$  и -0,33 Вт/ $m^2$  соответственно.

Из рис. 5 и табл. 3 следует, что положительные отклонения температуры характерны для теплого времени года (особенно для двух самых теплых месяцев) в периоды низкой аэрозольной загрязненности атмосферы (1881–1901, 1924–1945 и 2001–2012 гг.).

Для последнего периода времени (2001–2012 гг.) потепление климата наблюдается во все месяцы года, но «полимодальность» величин положительных аномалий температуры в годовом ходе хорошо заметна: менее значительные положительные аномалии температуры отмечаются в феврале, мае, июне, сентябре и октябре. Не исключено, что подобная «полимодальность» в годовом ходе температуры может быть связана и с ограниченностью статистической выборки (13 лет).

Особенно важно отметить, что наиболее значительные аномалии температуры в послед-

ний период (2001–2012 гг.) отмечены в самые теплые месяцы года (июль–август).

Суммарные кривые годового хода нормированных аномалий температур для периодов «чистой» атмосферы (1881–1901 и 1924–1945 гг.) и периодов высокой концентрации CO<sub>2</sub> (1978–2012 гг.) представлены на рис. 6, из которого следует, что при высокой концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере (1978–2012 гг.) самые большие положительные аномалии температуры отмечаются в холодное время года (январь–апрель) и вторую половину лета (июль–август), тогда как в периоды «чистой» атмосферы – только в теплое время года (май, июль–октябрь). Это свидетельствует о том, что природа текущего потепления климата отличается от природы потепления климата в 1930-е годы, а также коротковременного и слабого потепления климата в конце XIX в.

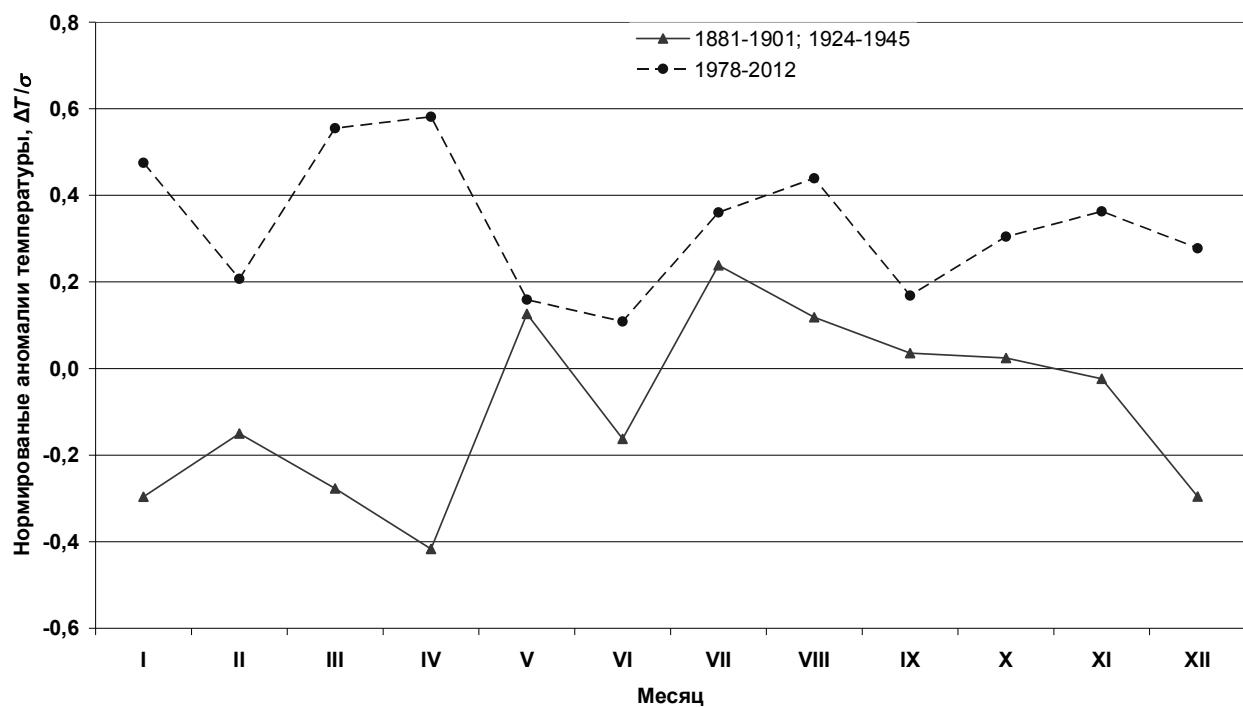


Рис. 6. Годовой ход нормированных аномалий температуры воздуха ( $\Delta T/\sigma$ ) в периоды низкой аэрозольной загрязненности атмосферы и периоды высокой концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере

Это были потепления летнего типа (потепления теплого времени года). Они, вероятно, связаны с очищением атмосферы после извержения вулкана Кракатау в 1883 г. и вулканов Мон-Пеле, Суфириер, Санта-Мария в 1902 г., а также вулкана Ксудач (1907 г.) и вулкана Катмай (1912 г.).

Учитывая, что аэрозольная загрязненность летом в среднем на 10 % больше, чем в среднем за год, индекс А для восстановленной части ряда [6] следует увеличить на 10 % и тогда среднее значение индекса А и, как следствие, радиационное воздействие аэрозолей на климат в период с

1996 по 2012 г. составит  $-0,24 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Последнее значение близко к значению радиационного воздействия аэрозолей в период с 1881 по 1901 г. и сравнительно мало отличается от нормы радиационного воздействия аэрозолей за весь используемый 133-летний период наблюдений ( $-0,33 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ).

Это означает, что в период с 1924 по 1945 г. атмосфера была самой чистой (имела высокую прозрачность, минимальную мутность) в течение длительного периода времени. Именно на этот период и пришлось знаменитое потепление Арктики, особенно выраженное в самые теп-

лые месяцы года (июль, август), а также в мае и сентябре–октябре. В холодное время года (декабрь–апрель) зарегистрированы отрицательные аномалии температуры (см. табл. 3). Следовательно, потепление Арктики следует отнести к потеплениям летнего типа, а точнее к потеплению теплого времени года.

Радиационный эффект низкого аэрозольного загрязнения атмосферы, приведший к потеплению климата в 1930-е годы, мог усилиться в это время также за счет увеличения солнечной постоянной. Нами ранее было показано, что в 17-м 11-летнем солнечном цикле по цюрихской нумерации (1933–1942 гг.) солнечная постоянная достигла максимальных значений [6].

Яркость солнечного диска (солнечная постоянная) в 1936–1940 гг. была максимальной за счет появления на Солнце больших площадей ярких образований – факелов, тогда как площадь

темных образований – пятен – оставалась близкой к средним величинам [6]. Другие максимумы яркости солнечного диска, а, следовательно, и солнечной постоянной наблюдались в 13-м (1889–1901 гг.) и 21-м (1976–1986 гг.) циклах солнечной активности. Однако яркость солнечного диска, а, следовательно, и величина солнечной постоянной в этих циклах была несколько ниже, чем в 17-м солнечном цикле. Это особенно характерно для 13-го 11-летнего цикла по цюрихской нумерации.

С целью исследования характера и тесноты суммарного индекса радиационного воздействия углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) и аэрозолей ( $A$ ) с температурой в самые теплые (июль–август) и холодные (январь–февраль) месяцы года были вычислены коэффициенты корреляции указанных величин (табл. 4).

**Таблица 4. Коэффициенты корреляции суммарного индекса радиационного воздействия углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) и аэрозолей ( $A$ ) и температуры самых теплых и самых холодных месяцев года**

Показатель	Июль–август	Январь–февраль
Значения коэффициентов корреляции ( $r$ )	0,314	0,158
Вероятность случайности значений коэффициентов корреляции ( $r$ ), %	< 0,01	< 8

Статистически значимыми коэффициенты корреляции суммарного индекса радиационного воздействия углекислого газа и аэрозолей оказались только с температурой самых теплых месяцев года ( $P < 0,01\%$ ). Если при расчете статистической значимости коэффициентов корреляции использовать эффективное число членов ряда, которое определяется теснотой внутрирядных связей значений суммарного индекса, то статистическая значимость коэффициентов корреляции суммарного радиационного индекса и температуры самых теплых месяцев уменьшится, но тем не менее сохранится на уровне статистической значимости ( $P_{\text{случ.}} < 5\%$ ).

Коэффициенты корреляции индексов радиационного воздействия углекислого газа и температуры самых холодных и теплых месяцев года оказались статистически незначимыми при

учете числа эффективных членов ряда значений содержания углекислого газа в атмосфере. Коэффициенты корреляции температуры самых холодных и теплых месяцев года с индексом радиационного воздействия аэрозолей ( $A$ ) оказались противоположными по знаку (положительный знак коэффициента корреляции индекса  $A$  отмечался с температурой самых теплых месяцев года), но статистически незначимыми.

Определенный интерес представляет анализ самых теплых летних и зимних пятилетних и более длительных периодов в изменении температуры воздуха Беларуси. В табл. 5 приведены самые высокие пятилетние средние значения температуры летних (июнь–август) и зимних (декабрь–февраль) сезонов за период инструментальных наблюдений (1881–2012 гг.).

**Таблица 5. Средняя температура воздуха в самые теплые летние и зимние сезоны**

Самые теплые 5-летние периоды (лето), гг.	Средняя температура летом, °C	Самые теплые 5-летние периоды (зима), гг.	Средняя температура зимой, °C
1897–1901	17,7	1989–1993	-1,8
1936–1940	18,2	1988–1992	-2,1
2006–2010	18,4	1990–1994	-2,3
2007–2011	18,5	1991–1995	-2,8
2008–2012	18,4	1998–2002	-2,8

Из табл. 5 следует, что самые теплые 5-летние периоды летом приходятся на эпохи низкой аэрозольной загрязненности атмосферы.

Экстремально теплые 5-летние периоды зимой и летом отмечаются в последние годы, когда произошло сложение эффектов радиационного воз-

действия аэрозолей (очищение атмосферы от аэрозолей) и парниковых газов. Содержание углекислого газа в атмосфере в последние годы возросло до 390 ppm (part per million), тогда как в прединдустральную эпоху оно было на 100–120 ppm меньше.

В течение инструментального периода наблюдений выделяются три самых теплых 13-летних периода, когда средняя летняя температура превышала 17 °C: 1888–1901 гг. (17,4 °C), 1927–1939 гг. (17,3 °C) и 2000–2012 гг. (18,1 °C). Все эти периоды приходились на эпохи минимальной аэрозольной загрязненности атмосферы (см. табл. 1).

В зимнее время года, как это следует из теории парникового потепления климата, наиболее теплые пятилетние периоды должны наблюдаться в последние десятилетия (табл. 5). Это не исключает появление холодных зим во время потепления климата; их природа связана с особенностями взаимодействия океана и атмосферы [6].

Для выявления изменений скорости роста летних (июль–август) и зимних (январь–февраль) температур за период с 1962 по 2012 г. было произведено вычисление скользящих трендов нормированных аномалий температуры с использованием 15-летнего интервала осреднения. Аналогичные исследования проведены для значений разностей аномалий летних и зимних температур.

Анализ многолетних изменений температуры в Беларуси за ближайший 50-летний период показывает наличие ряда особенностей в изменении температуры в самые теплые и самые холодные периоды года. На рис. 7 приведены слаженные за 15-летний интервал осреднения значения коэффициентов  $\alpha$ , приходящихся на середину скользящих 15-летних интервалов и характеризующих величину линейных трендов ( $y = \alpha x + \beta$ ).

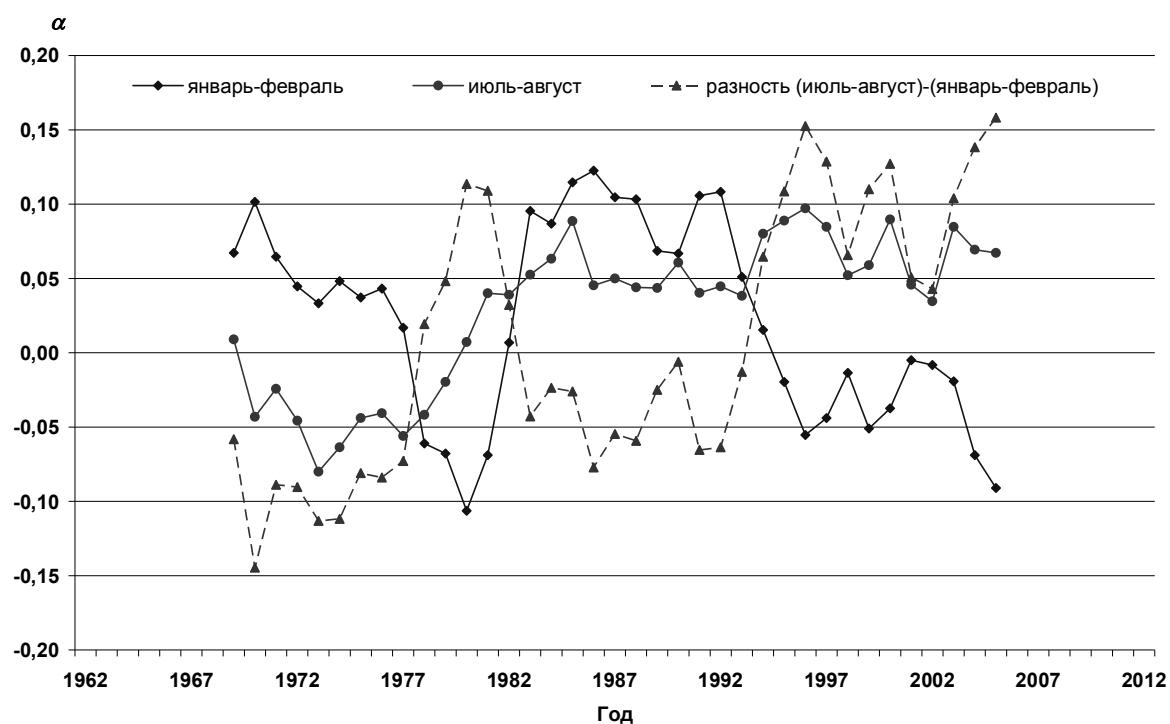


Рис. 7. Изменение величины трендов нормированных аномалий температуры за период с 1962 по 2012 г.

Из рис. 7 следует, что величина и знак линейных трендов температуры в самые холодные месяцы года (январь–февраль) испытывают следующие циклические изменения: значительное падение температуры в конце 1960-х – начале 1970-х годов и последующий быстрый рост с конца 1970-х годов. В последние 10–15 лет скорость роста зимних температур замедлилась (тренд температуры даже стал отрицательным), тогда как скорость роста концентрации углекислого газа в атмосфере была максимальной, что

трудно объяснить, исходя из теории парникового потепления климата.

В самые теплые месяцы года (июль–август), начиная с конца 1970-х годов, скорость роста температуры быстро увеличивалась до середины 1980-х годов, а затем незначительно флюктуировала, оставаясь очень высокой в последние 20–25 лет (0,07 °C в год).

В изменении разностей линейных трендов температуры (июль–август) – (январь–февраль) наблюдались две положительные флюктуации.

Последняя флюктуация оказалась самой мощной и продолжительной. Положительные линейные тренды разностей температуры оказались самыми значительными в период с 1998 по 2012 г.

Данные, приведенные на рис. 7, свидетельствуют о том, что линейные положительные тренды температур в самые теплые месяцы года в последние годы оказались выше, чем в самые холодные месяцы года. Эта особенность в изменении климата имеет принципиальное значение и не может быть интерпретирована, исходя из доминирующей роли парниковых газов в изменении современного климата. Интенсивная скорость роста и содержания парниковых газов в атмосфере должны сопровождаться в первую очередь более интенсивным ростом зимних тем-

ператур. Связать более быстрый рост летних температур, по сравнению с зимними, с очищением атмосферы от вулканического аэрозоля в последние 20 лет также нет достаточных оснований, поскольку прозрачность атмосферы в этот период была в 1,5 раза ниже, чем в период существенного роста температуры в теплое время года (потепление Арктики).

Таким образом, без учета влияния на климат внутренних климатообразующих факторов (общей циркуляции атмосферы и океана, прямых и обратных связей в климатической системе), а также других внешних климатообразующих факторов невозможно объяснить пространственно-временные особенности современных изменений климата.

### Литература

1. Абдузатов, Х. И. Солнце определяет климат / Х. И. Абдузатов // Наука и жизнь. М., 2009. № 1. С. 34–42.
2. Климатические вариации площади ледяного покрова в Евразийской Арктике и ожидаемые их изменения в XXI в. / Е. И. Фролов [и др.] // Материалы Совета-семинара при Президенте Российской академии наук. Возможности предотвращения изменения климата и его последствий. М., 2006. С. 353–370.
3. Кондратьев, К. Я. Современные изменения климата и определяющие их факторы. (Изменения солнечной постоянной газового и аэрозольного состава атмосферы). Итоги науки и техники / К. Я. Кондратьев // Метеорология и климатология. М., 1977. С. 202.
4. Логинов, В. Ф. Причины и следствия климатических изменений / В. Ф. Логинов. Минск, 1992.
5. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. Минск, 2008.
6. Логинов, В. Ф. Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата / В. Ф. Логинов. Минск, 2012.
7. Максимов, И. В. Географические силы и воды океана / И. В. Максимов. Л., 1970.
8. Молодых, В. А. Возможные причины полугодовых колебаний температуры воздуха / В. А. Молодых, В. Ф. Логинов // Тр. ГГО им. А. И. Войкова. Л., 1984. Вып. 471. С. 86–93.
9. Морской лед / И. Е. Фролов [и др.] // Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) / под ред. С. М. Семенова. М., 2012. С. 400–429.
10. Покровский, О. М. Анализ факторов изменения климата по данным дистанционных и контактных измерений / О. М. Покровский // Исследования Земли из космоса. 2010. № 5. С. 11–24.
11. Шерстюков, Б. Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата / Б. Г. Шерстюков. Обнинск, 2008.
12. Climate change 2001: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Third of Assessment report of the intergovernmental Panel on Climate Change / IPCC, WMO, UNEP. Cambridge: Cambridge Univ. press, 2001. 83 p.
13. Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Third of Assessment report of the intergovernmental Panel on Climate Change / IPCC, WMO, UNEP. Cambridge: Cambridge Univ. press, 2007. 142 p.

### Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 7.03.2013 г.

В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка

### **ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АЭРОЗОЛЕЙ И УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА НА ТЕМПЕРАТУРУ ВОЗДУХА В БЕЛАРУСИ ЗА ПЕРИОД С 1881 ПО 2012 г.**

В статье приведены результаты исследования особенностей многолетних изменений среднемесячных и сезонных температур воздуха и их аномалий в Беларуси с 1881 по 2012 г.

Установлено, что в июле–августе самые высокие положительные аномалии температуры приходятся на периоды низкой аэрозольной загрязненности атмосферы: 1883–1902, 1933–1942 и

1993–2012 гг., а самая большая отрицательная аномалия температуры – на середину эпохи самой высокой аэрозольной загрязненности атмосферы (1973–1982 гг.). Самые значительные положительные аномалии температуры в январе–феврале совпадают с интенсивным ростом содержания парниковых газов в атмосфере.

Выполнена оценка изменений температуры воздуха, а также нормированных отклонений температуры в годовом ходе в различные периоды времени: 1881–1901, 1902–1923, 1924–1945, 1946–1977, 1978–2000, 2001–2012 гг.

Для последнего периода времени (2001–2012 гг.) потепление климата наблюдается во все месяцы года, но в годовом ходе температуры отчетливо проявляется «полимодальность» величин положительных аномалий температуры.

В периоды минимальной аэрозольной загрязненности атмосферы (1881–1901, 1924–1945 и 2001–2012 гг.) установлены самая высокая температура воздуха в июле–августе, а также максимальная амплитуда годового хода температуры.

Выполнен анализ самых теплых летних и зимних пятилетних и более длительных периодов в изменении температуры воздуха Беларуси с 1881 по 2012 г. Самые теплые 5-летние и 13-летние периоды (1888–1901, 1927–1939 и 2000–2012 гг.) летом приходятся на эпохи низкой аэрозольной загрязненности атмосферы. Экстремально теплые 5-летние периоды зимой и летом отмечаются в последние годы, когда произошло сложение эффектов радиационного воздействия аэрозолей (очищение атмосферы от аэрозолей) и парниковых газов.

Линейные положительные тренды температур в самые теплые месяцы года в последние годы оказались выше, чем в самые холодные месяцы года. Эта особенность в изменении современного климата не может быть интерпретирована исходя из доминирующей роли парниковых газов.

V. F. Loginov, J. A. Brovka

#### **ESTIMATION OF AEROSOLS AND CARBONIC GAS RADIATION INFLUENCE ON AIR TEMPERATURE IN BELARUS FROM 1881 TO 2012**

*Results of research of features of long-term changes of monthly average and seasonal temperatures of air and its anomalies in Belarus from 1881 to 2012 are given in the article.*

*It is established, that July–August highest positive anomalies of temperature occur in periods of low aerosol atmosphere contamination: 1883–1902, 1933–1942 and 1993–2012, and the greatest negative anomaly of temperature – in the middle of epoch of the highest aerosol contamination of the atmosphere (1973–1982). The most considerable positive anomalies of temperature in January–February coincide with intensive rise of GHG content in the atmosphere.*

*The estimation of air temperature variations, and also normalized temperature deviations in annual course during the various periods of time is registered: 1881–1901, 1902–1923, 1924–1945, 1946–1977, 1978–2000, 2001–2012.*

*For last term period (2001–2012) climate warming is observed in all months of the year, but in an annual course of temperature «polymodality» of sizes of positive anomalies of temperature is distinctly shown.*

*During the periods of minimum aerosol contamination of the atmosphere (1881–1901, 1924–1945 and 2001–2012) the greatest air temperature in July–August has been fixed, and also the maximum amplitude of annual course of temperature.*

*The analysis of the warmest summer and winter five-year and longer periods in change of air temperature of Belarus from 1881 to 2012 has been done. The warmest 5-year and 13-year periods (1888–1901, 1927–1939 and 2000–2012) in summer are marked in the epoch of low aerosol contamination of atmosphere. Extremely warm winter and summer 5-year periods are marked lately, when there was an overlap effects of aerosols radiation influence (clarification of atmosphere from aerosols) and GHG.*

*Linear positive trends of temperatures in the warmest months of year last years have appeared higher than in the coldest months. This feature in modern climate variation cannot be interpreted proceeding from a dominating GHG role.*

УДК 631.432; 502.4; 502.7; 550.34; 556.332 (476)

О. Г. Савич-Шемет<sup>1</sup>, Е. М. Мурашов<sup>2</sup>

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СУТОЧНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

*Анализ коэффициентов корреляции суточных, 5-суточных и 10-суточных значений атмосферных осадков на метеостанциях Беларуси за два периода (1961–1988 и 1989–2011 гг.) показал, что наибольшие значения коэффициентов корреляции характерны для 10-суточных осадков, а теснота пространственной корреляции суточных осадков падает с расстоянием. Подтверждена гипотеза об увеличении радиуса корреляции при увеличении масштаба осреднения.*

Знания особенностей пространственного распределения осадков суточного, 5- и 10-суточного разрешения по территории Беларуси чрезвычайно важны для решения различных прикладных задач. Исследование статистических характеристик суточных осадков и особенностей их пространственного распределения является актуальной задачей гидрологии и природопользования. Решение задачи оценивания количественных характеристик поверхностного стока, формирующегося на водосборе (инженерная за-

дача), также невозможно без исследования локальных особенностей осадков суточного, 5- и 10-суточного разрешения. В основу работы положены данные инструментальных наблюдений суточных осадков за два периода (1961–1988 гг. и 1989–2011 гг.) по 24 и 38 метеорологическим станциям Беларуси соответственно. Статистические характеристики суточных атмосферных осадков на указанных метеорологических станциях для двух периодов приведены в табл. 1.

**Таблица 1. Статистические характеристики суточных атмосферных осадков**

Метеостанция	1961–1988 гг.			1989–2011 гг.			$\bar{\Delta}x$ , %
	Среднее значение	Максимум	Стандартное отклонение	Среднее значение	Максимум	Стандартное отклонение	
1. Березино	—	—	—	2,15	41,3	4,37	—
2. Бобруйск	1,90	48,4	4,62	2,01	42,5	4,31	—
3. Борисов	1,91	44,7	4,70	2,37	42,4	5,00	—
4. Брагин	1,47	41,5	4,07	1,61	33,1	3,81	9,5
5. Брест	1,53	31,5	3,37	2,10	64,6	4,79	37,3
6. Василевичи	1,63	44,2	4,03	2,03	48,9	4,81	24,5
7. Верхнедвинск	1,90	39,6	4,06	2,28	39,2	4,81	20,0
8. Вилейка	1,72	33,2	3,49	2,22	34,6	4,49	29,1
9. Витебск	2,18	63,6	5,34	2,42	49,8	4,88	11,0
10. Волковыск	1,50	42,1	3,66	2,22	57,1	5,00	48,0
11. Воложин	—	—	—	2,15	36,6	4,44	—
12. Ганцевичи	—	—	—	1,92	38,1	4,07	—
13. Гомель	1,64	44,9	3,87	2,15	65,6	5,67	31,1
14. Горки	1,91	39,0	4,27	2,04	30,7	4,20	6,8
15. Гродно	1,41	28,5	3,07	1,84	61,3	4,26	30,5
16. Докшицы	—	—	—	2,11	40,3	4,67	—
17. Езерище	—	—	—	2,19	53,7	4,96	—
18. Житковичи	1,66	41,4	4,32	2,25	43,4	4,65	—
19. Жлобин	1,70	36,0	4,22	2,15	72,5	5,83	26,5
20. Ивацевичи	—	—	—	1,96	34,6	4,19	—
21. Костюковичи	—	—	—	2,01	38,7	4,19	—
22. Лельчицы	—	—	—	1,93	34,8	4,22	—
23. Лепель	2,06	51,7	4,81	2,28	39,3	4,76	10,7
24. Лида	1,54	18,5	2,97	2,13	45,2	4,63	38,3
25. Лынтупы	—	—	—	2,21	48,2	4,96	—
26. Марьина Горка	1,70	37,4	4,30	2,13	36,0	4,35	—
27. Минск	1,84	42,3	4,37	2,36	56,4	5,12	—
28. Могилев	1,92	46,1	4,64	2,14	90,2	5,25	11,5

Окончание табл. 1

Метеостанция	1961–1988 гг.			1989–2011 гг.			$\bar{x}$ , %
	Среднее значение	Максимум	Стандартное отклонение	Среднее значение	Максимум	Стандартное отклонение	
29. Новогрудок	1,79	33,0	3,66	2,33	37,3	4,75	30,2
30. Орша	—	—	—	1,96	36,2	3,88	—
31. Пинск	1,24	26,6	2,94	2,08	48,8	4,49	—
32. Полесская	—	—	—	1,94	45,6	4,79	—
33. Полоцк	2,07	48,9	4,91	2,24	47,4	4,56	—
34. Пружаны	1,42	32,0	3,17	2,06	42,0	4,91	—
35. Сенно	—	—	—	2,11	43,9	4,26	—
36. Слуцк	—	—	—	2,12	41,5	4,51	—
37. Столбцы	—	—	—	1,87	32,7	4,04	—
38. Шарковщина	1,57	46,9	3,71	2,08	47,5	4,82	32,5

Цель данной работы – определить пространственную изменчивость суточных, 5-ти суточных и 10-суточных значений атмосферных осадков с использованием корреляционного анализа.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить изменение статистических моментов ( $\bar{x}$ ,  $\sigma$ ) выборок суточных значений атмосферных осадков для двух периодов: 1961–1988 гг. и 1989–2011 гг.;
- выполнить расчет и сформировать выборки средних значений за 5 и 10 дней по 38 метеорологическим станциям Беларусь для периода 1989–2011 гг. и по 24 метеорологическим станциям Беларусь для периода 1961–1988 гг.;
- определить тесноту связи суточных, 5- и 10-суточных значений атмосферных осадков для двух периодов: 1961–1988 гг. и 1989–2011 гг.;
- рассчитать пространственно-корреляционные функции осадков разного временного разрешения;
- оценить динамику исследуемых величин для выделенных периодов.

Расстояния между метеорологическими станциями рассчитаны с использованием элек-

тронного ресурса [3]. Полученная выборка из 703 значений прямых расстояний между метеорологическими станциями Беларусь характеризуется следующими показателями: минимальное расстояние 48 км (между станциями Новогрудок–Лида), максимальное – 583 км (Езерище–Брест), среднее значение – 247 км, стандартная ошибка – 4,31. Гистограмма распределения указанной величины представлена на рис. 1.

Изменение средних значений суточных атмосферных осадков для двух периодов (1961–1988 гг. и 1989–2011 гг.) произошло в сторону их роста на величину в среднем 26,6 % (рис. 2, а) с минимумом в 5,8 % для метеостанции Бобруйска и максимумом в 67,7 % для Пинска (см. табл. 1, рис. 3). Изменение максимальных значений суточных атмосферных осадков для двух периодов характеризуется как уменьшением, так и увеличением рассматриваемой величины (рис. 2, б). Рассеяние значений суточных атмосферных осадков для периода 1989–2011 гг. (стандартное отклонение) возрастает на величину до 50 % за исключением таких метеорологических станций, как Бобруйск, Брагин, Витебск, Горки, Лепель, Полоцк.

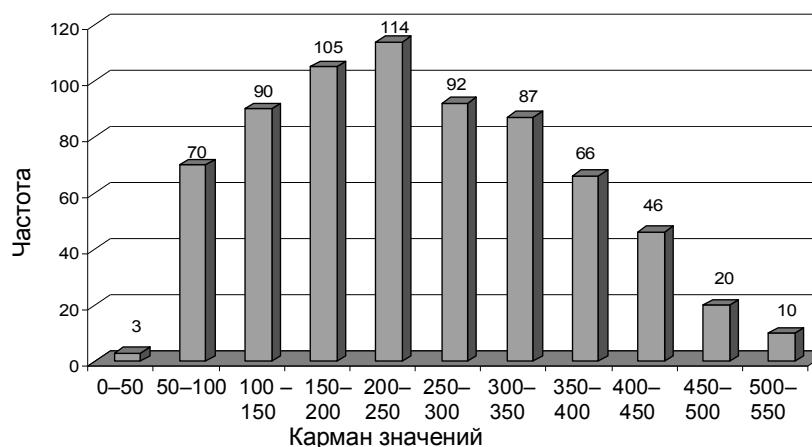


Рис. 1. Гистограмма распределения величины расстояний между метеорологическими станциями Беларусь

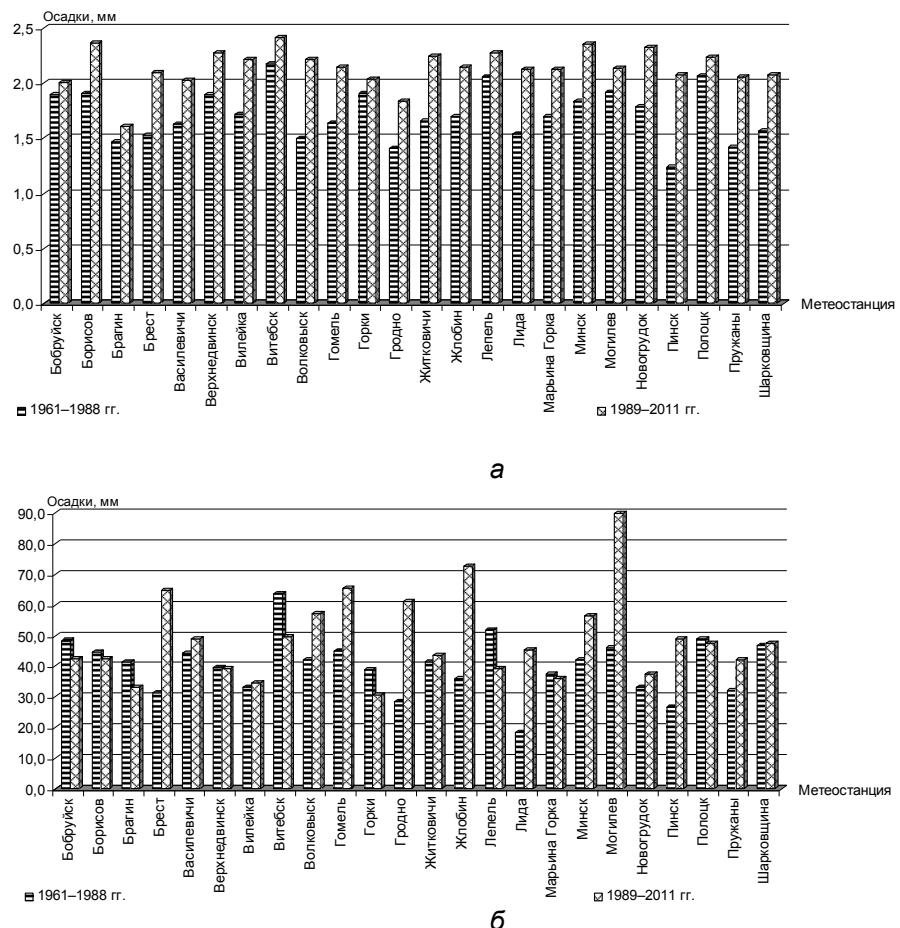


Рис. 2. Средние (а) и максимальные (б) значения выборок суточных атмосферных осадков для двух периодов: 1961–1988 гг. и 1989–2011 гг.

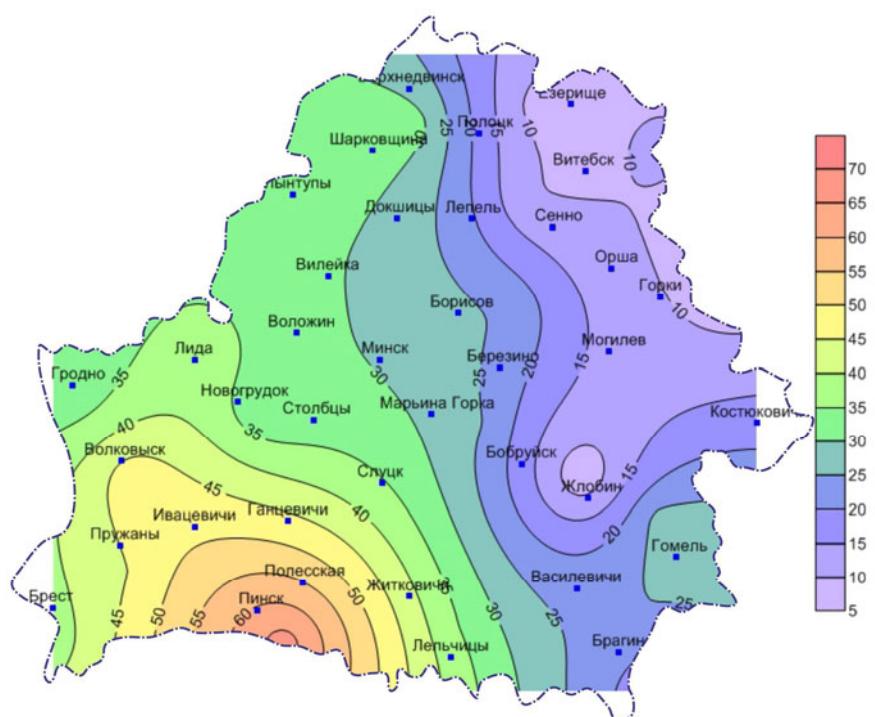


Рис. 3. Относительное изменение средних значений суточных атмосферных осадков (период 1989–2011 гг. к периоду 1961–1988 гг.), %

Наибольшее изменение среднего значения суточных атмосферных осадков за исследуемые периоды характерно для юга центральной части Полесья (изменение на величину до 60 % на станции Пинска), запада республики и территории Беловежской пущи (изменение на до 45 % на станциях Пружан и Волковыска), наименьшее – для востока и северо-востока республики.

Расчет коэффициентов парной корреляции осадков проведен по формуле [1, 2]

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{(n-1) \sigma_x \sigma_y}, \quad (1)$$

где  $x$  и  $y$  – наблюденная величина атмосферных осадков на двух метеорологических станциях Беларусь;  $n$  – количество наблюдений.

Статистическая значимость коэффициентов парной корреляции была определена с помощью  $t$ -критерия Стьюдента путем сравнения полученных  $t$ -критериев с квантилями распределения Стьюдента  $t_\alpha$ . В случае, если  $|t| > t_\alpha$ , принималось решение о статистической значимости коэффициента. Полученные коэффициенты корреляции осадков разного временного разрешения для периода 1961–1988 гг. представлены для суточных и 10-суточных значений (табл. 2, 3). Гистограммы распределений полученных коэффициентов корреляции осадков разного временного разрешения для периода 1989–2011 гг. представлены на рис. 4.

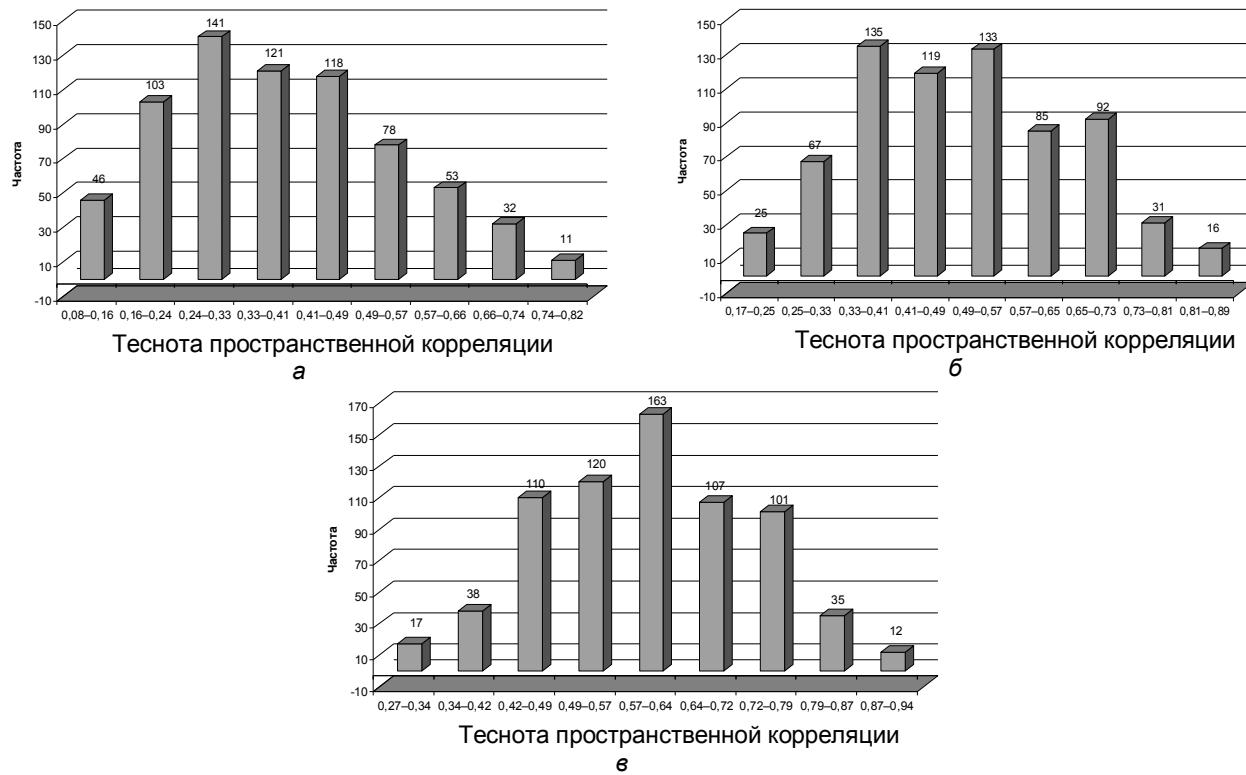


Рис. 4. Распределение тесноты пространственной корреляции значений сумм атмосферных осадков разного временного разрешения для периода 1989–2011 гг.: а – суточных; б – 5-суточных; в – 10-суточных

На рис. 5, а, б приведены пространственные корреляционные функции сумм атмосферных осадков разного временного разрешения для двух исследуемых периодов:

1961–1988 гг. и 1989–2011 гг. Период 1961–1988 гг. характеризуется: а) среднее значение полученных коэффициентов корреляции суточных атмосферных осадков составляет 0,40 (дисперсия  $D = 0,030$ ), б) 5-суточных – 0,51 ( $D = 0,029$ ), в) 10-суточных – 0,59 ( $D = 0,021$ ). Период

1989–2011 гг. характеризуется: а) среднее значение полученных коэффициентов корреляции суточных атмосферных осадков составляет 0,38 ( $D = 0,025$ ), б) 5-суточных – 0,50 ( $D = 0,023$ ), в) 10-суточных – 0,60 ( $D = 0,017$ ). При переходе к большим периодам осреднения (5 и 10 суток) уменьшается изменчивость коэффициента корреляции, т. е. при осреднении происходит сглаживание конкретных локальных синоптических ситуаций.

Таблица 2. Корреляционная матрица наблюденных суточных значений атмосферных осадков за период 1961–1988 гг.,  $p < 0,05$ 

Станция	Бобруйск	Борисов	Брагин	Брест	Василевичи	Верхнедвинск	Вилейка	Витебск	Волковыск	Гомель	Горки	Гродно	Житковичи	Жлобин	Лепель	Лида	Марьина Горка	Минск	Мотылев	Новогрудок	Пинск	Полоцк	Пружаны	
Борисов		0,68																						
Брагин	0,48	0,32																						
Брест	0,26	0,23	0,16																					
Василевичи	0,69	0,49	0,75	0,20																				
Верхнедвинск	0,39	0,53	0,24	0,22	0,29																			
Вилейка	0,49	0,72	0,24	0,24	0,33	0,55																		
Витебск	0,40	0,51	0,22	0,17	0,30	0,39	0,41																	
Волковыск	0,27	0,43	0,08	0,56	0,13	0,25	0,37	0,24																
Гомель	0,56	0,39	0,74	0,14	0,75	0,24	0,26	0,28	0,10															
Горки	0,65	0,61	0,49	0,21	0,58	0,33	0,41	0,56	0,29	0,60														
Гродно	0,20	0,26	0,00	0,49	0,09	0,34	0,40	0,15	0,62	0,00	0,18													
Житковичи	0,65	0,51	0,48	0,27	0,65	0,35	0,39	0,28	0,23	0,43	0,41	0,19												
Жлобин	0,70	0,54	0,60	0,21	0,73	0,34	0,37	0,38	0,18	0,66	0,73	0,10	0,54											
Лепель	0,57	0,81	0,28	0,24	0,43	0,64	0,68	0,57	0,35	0,36	0,53	0,31	0,45	0,46										
Лида	0,33	0,49	0,17	0,42	0,24	0,39	0,59	0,29	0,65	0,16	0,35	0,61	0,30	0,25	0,45									
Марьина Горка	0,72	0,69	0,36	0,24	0,56	0,45	0,56	0,41	0,36	0,40	0,58	0,29	0,60	0,56	0,58	0,45								
Минск	0,51	0,75	0,22	0,27	0,39	0,40	0,68	0,39	0,46	0,29	0,50	0,33	0,46	0,45	0,59	0,54	0,68							
Могилев	0,74	0,69	0,47	0,19	0,55	0,40	0,48	0,52	0,26	0,58	0,79	0,17	0,45	0,67	0,60	0,33	0,61	0,51						
Новогрудок	0,37	0,58	0,13	0,41	0,23	0,32	0,59	0,31	0,66	0,18	0,38	0,50	0,32	0,23	0,46	0,77	0,50	0,62	0,38					
Пинск	0,45	0,35	0,30	0,54	0,38	0,21	0,30	0,19	0,39	0,30	0,35	0,31	0,48	0,36	0,23	0,41	0,40	0,36	0,34	0,40				
Полоцк	0,39	0,58	0,25	0,14	0,32	0,71	0,59	0,60	0,13	0,28	0,46	0,15	0,31	0,44	0,71	0,27	0,45	0,41	0,46	0,25	0,15			
Пружаны	0,29	0,33	0,21	0,70	0,24	0,21	0,32	0,22	0,67	0,18	0,32	0,50	0,33	0,29	0,25	0,55	0,32	0,36	0,25	0,52	0,49	0,14		
Шарковщина	0,35	0,49	0,22	0,20	0,27	0,82	0,59	0,35	0,28	0,23	0,36	0,39	0,30	0,37	0,59	0,43	0,42	0,41	0,32	0,31	0,19	0,69	0,20	

Таблица 3. Корреляционная матрица наблюденных 10-суточных значений атмосферных осадков за период 1961–1988 гг.,  $p < 0,05$

Станция	Бобруйск	Борисов	Брагин	Брест	Василевичи	Верхнедвинск	Вилейка	Витебск	Волковыск	Гомель	Горки	Гродно	Житковичи	Жлобин	Лепель	Лида	Марьина Горка	Минск	Могилев	Новогрудок	Пинск	Полоцк	Пружаны	Шарковщина
Борисов	0,55																							
Брагин	0,49	0,64																						
Брест	0,36	0,51	0,35																					
Василевичи	0,49	0,66	0,93	0,44	0,61																			
Верхнедвинск	0,73	0,72	0,58	0,44																				
Вилейка	0,57	0,80	0,59	0,54	0,64	0,75																		
Витебск	0,55	0,61	0,50	0,39	0,56	0,67	0,60																	
Волковыск	0,35	0,60	0,24	0,70	0,35	0,45	0,60	0,49		0,43														
Гомель	0,45	0,57	0,86	0,34	0,85	0,54	0,59	0,51																
Горки	0,65	0,75	0,76	0,43	0,80	0,69	0,67	0,72	0,38	0,76														
Гродно	0,47	0,53	0,25	0,55	0,36	0,56	0,64	0,35	0,71	0,24	0,34													
Житковичи	0,44	0,63	0,62	0,68	0,68	0,57	0,57	0,42	0,49	0,54	0,61	0,46												
Жлобин	0,53	0,66	0,84	0,42	0,87	0,63	0,57	0,62	0,28	0,79	0,85	0,28	0,68											
Лепель	0,65	0,87	0,62	0,40	0,64	0,80	0,80	0,70	0,47	0,61	0,77	0,53	0,51	0,69										
Лида	0,51	0,59	0,42	0,55	0,50	0,66	0,73	0,42	0,73	0,43	0,55	0,79	0,57	0,43	0,56									
Марьина Горка	0,65	0,79	0,69	0,51	0,71	0,75	0,75	0,61	0,51	0,62	0,74	0,54	0,76	0,76	0,76	0,64	0,82							
Минск	0,47	0,84	0,56	0,53	0,58	0,64	0,80	0,59	0,69	0,51	0,59	0,60	0,59	0,57	0,72	0,64	0,67							
Могилев	0,61	0,78	0,78	0,47	0,77	0,72	0,74	0,64	0,46	0,80	0,90	0,90	0,44	0,66	0,81	0,80	0,61	0,74	0,67					
Новогрудок	0,38	0,71	0,48	0,52	0,55	0,59	0,72	0,41	0,73	0,49	0,55	0,66	0,54	0,40	0,60	0,84	0,57	0,70	0,65					
Пинск	0,35	0,45	0,41	0,75	0,54	0,43	0,41	0,28	0,49	0,39	0,46	0,47	0,67	0,48	0,33	0,52	0,48	0,39	0,47	0,51				
Полоцк	0,71	0,64	0,52	0,35	0,55	0,82	0,69	0,82	0,33	0,55	0,72	0,37	0,40	0,63	0,81	0,43	0,66	0,55	0,67	0,35	0,25			
Пружаны	0,49	0,67	0,51	0,85	0,56	0,60	0,74	0,47	0,77	0,45	0,57	0,66	0,72	0,53	0,56	0,73	0,70	0,72	0,62	0,69	0,64	0,44		
Шарковщина	0,83	0,68	0,60	0,46	0,64	0,89	0,72	0,68	0,47	0,57	0,77	0,61	0,55	0,63	0,78	0,67	0,76	0,58	0,71	0,54	0,45	0,84	0,61	

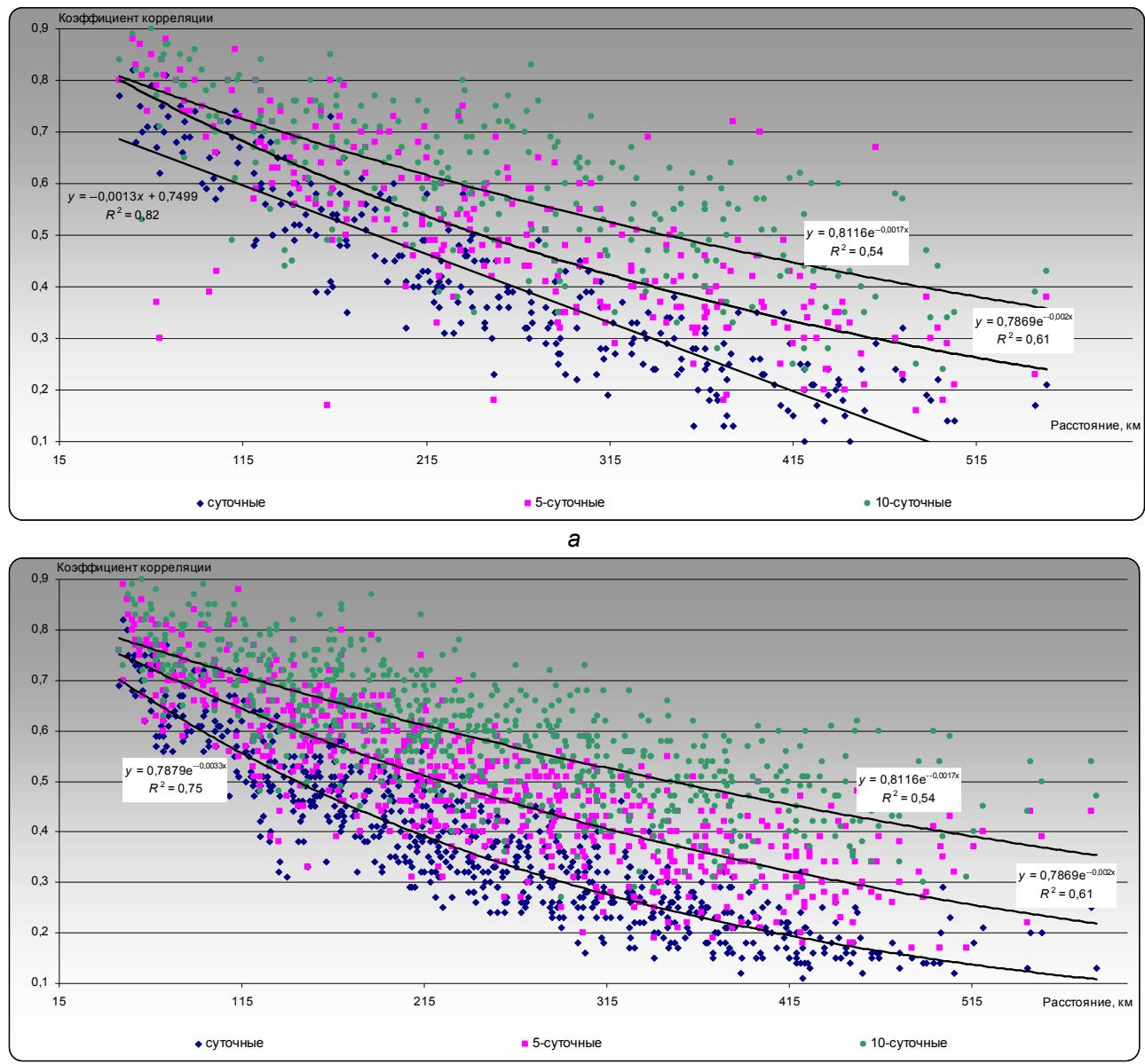


Рис. 5. Пространственные корреляционные функции сумм атмосферных осадков разного временного разрешения для двух периодов: а – 1961–1988 гг.; б – 1989–2011 гг.

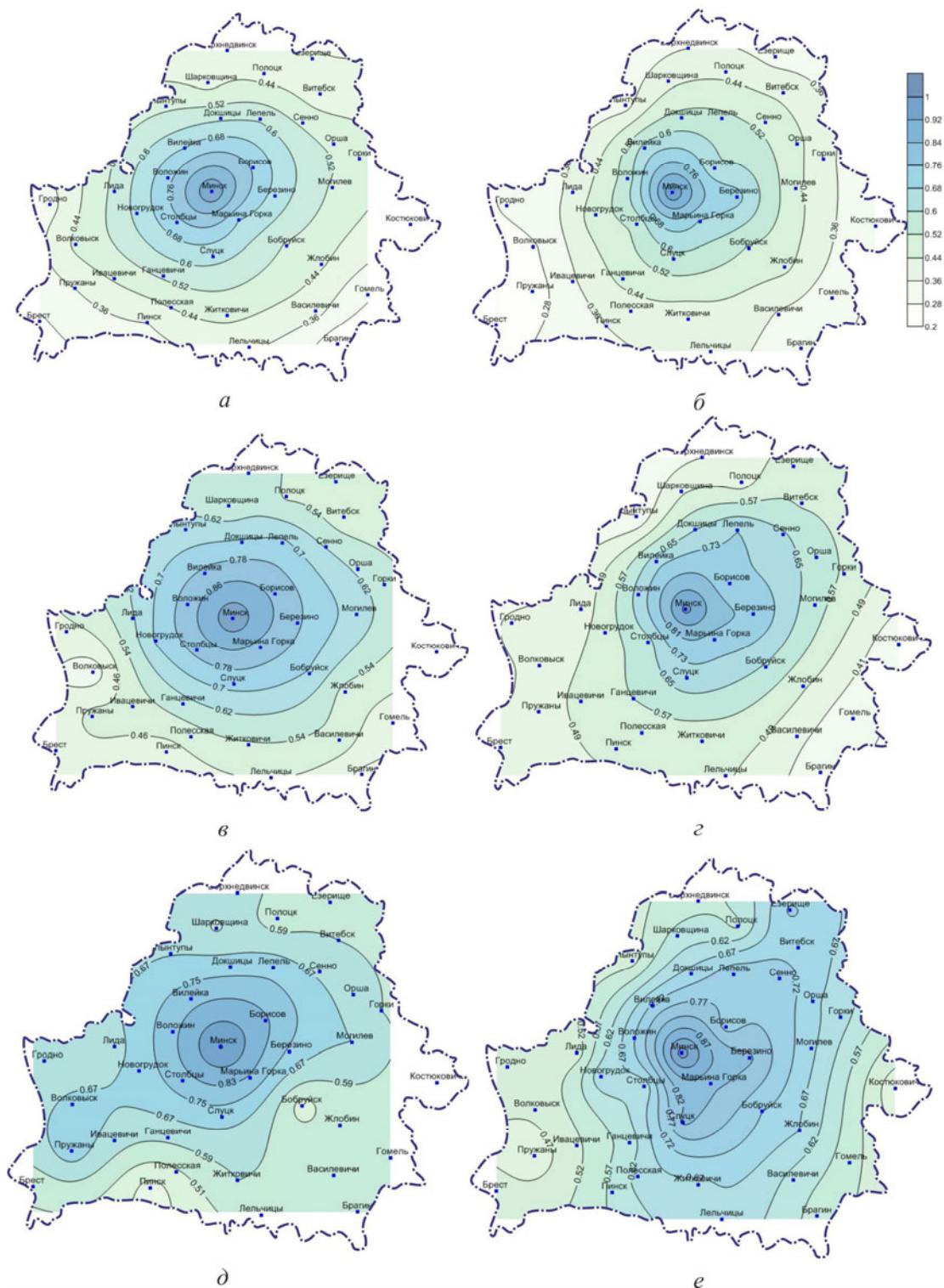
Увеличение коэффициентов корреляции при увеличении масштабов осреднения происходит скачкообразно (в среднем на 35 %) при переходе от суточных к 5-суточным значениям для двух рассматриваемых периодов, увеличение тесноты междуурядных связей при увеличении масштабов осреднения осадков от 5 до 10 суток происходит в среднем на 20 %.

Пространственные особенности распределения осадков представлены на рис. 6 для первой станции Минск, которая занимает центральное положение в республике.

Из рис. 6, а, б следует идентичная направленность изолиний равных коэффициентов корреляции суточных осадков для двух периодов, в то время как с увеличением осреднения это

свойство не сохраняется. Изменения значений коэффициентов корреляции суточных осадков для двух рассматриваемых периодов для реперной станции Минск не наблюдается за исключением их увеличения для станций Борисов ( $\Delta r = 0,14$ ), Волковыск ( $\Delta r = 0,19$ ), Горки ( $\Delta r = 0,12$ ), Лиде ( $\Delta r = 0,16$ ) и Новогрудок ( $\Delta r = 0,13$ ), что связано, предположительно, с разрастанием малых городов и городов-спутников, а также с проявлением эффекта «большого города».

Таким образом, сопряженность суточных сумм осадков распространяется на расстояние 70–80 км (максимальные значения коэффициентов корреляции – 0,67–0,72); 5-суточных – 150–175 км (0,81–0,86); 10-суточных – 260–300 км (0,75–0,79).



**Рис. 6. Пространственное распределение тесноты связи осадков разных масштабов осреднения для станции Минск для двух периодов: а, в, д – 1961–1988 гг.; б, г, е – 1989–2011 гг.; а, б – суточные; в, г – 5-суточные; д, е – 10-суточные**

**Выводы.** Изменение средних значений суточных атмосферных осадков для двух периодов: 1961–1988 гг. и 1989–2011 гг., произошло в сторону их роста на среднюю величину 26,6 %.

Тесная корреляция суточных сумм осадков распространяется на расстояние 70–80 км (максимальные значения коэффициентов корреляции – 0,67–0,72); 5-суточных – 150–175 км (0,81–0,86); 10-суточных – 260–300 км (0,75–0,79).

### **Литература**

1. Исаев, А. А. Статистика в метеорологии и климатологии / А. А. Исаев. М., 1988.
2. Пановский, Г. А. Статистические методы в метеорологии / Г. А. Пановский, Г. В. Брайер. Л., 1972.
3. Рассчитать расстояния [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://www.rasstoyanie.com>. Дата доступа : 08.01.2013.

<sup>1</sup> Институт природопользования НАН Беларуси,

<sup>2</sup> Международный государственный  
экологический университет им. А. Д. Сахарова

Поступила в редакцию 19.04.2013 г.

**O. G. Savich-Shemet, E. M. Murashov**

### **ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СУТОЧНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ**

Анализ коэффициентов корреляции суточных, 5-суточных и 10-суточных значений атмосферных осадков на метеостанциях Беларуси для двух периодов (1961–1988 гг. и 1989–2011 гг.) показал, что наибольшие значения коэффициентов корреляции характерны для 10-суточных осадков, а теснота пространственной корреляции падает с расстоянием для суточных осадков. Подтверждена гипотеза об увеличении радиуса корреляции при увеличении масштаба осреднения. Изменение средних значений суточных атмосферных осадков для двух периодов (1961–1988 гг. и 1989–2011 гг.) произошло в сторону их увеличения в среднем на 26,6 %.

**O. G. Savich-Shemet, E. M. Murashov**

### **EXISTENTIAL CORRELATION ANALYSIS OF THE DAILY ATMOSPHERIC PRECIPITATION**

*The analysis of correlation coefficients between daily, 5-day and 10-day values of atmospheric precipitation on meteorological stations of Belarus for two periods(1961–1988 and 1989–2011) showed that the greatest values of correlation coefficients are characteristic for a 10-day precipitation while the narrowness of spatial correlation falls with distance for daily precipitation. The hypothesis of increase in radius of correlation with averaging is confirmed. Change of average values of daily atmospheric precipitation for two periods (1961–1988 and 1989–2011) occurred towards their increase by 26,6 % on the average.*

УДК 504.054(476)

С. В. Какарека, Ю. Г. Кокош

## МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ФОРМАЛЬДЕГИДА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ГОРОДОВ БЕЛАРУСИ

Проведен анализ многолетней динамики содержания формальдегида в атмосферном воздухе городов Беларусь за период 1991–2010 гг. Приведены показатели среднего содержания формальдегида в атмосферном воздухе городов по типам станций. Выполнена дифференциация городов на три группы по характеру динамики содержания формальдегида. Описаны тенденции изменения средних годовых концентраций формальдегида в близкорасположенных городах Беларусь.

Среди множества вредных веществ, содержащихся в атмосферном воздухе городов, одно из важных мест занимает формальдегид.

Формальдегид оказывает выраженное токсическое действие, раздражает слизистые оболочки глаз, горла, верхних дыхательных путей, вызывает головную боль и тошноту. Помимо общетоксического действия, у данного соединения выявлено наличие канцерогенных свойств [7]. Рекомендованное Всемирной организацией здравоохранения для Европы пороговое значение средней за 30 мин концентрации формальдегида составляет 100 мкг/м<sup>3</sup>. В Беларусь приняты более жесткие нормы: предельно допустимая концентрация формальдегида (ПДК), осредненная за 30 мин, составляет 30 мкг/м<sup>3</sup>, среднесуточное значение ПДК равно 12 мкг/м<sup>3</sup> [6, 7].

Уровень содержания формальдегида в атмосферном воздухе зависит от наличия источников и погодных условий. Фоновое содержание формальдегида в атмосфере составляет обычно от значений ниже чувствительности метода до 5 мкг/м<sup>3</sup>, в сельской местности – от 2 до 8 мкг/м<sup>3</sup>. В крупных городах разовые концентрации могут достигать 800 мкг/м<sup>3</sup> [9].

Основными антропогенными источниками формальдегида в атмосфере являются: промышленные предприятия, использующие формальдегид в своей деятельности; автотранспорт и стационарные топливоожигающие установки; формальдегидсодержащие материалы (древесные плиты, фенопластики); городские пожары, свалки бытовых и промышленных отходов. Природными источниками поступления формальдегида в атмосферу являются лесные пожары [5].

Формальдегид поступает в атмосферу не только из антропогенных и природных источников, но и образуется в процессе фотоокисления многих классов органических соединений (вторичное образование). В связи с этим высокие концентрации формальдегида не всегда связаны с выбросами этого соединения, но могут создаваться в атмосфере городов с высоким загрязнением воздуха [4].

Распад формальдегида происходит путем фотодиссоциации. Период полураспада формальдегида в атмосферном воздухе может значительно различаться в разных условиях и по некоторым оценкам составляет от 0,3 до 250 ч. В связи с коротким временем нахождения формальдегида в атмосфере, это соединение имеет ограниченный потенциал переноса на большие расстояния. Однако в тех случаях, когда органические прекурсоры формальдегида переносятся на большие расстояния, вторичное образование формальдегида может произойти далеко от фактических антропогенных источников [5].

Многообразие источников поступления формальдегида в атмосферный воздух, его реакционная способность обусловливают сложность динамики содержания данного соединения в атмосферном воздухе.

Цель работы – проанализировать динамику и выявить закономерности содержания формальдегида в атмосферном воздухе городов Беларусь.

Мониторинг содержания формальдегида в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС). На территории Беларусь регулярные наблюдения за содержанием формальдегида в атмосферном воздухе осуществляются в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды. Постоянные наблюдения начали проводить в 1991 г. в 8 городах. В 2010 г. исследования проводились уже на 52 стационарных станциях, расположенных в 16 городах Беларусь.

Наибольшее количество станций мониторинга находится в Минске (9 станций); в Могилеве и Гомеле насчитывается по 5, в Бресте, Витебске и Гродно – по 4 станции.

Станции расположены в различных функциональных зонах городов: жилых (городские фоновые), промышленных (вблизи промышленных предприятий), транспортных (вблизи автодорог) и смешанных. Данная классификация станций является условной. Промышленные предприятия нередко располагаются в жилых районах, по всей территории города. Поэтому

возникают трудности отнесения некоторых станций к той или иной функциональной зоне. Одна и та же станция может быть отнесена и к промышленной, и к жилой, и к транспортной, если она размещается в жилом районе, вблизи крупных источников выбросов и автодорог.

**Отбор проб и проведение анализа.** Технология мониторинга на станциях с дискретным отбором проб включает: отбор проб воздуха наблюдателем, доставку их в лабораторию и последующий химический анализ. Пробы воздуха отбирают в поглотительные приборы в течение 20 минут. Наблюдения за концентрациями загрязняющих веществ проводят ежедневно 3 раза в сутки (кроме воскресных и праздничных дней). На 50 % станций отбор проб воздуха выполняют в ночной срок (01 час). Ежегодно проводилось несколько тысяч измерений концентраций формальдегида в атмосферном воздухе.

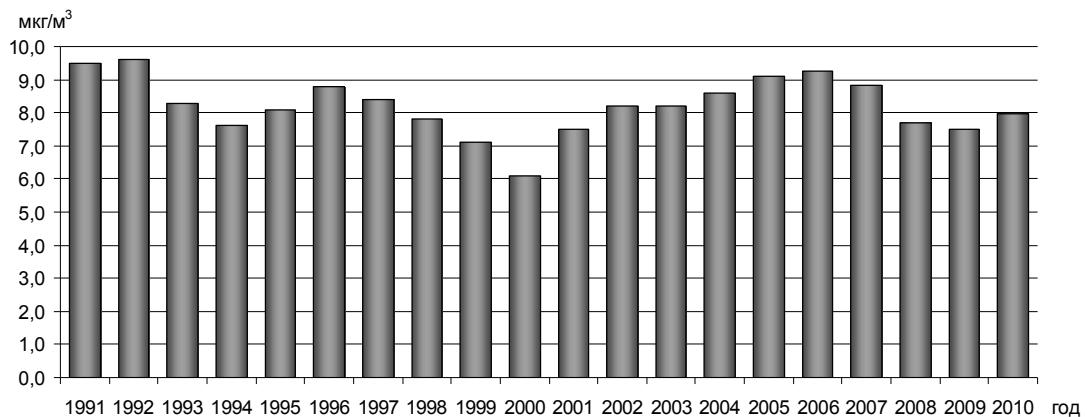
Определение содержания формальдегида в атмосферном воздухе проводится в соответст-

вии с РД 52.04.186-89 [8]. Метод основан на улавливании формальдегида из воздуха раствором серной кислоты и фотометрическом определении образующегося окрашенного соединения в результате взаимодействия в кислой среде формальдегида с фенилгидразингидрохлоридом и хлорамином Б.

#### Динамика среднего содержания формальдегида в атмосферном воздухе городов Беларуси

Проведен анализ изменения среднегодового содержания формальдегида в атмосферном воздухе, осредненного по всем городам Беларуси.

Общее среднее содержание формальдегида в атмосферном воздухе городов в период с 1991 по 2010 г. колебалось в пределах от 6,1 до 9,6  $\text{мкг}/\text{м}^3$ ; выявлена цикличность колебаний с периодом в 5–10 лет (рис. 1). В последние годы (2008–2010 гг.) среднее содержание формальдегида в атмосферном воздухе составляет около 8  $\text{мкг}/\text{м}^3$ .

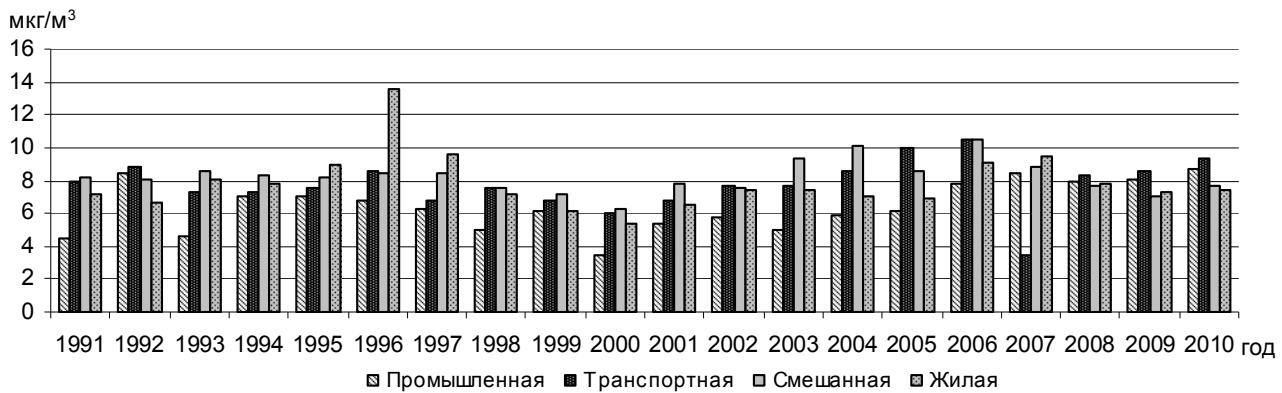


**Рис. 1. Динамика среднего годового содержания формальдегида в городском воздухе в Беларуси за период с 1991 по 2010 г.**

В 2010 г. средняя концентрация формальдегида в атмосферном воздухе Беларуси составила 8  $\text{мкг}/\text{м}^3$ . Превышения максимальной разовой ПДК по формальдегиду отмечены в 14 городах. Наибольшие средние годовые концентрации формальдегида замерены в Витебске (1,1 ПДК<sub>с.с.</sub>), Орше и Бресте (1,0 ПДК<sub>с.с.</sub>), Пинске (0,9 ПДК<sub>с.с.</sub>). Наименьшие средние значения получены в Новогрудке (0,1 ПДК<sub>с.с.</sub>).

Помимо стационарных измерений на станциях НСМОС, проводятся маршрутные и подфакельные измерения концентраций формальдегида в атмосферном воздухе населенных пунктов Беларуси центрами гигиены и эпидемиологии. Средняя концентрация формальдегида в атмосферном воздухе городов за период с 2008 по 2010 г. составила 9,1  $\text{мкг}/\text{м}^3$ , в городских поселках и сельских населенных пунктах – 6,4  $\text{мкг}/\text{м}^3$ .

**Среднее содержание формальдегида в атмосферном воздухе по типам станций и его динамика.** Согласно проведенному анализу, наибольшее количество станций в городах Беларуси относятся к смешанному типу (26 станций), 25 % относятся к транспортным (13 станций), 15 % – к промышленным (8 станций) и 23 % – к жилым (12 станций). Установлено, что в порядке возрастания среднегодовых концентраций формальдегида стационарные станции по типам зон наблюдений распределены следующим образом: промышленная (6,7  $\text{мкг}/\text{м}^3$ ), жилая (7,7), транспортная (8,2) и смешанная зона (8,3). На рис. 2 приведена динамика среднего содержания формальдегида в атмосферном воздухе различных функциональных зон.



**Рис. 2. Динамика среднего содержания формальдегида в различных функциональных зонах за период с 1991 по 2010 г.**

Динамика содержания формальдегида по типам станций имеет циклический характер (5–10 лет). По всем типам станций отмечено значительное снижение содержания формальдегида к 2000 г. и увеличение к 2006 г. В последние годы (2008–2010 гг.) наибольшие концентрации формальдегида в атмосферном воздухе характерны для транспортной и промышленной зон.

**Динамика среднегодового содержания формальдегида в атмосферном воздухе в городах Беларуси.** Проведен анализ динамики среднегодового содержания формальдегида в атмосферном воздухе по городам Беларуси за период с 1991 по 2010 г. Рост средних концентраций формальдегида в 2010 г. по сравнению с 1991 г. отмечен в четырех городах (Брест, Витебск, Минск, Орша), снижение – в трех (Бобруйск, Гомель, Полоцк); по сравнению с 2000 г. произошло увеличение среднего содержания формальдегида к 2010 г. в 11 городах и снижение – в 5 городах Беларуси.

В зависимости от характера изменений среднегодового содержания формальдегида в атмосферном воздухе города Беларуси условно разделены на три группы:

- с преимущественно восходящим трендом изменений;
- с преимущественно нисходящим трендом;
- не имеющие выраженного тренда.

К первой группе отнесены Брест, Минск, Орша, Пинск (рис. 3). За анализируемый период в городах произошло увеличение среднегодовых концентраций формальдегида на 30–96 %.

В Бресте за период с 1991 по 2010 г. средняя годовая концентрация формальдегида составила 8,4 мкг/м<sup>3</sup> с максимальным значением в 2007 г. (12,5 мкг/м<sup>3</sup>). Минимальное среднее содержание формальдегида зафиксировано в 1997 г. (6,8 мкг/м<sup>3</sup>). С 1991 по 1993 г. произошло резкое снижение содержания формальдегида в атмосферном воздухе города (на 77 %), далее, начиная с 1994 г., среднегодовое содержание формальдегида постепенно увеличивалось. В целом за двадцатилетний период наблюдений тренд изменения концентрации формальдегида в Бресте – восходящий ( $R = 0,50$ ).

В Минске с 1991 по 2010 г. средняя годовая концентрация формальдегида в атмосферном воздухе составила 5,5 мкг/м<sup>3</sup> с максимальным значением в 2006 г. (9,9 мкг/м<sup>3</sup>). Наименьшие концентрации формальдегида зафиксированы в 1997 г. (3,2 мкг/м<sup>3</sup>). С 1991 по 1997 г. произошло снижение концентраций формальдегида на 34 %, далее тренд среднегодового содержания формальдегида был преимущественно восходящий. В целом за рассмотренный период среднегодовое содержание формальдегида в атмосферном воздухе Минска возросло на 67 % ( $R = 0,55$ ).

Средняя годовая концентрация формальдегида в атмосферном воздухе Орши за период наблюдений составила 8,4 мкг/м<sup>3</sup> с максимальным средним значением в 2008 г. (14,3 мкг/м<sup>3</sup>). Наименьшие концентрации формальдегида зафиксированы в 1996 г. (4,0 мкг/м<sup>3</sup>). С 1991 по 1996 г. среднегодовая концентрация формальдегида в Орше снизилась на 84 %, с 1997 г. по 2008 г. произошел постепенный рост содержания формальдегида в атмосферном воздухе, с 2009 г. началось снижение среднегодовой концентрации формальдегида. В целом за весь период наблюдений тренд изменения концентрации формальдегида в Орше восходящий ( $R = 0,76$ ), средний уровень загрязнения атмосферного воздуха формальдегидом увеличился на 57,5 %.

В Пинске за период с 1994 по 2010 г. средняя годовая концентрация формальдегида составила 6,8 мкг/м<sup>3</sup> с максимальным значением в 2006 г. (12,7 мкг/м<sup>3</sup>). Наименьшие концентрации формальдегида зафиксированы в 2000 г. (1,0 мкг/м<sup>3</sup>). С 1994 по 2000 г. наблюдалось снижение содержания формальдегида в городе, с 2001 по 2010 г. – его рост. В целом за двадцатилетний период тренд изменения среднегодового содержания формальдегида в Пинске восходящий ( $R = 0,81$ ).

Ко второй группе отнесены Полоцк, Новополоцк, Мозырь и Гродно (рис. 4). За рассмотренный период снижение среднегодовых концентраций формальдегида в этих городах составило 25–99 %.

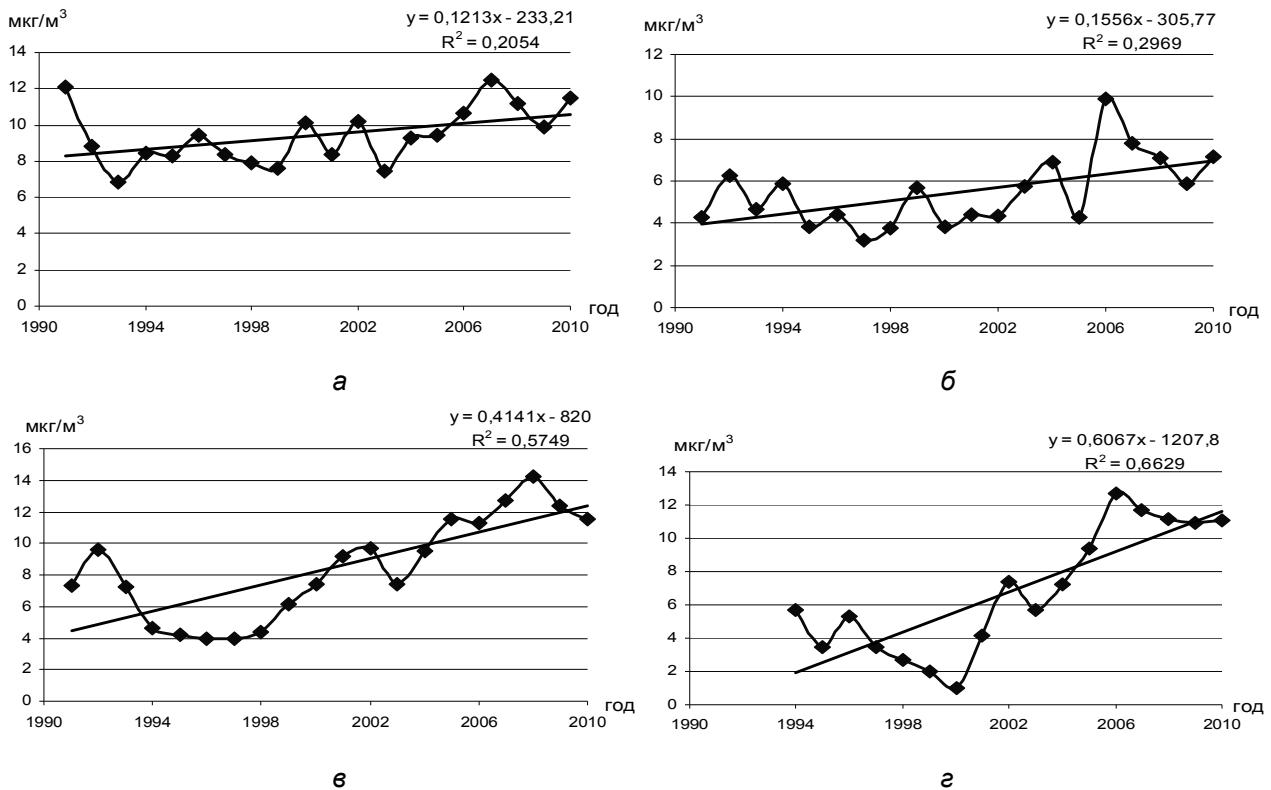


Рис. 3. Динамика изменений среднегодового содержания формальдегида в Бресте (а), Минске (б), Орше (в) и Пинске (г) за период с 1991 по 2010 г.

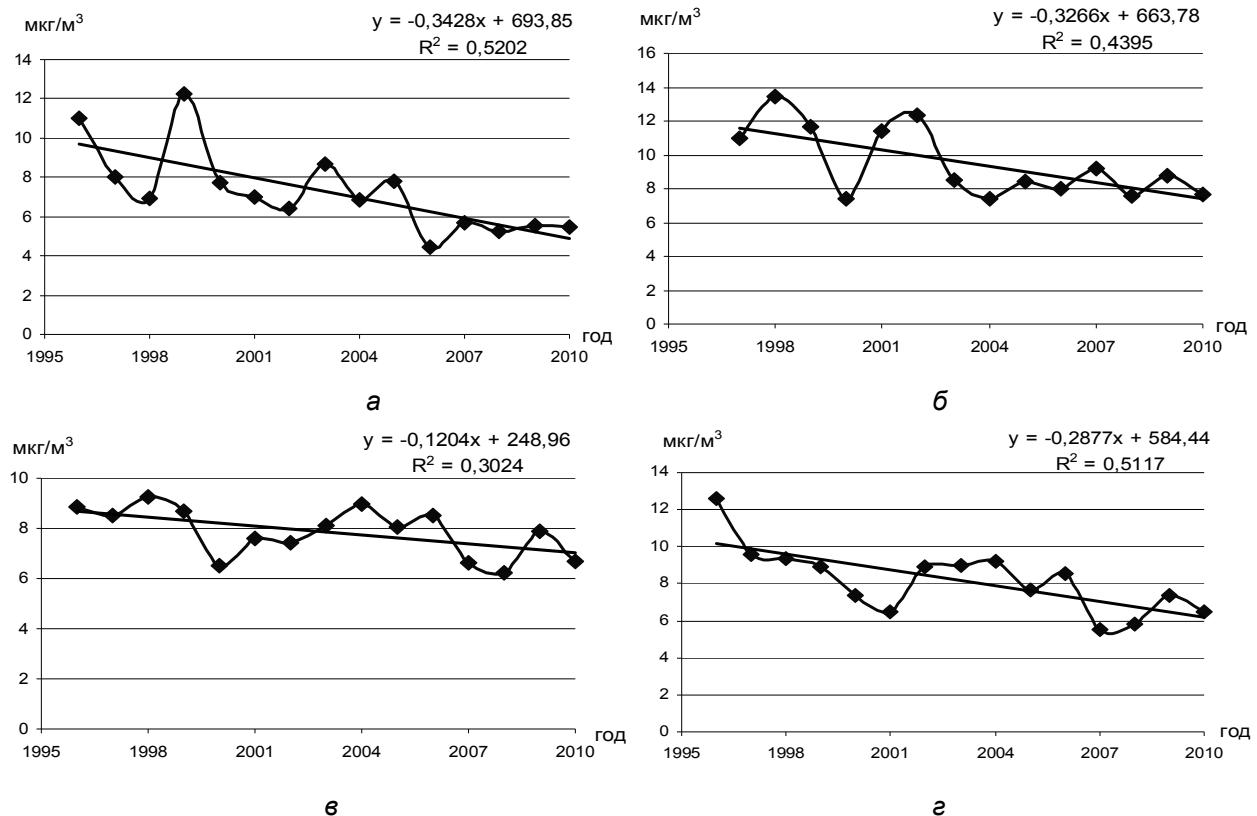


Рис. 4. Динамика изменений содержания формальдегида в Гродно (а), Мозыре (б), Полоцке (в) и Новополоцке (г) за период с 1996 по 2010 г.

Средняя годовая концентрация формальдегида в Гродно с 1996 по 2010 г. составила 7,4 мкг/м<sup>3</sup> с максимальным средним значением в 1999 г. (12,3 мкг/м<sup>3</sup>). Наименьшая среднегодовая концентрация формальдегида была в 2006 г. (4,7 мкг/м<sup>3</sup>). Тренд изменения среднегодовых концентраций формальдегида в Гродно нисходящий ( $R = 0,72$ ); за период наблюдений уровень загрязнения атмосферного воздуха в городе формальдегидом снизился на 28,5 %.

Среднегодовое содержание формальдегида в Мозыре за период с 1997 по 2010 г. изменялось в диапазоне от 7,4 до 13,4 мкг/м<sup>3</sup>. Тренд изменения среднегодовых концентраций формальдегида в Мозыре нисходящий ( $R = 0,66$ ); за период наблюдений уровень загрязнения атмосферного воздуха формальдегидом снизился на 29,9 %.

Среднегодовая концентрация формальдегида в Полоцке за рассмотренный период составила 7,9 мкг/м<sup>3</sup> с максимальным средним значением в 1998 г. (9,8 мкг/м<sup>3</sup>). В Новополоцке средняя за период концентрация составила 8,2 мкг/м<sup>3</sup> с максимумом в 1996 г. (12,6 мкг/м<sup>3</sup>). За исследуемый период произошло снижение величин среднегодовых концентраций формальдегида в Полоцке на 24,4 % и Новополоцке – на 48,2 %. Тренды изменений среднегодового содержания формальдегида – нисходящие ( $R = 0,55$  и 0,72 соответственно).

К третьей группе отнесены города, которые не имеют выраженного тренда среднегодового содержания формальдегида (Гомель, Речица, Светлогорск, Бобруйск, Могилев, Витебск). Динамика изменений среднегодового содержания формальдегида в указанных городах приведена на рис. 5.

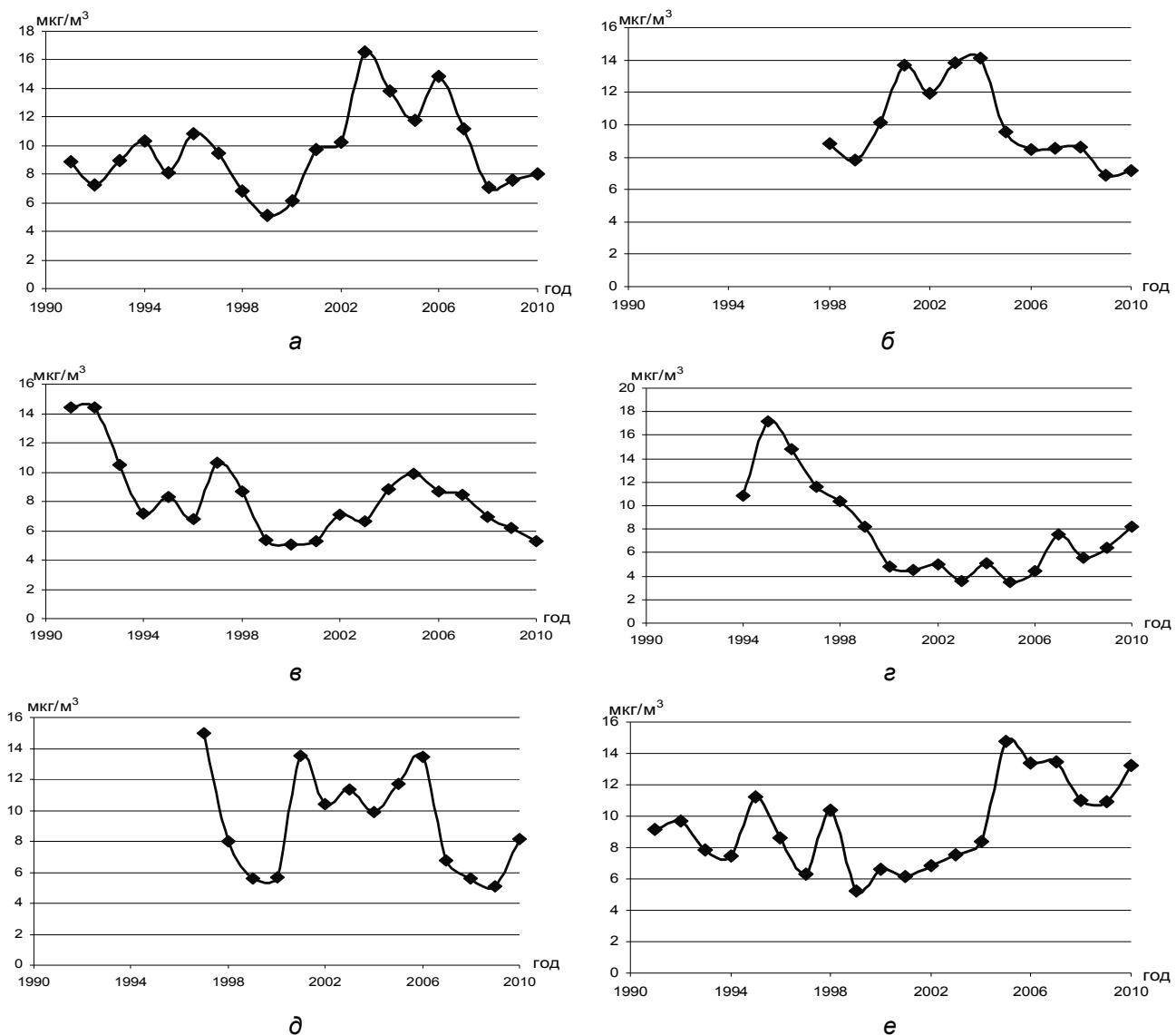


Рис. 5. Динамика изменений среднегодового содержания формальдегида в Гомеле (а), Речице (б), Бобруйске (в), Могилеве (г) и Светлогорске (д) и Витебске (е) за период с 1991 по 2010 г.

В Гомеле за период с 1991 по 2010 г. средняя годовая концентрация формальдегида составила 9,6 мкг/м<sup>3</sup>. Наибольшая среднегодовая концентрация формальдегида по всем станциям была в 2003 г. (16,5 мкг/м<sup>3</sup>); наименьшая – в 1999 г. (5,2 мкг/м<sup>3</sup>). Динамика изменения среднегодового содержания формальдегида в Гомеле не имеет устойчивого тренда. За двадцатилетний период наблюдений (1991–2010 гг.) среднегодовое содержание формальдегида уменьшилось на 9,8 %, в то время как за десятилетний период наблюдений (2000–2010 гг.) уровень загрязнения атмосферного воздуха формальдегидом в Гомеле увеличился на 29,7 %.

В Речице за период с 1998 по 2010 г. средняя концентрация формальдегида составила 9,8 мкг/м<sup>3</sup>. Наибольшая среднегодовая концентрация формальдегида по всем станциям была в 2004 г. (14,1 мкг/м<sup>3</sup>), наименьшая – в 2010 г. (7,2 мкг/м<sup>3</sup>). С 1998 по 2004 г. концентрация формальдегида в Речице увеличивалась (с 8,8 до 14,1 мкг/м<sup>3</sup>), с 2005 г. концентрация постепенно снижалась и в 2010 г. составила 7,2 мкг/м<sup>3</sup>.

Среднегодовое содержание формальдегида в Бобруйске за период с 1991 по 2010 г. варьировало в диапазоне 5,1–14,4 мкг/м<sup>3</sup>. Тренд изменения среднегодового содержания формальдегида в Бобруйске на большей части ряда нисходящий ( $R = 0,55$ ).

В Могилеве анализируемый интервал можно разделить на два периода: с 1994 по 2001 г. среднегодовая концентрация формальдегида снижалась; начиная с 2002 г., она постепенно увеличивалась. В целом за весь период средняя годовая концентрация формальдегида составила 7,8 мкг/м<sup>3</sup> с наибольшим среднегодовым значением в 1995 г. (17,1 мкг/м<sup>3</sup>) и наименьшим – в 2001 г. (4,5 мкг/м<sup>3</sup>).

В Светлогорске за период с 1997 по 2010 г. средняя годовая концентрация формальдегида составила 9,3 мкг/м<sup>3</sup> с наибольшим значением в 1997 г. (15,0 мкг/м<sup>3</sup>) и наименьшим в 2009 г. (5,1 мкг/м<sup>3</sup>).

В Витебске за период с 1991 по 2010 г. средняя годовая концентрация формальдегида

составила 9,4 мкг/м<sup>3</sup> с наибольшим значением в 2005 г. (14,7 мкг/м<sup>3</sup>) и наименьшим в 1999 г. (5,2 мкг/м<sup>3</sup>). За двадцатилетний период наблюдений с 1991 по 2010 г. уровень загрязнения атмосферного воздуха формальдегидом в Витебске увеличился на 30,5 %.

Проанализированы тенденции изменения средних годовых концентраций формальдегида в близкорасположенных городах (Бобруйск–Могилев, Гомель–Речица–Светлогорск, Полоцк–Новополоцк, Брест–Пинск); схожесть изменений среднегодовых концентрации формальдегида обнаруживается во всех парах городов (рис. 5–7).

**Сезонная динамика содержания формальдегида в атмосферном воздухе.** Проведено исследование сезонных изменений содержания формальдегида в Беларуси. Общеизвестно, что концентрация формальдегида возрастает летом при повышении температуры воздуха и усилении воздействия солнечной радиации [1, 2]. Аналогично в городах Беларуси, за период наблюдений (1991–2010 гг.) наибольшие средние концентрации формальдегида были характерны для летних месяцев (9,9 мкг/м<sup>3</sup>), далее следует осень (8,0), весна (7,8) и наименьшие концентрации формальдегида приходились на зимний период (6,8 мкг/м<sup>3</sup>).

Для изучения внутригодовых изменений концентрации формальдегида в атмосферном воздухе были использованы среднемесячные значения за период с 1991 по 2010 г. в 15 городах Беларуси (рис. 7).

Превышения ПДК<sub>с.с</sub> по формальдегиду в рассматриваемых городах наблюдались в летние месяцы. В период летнего максимума среднемесячные концентрации находились в пределах 1,7–18,0 мкг/м<sup>3</sup>. В зимнее время в этих городах концентрации колебались в пределах 1,1–9,5 мкг/м<sup>3</sup>. Такие изменения наблюдались практически ежегодно. Следует отметить, что даже в городах с низкими уровнями загрязнения воздуха формальдегидом (Новогрудок) четко прослеживается летний максимум.

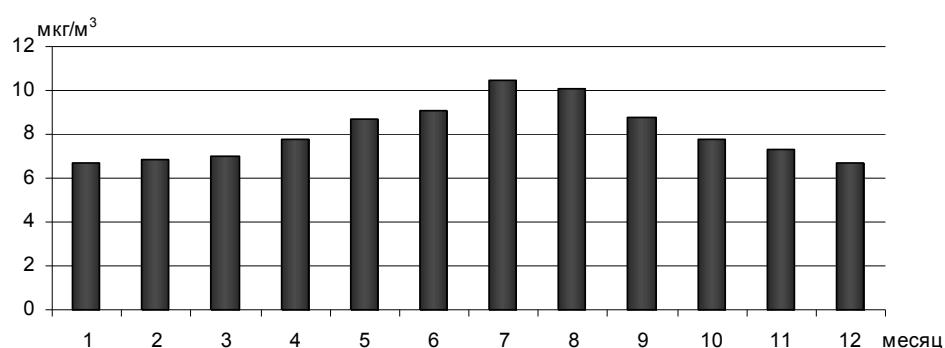


Рис. 6. Среднее содержание формальдегида в атмосферном воздухе в городах в Беларуси по месяцам за период с 1991 по 2010 г.

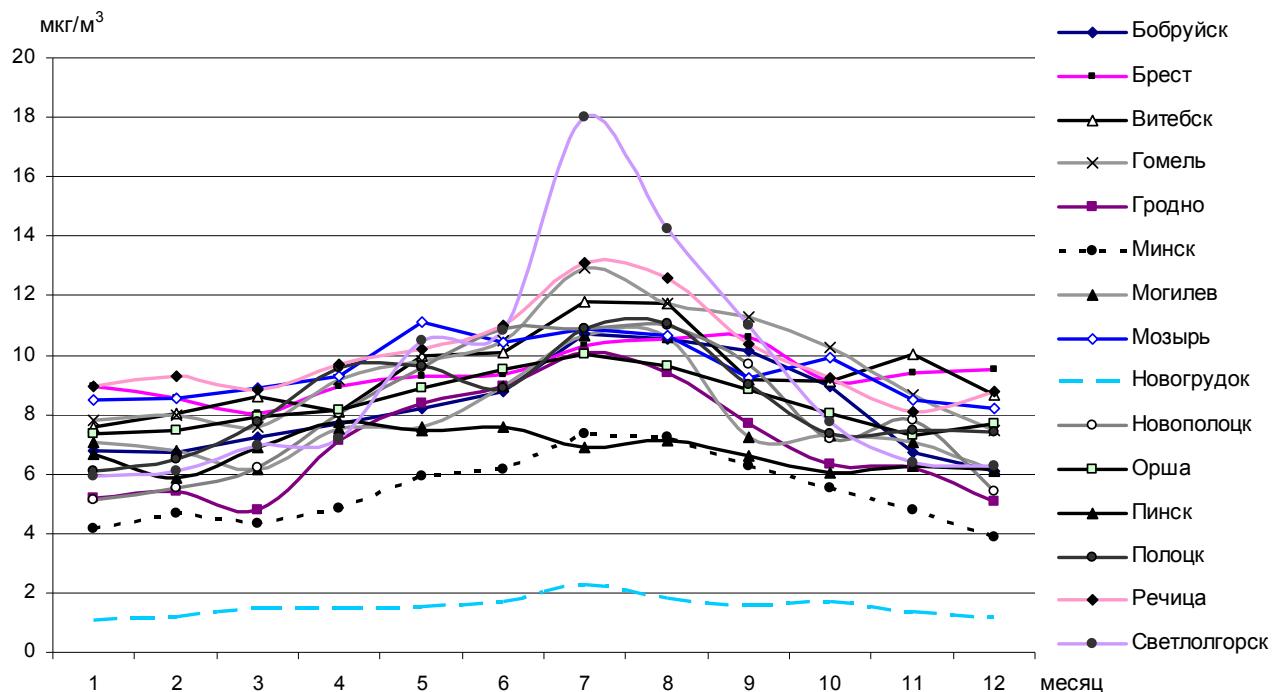


Рис. 7. Внутригодовая динамика содержания формальдегида в атмосферном воздухе городов Беларусь за период с 1991 по 2010 г.

Наиболее выраженная сезонная (внутригодовая) динамика содержания формальдегида в атмосферном воздухе за период с 1991 по 2010 г. выявлена в Светлогорске (содержание формальдегида в летние месяцы в 1,6 раза больше среднегодового значения), Гродно, Минске, Могилеве и Новополоцке (в 1,3 раза). Наименьшую выраженность внутригодовой динамики имеют Брест, Пинск и Мозырь. Выравненность годового хода свидетельствует о преобладании вклада первичного поступления формальдегида над фотохимическим образованием.

**Заключение.** Проведенный анализ многолетней динамики содержания формальдегида в атмосферном воздухе в 15 городах Беларусь выявил ряд особенностей. Установлен рост средних концентраций формальдегида в 2010 г. по сравнению с 2000 г. в 11 городах Беларусь; по отношению к 1991 г. среднее содержание формальдегида в атмосферном воздухе увеличилось в четырех городах, уменьшилось – в трех.

Проведенное исследование распределения средних концентраций формальдегида по типам зон наблюдений стационарных станций в городах Беларусь показало, что наиболее высокое его содержание характерно для станций смешанного типа.

Выделено три типа многолетней динамики содержания формальдегида в атмосферном воздухе городов Беларусь в зависимости от характера изменений среднегодового содержания: преимущественно восходящий, преимущественно нисходящий и без выраженного тренда.

Выявлена схожесть тенденций многолетних изменений концентрации формальдегида в атмосферном воздухе в близкорасположенных городах.

Описана внутригодовая динамика содержания формальдегида в атмосферном воздухе. Самые высокие значения средних концентраций формальдегида характерны для летних месяцев. В наибольшей степени летний максимум выражен в Светлогорске, Минске, Гродно, Могилеве и Новополоцке. В наименьшей степени сезонные различия присущи Солигорску, Бресту, Пинску и Мозырю.

Авторы выражают искреннюю признательность ГУ «Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга окружающей среды» Департамента по гидрометеорологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь за предоставленную информацию по результатам мониторинга воздушной среды городов в рамках НСМОС.

## Литература

1. Безуглая, Э. Ю. Исследование химических процессов в атмосфере по данным мониторинга в городах / Э. Ю. Безуглая, И. А. Воробьева, М. В. Полуэктова // Труды ГГО им. А. И. Войкова. Спб, 2009. Вып. 561. С. 164–184.

2. **Безуглая, Э. Ю.** Возможности оценки высоких концентраций формальдегида при изменении температуры воздуха / Э. Ю. Безуглая, М. С. Зайганова, Т. П. Ивлева // Труды ГГО им. А. И. Воейкова. Спб, 2012. Вып. 565. С. 89–101.
3. **Воробьев, И. А.** Исследование причин формирования повышенных концентраций формальдегида в атмосфере городов / И. А. Воробьев // Труды ГГО им. А. И. Воейкова. Спб., 2008. Вып. 557. С. 206–216.
4. **Какарека, С. В.** Формальдегид в атмосферном воздухе городов // Изв. РАН, Сер. географическая. 2012. № 4. С. 104–111.
5. **Какарека, С. В.** Анализ и оценка источников выбросов формальдегида в атмосферный воздух на территории Беларуси / С. В. Какарека, Ю. Г. Ашурко // Природопользование. Минск, 2012. Вып. 21. С. 75–82.
6. **Нормативы** предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и нормативы ориентировочно безопасных уровней воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест массового отдыха населения: утв. Постановлением Министерства здравоохранения, 30.12.2010, № 186.
7. **Проблемы** контроля содержания формальдегида в воздухе / А. Г. Малышева [и др.] // Гигиена и санитария. 2002. № 1. С. 73–76.
8. **Руководство** по контролю источников загрязнения атмосферы РД 52.04.186–89. М., 1991.
9. **Скубневская, Г. И.** Загрязнение атмосферы формальдегидом : аналит. обзор / Г. И. Скубневская; Ин-т хим. кинетики и горения. Новосибирск, 1994.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 19.04.2013 г.

**C. V. Какарека, Ю. Г. Кокош**

### **МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ФОРМАЛЬДЕГИДА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ГОРОДОВ БЕЛАРУСИ**

Приведены результаты анализа динамики содержания формальдегида в атмосферном воздухе в городах Беларуси. Проведено исследование распределения средних концентраций формальдегида по типам зон наблюдений станций в городах Беларуси. Выделено три типа многолетней динамики содержания формальдегида в атмосферном воздухе городов Беларуси. Проанализированы тенденции изменения средних годовых концентраций формальдегида в близкорасположенных городах Беларуси. Охарактеризована внутригодовая динамика содержания формальдегида.

**S. V. Kakareka, Y. G. Kokosh**

### **LONG-TERM DYNAMICS OF FORMALDEHYDE IN ATMOSPHERIC AIR OF CITIES IN BELARUS**

*Results of analysis of the dynamics of formaldehyde concentrations in the air in the cities of Belarus are summarized. The study of the distribution of average formaldehyde concentrations from types of observation stations zones in the cities of Belarus was conducted. Three types of long-term dynamics of formaldehyde content in the air of cities in Belarus were singled out. Trends of changes of annual average formaldehyde concentrations in closely placed cities of Belarus were analyzed. Annual dynamics of formaldehyde content was characterized.*

**Т. Д. Ярмошук<sup>1, 2</sup>, М. Минке<sup>2</sup>, В. А. Ракович<sup>1</sup>, Ю. Августин<sup>3</sup>, А. Тиле<sup>2</sup>,  
В. Г. Тихонов<sup>2</sup>, А. А. Чувашова<sup>2</sup>**

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭМИССИЙ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПРИ ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПОВТОРНОГО ЗАБОЛАЧИВАНИЯ ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*В статье представлены результаты лабораторного эксперимента по определению эмиссий парниковых газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) при имитации повторного заболачивания выработанного торфяного месторождения с доминирующим растительным сообществом *Urtica dioica*.*

Значительная часть запасов углерода сосредоточена в торфяных экосистемах. Так, занимая 3 % (около 400 млн га) территории суши Земли, торфяники содержат 550 Гт углерода, что вдвое больше, чем общие глобальные запасы углерода лесной биомассы [4]. Наибольший количественный вклад в источники и стоки парниковых газов вносит диоксид углерода. Его значение определяется балансом между двумя биосферными процессами – поглощением углерода из атмосферы растительным покровом с последующей его аккумуляцией в биомассе растений, а также освобождением углерода и его возвращением в атмосферу в ходе разложения органического вещества [1].

Повторное заболачивание является перспективным способом снижения эмиссий парниковых газов с торфяников [3] благодаря снижению минерализации торфа, развитию типичных для заболоченных территорий растительных сообществ-торфообразователей и последующему депонированию углерода в торфяную залежь. Повторное заболачивание также положительно влияет на восстановление типичного болотного биоразнообразия [6]. Однако в первые годы после повторного заболачивания выработанных и неэффективно используемых в хозяйственной деятельности торфяных месторождений наблюдаются высокие эмиссии метана ( $\text{CH}_4$ ) вследствие разложения органических веществ растений [5]. В связи с этим крайне важно планировать деятельность, предшествующую повторному заболачиванию, с целью минимизации эмиссий парниковых газов в атмосферу. Исследования эмиссий парниковых газов вследствие разложения органического вещества повторно заболоченной растительности уже проводили в лабораторных условиях в Германии [5]. Однако такие исследования следует продолжать. Учитывая, что их проводили на разных по степени осушения торфяниках, с разным направлением использования торфяных залежей, и в связи с активной деятельностью на территории нашей

страны международных проектов по гидрологической реабилитации выработанных торфяных месторождений, проведение аналогичных исследований для Беларуси является актуальным.

В качестве объекта исследования выбрано торфяное месторождение Бартениха ( $54^{\circ}05'900''$  N,  $26^{\circ}17'528''$  E), расположенное в Воложинском районе Минской области, на котором были отобраны образцы торфа и биомассы для экспериментальных исследований в лабораторных условиях. Торфяное месторождение Бартениха, кадастровый № 427, относится к низинному типу болот, и только 2 % его площади – к переходному. Данная территория была осушена в 1990 г., и до 1995 г. здесь интенсивно велась торфодобыча, после чего всякая деятельность была прекращена. В 2007 г. большая часть торфяного месторождения в рамках деятельности проекта ГЭФ была повторно заболочена, однако из-за различий в отметках поверхности некоторая часть осталась незаболоченной.

На незаболоченной территории преимущественно преобладают участки, не покрытые растительностью. Довольно часто древесный ярус представлен сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и бересой повислой (*Betula pendula*), среди кустарников типичными видами являются ежевика сизая (*Rubus caesius*) и малина обыкновенная (*Rubus idaeus*). Из травянистой растительности доминируют крапива двудомная (*Urtica dioica*), полевица побегоносная (*Agrostis stolonifera*), лапчатка норвежская (*Potentilla lugnega*) и др. Уровень грунтовых вод на исследуемой территории в среднем составлял приблизительно –30 см (ниже поверхности почвы), а глубина торфяной залежи в месте отбора проб – около 185 см.

Для дальнейшего исследования была выбрана *Urtica dioica* как один из наиболее часто встречающихся, типичных видов растительных сообществ, произрастающих на выработанных, неиспользуемых в хозяйственной деятельности торфяниках.

Чтобы определить какая часть растений вносит наибольший вклад в эмиссии парниковых газов, были подготовлены композиции в трехкратной последовательности в шести вариациях: 1) зеленая часть *Urtica dioica*; 2) зеленая часть + корни и корневища; 3) корни и корневища; 4) торф + зеленая часть + корни и корневища; 5) сухая часть крапивы, т. е. та, которая отмерла естественным путем; 6) торф без растительности как контрольная точка.

Отбор биомассы проводили в конце вегетативного периода (13.10.2011 г.). Крапива имела толстый стебель, высоту около 50 см, листву темно-зеленого цвета. Подготовку биомассы осуществляли следующим образом: растение аккуратно выкапывали, промывали проточной водой и сушили на ветру, не допуская увядания листьев. Для определения абсолютно сухого веса растения отбирали образцы биомассы в алюминиевые цилиндры и высушивали их при температуре 105 °С в течение 12 часов.

Для проведения эксперимента в лабораторных условиях брали емкости объемом 2 литра, в которые закладывали описанные композиции весом 40 г, в случае с торфом (композиция 4) брали 100 г торфа и по 15 г зеленой части крапивы и корневой части; масса сухой части композиции 5 составляла около 15 г.

Эти композиции заливали примерно на 6,5 см дистиллированной водой, и, соответственно, получили примерно 6,5 см воздушного пространства выше поверхности воды. В случае с торфом (контрольная точка) использовали емкость объемом 4 литра, на дно укладывали 10 см уплотненного влажного торфа и заливали водой выше поверхности торфа на 4 см. Емкости на протяжении всего лабораторного эксперимента оставляли открытыми, закрывали их только на время отбора проб газов.

Температуры воды и воздуха измеряли с применением электронных термометров Volcraft Der1R (Германия). Так температура воздуха варьировала от 17 до 25 °С, температура воды – 15–23 °С. Помимо этого, изменение температур непрерывно фиксировали на метеорологической станции фирмы Campbell Scientific Ltd (Германия). Температурные сенсоры Thermistor Probe определяли значения температур, а каждые 30 минут эти данные записывало устройство ввода и хранения данных (CR Datalogger).

Глубину торфа торфяного месторождения Бартениха определяли торфоотборочным буром ТБГ-66, а степень разложения – макроскопическим методом Д. П. Варлыгина [2] непосредственно в челноке бура, не нарушая структуры торфа. Для элементарного анализа торфа и биомассы использовали элементарный анализатор CHNOS марки Vario EL III. Значения pH измеряли карманным pH-метром Hanna Combo HI 98130 в 1 %-ном растворе KCl, калибровку

pH-метра осуществляли буферными растворами с 7,01 и 4,01.

Для отбора проб воздуха внутри емкости использовали пластиковые крышки с отверстием, на которые были установлены фиксирующие краны-затворы. Пробы газов отбирали в стеклянные колбы объемом 60 мл, которые предварительно были провакуумированы (давление внутри вакуумированной колбы составляло около 4 mBar), и за счет отрицательного давления внутри колбы газ из воздушного пространства в емкости с исследуемыми образцами поступал в колбу, которую затем закрывали вентилем. Пробы газов отбирали через каждые 2–5 минут, а в целом на одно измерение потока парниковых газов брали 4–5 колб. Таким образом получали поток газов за определенный промежуток времени. Далее пробы газов CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> анализировали на газовом хроматографе «Хроматек Кристалл 5000.2» с электронно-захватывающим детектором (ECD) и пламенно-ионизационным детектором (FID).

Для определения потоков парниковых газов (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) использовали пакет flux (<http://cran.r-project.org/web/packages/flux/flux.pdf>) для открытого программного обеспечения R, который был написан программистами из университета Ростока (Германия) Джеральдом Юрасинским (G. Jurasicki) и Франциской Коебсч (F. Koebisch). Пакет рассчитывал поток газа с использованием уравнения состояния идеального газа для получения количественного потока в единицу времени. В исходном коде пакета видна функция, на основании которой были произведены расчеты.

Для расчета уровня обмена диоксида углерода (CO<sub>2</sub>), метана (CH<sub>4</sub>) и закиси азота (N<sub>2</sub>O) в зависимости от линейных изменений концентраций парниковых газов в воздушном пространстве в течение времени экспозиции использовали уравнение, которое описано в работе [5]

Значения потоков получили в мкг C·m<sup>-2</sup> · ч<sup>-1</sup> или мкг N · m<sup>-2</sup> · ч<sup>-1</sup>. Для перевода этих единиц в мг CH<sub>4</sub>·C · кг<sup>-1</sup> С·день<sup>-1</sup>, мг CO<sub>2</sub>·C · кг<sup>-1</sup> С·день<sup>-1</sup> и в мг N<sub>2</sub>O·N·кг<sup>-1</sup> N·день<sup>-1</sup>, использовали уравнение (1).

$$F = \frac{f \cdot 24 \cdot S}{C \cdot 1000}, \quad (1)$$

где  $f$  – значения потоков в мкг C·m<sup>-2</sup> · ч<sup>-1</sup> или мкг N · m<sup>-2</sup> · ч<sup>-1</sup>;  $S$  – площадь поверхности, с которой определяются эмиссии парниковых газов, м<sup>2</sup>;  $C$  – содержание углерода и азота в субстрате (в зависимости от пересчитываемого газа), %.

В табл. 1 представлены результаты усредненного элементного анализа вегетативной части растений и торфа, выполненного на элементарном анализаторе CHNOS марки Vario EL III.

**Таблица 1.** Результаты элементарного анализа вегетативной части *Urtica dioica* и торфа

Часть растения	Содержание азота, %	Содержание углерода, %	Соотношение C/N
Корни и корневища	3,05 ± 0,71 (n* = 3)	42,2 ± 1,64 (n = 3)	14,4 ± 3,92 (n = 3)
Зеленые ростки	5,3 (n = 1)	40,7 (n = 1)	7,7 (n = 1)
Зеленая наземная часть	3,51 ± 0,33 (n = 3)	35,93 ± 0,80 (n = 3)	10,31 ± 0,74 (n = 3)
Сухая наземная часть	2,48 ± 0,50 (n = 2)	41,5 ± 0,89 (n = 2)	17,12 ± 3,61 (n = 2)
Торф	2,38 ± 0,14 (n = 3)	39,26 ± 0,40 (n = 3)	16,50 ± 0,82 (n = 3)

\*n – количество исследуемых образцов.

К подземной части растения условно отнесены корни, корневища, а также молодые ростки, в которых уже присутствует хлорофилл вследствие проникновения солнечного света через поры торфа.

Верхний слой торфа, на котором произошла исследуемая *Urtica dioica*, сильно минерализован, что явилось следствием длительного осушения территории. Зольность верхнего слоя

торфа по СТБ 2042-2010 составляла 30 %, массовая доля влаги по СТБ 2042-2010 – 68,3 %, степень разложения верхнего слоя по П. Д. Варлыгину – 45 %, значение кислотности в 1 %-ном растворе KCl – 4,76.

В табл. 2 представлены значения pH, электропроводности и содержания минеральных веществ в водных растворах исследуемых образцов через 15 дней после начала эксперимента.

**Таблица 2.** Значения ионопроводимости водных растворов исследуемых композиций через 15 дней после начала эксперимента

Композиция	Количество измерений	Кислотность (pH)	Электропроводность (ms)	Содержание минеральных веществ (ppt)
Зеленая часть	3	7,28 ± 0,14	2,27 ± 0,09	1,14 ± 0,03
Зеленая часть + корни и корневища	3	6,70 ± 0,11	1,84 ± 0,15	0,93 ± 0,08
Корни и корневища	3	6,54 ± 0,23	1,05 ± 0,29	0,52 ± 0,14
Торф + зеленая часть + корни и корневища	3	6,78 ± 0,21	1,01 ± 0,08	0,53 ± 0,03
Сухая часть	3	7,21 ± 0,22	1,26 ± 0,18	0,62 ± 0,09
Торф	1	5,68	0,38	0,19

В то же время значение pH воды составляло 7,45 ± 0,07 (n = 4). Из табл. 2 видно, что присутствие корневой части снижает количество свободных ионов водорода.

На рис. 1 представлены усредненные результаты измерений парниковых газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) в пересчете на углерод и азот.

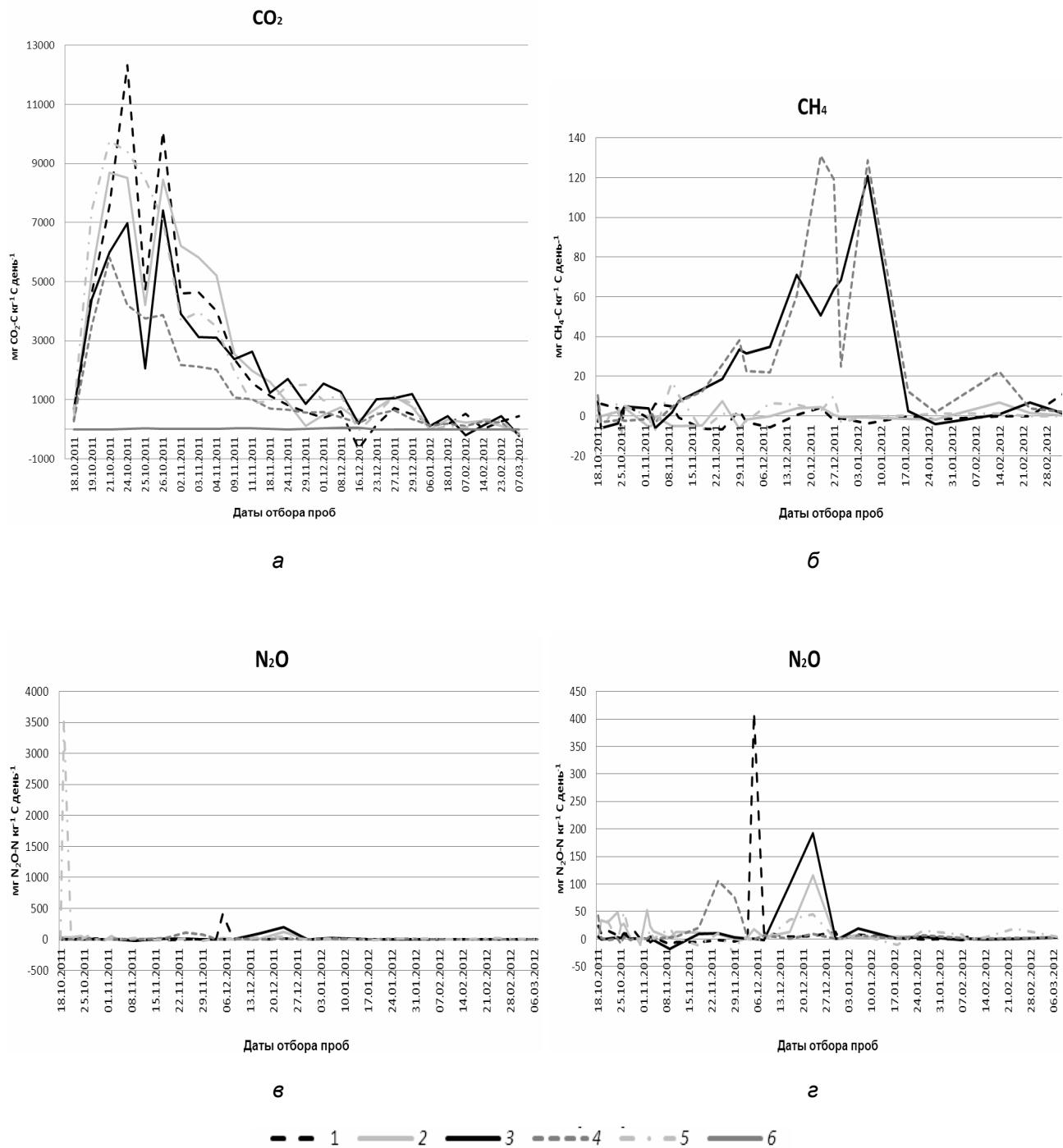
Из рис. 1, а видно, что наибольшие эмиссии  $\text{CO}_2$  наблюдались в первую неделю после начала эксперимента в композиции 1 (зеленая часть) – более 12 000 мг  $\text{CO}_2\text{-C} \cdot \text{kg}^{-1} \text{C} \cdot \text{день}^{-1}$ , а наименьшие – в композиции 4 (торф + зеленая часть + корни и корневища). Динамика потоков  $\text{CO}_2$  вполне ожидаемая: сначала были высокие эмиссии, что, возможно связано с преобладанием аэробных микроорганизмов, а после определенного времени стали преобладать анаэробные микроорганизмы, и поэтому эмиссии  $\text{CO}_2$  уменьшились.

Во всех композициях в первое время не наблюдалось эмиссий  $\text{CH}_4$  (рис. 1, б), что связано с преобладанием аэробных микроорганизмов над анаэробными. Однако спустя практически месяц в композициях 3 и 4 эмиссии метана начали расти до 130 мг  $\text{CH}_4\text{-C} \cdot \text{kg}^{-1} \text{C} \cdot \text{день}^{-1}$ , после чего

эмиссии метана резко сократились. В композициях 1, 2, 5 и 6 эмиссии метана оставались низкими на протяжении пяти месяцев эксперимента.

В композиции 5 (сухая часть) во второй день эксперимента наблюдались очень большие эмиссии  $\text{N}_2\text{O}$  (рис. 1, в). Для лучшей наглядности рисунка уберем эту точку, получившийся график представлен на рис. 1, г, из которого видно, что в первый месяц эксперимента присутствовал разброс точек, не наблюдалось последовательной динамики изменения эмиссии  $\text{N}_2\text{O}$ . Примерно в середине эксперимента у всех композиций (кроме композиции 5) наблюдались разовые пики, после которых разброс точек прекратился, а эмиссии  $\text{N}_2\text{O}$  оставались близкими к нулю.

На всех графиках видно, что эмиссии всех исследуемых парниковых газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) при затоплении торфа без растительной части находятся на нуле. Чтобы лучше видеть значения концентраций, на рис. 2 представлены потоки газов в композиции 6 (торф без растительности). Здесь эмиссии  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$  почти не наблюдались. Были отмечены незначительные выбросы  $\text{CO}_2$ , однако они слишком малы по сравнению с выбросами  $\text{CO}_2$  на рис. 1, а.



**Рис. 1. Динамика потоков CO<sub>2</sub> (а), CH<sub>4</sub> (б) и N<sub>2</sub>O (в и г) за пять месяцев эксперимента в пересчете на мг CO<sub>2</sub>-C · кг<sup>-1</sup> С · день<sup>-1</sup>, мг CH<sub>4</sub>-C · кг<sup>-1</sup> С · день<sup>-1</sup> и в мг N<sub>2</sub>O-N · кг<sup>-1</sup> N · день<sup>-1</sup>:** 1 – зеленая часть; 2 – зеленая часть + корни и корневища; 3 – корни и корневища; 4 – торф + зеленая часть + корни и корневища; 5 – сухая часть; 6 – торф без растительности

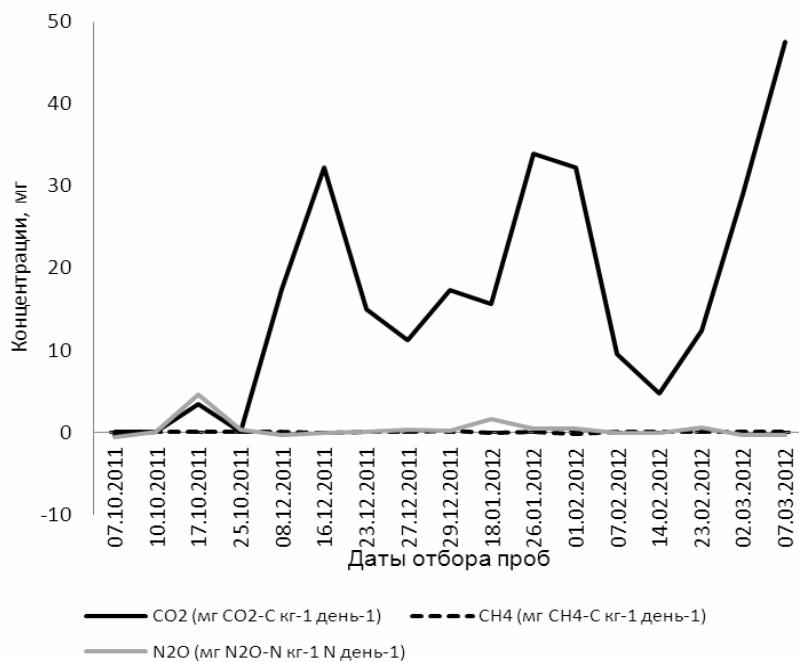


Рис. 2. Динамика потоков  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$  торфа без растительности за пять месяцев эксперимента

Выполнив интерполяцию потоков парниковых газов на весь период исследований, можно рассчитать какое количество азота и углерода было потеряно через эмиссии  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$  (табл. 3). Больше всего углерода находилось в композиции 4 (торф + зеленая часть + корни и корневища), в то же время значение эмиссий  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  находилось выше всех композиций с растительным материалом, и, соответственно, суммарные потери углерода вследствие эмиссий  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  являлись также самыми высокими, однако самыми низкими по отношению к общему содержанию углерода в композиции. Аналогично этому, наименьшее содержание углерода в композиции 5 (сухая часть), что связано с меньшим весом исследуемой биомассы; в то же время наименьшие суммарные потери углерода также наблюдались у этой композиции, основная часть углерода была израсходована на жизнедеятельность аэробных микроорганизмов (потери  $\text{CO}_2$  значительно выше потерь  $\text{CH}_4$ ). Углеродный бюджет остальных композиций с присутствием растительных частей отличался незначительно, поэтому и суммарные потери углерода различались незначительно; однако среди них не наблюдалась линейная зависимость. В композиции 6 (торф без растительности) содержание углерода достигло самого высокого значения, что связано с очень большим весом исследуемого торфа (по сравнению с другими композициями), однако суммарные потери углерода были минимальны. Этот факт еще раз доказывает влияние присутствия биомассы на эмиссии  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ .

Так же, как и для углерода, максимальное содержание азота наблюдалось в композиции 4 (торф + зеленая часть + корни и корневища), а минимальное – в композиции 5 (сухая часть). Однако потери азота вследствие денитрификации у всех субстратов с растительными частями находились примерно на одинаковом уровне. Затопление торфа без растительности высоких эмиссий  $\text{N}_2\text{O}$  не вызвало.

Результаты выполненного эксперимента подтверждают данные, полученные в работе [5]: распад растительного материала, но не торфа, является главным источником эмиссии парниковых газов из заболоченных торфяников.

Главный источник  $\text{CO}_2$  – зеленые и сухие надземные части суходольного растения *Urtica dioica* (композиции 1, 3, 5). Начальные эмиссии от разложения *Urtica dioica* в среднем в 30 раз выше, чем измеренные у канареекна тростниковыхидного (*Phalaris arundinacea*) [5], которые находились в пределах 12 000 мг  $\text{CO}_2\text{-C}$  · кг $^{-1}$  С·день $^{-1}$  и 400 мг  $\text{CO}_2\text{-C}$  · кг $^{-1}$  С·день $^{-1}$  соответственно. Главная причина этого, вероятно, не связана с различиями в истории землепользования и с тем, что были исследованы различные растения. Скорее всего, различия в эмиссиях  $\text{CO}_2$  возникли, так как *Urtica dioica* была отобрана с осущен-ного торфяника, и распад растительного органического вещества начался при затоплении биомассы в аэробных условиях; в то же время биомасса *Phalaris arundinacea* была отобрана после 2,5 лет повторного заболачивания, когда анаэробное разложение было уже в стадии реали-зации. Поэтому самые неустойчивые органиче-

ские соединения, такие, как сахара и гемицеллюлоза, в канареечнике *Phalaris arundinacea* отсутствовали. Именно с этим связаны высокие эмиссии CO<sub>2</sub> в крапиве. Такие предположения требуют детальной проверки в дальнейшем, однако подтверждаются тем фактом, что эмиссии CO<sub>2</sub> субстратов с *Urtica* падают после 2,5 месяцев экспериментального затопления в сравнении с аналогичным сроком в эксперименте [5] с *Phalaris*. Более высокие эмиссии парниковых газов в нашем эксперименте с *Urtica* связаны с тем, что температура условий среды была выше (средняя температура воздуха составляла 20,9 °C, а в эксперименте с *Phalaris* температура была 15 ± 1 °C). Эмиссии CO<sub>2</sub> из корней и корневищ (композиция 3) были меньше, чем от наземных частей *Urtica dioica*, максимальное значение составляло примерно 7000 мг CO<sub>2</sub>-С·кг<sup>-1</sup> С·день<sup>-1</sup>. Максимальные эмиссии CO<sub>2</sub> наземных частей + корни и корневища (композиция 2) являлись промежуточным значением композиций зеленой наземной части (композиция 1) и корней и корневищ (композиция 3), что позволяет сделать вывод о том, что эмиссии CO<sub>2</sub> различных частей растений различны. Соотношения C/N у различ-

ных частей растений были достаточно похожи, поэтому причиной различий эмиссий CO<sub>2</sub> стали скорее различия в количестве неустойчивых органических веществ или в силах химических связей. Сухая наземная растительная часть имела наименьшую концентрацию N и наибольшее соотношение C/N, в то же время являлась достаточно сильным источником эмиссии CO<sub>2</sub> в сравнении с зеленой наземной частью. Это вызывает интерес, потому что логично было бы предположить, что самые неустойчивые сахара были уже переданы корням и корневищам. Однако вероятно, что углеродные связи особенно слабы в сухих наземных частях, и это может компенсировать меньшее количество неустойчивых органических соединений. Также повлияла более высокая температура эксперимента. Намного ниже по сравнению с упомянутыми составами эмиссии CO<sub>2</sub> стала композиция торф + зеленая часть + корни и корневища (композиция 4), что было вызвано намного меньшим количеством растительного материала и тем фактом, что торф не выделяет много CO<sub>2</sub>, как было отмечено при контроле торфа без растительной части (композиция 6).

**Таблица 3. Бюджет углерода и азота при проведении лабораторного эксперимента по определению эмиссий парниковых газов при имитации повторного заболачивания низинного торфяника с доминирующим видом *Urtica dioica***

Искомая величина, единица измерения	Зеленая часть	Зеленая часть + корни и корневища	Корни и корневища	Торф + зеленая часть + корни и корневища	Сухая часть	Торф без растительности
CO <sub>2</sub> -С с площади емкостей за весь период эксперимента, г	16,157	18,904	19,220	20,263	9,657	1,799
CH <sub>4</sub> -С с площади емкостей за весь период эксперимента, г	0	0,012	0,394	0,702	0,015	0
N <sub>2</sub> O-N с площади емкостей за весь период эксперимента, г	0,024	0,018	0,027	0,026	0,034	0,003
Сумма потерь углерода в виде CO <sub>2</sub> и CH <sub>4</sub> , г	16,157	18,916	19,614	20,965	9,672	1,799
Количество С в емкостях, г	29,818	32,231	34,642	61,322	18,177	268,726
Количество N в емкостях, г	2,913	2,674	2,436	4,261	1,084	16,312
Ожидаемые потери С, г	13,662	13,315	15,028	40,358	8,505	266,928
Ожидаемые потери N, г	2,889	2,657	2,408	4,235	1,050	16,309
Отношение потерь углерода через эмиссии CO <sub>2</sub> и CH <sub>4</sub> к содержанию углерода в исследуемых композициях, %	54,185	58,689	56,619	34,188	53,211	0,669
Отношение потерь азота через эмиссии N <sub>2</sub> O к содержанию азота в исследуемых композициях, %	0,838	0,655	1,124	0,614	3,095	0,017

Эмиссии метана были существенными, как и в эксперименте [5], только для растительных субстратов, для торфа без растительности эмиссии метана отсутствовали. В нашем случае с *Urtica* эмиссии метана появились только через 2 месяца после начала эксперимента (в эксперименте с *Phalaris* эмиссии метана стали заметны уже через 10 дней после начала эксперимента) и максимальные эмиссии метана находились на уровне 130 мг СН<sub>4</sub>·С·кг<sup>-1</sup> С·день<sup>-1</sup> (максимум в эксперименте с *Phalaris* – 800 мг СН<sub>4</sub>·С·кг<sup>-1</sup> С·день<sup>-1</sup>). Более поздние эмиссии метана скорее всего произошли из-за небольшого количества метаногенных бактерий в начале исследований. Весьма отличается от исследований [5] тот факт, что не наземные части растения, а составы с корнями и корневищами стали источником высоких эмиссий метана (композиции 3 и 4 на рис. 1, б). Здесь можно видеть влияние различий в морфологии и физиологии *Phalaris* и *Urtica*: в то время, как первое растение содержит только корни, в крапиве присутствуют еще и корневища, которые богаты сахарами и другими легкоразлагающимися органическими соединениями. Главной причиной этих различий является тот факт, что подземная часть *Urtica* была изучена (вес, элементарный состав), в то время как композиция «торф с корнями» в эксперименте с *Phalaris* главным образом была представлена торфом. Низкие эмиссии метана композиции зеленая часть + корни и корневища (композиция 2) не являются заключительными на данном этапе исследований, в дальнейшем ожидается их повышение. Также трудно объяснить низкие суммарные эмиссии метана композиции наземной зеленой части *Urtica*. Высокие эмиссии СО<sub>2</sub> этой композиции указывают на высокую степень разложения лабильных органических веществ. Причиной низких эмиссий метана служит отсутствие достаточного количества метаногенных микроорганизмов в композиции с зеленой частью растения. Возможно, эмиссии метана могли быть выше, если бы была использована для затопления вода из болота.

Проанализировав табл. 3 с углеродным бюджетом, мы все же в дальнейшем ожидаем увеличение эмиссий метана.

Данных по эмиссиям N<sub>2</sub>O очень мало, поэтому тяжело выявить какую-либо зависимость эмиссий засыпи азота от каких-либо факторов. В эксперименте с *Urtica* высокий уровень эмиссий N<sub>2</sub>O происходил хаотично во всех композициях кроме торфа без растительности, что указывает на важность присутствия свежего органического вещества. N<sub>2</sub>O получался как побочный продукт в процессе денитрификации органического азота растительных субстратов. В некоторых субстратах выбросы N<sub>2</sub>O произошли раньше, в некоторых позже, также отличались концентрации N<sub>2</sub>O,

вызванные различным содержанием органического азота в субстратах. После 2,5 месяцев эксперимента количество доступного азота уменьшилось и, следовательно, эмиссии N<sub>2</sub>O уменьшились и приблизились к нулю. Этот результат подтверждает вывод [3] о том, что в целом повторное заболачивание снижает эмиссии N<sub>2</sub>O торфяников. Эмиссии N<sub>2</sub>O не наблюдались только из-за емкости с торфом без растительности, несмотря на то, что торф является продуктом неполного разложения растений торфообразователей. Можно предположить, что низкое содержание азота в торфе могло стать причиной низких эмиссий N<sub>2</sub>O, однако сухая наземная часть растения (композиция 5) имела подобное как у торфа (композиция 6) низкое содержание азота и большое соотношение С/N, однако эмиссии N<sub>2</sub>O непосредственно после затопления были существенными. Однако содержание азота не всегда коррелировало с эмиссией N<sub>2</sub>O. Чтобы найти причины в различиях эмиссий засыпи азота необходимо дополнительно оценивать количество присутствующих соединений азота.

Результаты выполненного эксперимента подтверждают полученные результаты [5] о том, что распад растительного материала, но не торфа, является главным источником эмиссии парниковых газов из заболоченных торфяников.

Благодаря выполненному эксперименту можно сделать заключение, что главной причиной высоких эмиссий парниковых газов из заболоченных торфяников является распад растительного материала. Поэтому перед осуществлением мероприятий по повторному заболачиванию низинных торфяников с доминирующим видом *Urtica dioica* идеальным было бы удалять верхний слой с растительностью или же осуществлять повторное заболачивание после окончания вегетативного периода, когда растительность отомрет. В последнем случае, однако, будут получены высокие эмиссии CO<sub>2</sub> и N<sub>2</sub>O от сухих наземных частей растений и высокие эмиссии метана от подземных частей растений. Так же возможно кошение биомассы с обязательным ее сбором. Таким образом, снижается процентное содержание затапливаемой биомассы, и в результате уменьшается эмиссии парниковых газов вследствие разложения легкоразлагаемых органических веществ растительности. Скошенную биомассу можно использовать на корм для животных, для получения пелет в энергетических целях и т. п. [6].

Мониторинг соединений С и N, так же, как Р и K в воде и в композициях, поможет лучше понять процессы эмиссий парниковых газов после повторного заболачивания. Кроме того, должны быть исследованы потенциальные выбросы парниковых газов от других типичных видов суходольных растений, которые могут разла-

гаться после повторного заболачивания торфяников. Измерения парниковых газов на аналогичных участках в природных условиях помогут проверить, в какой степени динамика парниковых газов, полученная в лабораторных условиях, соответствует природным условиям.

*Эксперимент по определению эмиссий парниковых газов после заболачивания выработанного неэффективно используемого торфяного месторождения низинного типа выполнен в рамках белорусско-немецко-британского проекта «Восстановление торфяников Бела-*

*руси и применение концепции их устойчивого управления – снижение воздействия на климат с эффектом для экономики и биоразнообразия» (BMU-No.:II.C53). Деятельность проекта осуществляется при поддержке Программы развития Организации Объединенных Наций в Беларусь (UNDP) и Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, финансируется Федеральным министерством охраны природы ФРГ, Германским банком развития (KfW), «Центром международной миграции и развития» (CIM, Германия).*

### Л и т е р а т у р а

1. Гинзбург, А. С. Значение болот России для смягчения антропогенного изменения климата / А. С. Гинзбург // Роль механизмов Киотского протокола в развитии лесо- и землепользования в России : материалы семинара. М., 2005.
2. Тюремнов, С. Н. Торфяные месторождения / С. Н. Тюремнов. 3-е изд, перераб. и доп. М., 1976.
3. Assessing greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as a proxy / J. Couwenberg, A. Thiele, F. Tanneberger, J. Augustin, S. Barisch, D. Dubovik, N. Liashchynskaya, D. Michaelis, M. Minke, A. Skuratovich, H. Joosten // Special Issue Wetland Restoration. Hydrobiologia, 2011. № 674. Р. 67–89.
4. Assessment on peatlands, biodiversity and climate change / F. Parish, A. Sirin, D. Charman, H. Joosten, T. Minaeva, M. Silvius // Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International Wageningen, 2008. 179 р.
5. Organic sediment formed during inundation of a degraded fen grassland emits large fluxes of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> // M. Hahn-Schöfl, D. Zak, M. Minke, J. Gelbrecht, J. Augustin, A. Freibauer // Biogeosciences. №8, 2011. Р. 1539–1550.
6. Tanneberger, F. Carbon credits from peatland rewetting / F. Tanneberger, W. Wichtman; eds. W. Wichtman // Schweizerbart Science Publishers. Stuttgart, 2011.

<sup>1</sup>Институт природопользования НАН Беларуси,

<sup>2</sup>Ахова птушак Бацькаўшчыны,

<sup>3</sup>Centre for Agricultural Landscape Research,

Institute for Landscape Matter Dynamics (Germany)

Поступила в редакцию 4.03.2013 г.

Т. Д. Ярмошук, М. Минке, В. А. Ракович,  
Ю. Августин, А. Тиле, В. Г. Тихонов, А. А. Чувашова

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭМИССИЙ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПРИ ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПОВТОРНОГО ЗАБОЛАЧИВАНИЯ ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Экспериментально доказано, что при заболачивании осушенного торфяного месторождения, неэффективно используемого в хозяйственной деятельности, существенные эмиссии парниковых газов (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) вызывает разложение суходольной растительности. Так, при затоплении в течение пяти месяцев торфа без растительности суммарные потери углерода в виде CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> составляют лишь 0,7 % от общего количества углерода в торфе, суммарные потери азота в виде N<sub>2</sub>O составляют 0,02 % от общего содержания азота в затопленном торфе. Экспериментальное заболачивание надземной зеленой части *Urtica dioica* вызвало 54,2 % потерю углерода в виде CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> и 0,8 % потерю азота в виде N<sub>2</sub>O; затопление композиции из зеленой части и корней *Urtica dioica* вызвало 58,7 % потерю углерода в виде CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> и 0,7 % потерю азота в виде эмиссий N<sub>2</sub>O; затопление корней *Urtica dioica* вызвало 56,6 % потерю углерода в виде CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> и 1,1 % потерю азота в виде эмиссий N<sub>2</sub>O; затопление композиции, состоящей из зеленой части *Urtica dioica*, корней и торфа, вызвало 34,2 % потерю углерода в виде эмиссий CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> и 0,6 %

потеря азота в виде эмиссий  $N_2O$ ; затопление сухой, отмершей естественным путем, надземной части *Urtica dioica* вызвало 53,2 % потеря углерода в виде  $CO_2$  и  $CH_4$  и 3,1 % потеря азота в виде эмиссий  $N_2O$ .

**T. D. Yarmoshuk, M. Minke, V. A. Rakovich,  
J. Augustin, A. Thiele, V. G. Tihonav, A. A. Chuvashova**

**ESTIMATION OF EMISSION OF GREENHOUSE GASES  
AT IMITATED MODELLING OF RE-WETTING OF DEGRADED PEATLANDS**

Experiments has proved that during the re-wetting of drained peatlands significant emissions of greenhouse gases emissions ( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ) are produced by decomposition of terrestrial vegetation. When peat without vegetation underwent five months flooding a total loss of  $CO_2$  and  $CH_4$  is only 0,7 % of the total amount of carbon in peat and total loss of  $N_2O$  is 0,02 % of total nitrogen content in flooded peat. Experimental re-wetting of green part of *Urtica dioica* caused 54,2 % loss of carbon as  $CO_2$  and  $CH_4$  emission and 0,8 % of nitrogen as  $N_2O$  emission; flooding of composition of green part and roots of the *Urtica dioica* caused 58,7 % loss of carbon as  $CO_2$  and  $CH_4$  emission and 0,7 % loss of nitrogen in the form of  $N_2O$  emission; the *Urtica dioica* root flooding caused 56,6 % loss of carbon as  $CO_2$  and  $CH_4$  emission and 1,1 % loss of nitrogen in the form of  $N_2O$  emissions; the flooding of composition consisting of green part of the *Urtica dioica*, roots and peat caused 34,2 % loss of carbon in the form of  $CO_2$  and  $CH_4$  emissions and 0,6 % loss of nitrogen in the form of  $N_2O$  emissions; flooding of dry, naturally dead above ground part of the *Urtica dioica* caused 53,2 % loss of carbon in the form of  $CO_2$  and  $CH_4$  emissions and 3,1 % loss of nitrogen in the form of  $N_2O$  emissions.

**М. И. Струк, С. Г. Живнач, Г. М. Бокая**

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИГОРОДНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ МИНСКА

*Представлена геоэкологическая оценка пригородных водохранилищ Минска, которая включает оценку внешних и внутренних факторов формирования качества их вод, а также их химического загрязнения. В составе внешних факторов рассмотрено экологическое состояние водохранилищ, в составе внутренних – объем, глубина, проточность и стадии развития водохранилищ. Определены различия между водоемами по повторяемости и интенсивности загрязнения биогенными веществами и их влияние на концентрацию этих веществ*

Пригородные водохранилища Минска активно используются для отдыха и оздоровления городских жителей. На их базе созданы крупные рекреационные зоны, которые имеют не только местное, но и республиканское значение. Поэтому обеспечению должного качества вод этих водоемов должно уделяться первоочередное внимание.

Указанная проблема находит отражение в проводимых научных исследованиях. Вопросы экологического состояния ряда пригородных водохранилищ выступали предметом специальных проработок [6, 11, 12, 17, 19]. Некоторые из них являются объектами мониторинга, осуществляемого Республиканским центром радиационного контроля и мониторинга по гидрохимическим и гидробиологическим показателям и Республиканским центром гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья – по бактериологическим показателям [16].

Вместе с тем проводимые исследования охватывают не весь набор основных пригородных водохранилищ, по отдельным водохранилищам ряды наблюдений небольшие. На водохранилищах Заславское, Вилейское и Дрозды имеются достаточно длительные ряды наблюдений, на водохранилищах Дубровенское, Волма и Вяча наблюдения начались в последние годы. Как правило, в исследованиях мало внимания уделяется факторам формирования качества вод водохранилищ и ситуации в пределах их водохранилищ. В связи с этим проведено исследование по сравнительной геоэкологической оценке пригородных водохранилищ Минска. При этом решались две задачи. Одна из них направлена на оценку факторов формирования качества вод водохранилищ, вторая – на оценку их химического загрязнения.

Объектом изучения выступили 8 пригородных водохранилищ, расположенных на удалении до 15 км от города: Заславское, Криница, Дрозды, построенные на р. Свисочи, Волма (р. Волма), Вяча (р. Вяча), Дубровенское (р. Усяжа), Птичье (р. Птичье), Стайки (р. Тростянка). Также изучалось более удаленное Вилейское водохранилище (р. Вилия), водные ресурсы которого ис-

пользуются для подпитки водоемов, расположенных на р. Свисочи.

Материалами для оценки факторов формирования качества вод водохранилищ послужили литературные, статистические и картографические источники. Анализ их химического загрязнения выполнен по собственным данным авторов, полученным в результате полевых исследований, проведенных на рассматриваемых водохранилищах. На всех их, а также на речных створах, расположенных выше и ниже водохранилищ, осуществлялся отбор проб по сезонам года в период 2009–2012 гг. Всего из каждого водоема, а также речного створа выше и ниже его отобрано и проанализировано по 16 проб.

**Факторы формирования качества вод.** На формирование качества вод водохранилищ оказывают влияние две группы факторов: внешние и внутренние. Химический состав речных вод, наполняющих водохранилища, зависит от природных процессов и антропогенного воздействия на водохранилище и в значительной мере определяет химический состава вод водохранилищ. Действие внутренних факторов на формирование качества вод проявляется двояко. С одной стороны, происходит их самоочищение за счет седimentации, отстоя, разбавления, деструкции (разрушения) органических веществ. С другой стороны, замедление водообмена, термическая и кислородная стратификация, развитие органической жизни, способствуют усилению эвтрофирования и ухудшению качества вод в том случае, когда существенно усиливается интенсивность антропогенных воздействий [2, 6, 7, 10, 15]. В целом водохранилища более уязвимы к загрязнению, чем реки [1].

При выделении внешних и внутренних факторов формирования качества вод водохранилищ особое вниманиеделено факторам, определяющим состояние водохранилищ, в том числе антропогенным. Рассматриваемые факторы представлены на рис. 1.

Определяющим внешним фактором является экологическое состояние водохранилища и самой водохранилища. Данное состояние

зависит он наличия и размещения в пределах бассейна объектов, выступающих источниками воздействий на водные ресурсы, с одной стороны, и объектов экологической стабилизации, с другой стороны. Загрязняющее влияние источников воздействий на реку и водохранилище может осуществляться путем сбросов в них сточных вод, площадного смыва загрязняющих веществ, а также их поступления с подземными водами. Среди внутренних факторов, от которых зависит

качество вод и устойчивость водоема к загрязнению, выделяются: объем водной массы водохранилища, его глубина, проточность, донные отложения, уровень трофности водоемов.

Для рассматриваемых пригородных водохранилищ собраны и обобщены количественные показатели, характеризующие указанные факторы (табл. 1). Они обеспечивают возможность проведения сравнительной оценки водохранилищ.

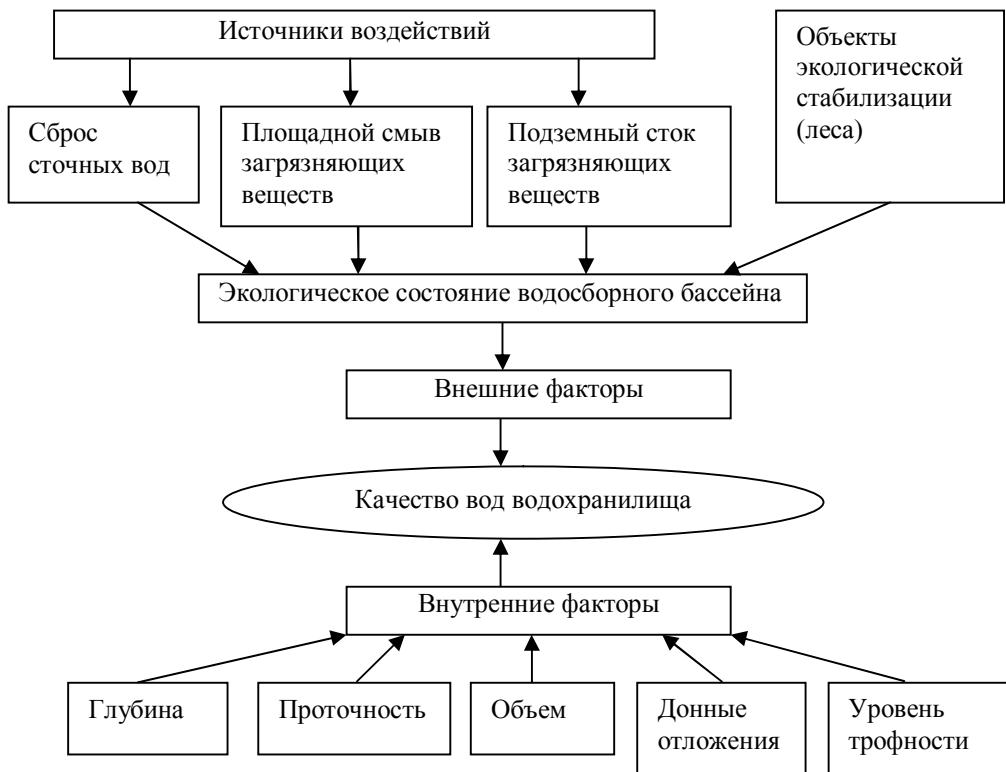


Рис. 1. Факторы формирования качества вод водохранилищ

Таблица 1. Факторы формирования качества вод водохранилищ [3, собственные данные авторов]

№ п/п	Фактор	Заславское	Криница	Дрозды	Волма	Птичье	Стайки	Вилейское	Дубровенское	Вяча
1	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	562	610	649	214	143	86	4120	201	10 8
2	Лесистость водосбора, %	28	28	28	63	17	22	51	28	64
3	Площадной смыв с водосбора, т/га	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,2	0,3	0,5	0,4
4	Застойка водосбора, %	11	10	13	4	5	30	6	4	5
5	Число животноводческих комплексов на водосборе	9	—	—	—	2	—	7	1	1
6	Объем воды, млн м <sup>3</sup>	100,0	1,8	5,7	15	2,8	0,3	238	22,4	5,1
7	Средняя глубина, м	3,9	1,9	2,7	3,2	3,3	3,3	3,7	6,5	3,0
8	Наибольшая глубина, м	8,6	5,2	6,0	—	6,5	—	13,0	14,0	8,0
9	Водообмен, число раз за год	3,2	122,0	52,0	3,0	11,0	40,0	2,0	2,4	5,0

**Внешние факторы.** В пределах бассейнов рек, на которых построены пригородные водохранилища, не имеется источников отведения сточных вод. Основную опасность загрязнения для большинства из них представляют сельскохозяйственные угодья, сельские населенные пункты, а также дороги. Ведущим фактором экологической стабилизации являются леса.

По показателю лесистости изучаемые бассейны существенно различаются. Наиболее высокие его значения (свыше 50 %) отмечаются у бассейнов водохранилищ Вилейское, Вяча, Волма; самые низкие – у водохранилищ Стайки (22 %) и Птич (17 %).

С лесистостью бассейнов согласуется степень их застройки. Бассейны с низкой лесистостью характеризуются более высокой долей застроенных земель. Особенно выделяется в данном отношении бассейн водохранилища Стайки, у которого застроено 30 % площади, в том числе 10 % приходится на городские земли Минска.

Наиболее неблагоприятным является сочетание низкой лесистости бассейнов с их высокой эрозионной опасностью, поскольку в этом случае повышается угроза загрязнения и заиливания водоемов почвенными частицами. Применительно к рассматриваемым бассейнам выполнены расчеты возможного смыва почвы с их территории. Для этого была построена карта рельефа по данным космического агентства США (SRTM) [21]. Расчеты проводились по формуле [18]

$$q = 0,018(S_1 I_1^{3,11} + S_2 I_2^{3,11} + \dots + S_n I_n^{3,11}),$$

где  $q$  – смыв почвы с территории района, т;  $S_1, S_2, \dots, S_n$  – площадь склонов с выделенной градацией уклонов, га;  $I_1, I_2, \dots, I_n$  – средний уклон выделенной градации, град.

Результаты расчетов показали, что показатель смыва почв меняется от минимальных значений 0,2–0,3 т/га в бассейнах водохранилищ Стайки и Вилейское до 0,5 (водохранилища Волма и Дубровенское) и 0,7 т/га (водохранилище Птич). Принимая во внимание низкую лесистость двух последних бассейнов (в первую очередь водохранилища Птич), можно определить их как наиболее уязвимые к загрязнению продуктами почвенной эрозии.

Среди локальных источников загрязнения вод на территории водосборных бассейнов следует выделить животноводческие комплексы. Самая большое их количество и высокая плотность имеют место в бассейне Заславского водохранилища. Все они размещаются на достаточно большом удалении от рек. Поэтому их загрязняющее влияние на реки будет проявляться не непосредственно, а через поверхностный, почвенно-поверхностный, почвенно-грунтовый и грунтовый сток.

С учетом всех рассмотренных факторов можно провести группировку бассейнов по экологическому состоянию. Наиболее напряженным оно будет у бассейнов водохранилищ Стайки, Птич и Дубровенское. Для первого из них факторами такой напряженности будут низкая лесистость, высокая застройка, а также наличие на территории полигонов складирования отходов Тростенец, который выступает локальным источником загрязнения вод. Для двух других – низкая лесистость в сочетании с высокой эрозионной опасностью.

Менее напряженным экологическим состоянием будут характеризоваться бассейны водохранилищ, расположенных на р. Свисочи – Заславского, Криницы и Дрозды. Они отличаются умеренными показателями лесистости и эрозионной опасности. Сравнительно благоприятным будет экологическое состояние бассейнов водохранилищ Вилейское, Вяча и Волма за счет их высокой лесистости и низкой застройки.

**Внутренние факторы.** Водоемы с большим объемом водной массы обладают большей разбавляющей способностью, а следовательно, и устойчивостью к загрязнению. Максимальной его величиной отличаются Вилейское и Заславское водохранилища. Минимальный объем, а значит и минимальную устойчивость по признаку разбавляющей способности, имеет водохранилище Стайки.

Проточность водохранилища выражается через показатель водообмена: сколько раз в течение года происходит полное обновление объема водохранилища. Значение водообмена было рассчитано как отношение объема стока с территории бассейна за год к объему водохранилища. Чем выше водообмен, тем более устойчивым к загрязнению является водоем. Наиболее высокой проточностью выделяются водохранилища Криницы и Дрозды, находящиеся в каскаде с Заславским водохранилищем и имеющие водообмен 122 и 52 раза соответственно. Достаточно высоким он является также у водохранилищ Стайки, Птич и Вяча, для которых водообмен равен 40, 11 и 5 раз соответственно, а самым низким – у Дубровенского водохранилища с водообменом равным 2 раза.

Средняя глубина водохранилищ является фактором их устойчивости к развитию процессов «цветения» воды. Мелководные водохранилища хорошо прогреваются летом и обладают низкой устойчивостью к массовому размножению фитопланктона. Глубоководные водоемы более устойчивы. Наибольшую среднюю глубину равную 6,2 м имеет Дубровенское водохранилище, наименьшую – водохранилища Стайки и Криницы (средняя глубина – 1,6 и 1,9 м соответственно).

Что касается донных отложений, то в некоторых случаях они могут служить источником вторичного загрязнения водной толщи органиче-

скими веществами [6]. Водохранилища, в которых представлены торфяные отложения, часто характеризуются повышенной цветностью воды, отражающей присутствие органических веществ. Такой повышенной цветностью отличается, в частности, Вилейское водохранилище.

Гидрохимический режим водоема находится в тесной связи с трофическим уровнем, который во многом определяется стадией развития водохранилища. Согласно [20], выделены три группы водохранилищ: молодые слабоэвтрофные, с умеренным поступлением эвтрофирующих веществ; среднеэвтрофные, с умеренной степенью антропогенных трансформаций; старые высокоэвтрофные, с признаками антропогенного загрязнения.

Для некоторых из рассматриваемых водохранилищ трофические уровни определены [6, 13, 20]. Так, водохранилища Вилейское, Криница, Дрозды характеризуются как слабоэвтрофные, Заславское водохранилище – как среднеэвтрофное, водохранилище Птичь отнесено к высокоэвтрофным.

#### **Химическое загрязнение водохранилищ.**

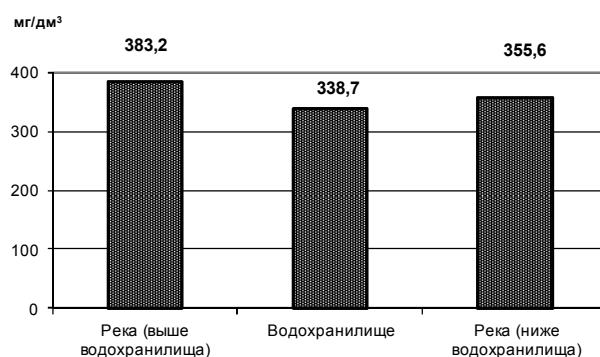
Для оценки степени загрязнения поверхностных вод применяются преимущественно хозяйствственно-питьевые и рыбохозяйственные нормативы их качества. При одновременном использовании водного объекта по нескольким видам водопользования выбор критерииов оценки осуществляется исходя из приоритета наиболее жестких норм. Оценка химического загрязнения водоемов в данной работе опирается на использование ПДК химических веществ для водоемов рыбохозяйственного назначения как на более жесткие.

**Основные ионы.** В результате выполненных гидрохимических исследований в 2009–2012 гг. установлено, что для данного периода средняя общая минерализация вод большей части исследуемых водохранилищ различается не существенно. Она изменяется от 255,5 (Вяча) до 325,9 (Птичь) мг/дм<sup>3</sup>. Исключение составляет водохранилище Стайки, где концентрация всех определяемых ионов примерно в 2 раза выше (612,3 мг/дм<sup>3</sup>). Все водоемы относятся к гидрокарбонатно-кальциевому классу, кроме водохранилища Стайки, в котором среди катионов на первое место выходят ионы Na<sup>+</sup>.

Во внутригодовой динамике общей минерализации максимальные ее значения наблюдаются зимой, минимальные – весной, а для отдельных водоемов (Волма, Дубровенское, Стайки) летом. Более высокая минерализация в зимний период соответствует естественному гидрохимическому режиму озер Беларуси [5]. Уменьшение ее весной, по-видимому, связано с притоком речных вод.

Уровень минерализации вод в водохранилищах снижается по сравнению с поступающими в них речными водами (рис. 2). В реке ниже во-

дохранилища он несколько повышается, но остается более низким по сравнению с речным створом на входе в водохранилище. Тем самым прослеживается своеобразная опресняющая роль водохранилищ.



**Рис. 2. Среднегодовая минерализация вод пригородных водохранилищ Минска и рек, на которых они построены, за 2010–2012 гг., мг/дм<sup>3</sup>**

В водах большинства водохранилищ и рек, на которых они построены, за период наблюдений выявлено превышение концентраций хлоридов над сульфатами (в 2,2 раза в водохранилищах, в 2,7 раза – в реках), что не соответствует их естественному гидрохимическому режиму [6]. Подобное нарушение соотношения между содержанием ионов в воде указывает на то, что гидрохимический режим водоемов подвержен трансформирующему влиянию хозяйственной деятельности. В первую очередь это относится к водохранилищам Стайки, Птичь, Заславское, Дрозды, Дубровенское, которые отличаются более высоким хозяйственным освоением водосборов.

**Биогенные вещества.** На экологическое состояние пригородных водохранилищ наибольшее влияние оказывают биогенные вещества: соединения азота и фосфора, способствующие их эвтрофированию. За рассмотренный период наблюдений в воде всех водоемов периодически фиксировались превышения ПДК по азоту аммонийному, азоту нитритному, фосфору фосфатов (табл. 2). Максимальные величины азота аммонийного составили 34 ПДК (водохранилище Стайки), азота нитритного – 13 ПДК (водохранилище Стайки) и фосфора фосфатов – 1,9 ПДК (водохранилище Волма).

Превышения ПДК среднегодовых значений соединений азота отмечаются для водохранилища Стайки. Причем они довольно значительны, составляя по азоту нитритному 3,3 ПДК и азоту аммонийному – 21,5 ПДК. Среднегодовое содержание нитритов выше допустимого (1,3 ПДК) зафиксировано также в воде водохранилища Волма.

**Таблица 2. Пределы и среднее содержание биогенных элементов в воде пригородных водохранилищ Минска, 2009–2012 гг.**

Водохранилище	Азот аммонийный, мгN/дм <sup>3</sup>	Азот нитритный, мгN/дм <sup>3</sup>	Азот нитратный, мгN/дм <sup>3</sup>	Фосфор фосфатов, мгP/дм <sup>3</sup>
Заславское	<u>0,04–0,48</u> 0,11	<u>0,002–0,049</u> 0,009	<u>0,04–1,76</u> 0,52	<u>0,005–0,069</u> 0,019
Криница	<u>0,03–0,39</u> 0,09	<u>0,002–0,024</u> 0,009	<u>0,09–1,81</u> 0,64	<u>0,003–0,047</u> 0,016
Дрозды	<u>0,07–0,25</u> 0,09	<u>0,001–0,125</u> 0,016	<u>0,04–1,9</u> 0,60	<u>0,006–0,069</u> 0,016
Волма	<u>0,08–0,22</u> 0,09	<u>0,013–0,219</u> 0,03	<u>0,02–6,46</u> 1,72	<u>0,008–0,126</u> 0,019
Птичъ	<u>0,08–0,82</u> 0,19	<u>0,005–0,058</u> 0,013	<u>0,10–5,42</u> 2,00	<u>0,003–0,081</u> 0,025
Стайки	<u>0,96–13,38</u> 6,67	<u>0,012–0,320</u> 0,079	<u>0,47–7,54</u> 2,40	<u>0,003–0,039</u> 0,017
Вилейское	<u>0,03–0,56</u> 0,20	<u>0,002–0,149</u> 0,013	<u>0,07–3,77</u> 1,28	<u>0,003–0,090</u> 0,013
Дубровенское	<u>0,03–0,31</u> 0,08	<u>0,002–0,073</u> 0,015	<u>0,05–5,92</u> 1,43	<u>0,027–0,105</u> 0,010
Вяча	<u>0,05–0,50</u> 0,12	<u>0,001–0,030</u> 0,009	<u>0,07–3,61</u> 1,29	<u>0,003–0,075</u> 0,010
ПДК	0,39	0,024	9,03	0,066

*Примечание.* В числителе приведены пределы содержания, в знаменателе – среднее значение. Полужирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК.

В сезонном распределении случаев биогенного загрязнения водохранилищ большая их часть приходится на зиму – 32 % от общего числа. Далее следуют осень (29 %), лето (21 %) и минимальная повторяемость приходится на весну – 18 %. Для различных веществ выделяются разные сезоны с более высокой повторяемостью концентраций выше ПДК. Так, для азота аммонийного и фосфора фосфатов это зима, азота нитритного – лето и осень.

Доля всех водных проб, в которых фиксировались превышения ПДК хотя бы по одному из биогенных элементов, является довольно высокой, составляя 36 % от их общего количества

(табл. 3). Основную роль в данном отношении играют соединения азота нитритного и азота аммонийного, по каждому из которых отмечены повышенные концентрации в пятой части проб, по фосфору фосфатов их доля в 2 раза меньше. Опираясь на приведенные в таблице данные можно определить степень устойчивости биогенного загрязнения водохранилищ. Так, к водохранилищам с устойчивым загрязнением относится водохранилище Стайки; с неслучайным характером процесса загрязнения – Птичъ, Волма, Вилейское; с периодическим загрязнением – Заславское, Криница, Дрозды, Дубровенское и Вяча.

**Таблица 3. Частота превышения ПДК биогенных элементов в воде пригородных водохранилищ Минска, 2009–2012 гг., %**

Водохранилище	Число проб	Азот нитритный	Азот аммонийный	Фосфор фосфатов	Всего выше ПДК
Заславское	16	13	19	13	<b>25</b>
Криница	16	–	6	6	<b>13</b>
Дрозды	16	13	–	6	<b>19</b>
Волма	16	31	–	19	<b>38</b>
Птичъ	16	6	25	19	<b>50</b>
Стайки	16	88	100	–	<b>100</b>
Вилейское	32	9	22	6	<b>34</b>
Дубровенское	16	6	6	6	<b>19</b>
Вяча	16	13	13	6	<b>25</b>
<b>Всего</b>	<b>160</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>9</b>	<b>36</b>

Характер процесса загрязнения:



В пространственном распределении концентраций трех биогенных веществ (азота аммонийного, азота нитритного и фосфора фосфатов) по линии: река выше водохранилища—водохранилище—река ниже водохранилища прослеживается единый порядок, аналогичный распределению минерализации вод (рис. 3, а, б, г). Самые высокие значения отмечаются в воде реки выше водохранилища, самые низкие в воде водохранилища и промежуточные между ними – в воде реки ниже водохранилища. По концентрации азота нитратного ситуация несколько отличается.

Концентрация элемента последовательно снижается в воде: от реки выше водохранилища к водохранилищу и реке ниже его (рис. 3, в).

Приведенное пространственное распределение концентраций биогенных веществ свидетельствует о выполнении пригородными водохранилищами функции своего рода фильтра в их отношении. Данный вывод согласуется с результатами исследований других авторов, в частности по водохранилищам России, которые показали общее снижение водохранилищами стока этих веществ [4, 8, 9, 14].

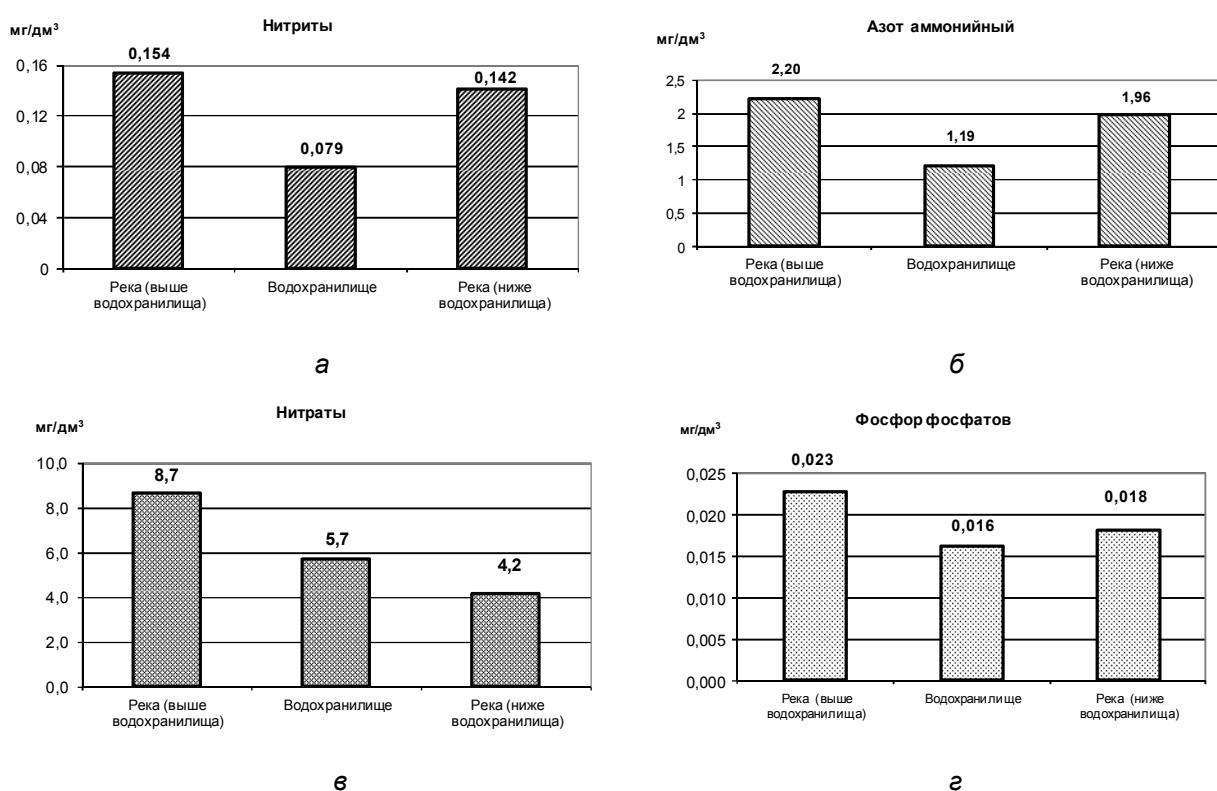


Рис. 3 Среднегодовые концентрации нитритов (а), аммонийного азота (б), нитратов (в) и фосфора фосфатов (г) в пригородных водохранилищах Минска и реках, на которых они построены, 2010–2012 гг.

**Выводы.** 1. Для гидрохимического режима рассматриваемых пригородных водохранилищ Минска установлено отклонение от естественного состояния и подверженность антропогенной трансформации, что проявляется в изменении соотношения концентрации в их водах химических элементов.

2. Согласно выполненной оценке экологического состояния водосборов, наиболее проблемным является состояние в бассейне водохранилища Стайки за счет его высокой застройки, низкой лесистости, размещения источников антропогенного воздействия (свалка, промышленная зона). Неблагоприятным экологическим состоянием характеризуются водохранилища Птичье и Дубровенское, где низкая лесистость

сочетается с высокой эрозионной опасностью. Как сравнительно благоприятное определено экологическое состояние бассейнов водохранилищ Вилейское, Дубровенское и Волма, у которых леса занимают от половины до 2/3 площади.

3. В химическом загрязнении вод водохранилищ основную роль играют биогенные вещества, что является типичным для водоемов Беларусь. Приоритетными из них в данном случае явились азот аммонийный и азот нитритный, по которым повторяемость превышения ПДК составила 21 и 20 %, соответственно, а также фосфор фосфатов – 9 %.

4. Для всех водохранилищ выявлено биогенное загрязнение с повторяемостью случаев превышения ПДК 36 %. Устойчивым загрязнени-

ем биогенными веществами выделяется водохранилище с наиболее напряженным экологическим состоянием водосбора – Стайки, в котором повышенное содержание соединений азота зафиксировано в 100 % случаев, среднегодовая кратность превышения ПДК по азоту аммонийному составила 25,5, а максимальная – 34,0 раза.

5. Опираясь на сопоставление концентраций биогенных веществ выше и ниже водохранилищ, подтверждена закономерность снижения водохранилищами концентрации биогенных веществ. За период 2009–2012 гг. пригородные водохранилища Минска обеспечили уменьшение концентрации нитритов – в 2 раза, фосфора фосфатов – в 1,3, азота аммонийного и азота нитритного – в 1,1 раза.

### Литература

1. **Авакян, А. Б.** Водохранилища / А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин, В. А. Шарапов. М., 1987.
2. **Алекин, О. А.** Основы гидрохимии / О. А. Алекин. Л., 1953.
3. **Блакітны скарб Беларусі:** рэкі, азеры, вадасховішчы, турысцкі патэнцыял водных аб'ектаў. Мінск, 2007.
4. **Былинкина, А. А.** Особенности круговорота фосфора в водохранилищах Волги и проблема эвтрофирования / А. А. Былинкина // Водные ресурсы. 1989. № 6. С. 62–69.
5. **Власов, Б. П.** Антропогенная трансформация озер Беларусь: геэкологическое состояние, изменения и прогноз / Б. П. Власов. Минск, 2004.
6. **Водохранилища Белоруссии:** природные особенности и взаимодействие с окружающей средой / В.М. Широков [и др.]; под ред. В. М. Широкова. Минск, 1991.
7. **Водохранилища** и их влияние на окружающую среду. М., 1986.
8. **Волга** и ее жизнь. Л., 1978.
9. **Даценко, Ю. С.** Эвтрофирование водохранилищ: гидролого-гидрохимические аспекты / Ю. С. Даценко. М., 2007.
10. **Денисова, А. И.** Основные закономерности в формировании гидрохимического режима днепровских водохранилищ / А. И. Денисова // Водные ресурсы. 1983. № 6. С. 156–166.
11. **Зарубов, А. И.** Сукцессия зооперифита в Комсомольском озере г. Минска до очистки русла р. Свислочь / А. И. Зарубов // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2006. № 1. С. 88–92.
12. **Логинова, Е. В.** Эколого-географическая оценка состояния поверхностных вод Минской городской агломерации : автореф. ... дис. канд. геогр. наук: 25.00.36 / Е. В. Логинова. Минск, 1999.
13. **Лопух, П. С.** Закономерности развития природы водоемов замедленного водообмена, их использование и охрана / П. С. Лопух. Минск, 2000.
14. **Можайское водохранилище.** Комплексные исследования водохранилищ. М., 1979.
15. **Никаноров, А. М.** Гидрохимия / А. М. Никаноров. Л., 1989.
16. **Республиканский центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья** Министерства здравоохранения Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://www.rcheph.by>. Дата доступа : 29.05.2012.
17. **Струк, М. И.** Оценка химического загрязнения пригородных водоемов Вилейско-Минской водной системы / М. И. Струк, О. В. Кадацкая // Прикладная лимнология : сб. науч. ст. / Под общ. ред. П.С. Лопуха. Минск, 2000. Вып. 2. С. 128–134.
18. **Федотов, В. С.** Методика определения ливнево-эрзационной опасности территории (на примере Молдавской ССР) / В. С. Федотов // Методы исследования водной эрозии почв. Кишинев, 1976.
19. **Широков, В. М.** Вилейское водохранилище / В. М. Широков, П. С. Лопух. Минск, 1989.
20. **Якушко, О. Ф.** Основные черты гидрохимического режима разнотипных водохранилищ Белоруссии / О. Ф. Якушко, В. А. Пидопличко // Гидрографическая сеть Белоруссии и регулирование речного стока. Минск, 1992. С. 143–151.
21. **Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSL).** Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Digital Elevation Data [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://srtm.csi.cgiar.org/>. Дата доступа : 18.06.2012.

М. И. Струк, С. Г. Живнach, Г. М. Бокая

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА  
ПРИГОРОДНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ МИНСКА**

Представлена геоэкологическая оценка пригородных водохранилищ Минска, которая включает оценку внешних и внутренних факторов формирования качества их вод, а также их химического загрязнения. Рассмотрено экологическое состояние водосборных бассейнов этих водохранилищ. Выделены бассейны с высокой, умеренной и низкой степенью антропогенного преобразования и различной подверженностью почвенной эрозии. К наиболее проблемным из них отнесены бассейны водохранилищ Стайки, Птич, Дубровенское.

Определена повторяемость загрязнения водохранилищ биогенными веществами, составившая 36 %. Установлена приоритетная роль в нем азота аммонийного и азота нитритного, по которым частота превышения ПДК составила 21 и 20 %, соответственно, а также фосфора фосфатов – 9 %. Устойчивое биогенное загрязнение выявлено для водохранилища Стайки.

Опираясь на сопоставление концентраций биогенных веществ выше и ниже водохранилищ, подтверждена закономерность снижения ими концентраций биогенных веществ. По отношению к пригородным водохранилищам такое снижение по азоту нитратному составило 2 раза, фосфору фосфатов – 1,3, азота аммонийному и азоту нитритному – в 1,1 раза.

**M. I. Struk, S. G. Zhivnach, G. M. Bokaya**

**GEOECOLOGICAL ASSESSMENT  
OF MINSK SUBURBAN RESERVOIRS**

Geoecological assessment of Minsk suburban reservoirs is presented. It includes assessment of external and internal factors of their waters quality forming and chemical contamination. The ecological condition of reservoirs watersheds is considered. Basins with high, moderate and low degree of anthropogenic transformation and different susceptibility to soil erosion are identified. Stayki, Ptich and Dubrovenskoye reservoirs watersheds are the most problematic of them.

Frequency of reservoirs water contamination by biogenic substances is defined, it counts 36 %. Priority role of ammonia nitrogen, nitrite nitrogen is defined, the frequency of the maximum permissible concentration of these substances was 21 and 20 % respectively, and the phosphate phosphorus – 9 %. Sustainable biogenic pollution is identified for Stayki reservoir.

Regularity of biogenic substances concentrations reducing by reservoirs is confirmed drawing on a comparison of biogenic substances concentrations above and below the reservoirs. In relation to suburban reservoirs such reduction of nitrate nitrogen was 2 fold, phosphate phosphorus – 1,3, ammonia nitrogen and nitrite nitrogen – 1,1 times.

УДК 553.97

Н. И. Тановицкая, О. Н. Ратникова, Ю. Ю. Навоша

## СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ НА БОЛОТЕ ЕЛЬНЯ

*Приведены результаты анализа гидрологического режима и рельефа болота Ельня, оценка влияния на болото окружающих осушительных систем и степени нарушенности гидрологического режима болота для обоснования выбора мест размещения автоматических датчиков уровня грунтовых вод с целью организации долгосрочного мониторинга.*

В Республике Беларусь верховые торфяные месторождения классифицируются по доминирующему типу торфяной залежи [11, 15] и занимают 333,7 тыс. га или 15,0 % территории всех торфяных месторождений [1]. В соответствии с эколого-фитоценотической классификацией верховые болота идентифицируются по произрастающей растительности [18], их общая площадь составляет 424,5 тыс. га, или 17,8% всей площади болот Беларуси [13]. Различия данных по площадям в классификациях торфяных месторождений и растительности болот объясняются тем, что согласно стратиграфической классификации к верховому типу относится торфяное месторождение, на котором слой верхового торфа составляет больше половины залежи, или мощность его превышает 3 м. Однако на многих участках торфяных месторождений, сложенных преимущественно низинным и переходным типом торфа, произрастает олиготрофная болотная растительность, что согласно эколого-фитоценотической классификации соответствует определению верхового болота.

Распределение верховых болот по территории республики неравномерно: 56,4 % расположено в северной геоботанической подзоне [13]. Одно из крупнейших северных верховых болот – Ельня, расположено на Полоцкой озерно-ледниковой низине, которая со всех сторон окружена ледниковыми возвышенностями. Озерно-ледниковый рельеф геоморфологического района Белорусского Поозерья [6] возник под воздействием Поозерского оледенения и процессов, связанных с его отступлением и таянием, что и определило особенности формирования и строения расположенных здесь верховых болот. На севере Полоцкая низина граничит с Браславской возвышенностью.

Болото Ельня площадью 19 984 га [5] является центром ландшафтного заказника Ельня республиканского значения. До настоящего времени системных целенаправленных режимных гидрогеологических исследований, а также стационарных исследований гидрологического режима болотного массива Ельня не проводилось. Однако, необходимо отметить, что с 2009 г. в рамках проекта «Восстановление торфяников

Беларуси и применение концепции их устойчивого управления – снижение воздействия на климат с эффектом для экономики и биоразнообразия» проводится мониторинг уровня грунтовых вод (УГВ) с целью установления зависимости типа микроландшафта от среднегодовой амплитуды колебания уровня грунтовых вод для оценки стока и эмиссии парниковых газов [19].

Выполнение в 1999–2009 гг. ряда проектов международной помощи по оптимизации гидрологического режима болота Ельня частично способствовало восстановлению болотных экосистем, однако, в настоящее время часть построенных гидротехнических сооружений требует ремонта. Кроме того, для восстановления уровня грунтовых вод, свойственного естественному болоту, необходимо провести мониторинг, на основании которого разработать мероприятия по стабилизации гидрологического режима болота Ельня.

В связи с этим, целью настоящих исследований являются:

- изучение гидрологических особенностей болота;
- зонирование территории болота Ельня по степени нарушенности гидрологического режима;
- анализ рельефа болота;
- организация долгосрочного мониторинга гидрологического режима.

Болото Ельня расположено на водоразделе притоков р. Западная Двина. Притоки р. Дисна: р. Бережка, р. Россоха, р. Синицкий, р. Яменский, р. Ельнянка дренируют около 60 % территории заказника. Остальная территория находится в водосборах притоков р. Западная Двина: р. Волта, ручья у д. Винограды, р. Вянушка.

В естественных условиях водный баланс болота Ельня складывается следующим образом. К приходным статьям относятся: инфильтрация атмосферных осадков, подземный сток со стороны Браславской возвышенности, перетекание напорных вод водоносного сожско-поозерского водноледникового комплекса на участках озер, приуроченных к пониженным замкнутым котловинам [10].

К расходным статьям баланса относятся: испарение и транспирация влаги, подземный сток с болотного массива в сторону Дисненской и Полоцкой низин, перетекание болотных вод в водоносный сожско-поозерский водноледниковый комплекс, поверхностный сток в р. Западная Двина и р. Дисна [10, 16].

Основная причина заболачивания территории заключается в том, что сумма атмосферных осадков, выпадающих в данном районе, значительно превышает величину испарения и транспирации влаги, а также поверхностного и подземного стоков.

Однако в результате строительства мелиоративных объектов по периферии, а также каналов в южной и западной частях болота Ельня произошло существенное изменение гидрологических условий. Еще в 1957–1959 гг. на территории болота была отрегулирована р. Бережа и проложена система каналов, соединяющих озера Плоское и Бережа, Белое и Большое. В последующие годы на примыкающих к болоту землях были построены мелиоративные системы и канализировано большинство вытекающих из болота рек [10]. Изменение гидрографической сети привело к увеличению стока грунтовых вод с территории болота. Функционирование осушительных систем на прилегающих к заказнику Ельня территориях оказывает влияние на водный режим всего болотного массива.

Сравнительный анализ данных [10–12, 14, 16] обследований 1971–2012 гг. позволяет отметить определенные изменения, произошедшие в гидрологическом режиме болота Ельня в результате проведения широкомасштабной осушительной мелиорации окружающей территории:

- основное воздействие на гидрологический режим болота проявилось в районах осушительных каналов, озер и водотоков, частично по периферии болота;

- произошли изменения фитоценозов в долинах рек и ручьев;

- понижение УГВ в долинах водотоков привело к понижению поверхности пойм водотоков и озер относительно окружающей территории, уплотнению торфяной залежи, образованию депрессий и ложбин стока. Увеличение зоны аэрации торфяной залежи в результате осушения способствует ускорению процессов минерализации торфа, замене болотной растительности на древесно-кустарниковую;

- в северной части болота осушительная мелиорация влияния практически не оказала.

Таким образом, проведенные осушительные мелиоративные работы привели к понижению уровня грунтовых вод на отдельных участках, что является одной из основных причин крупных пожаров на болоте.

Около 25 % территории болота постоянно подвергается пожарам, последствия которых на

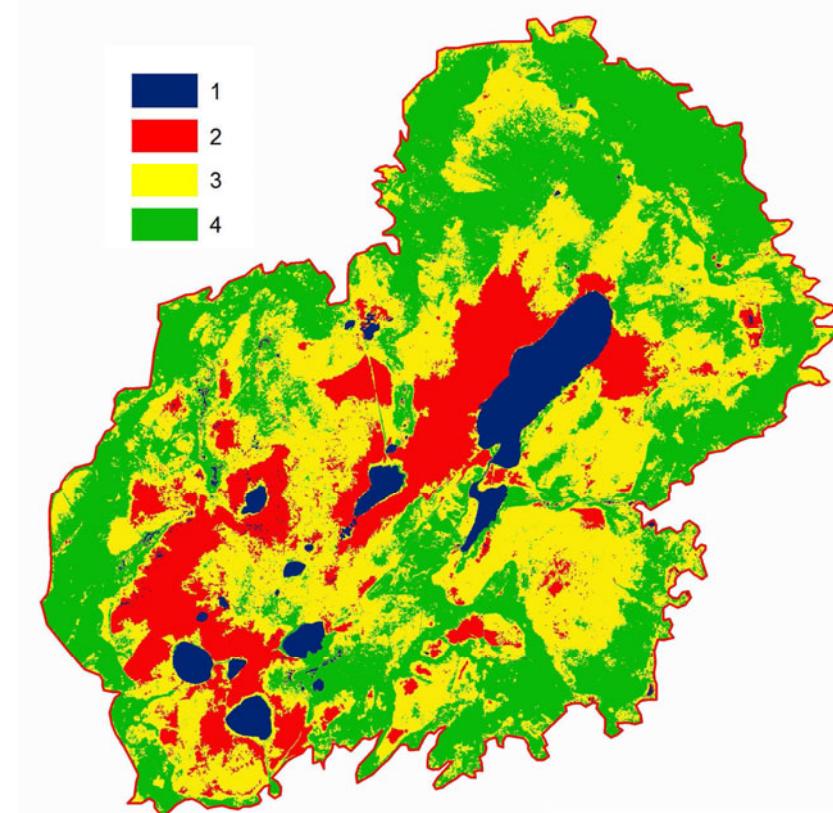
этой территории могут исчезнуть не ранее чем через 20–25 лет. При этом площадь выгоревших участков составляет от нескольких десятков до нескольких сотен гектаров. В 1999 г. пожарами различной интенсивности было охвачено более 900 га. В августе–сентябре 2002 г. пожары захватили практически всю территорию заказника кроме северной части [4, 16]. Наиболее высока вероятность пожаров на вершинах болотного массива и на участках с нарушенным гидрологическим режимом.

Зонирование территории болота по степени нарушенности гидрологического режима произведено на основании полевых исследований, изучения и анализа карт растительности, видового разнообразия, степени поврежденности фитоценозов пожарами [16, 17], карты растительности [12], а также дешифрирования космических снимков.

Известно [3], что распространение различных фитоценозов на территории болота обусловлено характерными для них параметрами гидрологического режима (УГВ, годовая амплитуда колебания УГВ, проточность). Основываясь на связи элементов гидрологического режима с болотными фитоценозами, необходимо учитывать, что в одинаковых микроландшафтах, независимо от их расположения на болотном массиве, должны иметь место одинаковые годовые амплитуды колебания УГВ. Зная распределение фитоценозов можно составить представление о режиме УГВ на территории болотного массива.

Полевое обследование современного состояния ландшафтного заказника Ельня выявило максимальное нарушение гидрологического режима в центральной и южной частях заказника в районе каналов, дренирующих территорию болота, и озер Ельня, Белое, Плоское, Бережа и Яжгина (рис. 1). Исследование динамики уровня грунтовых вод этой зоны заказника показало, что УГВ составляет 0,3–0,6 м. Однако оптимальным условием для восстановления болото- и торфообразовательных процессов на нарушенной части болота является стабилизация УГВ на уровне поверхности земли с годовой амплитудой колебания 0,3–0,4 м, т. е. УГВ должно составлять  $0,3 \pm 0,2$  м [7].

На территории болота с сильно нарушенным гидрологическим режимом после пожаров последних лет, как правило, произрастает кустарничково-долгомошная (пустошная) растительность с обильным подростом сосны и лиственных пород. В верхнем ярусе встречаются бересклет пушистый и повислый, осина, сосна высотой 0,5–2,5 м. В травяно-кустарниковом ярусе доминирует вереск, встречаются пушица, подбел, мильт. Площадь пустошей с сильно нарушенным гидрологическим режимом составляет 12 589,5 га (49,7 %) [16].



**Рис. 1. Схема территории болота Ельня, зонированной по степени нарушенности гидрологического режима: 1 – открытая водная поверхность (озера) – 1048 га; 2 – территория сильно нарушенного гидрологического режима – 2953,3 га; 3 – территория нарушенного гидрологического режима – 8240 га; 4 – естественное верховье болото – 8263 га**

К сильно нарушенным участкам, подлежащим восстановлению, примыкают участки с менее нарушенным гидрологическим режимом, УГВ которых составляет 0,1–0,3 м. В этой зоне наблюдаются процессы восстановления болотных фитоценозов, которые проявляются в сокращении в составе сообщества мелколиственных пород деревьев, развитии болотных форм сосны и в появлении в моховом ярусе сфагновых мхов и кустарничков (подбел, мирт, багульник). При ограничении стока поверхностных и подземных вод с территории болота путем выполнения мероприятий [7, 9] по эффективному перекрытию каналов заказника произойдет восстановление гидрологического режима данных нарушенных участков.

Остальная территория заказника, в основном его северная часть, имеет оптимальный для верхового болота гидрологический режим (на уровне поверхности земли) и не нуждается в дополнительных мероприятиях. Здесь доминируют сфагновые мхи.

На основании изучения и анализа топографических, ведомственных и архивных материалов, научных публикаций и спутниковых снимков составлены карты рельефа поверхности

республиканского ландшафтного заказника Ельня (рис. 2, 3).

Самые большие значения отметок поверхности относятся к Браславской возвышенности, расположенной на северо-западе от заказника (рис. 2). Самые низкие отметки присущи пойме реки Дисна, огибающей юго-восточную границу болота. По периферии заказника территория буквально изрезана мелиоративными каналами.

На рис. 3 на территории болота отчетливо прослеживаются одна вершина в районе озер Ближнее, Глубокое и Лопухи с отметками поверхности 143,0–143,5 м и вторая – севернее озера Ельня (141,3–142,4 м). Основная территория заказника имеет значения отметок поверхности 136,8–141,3 м с понижением рельефа по периферии восточной границы и с повышением по западной.

Канал Дульский, дренирующий северо-западную часть заказника, соединяет ряд озер: Белое, Лебединое и Большое. На рис. 3 прослеживается ложбина стока вдоль канала Дульский от озера Большое до границы заказника, сформировавшаяся в результате осушений и уплотнения залежи. Также отчетливо наблюдается ложбина стока от озера Бережа вдоль русла реки Бережа.

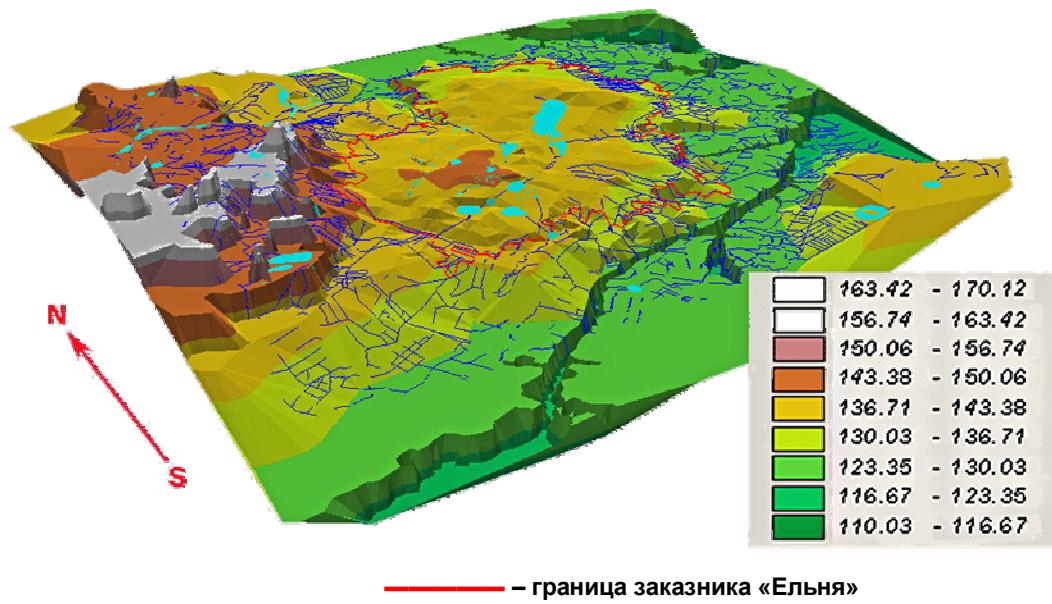


Рис. 2. Ситуационная карта расположения заказника Ельня с обозначенным рельефом поверхности (диапазон отметок поверхности – 60,1 м, интервал – 6,6 м)

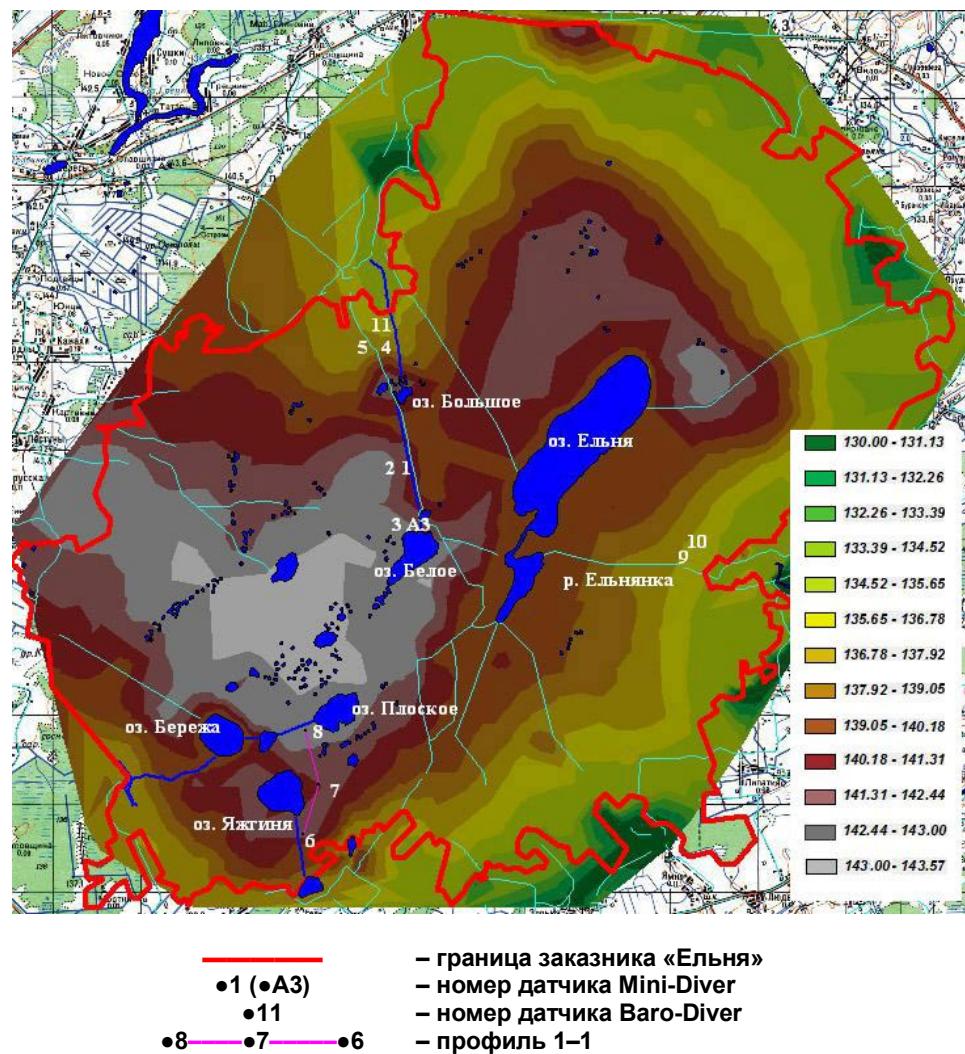


Рис. 3. Картосхема рельефа заказника «Ельня» (перепад отметок поверхности – 13,6 м, интервал – 1,1 м) с размещением датчиков УГВ на канале Дульский (1–5), по профилю 1–1 (6–8) и на р. Ельнянка (9–10)

В августе 2012 г. было проведено нивелирование поверхности вдоль канала «Дульский» от границы заказника до озера Лебединое. Съемка отметок поверхности производилась по пяти профилям на 250–300 м в обе стороны от канала через каждые 50 м.

Результаты нивелирования показали, что на трех профилях наблюдаются понижения поверхности земли вдоль канала, т. е. достаточно ярко выраженные ложбины стока. Остальные профили имеют небольшие уклоны поверхности.

При проведении детальных изысканий по строительному проекту необходимо уточнить наличие ложбин стока по основным дренирующим болота каналам. В таких местах необходимо предусмотреть строительство перемычек, длина которых позволит перекрыть не только русло канала, но и, хотя бы частично, ложбину.

Для организации долгосрочного мониторинга гидрологического режима болота в октябре 2012 г. сотрудниками Института природопользования НАН Беларуси установлены автоматические датчики измерения УГВ (Mini-Diver).

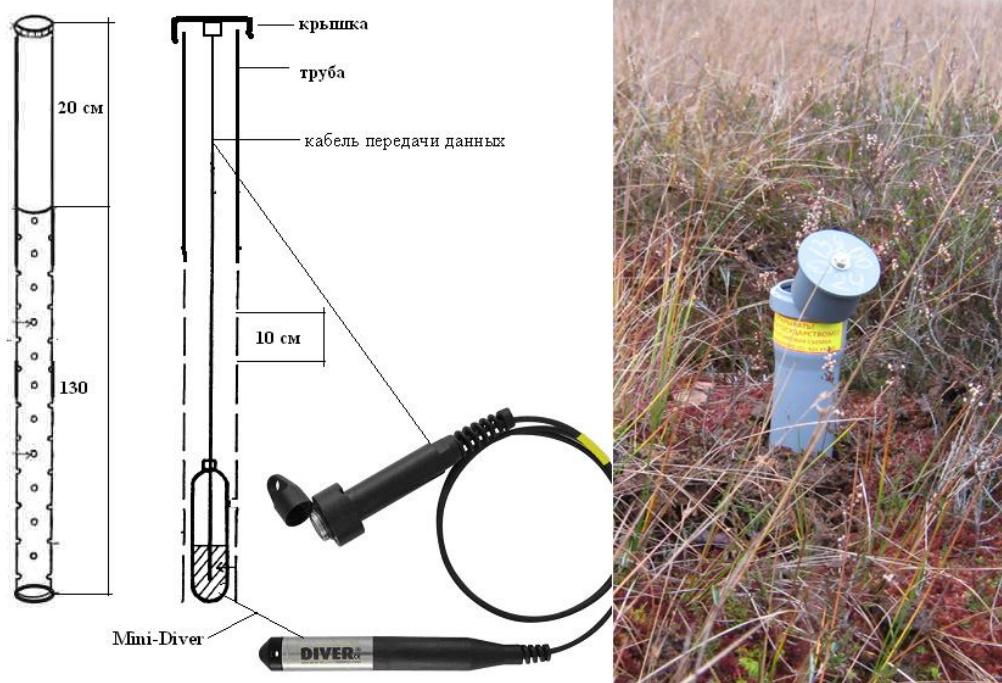
Выбор мест размещения датчиков УГВ (рис. 3) обусловлен необходимостью:

- оценки зоны влияния дренирующих каналов на территорию болота (Дульский канал – 5 датчиков № 1–5);

- изучения изменения УГВ по профилю 1–1 участка с нарушенным гидрологическим режимом в районе дренирующих каналов (3 датчика № 6–8);

- исследования сезонной и годовой амплитуд колебания УГВ в районе естественного водотока (р. Ельнянка – 2 датчика № 9–10).

Принцип работы датчиков УГВ (Mini-Diver) основан на автономном измерении и записи значений уровня грунтовых вод и температуры воды (рис. 4). Встроенная память в общей сложности обеспечивает 24 000 записей, каждое измерение автоматически фиксирует дату и время измерения уровня грунтовых вод и температуры воды. Датчики устанавливались на расстоянии 150–300 м от каналов в местах расположения перемычек, построенных по проектам РУП «Белгипроводхоз». Для болота Ельня установленный режим работы датчиков предусматривает измерение уровня грунтовых вод, атмосферного давления, температуры воды и воздуха с 23.10.2012 два раза в сутки в 9.00 и 21.00.



**Рис. 4. Схема установки автоматического датчика (Mini-Diver) в перфорированной трубе на болоте Ельня**

Для компенсации атмосферного давления используется датчик № 11 (Baro-Diver), который в заданное время одновременно записывает значения атмосферного давления, температуры воздуха, дату и время.

В результате исследований гидрологии, геоморфологии, стратиграфии и мониторинга гидрологического режима будут разработаны научное обоснование экологической реабилитации болота Ельня согласно, ТКП 17.12-02-2008 [9] с предложением стратегии повторного заболачи-

вания, а также строительный проект, на основании которого будут реализованы мероприятия экологической реабилитации верхового болота [7]. Результаты исследований будут использованы при разработке мероприятий плана управления республиканским ландшафтным заказником «Ельня» на период 2012–2016 гг. с целью орга-

низации управления гидрологическим режимом болота Ельня для устойчивого функционирования болотной экосистемы, предотвращения торфяных пожаров, сохранения типичных верховых болот и связанного с ними биологического разнообразия с учетом интересов землепользователей.

## Литература

1. **Бамбалов, Н. Н.** Роль болот в биосфере / Н. Н. Бамбалов, В. А. Ракович. Минск, 2005.
2. **Беленький, С. Г.** Закономерности формирования торфяных месторождений верхового типа как сырьевых баз для комплексной переработки торфа : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.05 / С. Г. Беленький; АН БССР ИТ. Минск, 1987.
3. **Иванов, К. Е.** Водообмен в болотных ландшафтах / К. Е. Иванов. Л., 1975.
4. **Исследование** геоботанической структуры, продуктивности и современного состояния растительности верховых болот Беларуси. Разработка мероприятий по их рациональному использованию и охране : отчет о НИР (заключ.) / Ин-т природопользования НАН Б; рук. : Н. Н. Бамбалов, отв. исп.: Н. И. Тановицкая. Минск, 2010. № ГР 200666878.
5. **Кадастровый** справочник «Торфяной фонд Белорусской ССР». Минск, 1979.
6. **Матвеев, А. В.** Рельеф Белоруссии / А. В. Матвеев, Б. Н. Гурский, Р. И. Левицкая. Минск, 1988.
7. **Методические** рекомендации по экологической реабилитации нарушенных болот и по предотвращению нарушений гидрологического режима болотных экосистем при осушительных работах // А. В. Козулин, Н. И. Тановицкая, И. Н. Вершицкая; НПЦ «Биоресурсы», Институт природопользования. Минск. 2010.
8. **Тановицкая, Н. И.** Особенности формирования стока и зон влияния осущенных и выработанных участков болот на прилегающие территории / Н. И. Тановицкая, Н. В. Шевцов, Г. В. Соколовский, А. В. Козулин / Природопользование. Минск, 2009. Вып. 15. С. 88–95.
9. **Охрана** окружающей среды и природопользования. Территории. Порядок и правила проведения работ по экологической реабилитации выработанных торфяных месторождений и других нарушенных болот и предотвращению нарушений гидрологического режима естественных экологических систем при проведении мелиоративных работ : ТКП 17.12-02-2008. Введ. 31.10.08. Минск, 2008.
10. **Оценить** современное экологическое состояние Ельниковского гидрологического заказника и дать прогноз его развития : отчет о НИР (заключ.) / Экол-кой комиссии Нац. акад. наук Беларуси; отв. исп.: Н. Н. Бамбалов. Минск, 1992.
11. **Пидопличко, А. П.** Торфяные месторождения Белоруссии / А. П. Пидопличко, Минск, 1961.
12. **Распределение** растительных сообществ в зоне влияния дренирующих болото каналов и рекомендации к плану управления ландшафтным заказником республиканского значения «Ельня» : отчет о НИР (заключ.) / НПЦ биоресурсы Нац. акад. наук Беларуси; отв. исп.: А. В. Козулин. Минск, 2012.
13. **Растительность** верховых болот Беларуси: география, картографирование, классификация и охрана / Д. Г. Груммо [и др.] // Растительность болот: современные проблемы классификации, картографирования, использования и охраны : материалы Междунар. науч.-практ. семинар, Минск, Беларусь, 30 сент.–01 окт. 2009 г. / Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. Минск, 2009.
14. **Тановицкая, Н. И.** Особенности генезиса и стратиграфии торфяной залежи болота Ельня / Н. И Тановицкая // Природные ресурсы. Минск, 2009. № 1. С. 43–53.
15. **Торфяные** месторождения / С. Н. Тюремнов. 3-е изд., перераб и доп. М.: Недра, 1976. 488 с.
16. **Флора** и растительность ландшафтного заказника «Ельня» / Д. Г. Груммо [и др.]; под ред. Н. Н. Бамбалова; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т экспериментальной ботаники. Минск, 2010. ил.
17. **Юркевич, И. Д.** Растительность Белоруссии, ее картографирование, охрана и использование (с Картой растительности Белорусской ССР, М. 1 : 600 000) / И. Д. Юркевич, Д. С. Голод, В. С. Адерихо. Минск. 1979.
18. **Юрковская, Т. К.** География и картография растительности болот Европейской России и сопредельных территорий / Тр. Ботанического Ин-та им. В. Л. Комарова РАН / под ред. Г. А. Елиной. СПб., 1992. Вып. 4.
19. **Broska T.** Relationship between vegetation and water level in Yelnia bog (Belarus) and comparison of water level measurement approaches / Ernst-Moritz-Arndt University Greifswald. Landscape Ecology and Nature Conservation. 2010.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 19.02.2013 г.

**Н. И. Тановицкая, О. Н. Ратникова, Ю. Ю. Навоша**

**СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА  
ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ НА БОЛОТЕ ЕЛЬНЯ**

---

*Приведены результаты анализа гидрологического режима и рельефа болота Ельня, оценка влияния на болото окружающих осушительных систем и степени нарушенности гидрологического режима болота для обоснования выбора мест размещения автоматических датчиков уровня грунтовых вод с целью организации долгосрочного мониторинга.*

*В результате исследований гидрологии, геоморфологии, стратиграфии и мониторинга гидрологического режима будут разработаны научное обоснование экологической реабилитации болота Ельня с предложением стратегии повторного заболачивания, а также строительный проект, на основании которого будут реализованы мероприятия экологической реабилитации верхового болота. Результаты исследований будут использованы при разработке мероприятий плана управления республиканским ландшафтным заказником «Ельня» на период 2012–2016 гг. с целью организации управления гидрологическим режимом болота Ельня для устойчивого функционирования болотной экосистемы, предотвращения торфяных пожаров, сохранения биологического разнообразия.*

**N. I. Tanovitskaya, O. N. Ratnikova, Yu. Yu. Navosha**

**CREATION OF AUTOMATED OBSERVATIONS SYSTEM  
FOR HYDROLOGICAL REGIME ON FEN YELNYA**

---

*Results of the analysis of hydrological regime and relief of fen Yelnya, estimation of impact on the surrounding mire drainage systems and the degree of disturbance of hydrological regime to justify the choice of sites for automatic measuring device (Mini-Diver) of groundwater level in order to organize a long-term monitoring are given.*

*In the result of hydrology, geomorphology, stratigraphy investigation and hydrological regime monitoring a scientific basis of ecological rehabilitation of fen Elnya will be developed and a strategy of rewetting and a construction project will be offered, on the basis of which measures of ecological rehabilitation of high bog will be realized. The investigation results will be used to develop plan of actions for management of landscape reserve «Yelnya» to the period 2012–2016 for restoration of fen hydrological regime to provide sustainable development of mire ecosystem, prevent fires and keep biological diversity.*

**В. В. Селицкая<sup>1</sup>, Е. В. Санец<sup>2</sup>, И. Е. Русая<sup>1</sup>****ВЫЯВЛЕНИЕ ФОНОВОГО СОДЕРЖАНИЯ АЗОТА НИТРАТНОГО  
В РЕЧНОЙ ВОДЕ (НА ПРИМЕРЕ Р. БЕРЕЗИНЫ, БАССЕЙН ДНЕПРА)**

*Судя по нарастающим темпам загрязнения вод биогенными веществами, самоочищительный потенциал рек вскоре может быть сведен к минимуму, что повлечет за собой серьезные последствия. Для предупреждения необратимых негативных последствий и выработки природоохранных мероприятий необходимо определить антропогенную составляющую в общем выносе биогенных веществ, основой выделения которой является установление величины фоновой концентрации биогенного вещества в воде рек. На примере Березины показано выявление фонового содержания азота нитратного в речной воде.*

В настоящее время одной из основных проблем качества поверхностных вод в Беларуси стало антропогенное эвтрофирование, важнейшим фактором развития которого является избыток биогенных веществ в воде, обусловленный их поступлением из природных и антропогенных источников. С целью уменьшения воздействия на поверхностные воды и улучшения их качества чрезвычайно важным является установить роль антропогенных источников. Однако проблема определения соотношения между величинами природного и антропогенного выноса биогенного вещества весьма сложна и до сих пор остается дискуссионной [19]. Основой для выделения в общем выносе биогенного вещества антропогенной и природной составляющих является установление величины фоновой концентрации вещества.

Понятие «фонового содержания» веществ в речной воде достаточно неоднозначное и трактуется по-разному как в научной литературе, так и в нормативных и методических документах. Например, при оценке уровня воздействия на водные объекты точечных источников загрязнения, при проектировании очистных сооружений, при определении нормативов допустимых концентраций загрязняющих веществ в составе сточных вод, отводимых в водные объекты, за фоновую концентрацию вещества принимается статистически обоснованная верхняя доверительная граница возможных средних значений концентраций этого вещества, рассчитанных по результатам гидрохимических наблюдений для наиболее неблагоприятных гидрологических условий или наиболее неблагоприятного в отношении качества воды периода (сезона) в годовом цикле [18].

В научной литературе за фоновое содержание веществ принимается содержание химических компонентов в воде рек, гидрохимический режим которых не нарушен деятельностью человека [3, 8, 9]. В настоящее время в результате изменения химического состава речных вод под воздействием хозяйственной деятельности че-

ловека региональный гидрохимический фон в Беларуси преобразован в природно-антропогенный [3, 6, 11, 15].

В «Методических указаниях по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты» (Российская Федерация) вводится еще одно понятие – региональный фон, под которым подразумевается значение показателей качества воды, сформировавшееся под влиянием природных факторов, характерных для конкретного региона, не являющееся вредным для сложившихся экологических систем [10]. Наличие экологического благополучия в водном объекте определяется на основе гидробиологических показателей. Для расчета регионального фона используются гидрохимические данные только по створам, расположенным на участках с подтвержденным экологическим благополучием. При отсутствии мониторинга по гидробиологическим характеристикам указанные фоновые показатели или типовые показатели состояния принимаются по участкам с наименьшей антропогенной нагрузкой или могут быть организованы специальные натурные исследования для уточнения показателей качества воды и состояния экологических систем. Согласно данному документу, для веществ двойного генезиса (имеющих, как природное, так и антропогенное происхождение) нормативы качества воды могут приниматься равными нормативам предельно допустимых концентраций химических веществ, которые определяются с учетом регионального естественного (условно-естественного) гидрохимического фона [10].

В нормативных документах Республики Беларусь существует лишь определение фонового участка водного объекта, под которым понимается участок водного объекта, качество воды которого формируется под влиянием обще-биосферных явлений без наложения на них региональных антропогенных воздействий [17].

В связи с исключительной важностью установления фонового содержания различных компонентов в поверхностных водах, данный вопрос

до сих пор является одним из наиболее обсуждаемых научным сообществом [13]. 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, М. И. Петрова [3–6, 11, 12, 14, 21], в России – М. П. Максимова, Б. Г. Скаканский, Г. Т. Фрумин, Е. В. Степанова, Л. С. Аверьянова, В. А. Белоногов, Н. П. Торсуев, М. П. Смирнов, А. А. Большов [1, 2, 7, 8, 15, 16, 19, 20] и др.

В данной статье рассматривается методический подход к выявлению фонового содержания ингредиента в речной воде. В качестве предмета исследования выбран азот нитратный. Как известно, азот нитратный является одним из биогенных элементов, естественное содержание которого в поверхностных водах связано с процессами нитрификации ионов аммония (в присутствии кислорода и нитрифицирующих бактерий), а также с выпадением атмосферных осадков, содержащих оксиды азота. Среди антропогенных источников поступления нитратов в природные воды – привнесение с промышленными и хозяйствственно-бытовыми сточными водами, особенно после биологической очистки, стоком с сельскохозяйственных угодий, на которых применяются азотные удобрения.

В качестве объекта исследования выбрана р. Березина (приток р. Днепра). Березина берет свое начало в Витебской области юго-западнее г. Докшицы и на протяжении 613 км принимает воды 425 притоков, среди которых крупнейший – р. Свислочь, подверженная существенному

влиянию городской агломерации г. Минска. Сток Березины характеризуется значительной естественной зарегулированностью.

Для расчета фоновых характеристик содержания азота нитратного в воде р. Березины. В работе использованы данные гидрохимического мониторинга, полученные в Национальной системе мониторинга окружающей среды Республики Беларусь. Для статистической обработки был выбран ряд данных для створа выше г. Бобруйска, имеющего наиболее длительный период наблюдений (1957–2011 гг.).

Сложность обработки гидрохимических данных состояла в дискретности рядов наблюдений – выпадении большого количества значений в году, преимущественно на начальных этапах мониторинга. Это связано с тем, что частота отбора проб за весь период наблюдений увеличилась с 4 до 12 раз в год. Согласно [23], приведение неполных рядов к максимальному числу измерений в год оказалось безрезультатным. Поэтому для оценки изменения концентраций веществ в многолетнем периоде рекомендуется использовать два ряда: ряд среднегодовых значений, рассчитанный по всем имеющимся данным в году, и ряд среднегодовых значений, рассчитанный только по минимальному количеству отборов в год (в одни и те же или в ближайшие к ним месяцы).

Исходя из предложенных выше рекомендаций были построены ряды среднегодовых значений содержания азота нитратного в воде р. Березины для створа выше г. Бобруйска за период 1964–2011 гг. (рис. 1).

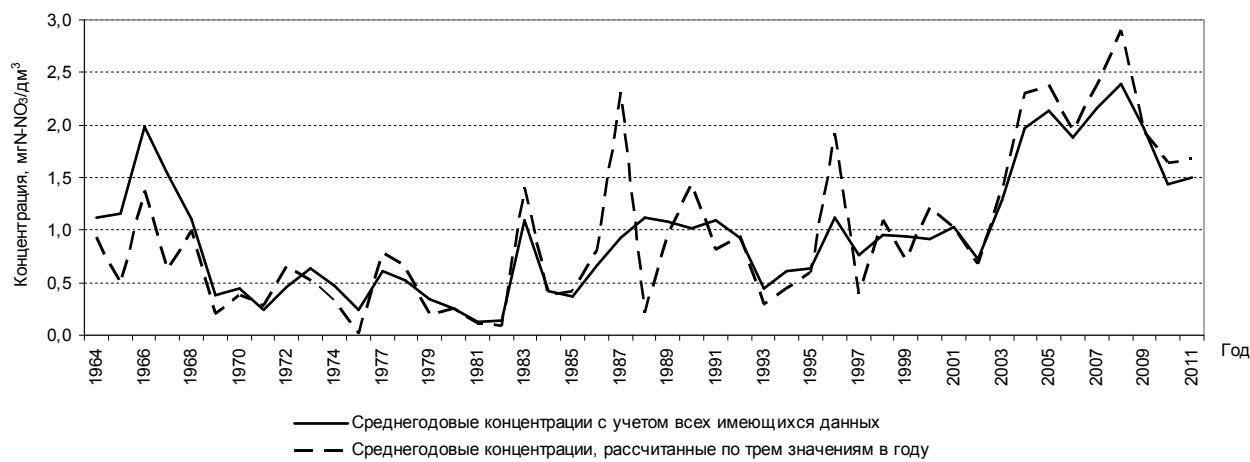


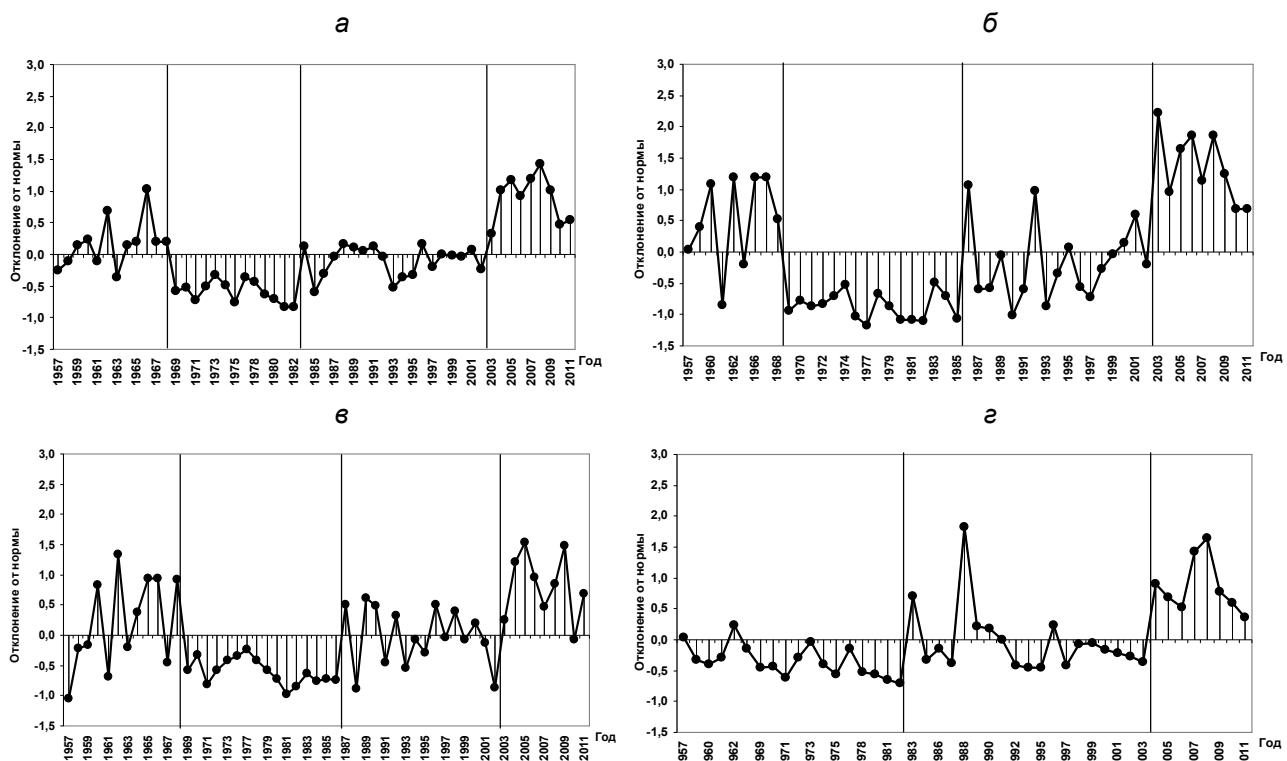
Рис. 1. Динамика среднегодовых концентраций азота нитратного в воде р. Березины выше г. Бобруйска, 1964–2011 гг.

Сравнение этих рядов данных с использованием критериев Фишера и Стьюдента указало на статистически незначимые различия между средними дисперсиями и концентрациями, что позволяет отнести их к одной генеральной сово-

купности. Таким образом, для дальнейшего анализа могут применяться как среднегодовые концентрации азота нитратного, рассчитанные по 12 значениям в году, так и по 9, 7, 4 и 3.

Для получения информации о характере трансформации содержания азота нитратного в воде р. Березины вследствие изменения уровня антропогенной нагрузки в водосборе выполнен анализ многолетних рядов данных по содержанию ингредиента в воде реки как в среднемноголетнем аспекте, так и для различных фаз водного режима. Для этого использован графоаналитический метод разностно-интегральных кривых, который выявляет отклонения средней концентрации ингредиента за конкретный год или сезон года от его среднего значения (нормы), рассчитанного для всего периода наблюдений [3]. Дан-

ный метод выявил точки перелома в динамике содержания азота нитратного, что позволило выделить временные интервалы с различными вариациями отклонений концентрации вещества от его среднемноголетнего значения (рис. 2, таблица). При этом применяли объективные методы выделения классификационных групп на основе методов математической статистики с использованием критериев достоверности – однородность выборок проверяли по равенству выборочных дисперсий Фишера и по критерию однородности средних значений Стьюдента [22].



**Рис. 2. Разностно-интегральные кривые концентрации азота нитратного в воде р. Березины выше г. Бобруйска, 1957–2011 гг.: а – годовой период; б – зимняя межень; в – весеннеое половодье; г – летне-осенняя межень**

Установлено, что в многолетней динамике среднегодовых концентраций азота нитратного в воде р. Березины выше г. Бобруйска выявляются следующие периоды: 1957–1968, 1969–1982, 1983–2002 и 2003–2011 гг. В период 1969–1982 гг. зафиксированы относительно невысокие концентрации ингредиента, в 1,5–7,3 раза ниже среднемноголетнего значения – 0,13–0,63 мгN/дм<sup>3</sup> (в среднем 0,37 мгN/дм<sup>3</sup>). Данные концентрации условно можно принять за фоновые.

В периоды 1957–1968 и 1983–2002 гг. отмечается существенный разброс концентраций азота нитратного: среднегодовые значения в ряде лет превышают среднемноголетнюю величи-

ну, в другие годы – находятся ниже нее, однако среднее для периодов близко к среднемноголетней концентрации – 1,13 и 0,87 мгN/дм<sup>3</sup> соответственно.

В период 2003–2011 гг. наблюдался отчетливый «всплеск» концентраций азота нитратного, которые составляли в среднем 1,86 мгN/дм<sup>3</sup>, что почти в 2 раза выше среднемноголетнего значения и в 5 раз выше условно фоновой величины.

Более детальный анализ сезонной динамики содержания азота нитратного выявил аналогичные периоды отдельно для каждой из трех основных гидрологических faz.

**Содержание азота нитратного в воде р. Березины в створе выше г. Бобруйска в различные фазы водного режима, 1957–2011 гг.**

Фаза водного режима	Выделенные периоды	Концентрация азота нитратного, мгN/дм <sup>3</sup>		
		минимум	максимум	среднее
Год в целом	1957–1968 гг.	0,60	1,99	1,13
	<b>1969–1982 гг.*</b>	<b>0,13</b>	<b>0,63</b>	<b>0,37</b>
	1983–2002 гг.	0,37	1,12	0,87
	2003–2011 гг.	1,29	2,39	1,86
	Среднее за период исследования			0,96
Зимняя межень	1957–1968 гг.	0,35	2,40	1,71
	<b>1969–1985 гг.</b>	<b>0,04</b>	<b>0,72</b>	<b>0,34</b>
	1986–2002 гг.	0,20	2,27	1,03
	2003–2011 гг.	1,90	3,42	2,58
	Среднее за период исследования			1,21
Весеннее половодье	1957–1968 гг.	0,02	2,41	1,28
	<b>1969–1986 гг.</b>	<b>0,09</b>	<b>0,84</b>	<b>0,46</b>
	1987–2002 гг.	0,17	1,68	1,05
	2003–2011 гг.	0,99	2,60	1,89
	Среднее за период исследования			1,07
Летне-осенняя межень	<b>1957–1982 гг.</b>	<b>0,08</b>	<b>1,01</b>	<b>0,43</b>
	1983–2003 гг.	0,32	2,61	0,75
	2004–2011 гг.	1,14	2,42	1,64
	Среднее за период исследования			0,78

\* Подчеркнуты условно фоновые периоды и условно фоновые концентрации.

**Зимняя межень.** В многолетней динамике среднего для зимней межени содержания азота нитратного отчетливо выделяются следующие периоды: 1957–1968, 1969–1985, 1986–2002 и 2003–2011 гг. При этом наибольшие отрицательные отклонения значений содержания рассматриваемого ингредиента от его среднемноголетней величины приходятся на 1969–1985 гг. Периоды 1957–1968 и 1986–2002 гг., так же как и периоды, выделенные для среднегодовых значений, характеризуются существенным разбросом концентраций относительно среднемноголетнего значения. Однако средние для данных периодов значения тем не менее близки к среднемноголетнему. Период 2003–2011 гг. характеризуется существенным увеличением концентраций до 1,90–3,42 мгN/дм<sup>3</sup>, а среднее для периода значение (2,58 мгN/дм<sup>3</sup>) превышает многолетнюю величину в 2,1 раза.

Период 1969–1985 гг. принят за условно фоновый для зимней межени, а содержание азота нитратного в этот период – 0,04–0,72 мгN/дм<sup>3</sup> или в среднем 0,34 мгN/дм<sup>3</sup> – за фоновое. В этом случае в периоды 1957–1968 и 1986–2002 гг. концентрации азота нитратного превышали фоновые величины в 3–5 раз, а в период 2003–2011 гг. – в 7,5 раз.

**Весеннее половодье.** Для весеннего половодья выделенные периоды следующие: 1957–1968, 1969–1986, 1987–2002 и 2003–2011 гг. Минимальное (фоновое) содержание азота нитратного в воде р. Березины выше

г. Бобруйска фиксировалось в 1969–1986 гг. – 0,09–0,84 мгN/дм<sup>3</sup> или в среднем 0,46 мгN/дм<sup>3</sup>. В периоды 1957–1968 и 1987–2002 гг. среднее содержание рассматриваемого ингредиента превышало фоновое значение в 2,3–2,8 раза, находясь примерно на уровне среднемноголетней величины (1,05–1,28 мгN/дм<sup>3</sup>), а в период 2003–2011 гг. было в 1,8 раза выше среднемноголетней величины и в 4 раза выше условно фоновой величины.

**Летне-осенняя межень.** Для летне-осенней межени динамика многолетнего распределения содержания азота нитратного в воде р. Березины отличается от описанных выше тенденций тем, что здесь выделяются не четыре, а три периода. При этом два первых периода, характерные для зимней межени, весеннего половодья и среднегодовых значений, объединяются в один период низких (условно фоновых) концентраций – 1957–1982 гг. В это время содержание азота нитратного в воде реки изменялось от 0,08 до 1,01 мгN/дм<sup>3</sup>, составляя в среднем 0,43 мгN/дм<sup>3</sup>, что в 1,8 раза меньше среднемноголетнего значения.

В течение следующего выделенного периода – 1983–2003 гг. – содержание азота нитратного находилось примерно на уровне среднемноголетнего значения, а в 2004–2011 гг. превышало его в 2,1 раз. Условный гидрохимический фон в 2004–2011 гг. был превышен в среднем в 3,8 раза.

Приведенные данные показывают, что антропогенная трансформация режима азота нитратного в воде р. Березины выше г. Бобруйска начала особенно отчетливо проявляться с 1983 г. и достигла максимума в период 2003–2011 гг. В «природно-техногенный» период 1983–2003 гг. были зафиксированы нечастые превышения среднемноголетнего значения концентрациями азота нитратного. Существенный всплеск концентраций относительно фоновой величины фиксируется на протяжении 2004–2011 гг. во все периоды года. В зимний период выявлено наиболее интенсивное поступление азота нитратного по сравнению с другими периодами года.

В весенний период основным источником поступления нитратной формы азота в реку является смыв с сельскохозяйственных угодий. В летне-осенний период избыточное поступление азота нитратного может быть связано с выпадением атмосферных осадков и паводковыми явлениями.

Таким образом, интенсификация антропогенной деятельности в водосборе р. Березины снивела признаки естественной сезонной динамики азота нитратного и привела к устойчивому развитию процесса эвтрофирования водотока на протяжении последнего десятилетия.

## Литература

1. Аверьянова, Л. С. Гидрохимический фон как основа экологического нормирования качества поверхностных вод Республики Татарстан / Л. С. Аверьянова, В. А. Белоногов, Н. П. Торсуев // Казань, 1997. № 3. С. 25–31.
2. Большов, А. А. Антропогенная составляющая стока фосфора в водах Урала / А. А. Большов // Водные ресурсы. 1985. № 5. С. 167–168.
3. Кадацкая, О. В. Гидрохимическая индикация ландшафтной обстановки водосборов / О. В. Кадацкая. Минск, 1987.
4. Кольмакова, Е. Г. Антропогенные изменения стока растворенных веществ рек бассейна Немана / Е. Г. Кольмакова. Минск, 2009..
5. Кольмакова, Е. Г. Методика оценки антропогенных изменений стока растворенных веществ рек / Е. Г. Кольмакова // Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2004. № 3. С. 57–63.
6. Ландшафтные воды в условиях техногенеза / О. В. Кадацкая [и др.]. Минск, 2005.
7. 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.
8. Максимова, М. П. Критерии оценки антропогенных изменений и расчет антропогенной составляющей ионного стока рек / М.П. Максимова // Водные ресурсы. 1985. № 3. С. 71–75.
9. Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод / под ред. А. В. Карапашева. Л, 1987.
10. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты, утв. Приказом МПР России от 12.12.2007 № 328.
11. 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.
12. Петрова, М. И. Оценка современного гидрохимического состояния озер – приемников сточных вод, расположенных в пределах Белорусского Поозерья / М. И. Петрова // Природные ресурсы. 2007. № 2. С. 12.
13. Печерских, В. Н. Геоэкологическое обоснование целевых гидрохимических показателей малых и средних рек Вятско-Камского физико-географического региона: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 / В. Н. Печерских. Ижевск, 2001.
14. 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.
15. Скакальский, Б. Г. Антропогенные изменения химического состава воды и донных отложений в загрязняемых водных объектах : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук / Б. Г. Скакальский. СПб, 1996.
16. Смирнов, М. П. Оценка общего и техногенного речного стока органических веществ с территории СНГ / М. П. Смирнов // Водные ресурсы. 2009. Т. 36, № 6. С. 683–693.
17. Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Правила проведения наблюдений за состоянием поверхностных вод по гидрохимическим и гидробиологическим показателям = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Аналітычны контроль і маніторынг. Правілы правядзення назірання ў станам паверхневых вод па гідрахімічным і гідрабіялагічным паказчыкам : ТКП 17.13-04-2011 (02120). Введ. 20.12.11. Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2012.
18. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила установления фоновых концентраций химических веществ в воде водных объектов = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Гідросфера. Правілы ўстанаўлення фонавых канцэнтрацый хімічных рэчываў у вадзе водных аб'ектаў : ТКП 17.06-04-2012 (02120). Введ. 16.01.12. Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2012.

19. 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. Междунар. науч. конф., 7–9 июля 2009 г. СПб, 2010. С. 97.
20. Фрумин, Г. Т. Природная и антропогенная составляющие биогенного стока р. Невы в Невскую губу / Г. Т. Фрумин, Е. В. Степанова; под ред. Е. М. Нестерова // Геология, геэкология, эволюционная география. СПб, 2008. С. 142–145.
21. Хомич, А. А. Оценка современного гидрохимического фона Белоруссии / А. А. Хомич, Е. П. Красуцкая, О. В. Кадацкая // Докл. АН БССР. 1983. Т. 27, № 12. С. 1102–1105.
22. Чертко, Н. К. Математические методы в физической географии: учеб. пособие для геогр. спец. вузов / Н. К. Чертко. Минск, 1987.
23. Шелупко, В. А. Вопросы оценки качества поверхностных вод по гидрохимическим данным / В. А. Шелупко, Е. В. Колесникова, Е. С. Смыкова // Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон : сб. тр. Междунар. науч. конф., 7–9 июля 2009 г. СПб, 2010. С. 30–39.

<sup>1</sup> Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга окружающей среды,

<sup>2</sup> Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 14.03.2013 г.

**V. B. Селицкая, E. B. Санец, I. E. Русая**

**ВЫЯВЛЕНИЕ ФОНОВОГО СОДЕРЖАНИЯ АЗОТА НИТРАТНОГО  
В РЕЧНОЙ ВОДЕ (НА ПРИМЕРЕ р. БЕРЕЗИНЫ, БАССЕЙН ДНЕПРА)**

Рассмотрен один из методических подходов к выявлению фонового содержания химических веществ в речных водах – графоаналитический метод разностно-интегральных кривых. С его помощью выполнен анализ многолетних рядов данных по содержанию азота нитратного в воде р. Березины в среднемноголетнем аспекте и для различных фаз водного режима, выявлены точки перелома в динамике содержания азота нитратного, выделены временные интервалы с различными вариациями отклонений концентрации вещества от его среднемноголетнего значения, выявлены условно-фоновые концентрации азота нитратного в воде р. Березины. Сделан вывод о том, что интенсификация антропогенной деятельности на водосборе р. Березины снизелировала признаки естественной сезонной динамики азота нитратного и привела к устойчивомуeutrofированию водотока на протяжении последнего десятилетия.

**V. Selitskaya, E. Sanets, I. Rusaya**

**IDENTIFYING OF THE BACKGROUND CONCENTRATIONS OF NITRATE NITROGEN  
IN RIVER WATER (RIVER BEREZINA, BASIN OF THE RIVER DNEPER AS EXAMPLE)**

*In the frame of this article one of the methodological approaches to identify the background of chemicals in the river waters – graphic-analytical method of differential-integral curves is discussed. With the help of the analysis of long-term series of data on the content of nitrate nitrogen in the water of the river Berezina (average concentrations and concentrations in different phases of water regime), the breakpoints in the dynamics of nitrate nitrogen have been revealed, the time slots with different deviations of the concentration of the substance from its average value have been found, conditional background concentration of nitrate nitrogen in the water of the river Berezina have been revealed. The conclusion has been done that the intensification of human activities in the catchment of the river Berezina changed the seasonal dynamics of nitrate nitrogen and led to sustainable watercourse eutrophication in the last decade.*

Г. А. Камышенко

## ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ БЕЛАРУСИ

*Представлены результаты территориального анализа показателей, характеризующих сельскохозяйственное производство Беларуси в 2007–2009 гг. Выявлены административные районы, отличающиеся высокой эффективностью использования сельскохозяйственных земель и финансово устойчивой хозяйственной деятельностью, а также районы с убыточным сельскохозяйственным производством.*

Главным средством производства в сельском хозяйстве является почва, поэтому вопросам сохранения и повышения ее продуктивности придается особая значимость. В Беларуси наблюдается тенденция к сокращению площадей сельскохозяйственных земель. Так, в 2001 г. сельскохозяйственные земли в стране составляли 9204,8 тыс. га, к 2005 г. их площади уменьшились до 9011,5 тыс. га и уже в 2009 г. составили 8926,9 тыс. га, т. е. за 8-летний период произошло их сокращение на 277,9 тыс. га [11]. По состоянию на начало 2012 г. общая площадь сельскохозяйственных земель Беларуси сократилась до 8874,0 тыс. га.

В последнее десятилетие в связи с реализацией мероприятий по оптимизации землепользования из активного сельскохозяйственного

оборота целенаправленно стали исключаться низкоплодородные, убыточные для земледелия участки, что привело к уменьшению сельскохозяйственных и, в частности, пахотных земель [7]. Посевные площади вследствие их резкого сокращение после 2001 г. достигли в 2005 г. своего минимума – 5473 тыс. га (рис. 1). В последующие годы пахотные площади увеличились за счет передачи сельскохозяйственным организациям неиспользуемых земель граждан и земель запаса. В связи с происходящими изменениями основного природного ресурса, обеспечивающего продовольственную безопасность и устойчивое развитие сельского хозяйства страны, анализ эффективности сельскохозяйственного производства актуален и обладает высокой практической значимостью.

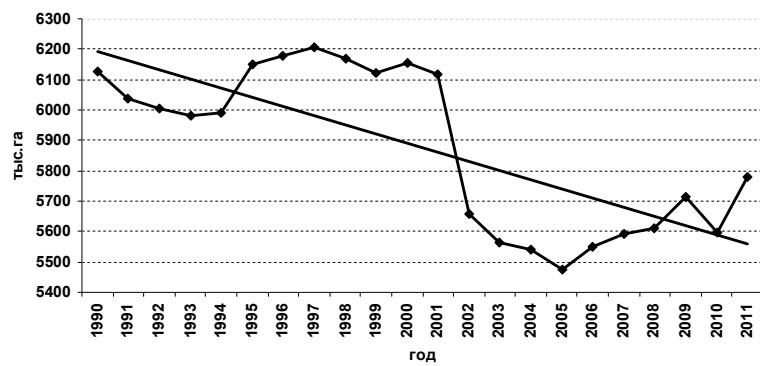


Рис. 1. Динамика изменения посевных площадей Беларуси с линейным трендом

Подходы к анализу эффективности использования сельскохозяйственных земель могут быть как территориальными, так и временными, базирующимиися на исследовании как уровня продуктивности основных возделываемых культур, так и значений стоимостных оценок, отражающих основные аспекты землепользования и другой хозяйственной деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей.

В представленном исследовании анализируются отдельные экономические показатели, подготовленные и опубликованные Республиканским научным унитарным предприятием «Институт системных исследований в АПК Националь-

ной академии наук Беларуси» [11], а также статистические материалы Министерства статистики и анализа Республики Беларусь. Опубликованные данные оценены в балло-гектарах с целью нивелирования различия в плодородии различных регионов республики. Нами же исследуемые показатели пересчитаны в натуральные величины с использованием балла сельскохозяйственных земель [6, 8], что позволяет сопоставлять экономические оценки эффективности использования земельных ресурсов с достигнутым уровнем культуры земледелия. Анализ выполнен по средненным данным за 2007–2009 гг. на уровне административных районов страны.

Для оценки и описания различия и сходства объектов исследования использованы сравнительно-географический метод и средства ГИС-технологий, обеспечивающие обработку и отображение пространственно-координированных данных, их агрегирование посредством градаций шкал построенных картосхем, интеграцию полученных знаний о территории для их эффективного использования при решении научных и прикладных задач.

На рис. 2 представлена картосхема, характеризующая качественное состояние пахотных

земель Беларуси. Кадастровая оценка учитывает плодородие почвы, степень окультуренности по агрохимическим свойствам, каменистость, мелиоративное состояние, агроклиматические условия и др. Построенная картосхема полезна для установления зависимости основных экономических показателей эффективности сельскохозяйственного производства от состояния и качества пригодности пахотных площадей для земледелия, оценки эффективности использования земельных ресурсов.

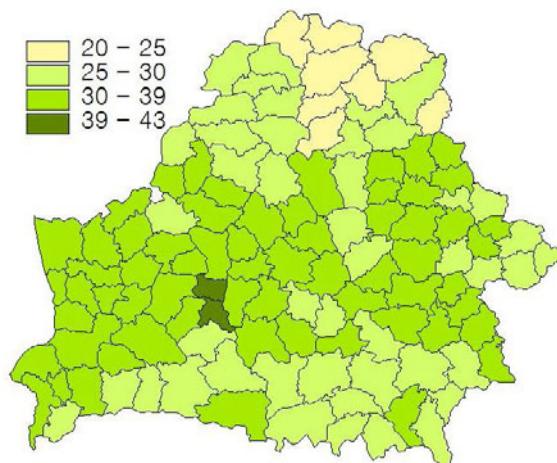


Рис. 2. Картосхема балла плодородия пахотных земель Беларуси

Средний балл плодородия пахотных земель, используемых под посевы сельскохозяйственных культур, по республике равен 31,2. Лучшими по плодородию пахотными площадями располагает Гродненская область. На юго-западе Минской области выделяются самые плодородные в стране районы (Несвижский и Клецкий), имеющие плодородие пашни, оцениваемое более чем в 40 баллов. Значительная часть пахотных земель Беларуси характеризуется средними баллами кадастровой оценки и выше. Самые низкопродуктивные угодья расположены на севере страны – в Витебской области.

Рассмотрим комплекс картосхем (рис. 3), характеризующих такие экономические показатели, как валовая продукция сельского хозяйства, государственная поддержка хозяйственной деятельности, прибыль/убыток от хозяйственной деятельности без господдержки, прибыль от хозяйственной деятельности с учетом всех видов господдержки, инвестиции в основной капитал, представленные в расчете на 1 га сельхозугодий, анализ которых в совокупности позволяет сделать вывод об уровне эффективности сельскохозяйственного производства в 2007–2009 гг. в административных районах республики.

Сравним картосхемы, отражающие территориальное распределение валовой продукции сельского хозяйства и уровня господдержки хозяйственной деятельности предприятий аграрно-

го сектора экономики в расчете млн руб. на 1 гектар сельхозугодий. Валовая продукция представляет собой в стоимостном выражении произведенную за определенный период времени продукцию земледелия и животноводства. Выбор для сравнения данных показателей обусловлен тем, что уровень произведенной валовой продукции – важнейший критерий оценки эффективности сельскохозяйственно производство, а одним из условий, обеспечивающим достойный уровень продуктивности, является господдержка. Коэффициент корреляции значений сопоставляемых показателей равен 0,53, т. е. вклад господдержки в объем валовой продукции сельского хозяйства составляет 28 %. Согласно соглашению, принятому в рамках Единого экономического пространства, в Беларусь на государственном уровне была поставлена задача постепенного (поэтапного) снижения уровня государственной поддержки сельского хозяйства с 16 % в 2011 г. до 10 % в 2016 г. к валовой стоимости сельскохозяйственных товаров (для сравнения: в России – 7 %, в Казахстане – 4–5 %). Согласно [4], Беларусь за 2011 г. снизила объем господдержки агропромышленного комплекса до 9,6 % от общего производства сельхозпродукции, фактически за год выполнив свои обязательства в рамках Соглашения о единых правилах государственной поддержки сельского хозяйства.

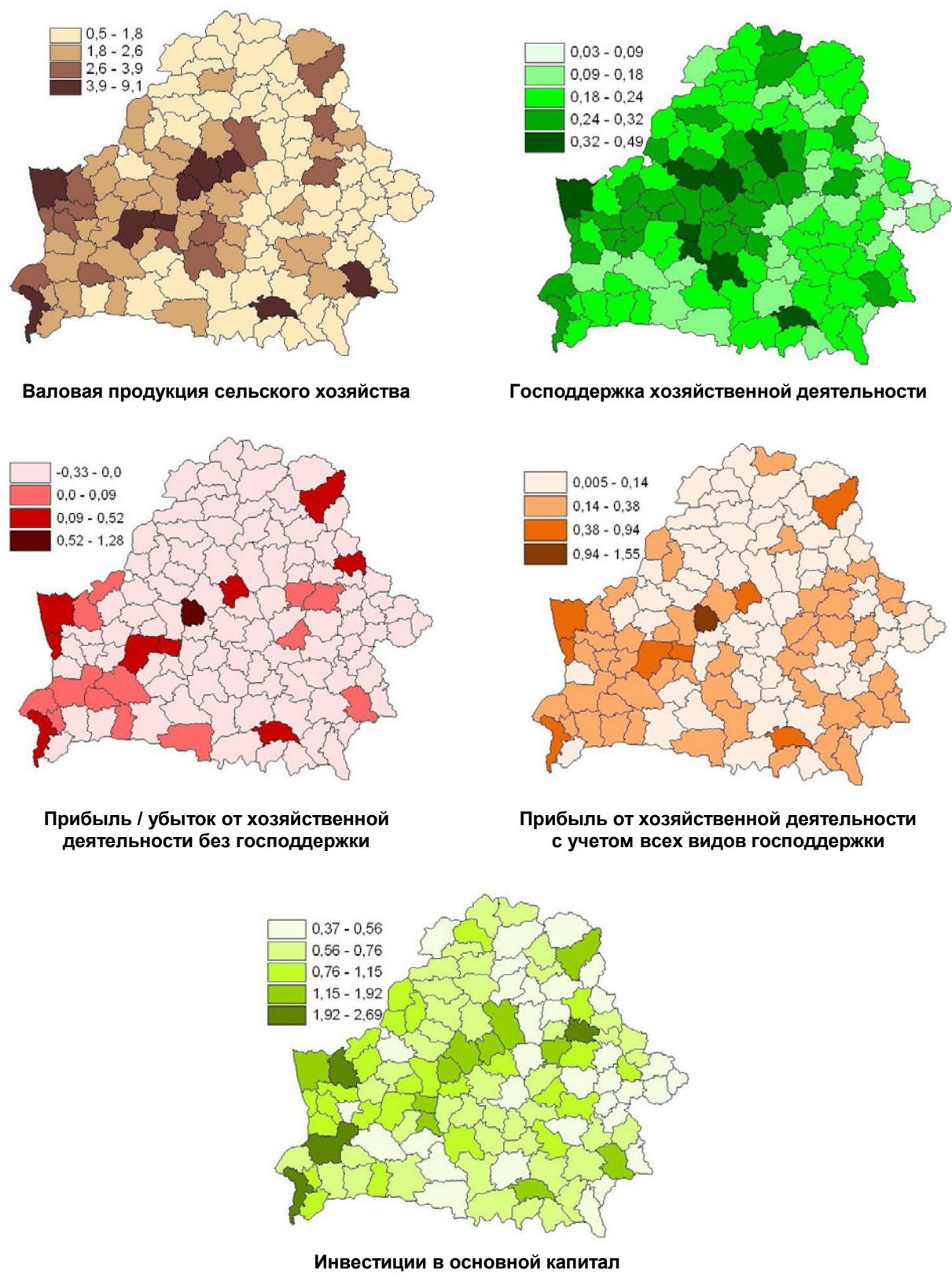


Рис. 3. Средние значения показателей экономической эффективности сельскохозяйственного производства в расчете на 1 гектар сельхозугодий, млн руб. (2007–2009 гг.)

Валовая продукция сельскохозяйственного производства в стране колеблется от 0,56 (Краснopolльский район) до 9,0 млн руб. (Смолевичский район) на 1 гектар сельхозугодий. В девяти административных районах (Барановичском, Брестском, Гомельском, Гродненском, Дзержинском, Минском, Мозырском, Несвижском и Смолевичском) уровень валовой продукции превышает значение среднего критерия (норматива) оценки эффективности хозяйственной деятельности ( $\approx 145$  тыс. руб. на 1 балло-гектар сельхозугодий). В северной и восточной частях страны (за исключением нескольких районов) отмечается низкий уровень данного показателя. Согласно статистическим данным, объемы валовой продукции сельскохозяйственного производства в последние годы устойчиво повышаются. Эта тенденция роста валовой продукции проявилась в целом по стране, начиная с 2000 г. [5].

Показатель по господдержке сельскохозяйственной деятельности варьирует от 31,0 и 47,0 тыс. руб. (Краснopolльский и Горецкий районы, соответственно) до 486 тыс. руб. (Минский район) на 1 гектар сельхозугодий. Наиболее значительная господдержка в 2007–2009 гг. была оказана Мозырскому, Минскому и Воложинскому районам. Визуальный анализ представленных картосхем позволяет выделить районы, в которых по ряду различных причин недостаточно эффективно использованы средства господдержки. Вклад господдержки в уровень валовой продукции в исследуемые годы составил 44 %. Как правило, в районах с высоким уровнем государственных дотаций показатель по валовой продукции сельского хозяйства достаточно высок, однако прямая связь здесь не прослеживается. Такие районы, как Крупский, Россонский, Полоцкий, получившие в последние годы значительную господдержку сельскохозяйственного производства, по валовой продукции не достигли значимых результатов от хозяйственной деятельности.

Исследование картосхемы, характеризующей прибыль/убыток от сельскохозяйственной деятельности без господдержки в расчете на 1 га сельхозугодий в млн руб., показало, что среди всех административных областей Брестская отличается самым большим процентом прибыльных без господдержки районов. Отмечается определенное сходство картограмм, характеризующих валовую продукцию сельского хозяйства и прибыль/убыток от хозяйственной деятельности без господдержки, обусловленное значимой корреляционной зависимостью данных показателей ( $k = 0,64$ ), свидетельствующей о том, что уровень произведенной валовой продукции на 41 % обуславливает прибыльность сельскохозяйственного производства. В 2007–2009 гг. самым прибыльным в аграрном секторе страны районом оказался Дзержинский, занимающий

лидирующие позиции, а также Несвижский, Смолевичский и Барановичский административные районы. Как правило, в районах с высокопродуктивными сельскохозяйственными землями хозяйственная деятельность без господдержки прибыльна, однако здесь есть и исключения. Так, Ляховичский район (Брестская обл.) с самыми высокопродуктивными в области почвами является убыточным без господдержки, а Витебский район с низкопродуктивными сельскохозяйственными землями оказался прибыльным от хозяйственной деятельности без господдержки. Такие административные районы, как Гродненский, Мозырский и Смолевичский, получившие значительную господдержку, являются в высокой степени прибыльными и без дотаций государства. В Брестской области самые значительные объемы государственных вложений были выделены Брестскому, Каменецкому и Лунинецкому административным районам, однако в Лунинецком районе вследствие неэффективной сельскохозяйственной деятельности прибыль с учетом всех видов господдержки оказалась одной из самых низких по области (80 тыс. руб. на 1 га сельхозугодий), ниже – только в соседнем Ганцевичском районе (60 тыс. руб. на 1 га сельхозугодий). Хозяйственная деятельность большинства районов Беларуси без господдержки убыточна [3].

Согласно материалам Национального статистического комитета Республики Беларусь, в 2009 г. сумма чистой прибыли сельскохозяйственных организаций составила 1,5 трлн руб., что на 13,8 % меньше, чем в 2008 г. Всего 23 организации, или 1,4 % от общего числа сельскохозяйственных организаций, получили чистый убыток (в 2008 г. таких организаций было 21). Сумма чистого убытка убыточных организаций составила 31,3 млрд руб., что в 1,5 раза больше, чем в 2008 г. Уровень рентабельности реализованной продукции, работ, услуг за 2009 г. составил 4,3 % (за 2008 год – 6,1 %) [9].

Перед сельским хозяйством поставлена задача технического перевооружения и индустриального развития, для решения которой необходимо создать высокотехнологичное производство, соответствующее современным требованиям к уровню экономической эффективности. Инвестиции в основной капитал рассчитываются как сумма средств по всем источникам, направляемая на модернизацию или увеличение основных фондов.

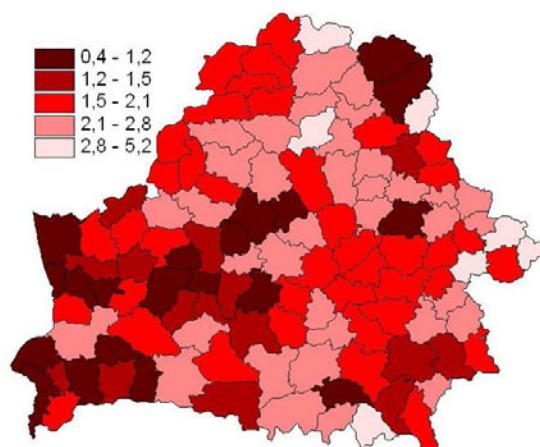
В 2007–2009 гг. инвестиции в основной капитал варьировали от 370 (Климовичский район) до 2688 тыс. руб. (Шкловский район) на 1 га сельхозугодий. Большинство районов с низким уровнем инвестиций расположены на северо-востоке страны. В целом по республике инвестиции в основной капитал на гектар сельхозугодий выросли в 2009 г. по сравнению с 2006 г. более чем в 2 раза. Лидером по данному показателю

является Брестская область, наименьшим значением характеризуется Могилевская область [11].

Одним из важнейших показателей эффективности функционирования агропромышленного производства является финансовая устойчивость сельскохозяйственных предприятий, представляющая собой отношение всех финансовых обязательств на конец года к годовой выручке от реализации товаров, продукции, работ и услуг. Чем ниже значение данного показателя, тем выше финансовая устойчивость предприятия. Принятый норматив финансовой устойчивости сельскохозяйственной деятельности равен 1.2.

В 2007–2009 гг. финансово устойчивое землепользование отмечалось в 20 районах страны, среди которых можно выделить Дзержинский, Красногорский, Одинцовский, Раменский, Троицкий, Чеховский и другие.

жинский, Смолевичский, Барановичский и Гродненский районы, показатель финансовой устойчивости которых не превысил значение 0,6 (рис. 4). В шести административных районах значение коэффициента, характеризующего финансовую устойчивость/неустойчивость сельскохозяйственного производства региона, оказалось выше 3,0, что свидетельствует о крайне неустойчивом аграрном производстве. Финансово неустойчивой хозяйственной деятельностью характеризуются сельскохозяйственные предприятия Краснopolльского ( $k = 5,2$ ), Климовичского (3,3) и Хотимского (3,2) районов Могилевской области, Россонского (3,4) и Лепельского (3,1) районов Витебской области, Наровлянского (3,1) района Гомельской области.



**Рис. 4. Финансовая устойчивость сельскохозяйственной деятельности (критерий устойчивости:  $k \leq 1,2$ )**

По Брестской области коэффициент финансовой устойчивости/неустойчивости сельскохозяйственных организаций в исследуемые годы территориально изменялся в диапазоне от 0,5 (Барановичский район) до 2,7 (Ганцевичский район). Кроме уже названного Барановичского района высокой финансовой устойчивостью хозяйственной деятельности характеризовались сельскохозяйственные предприятия Каменецкого, Кобринского, Брестского, Березовского и Ивановского административных районов. Самые неустойчивые в финансовом отношении оказались Ганцевичский, Пинский и Пружанский районы.

В Витебской области только в двух административных районах (Витебском и Городокском) финансовая устойчивость сельскохозяйственного производства в 2007–2009 гг. соответствовала принятому критерию устойчивости. Лепельский и Россонский районы оказались самыми финансово неустойчивыми.

В Гомельской области финансово устойчивой ситуацией в исследуемые годы характеризовался только Мозырский район. Несмотря на то что этот административный район располагает низкопродуктивными почвами, сельскохозяйст-

венное производство здесь оказалось прибыльным без господдержки.

Гродненская область отличается высокопродуктивными почвами и является территорией в целом благоприятной для ведения сельского хозяйства и, в особенности, растениеводства.

В Минской области относительно эффективности сельскохозяйственной деятельности выделяются в качестве самых благополучных такие административные районы, как Дзержинский и Смолевичский, затем следуют Минский и Несвижский районы. При этом в Клецком, Ко-  
пильском и Молодечненском районах, располагающих пахотными землями с высоким бонитетом, недостаточно эффективно используется данный ресурс.

В Могилевской области только один район является финансово устойчивым по принятому критерию – Могилевский район, на долю которого приходится 20 % производства валовой продукции сельского хозяйства области. При этом следует отметить, что кроме Могилевского района в области в исследуемые годы оказались прибыльными без господдержки Белыничский, Горецкий и Кировский районы.

Эффективность использования земельных ресурсов оценивается не только по оценке финансовой устойчивости сельского хозяйства, но также и посредством анализа урожайности основных возделываемых на территории страны сельскохозяйственных культур, устойчивости их производства, т. е. способности противостоять отрицательным воздействиям, преимущественно стихийным силам природы, возможности предупредить или ослабить спады сельскохозяйственного производства. Выполненные ранее исследования показали, что устойчивость продуктивности сельскохозяйственных культур территориально снижается с запада на восток [2], такая же картина наблюдается и по финансовой устойчивости сельскохозяйственной деятельности.

Как правило, чем беднее почва, тем урожай на ней менее стабилен, а увеличение его производства обходится дороже. Так, примерно 1 балл плодородия пахотной земли в интервале 20–25 баллов обеспечивает 40 килограммов зерна, или 8–10 ц/га, а в интервале 40–45 баллов – 60 килограммов зерна, или примерно 24 ц/га. Поэтому для повышения эффективности сельскохозяйственного производства при обосновании посевных площадей очень важно учитывать состояние и качество используемых пахотных земель [1].

Кроме того, для успешного функционирования аграрного сектора экономики важны такие показатели, как наличие трудовых, материальных и энергетических ресурсов. С целью разработки территориально-дифференцированных мер по использованию и охране почвенно-земельных ресурсов и устойчивому развитию сельских регионов Беларусь в Белорусском государственном университете выполнены исследования по оценке агроресурсного потенциала, позволившие выделить три группы (оптимальную или близкую к оптимальной, недостаточную и

избыточную) административных районов по степени обеспеченности обрабатываемых земель агроресурсами [12].

Полученные нами результаты согласуются с результатами указанного выше исследования эффективности использования земельно-ресурсного потенциала в аграрной отрасли. Сравнительный анализ показал, что 8 из 20 районов, выделенных нами как финансово устойчивые, вошли в группу, для которой характерна высокая эффективность использования агроресурсного потенциала, превышающего средний уровень по стране. Остальные 12 районов, выделенные как благополучные с точки зрения эффективности аграрного производства, вошли в группу с относительно сбалансированным сочетанием агроресурсов, используемых достаточно эффективно.

Следует отметить, что по отдельно взятым годам сложно судить о происходящих в сельскохозяйственных регионах процессах, однако полученная аналитическая информация в комплексе с результатами других исследований в области агроэкологии может быть использована для разработки мер по территориальному совершенствованию аграрного землепользования.

Таким образом, в ходе выполненного исследования выявлены административные районы, отличающиеся высокой эффективностью использования сельскохозяйственных земель и финансово устойчивой хозяйственной деятельностью, а также районы с убыточным сельскохозяйственным производством, получившие в 2007–2009 гг. значительную господдержку сельскохозяйственного производства, но не достигшие значимых результатов по производству валовой продукции. Показано, что сельскохозяйственная деятельность большинства районов Беларусь без господдержки убыточна.

## Литература

1. Кадыров, М. А. Дополнить бы вал эффективностью... / М. А. Кадыров // Белорусская нива. 2012. 4 сент.
2. Камышенко, Г. А. Анализ устойчивости урожайности сельскохозяйственных культур Беларусь (на примере озимой пшеницы и картофеля) / Г. А. Камышенко // Природопользование. 2010. Вып. 18. Минск, 2010. С. 97–102.
3. Камышенко, Г. А. ТERRITORIALНЫЙ анализ эффективности сельскохозяйственного производства Брестской области / Г. А. Камышенко // Природная среда Полесья и устойчивое развитие агропромышленного комплекса региона : материалы VI Междунар. научн. конф. Брест, 2012. С. 102–105.
4. Котковец: Беларусь выполнила свои обязательства по поддержке АПК [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://news.tut.by/economics/307486.html>. Дата доступа : 03.12.2012.
5. Мележ, В. Положение в сельском хозяйстве Республики Беларусь / В. Мележ // Статистика Беларусь. 2009. № 4. С. 27–33.
6. Мороз, Г. М. Кадастровая оценка земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств / Г. М. Мороз // Земля Беларусь. 2011. № 1. С. 39–47.
7. Ольшевская, Е. С. Анализ и экстраполяционный прогноз динамики сельскохозяйственных земель / Е. С. Ольшевская // Почвенно-земельные ресурсы: Оценка, устойчивое использование, геоинформационное обеспечение : материалы Междунар. науч.-практ. конф. 2012. Минск. С. 301–303.
8. Показатели кадастровой оценки земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств / Г. И. Кузнецова [и др.]. Минск, 2010.
9. Сельское хозяйство Республики Беларусь : статистический сборник. Минск, 2010.
10. Состояние окружающей среды Республики Беларусь : нац. докл. Минск, 2010.

11. Сравнительная эффективность сельскохозяйственного производства в разрезе районов Республики Беларусь. Аналитический обзор : Справочное издание / В. И. Бельский [и др.]. Минск, 2010.

12. Яцухно, В. М. Земельно-ресурсный потенциал административных ресурсов Беларуси и его использование в аграрной отрасли / В. М. Яцухно, Е. С. Ольшевская, Е. Е. Давыдик // Вестн. БГУ. 2012. № 1. Сер. 2. С. 75–80.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 18.12.2013 г.

**Г. А. Камышенко**

### **ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ БЕЛАРУСИ**

В статье представлены результаты территориального анализа средних за 2007–2009 гг. значений отдельных экономических показателей, характеризующих основные аспекты землепользования и другой хозяйственной деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей на уровне административных районов страны. Исследованы следующие показатели: валовая продукция сельского хозяйства, государственная поддержка хозяйственной деятельности, прибыль/убыток от хозяйственной деятельности без господдержки, прибыль от хозяйственной деятельности с учетом всех видов господдержки, инвестиции в основной капитал. В качестве ключевого параметра рассмотрен показатель финансовой устойчивости/неустойчивости сельскохозяйственной деятельности.

Выявлены административные районы, отличающиеся высокой эффективностью использования сельскохозяйственных земель, характеризующиеся финансовой устойчивостью и значительной прибылью от сельскохозяйственной деятельности, а также финансово неустойчивые районы с низкой эффективностью ведения аграрного производства. Среди районов с финансово устойчивым землепользованием выделяются Дзержинский, Смолевичский, Барановичский и Гродненский районы; крайне финансово неустойчивой хозяйственной деятельностью характеризуются сельскохозяйственные предприятия Краснопольского, Климовичского и Хотимского районов Могилевской области, Россонского и Лепельского районов Витебской области, Наровлянского района Гомельской области. Установлено, что такие административные районы, как Гродненский, Мозырский и Смолевичский, получившие значительную господдержку, являются в высокой степени прибыльными и без дотаций государства. Лунинецкому району в исследуемые годы были выделены значительные объемы государственных вложений, однако вследствие неэффективной сельскохозяйственной деятельности прибыль с учетом всех видов господдержки оказалась одной из самых низких по области. Показано, что сельскохозяйственная деятельность большинства районов Беларуси без господдержки убыточна.

**G. A. Kamyshenka**

### **A TERRITORIAL ANALYSIS OF BELARUS FARMLANDS EFFICIENCY USE**

*Results of territorial analysis of averages of some economic indices for 2007–2009 characterizing basic aspects of land use and other economic activities of agricultural commodity producers at the level of administrative areas of the country are presented. Following indicators are investigated: agriculture gross output, a state support of economic activities, profit/loss from economic activity without state support, profit from economic activity, taking into account all kinds of state support, the investment into a fixed capital. The indicator of financial stability/instability of agricultural activity is considered as a key parameter.*

*The administrative areas have been revealed, specific with financial stability and considerable profit from agricultural activity, as well as financially unstable areas with low efficiency of agrarian manufacture management. Among areas with financially steady land use there are Dzerzhinsky, Smolevichsky, Baranovichsky and Grodno regions; extremely financially unstable economic activities characterize agricultural enterprises of Krasnopol'sky, Klimovichsky and Khotimsky districts of Mogilyov region, Rossontsky and Lepelsky ones of Vitebsk region, Narovljansky district of Gomel. It has been established that such administrative areas as Grodno, Mozyrsky and Smolevichsky, having received a great state support, are highly profitable without state grants. Luninetsky region during the studied years received considerable volumes of state investments, however due to inefficient agricultural activity the profit, taking into account all kinds of state support, has appeared to be one of the lowest in the district. It has been shown, that agricultural activity of the majority of Belarus regions is unprofitable without support.*

УДК 631.4+528.8

**А. А. Яновский, В. В. Смирнова, В. А. Ракович, Н. Н. Бамбалов**

## ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА, ФОРМИРУЮЩЕГОСЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕЛИОРИРОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ ПОЛЕСЬЯ

*Количественно описана пространственная неоднородность почвенного покрова, формирующегося при деградации мелиорированных торфяных почв Полесья. Исследованы особенности проведения подспутниковых измерений при картографировании деградированных торфяных почв Беларусь на основе данных дистанционного зондирования.*

Особенностью торфяников Полесья является их залегание на равнинных территориях, поэтому они имеют сравнительно большие размеры по площади (до десятков тысяч гектаров) и небольшую толщину торфяного слоя – в основном до 1,3 м в неосуществленном состоянии [10]. После осушения за несколько десятилетий в результате усадки, минерализации и ветровой эрозии средняя толщина слоя торфа значительно уменьшилась, и, поскольку поверхность подстилающей торф минеральной почвы на территории Полесья характеризуется слабо волнистым рельефом, на повышенных участках сельскохозяйственных полей начали появляться деградированные торфяные почвы [2, 4, 7, 9, 11]. В результате в настоящее время многие сельскохозяйственные поля представляют собой мозаичные комплексы из участков торфяных и деградированных торфяных почв, которые сильно различаются по водному, тепловому и пищевому режимам. Формирующаяся пестрота почвенного плодородия в пределах одного поля или рабочего участка снижает продуктивность земель, поэтому имеет место недобор урожаев сельскохозяйственных культур. Общая площадь деградированных торфяных почв в 2000 г. составляла 190,2 тыс. га [9], а к 2020 г., согласно прогнозу [2], достигнет около 326 тыс. га. Наиболее опасным считается образование минеральных почв с содержанием органического вещества (ОВ) менее 5 %. В 2000 г. их площадь составляла 18,2 тыс. га [9], а в 2020 г. согласно прогнозу будет около 48 тыс. га [2].

Цель работы – подробно количественно описать пространственную неоднородность почвенного покрова мелиорированных торфяных почв Полесья с точки зрения возможности дистанционного картографирования деградированных торфяных почв.

Опытные данные на участках поля, содержащих и торфяную, и деградированную торфяную почву, были получены в 1991 году на территории Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства (ПОСМЗиЛ) на экспериментальных севооборотах, заложенных А. И. Барсуковым [3]. Уча-

стки проведения исследования были осушены в 1961 г., первые посевы сельскохозяйственных культур были проведены в 1963 году. Первый участок исследования — бессменная культура многолетних трав, второй участок — пропашной севооборот. Размер одного поля севооборота составляет  $50 \times 80$  м.

Рельеф равнинный слабоволнистый. В пределах каждого севооборотного поля разница между наиболее высокой и наиболее низкой отметками составляет около 0,5–1,0 м, что предопределяет неодинаковую мощность торфяного слоя на разных элементах рельефа.

В 1961 г. в начале осушения средняя мощность органогенного слоя колебалась на разных севооборотах от 63 до 73 см, а в 1981 году в результате уплотнения и потери торфа от минерализации и ветровой эрозии мощность этого слоя составляла лишь 34–39 см, при этом 82 % уменьшения мощности приходилось на уплотнение и 18 % – на потери почвы [3]. Потери ОВ за 20 лет составили под многолетними травами 65 т, или по 3,25 т/га в год, под пропашным севооборотом – 184 т, или по 9,20 т/га в год.

К 1991 году в результате дальнейшей сработки органогенного слоя на опытном участке пропашного севооборота произошло перемешивание торфяного слоя с подстилающим песком и иловатой прослойкой между ними. При этом наиболее высокая доля припаханного песка подстилающей почвы оказалась на повышенных элементах рельефа, а наиболее низкая – в понижениях.

На участке бессменной культуры многолетних трав торфяной слой в микропонижениях хорошо сохранился, а на микроповышениях частично перемешался с подстилающим песком и иловатой прослойкой.

Для отбора проб почвы была сделана разбивка каждого участка по сетке  $10 \times 10$  м и в центре каждого квадрата располагалась еще одна точка. В результате, расстояние между двумя соседними точками отбора проб составило примерно 7 м.

Для каждой пробы определяли две величины: остаток после прокаливания (ОПП) при 800 °C и содержание углерода органического вещества (Сорг). Сорг определялся хромовым методом: для почв с зольностью выше 90 % – по методике И. В. Тюрина в модификации В. И. Никитина [6], для почв с зольностью менее 90 % – по методике Института в модификации Пономаревой и Николаевой [8].

Результаты анализа показали, что некоторые пробы характеризуются весьма низкими значениями Сорг, соответственно, для данных проб следует ожидать завышение рассчитанных на основе ОПП значений содержания ОВ вследствие того, что при прокаливании кроме сжигания ОВ удаляется вода, связанная глинистыми минералами, а также разлагаются некоторые минеральные вещества, например, карбонаты. По этой причине результаты определения содержания в пробах ОПП не использовались в статистической обработке, и дальнейшие расчеты проводили с данными по содержанию Сорг.

Результаты определения содержания Сорг были импортированы в программную среду вычислений R [17], в которой с помощью интерполяции по

измеренным значениям Сорг расстояние между двумя соседними точками отбора проб было приведено к 2,5 м. Для проведения интерполяции одним из авторов был написан программный код на языке программирования R [17]. При интерполяции использовали 4 ближайшие физически измеренные значения Сорг (для точек вблизи границы участков, а также для точек, лежащих строго между двумя соседними точками отбора проб, количество используемых в расчете ближайших физически измеренных значений Сорг было меньше), при этом вклад каждой из них учитывали с использованием соответствующего коэффициента, обратно пропорционального расстоянию между точкой с измеренным значением Сорг и интерполируемой точкой. Для каждой точки интерполяции данные коэффициенты были нормированы к единице. В результате суммарно для первого участка было получено 609 значений содержания Сорг, а для второго участка – 693. Графическое отображения полученных сеток (рис. 1) были получено с использованием пакетов Cairo [18] и fields [14] программной среды вычислений R.

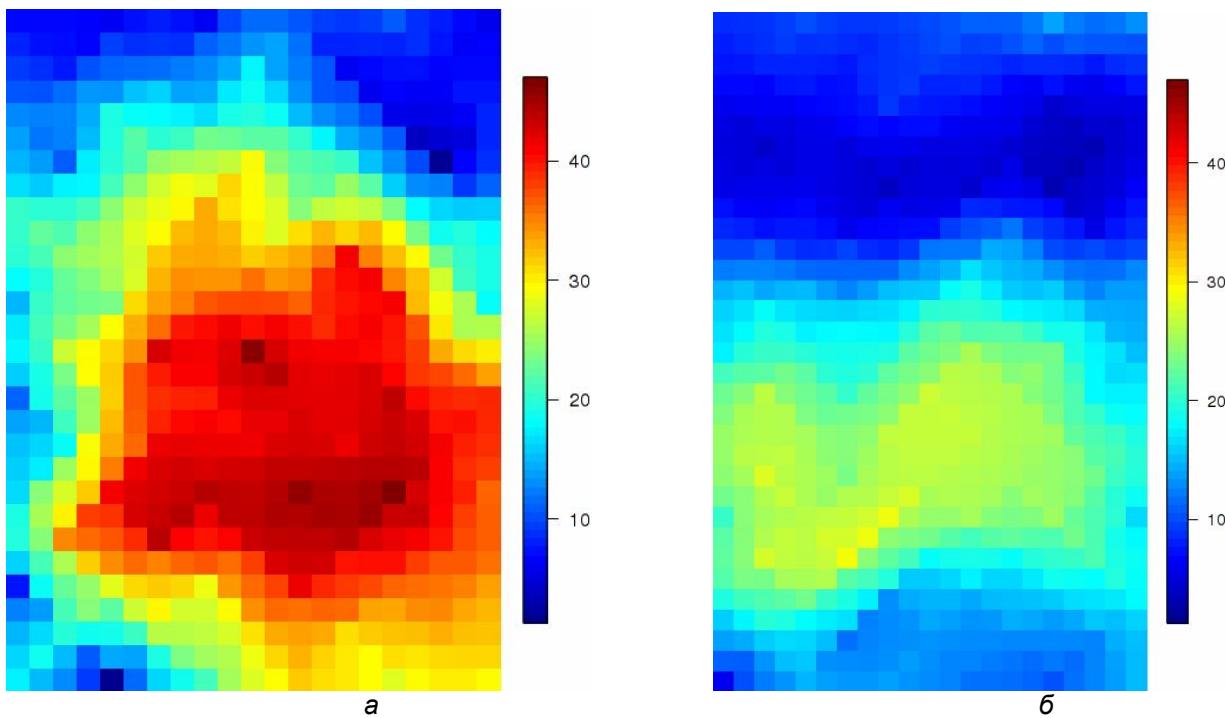


Рис. 1. Пространственная неоднородность содержания Сорг (%) в пахотном слое мелиорированных торфяных почв Полесья на примере экспериментальных севооборотов ПОСМЗиЛ:  
а – бессменная культура многолетних трав; б – пропашной севооборот

Физически измеренные значения Сорг были статистически обработаны. Функция распределения содержания Сорг для сельскохозяйственных полей, содержащих участки торфяной и дегради-

рованной торфяной почвы, существенно отличается от гауссовой, поэтому классические методы нахождения доверительных границ для выборочного среднего и выборочного стандартного отклонения

(с использованием, соответственно, квантилей распределения Стьюдента и квантилей распределения хи-квадрат) оказываются неприменимы. Однако при большом числе измерений данные доверительные границы, а также доверительные границы для коэффициента вариации можно рассчитать по непараметрическим асимптотическим формулам. Формулы для расчета данных довери-

тельных границ были взяты из работы [5] и запрограммированы одним из авторов данной статьи на языке R. Непосредственно расчеты были проведены в программной среде вычислений R с использованием пакета *moments* [15] (доверительная вероятность  $p$  была принята равной 0,95). Результаты расчетов приведены в табл. 1.

**Таблица 1. Результаты статистической обработки содержания Сорг в пробах, отобранных на экспериментальных севооборотах ПОСМЗиЛ**

Номер участка	Размер сетки, м	Число проб	Диапазон колебаний Сорг, %	Среднее значение Сорг, %	Стандартное отклонение Сорг, %	Коэффициент вариации Сорг
1	7,07	82	1,3–47,0	26,6 ± 2,9	13,4 ± 1,3	0,503 ± 0,081
2	7,07	94	3,0–29,0	14,9 ± 1,6	7,7 ± 0,7	0,517 ± 0,062

*Примечание.* Участок 1 – бессменная культура многолетних трав; участок 2 – пропашной севооборот.

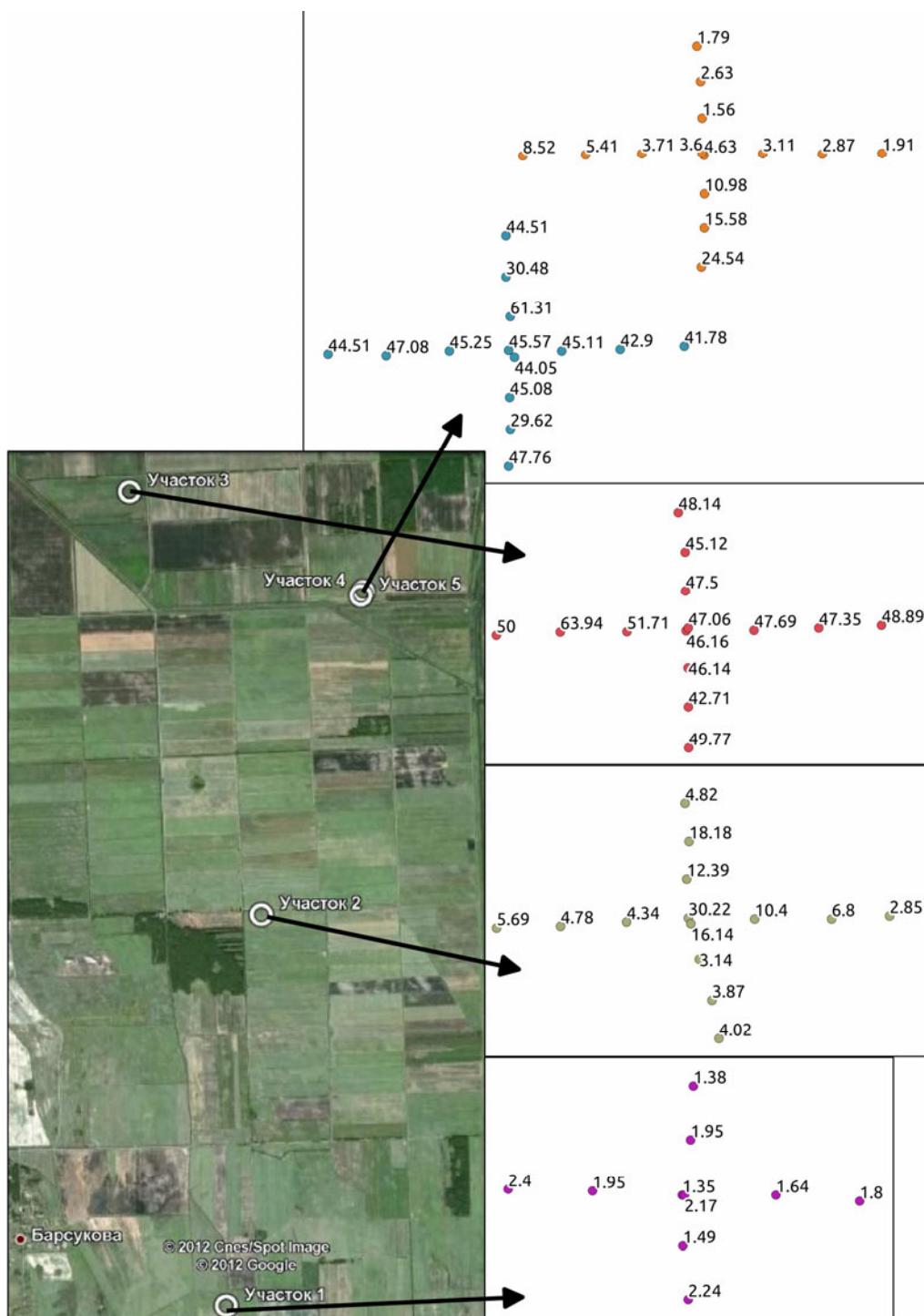
Результаты статистической обработки содержания Сорг в пробах, отобранных на экспериментальных севооборотах ПОСМЗиЛ, показывают высокую пространственную неоднородность почвенного покрова, формирующегося на месте мелиорированных торфяных почв, поэтому картографирование деградированных торфяных почв Полесья путем наземного полевого обследования будет слишком трудоемким и продолжительным, а, следовательно, слишком дорогостоящим даже при выделении только относительно крупных пятен деградации, и практически невозможным при точном картографировании деградированных торфяных почв вследствие их больших площадей и мозаичного расположения среди участков торфяной почвы, что обуславливает интерес к проведению картографирования на основе данных дистанционного зондирования (ДЗ).

Для разработки методики разделения по спутниковым снимкам торфяных почв на деградированные и недеградированные, а также для последующей проверки точности созданной методики необходимы подспутниковые измерения содержания в почве ОВ. При этом методика получения наземных данных по содержанию в почве ОВ должна учитывать особенности ДЗ. В частности, необходимо учесть, что данные ДЗ содержат элементарные участки сканирования, в пределах которых происходит усреднение регистрируемой радиометром спутника спектральной плотности энергетической яркости. По этой причине, участки проведения наземного исследования должны быть максимально однородны по степени деградации в пределах площади, соответствующей, по крайней мере, четырем элементарным участкам сканирования, а если ошибки геопривязки элементарных участков сканирования, выбранных для сопоставления с наземными данными и/или геопривязки

самых мест отбора проб достаточно велики, – то размер однородных по степени деградации торфяной почвы участков необходимо увеличивать, чтобы обеспечить пространственное соответствие между спутниковыми и наземными данными.

Участки полей, визуально относительно однородные по степени деградации, были исследованы в 2011 году. В частности, на посевах сельскохозяйственных культур на территории Солигорского и Лунинецкого районов были найдены и геопривязаны с помощью GPS-приемника 5 визуально относительно однородных по степени деградации участков торфяной и деградированной торфяной почвы (3 участка размером 60 × 60 м, 1 участок размером 40 × 40 м (участок 1 на рис. 2) и 1 участок размером 120 × 120 м (участок 3 на рис. 2)). На данных участках были отобраны пробы из пахотного слоя почвы для определения содержания Сорг, а место отбора каждой пробы – геопривязано. Пробы отбирали в центре каждого участка (две пробы) и через каждые 10 м (участки на сельскохозяйственных полях в виде мозаичных комплексов из торфяной и деградированной торфяной почвы) или 20 м (на участке торфяной почвы с глубиной торфа более 1 м) по четырем направлениям от центра, примерно ориентированным по сторонам света.

Для каждой пробы было определено содержание Сорг по методике Анстета в модификации Пономаревой и Николаевой [8]. Графическое отображение размещения на местности участков отбора проб, а также точного расположения мест отбора проб на каждом участке (в географической системе координат), с указанием для каждой пробы результатов определения содержания в ней Сорг, было выполнено в геоинформационной системе Quantum GIS 1.8 [16] (рис. 2).



**Рис. 2. Расположение участков отбора проб на местности и точек отбора проб на каждом участке с указанием для каждой пробы результата определения содержания Сорг (%)**

Для статистической обработки результатов определения содержания в пробах Сорг были исключены пробы, приводящие после расчета содержания ОВ к значениям более 100 % в результате

случайных ошибок, например, попадания в пробу KCl. Для каждого участка с помощью пакета Rcmdr [13] программной среды вычислений R были рассчитаны диапазон колебания значений Сорг, выбо-

рочное среднее значение Сорг и соответствующее ему значение ОВ, а также выборочные стандартное отклонение и коэффициент вариации значений Сорг. Доверительные границы не рассчитывали, поскольку функция распределения содержания Сорг для сельскохозяйственных полей, содержащих участки торфяной и деградированной торфяной почвы, существенно отличается от гауссовой, а непараметрические асимптотические формулы в данном случае неприменимы вследствие слишком ма-

лого числа проб. Результаты расчетов приведены в табл. 2. Разделение почвы на торфяную и деградированную торфяную проведено на основе граничного значения содержания в торфяной почве ОВ, равного 20 % (11,6 % Сорг [1, 6]). Целесообразность использования данного граничного значения при картографировании деградированных торфяных почв Беларуси на основе данных ДЗ обоснована в работе [12].

**Таблица 2. Результаты статистической обработки содержания Сорг в пробах, отобранных на визуально относительно однородных по степени деградации пробных участках на территории Солигорского и Лунинецкого районов**

Номер участка	Число проб	Диапазон колебаний Сорг, %	Среднее значение Сорг, %	Стандартное отклонение Сорг, %	Коэффициент вариации Сорг	Среднее содержание ОВ, %	Тип почвы
1	10	1,35–2,40	1,84	$3,69 \cdot 10^{-1}$	$2,01 \cdot 10^{-1}$	3,17	Деградированная торфяная
2	14	2,85–30,22	9,12	7,82	$8,58 \cdot 10^{-1}$	15,72	Деградированная торфяная
3	13	42,71–51,71	47,56	2,31	$4,85 \cdot 10^{-2}$	81,99	Торфяная
4	14	1,56–24,54	6,49	6,56	1,01	11,19	Деградированная торфяная
5	13	29,62–47,76	42,59	5,78	$1,36 \cdot 10^{-1}$	73,43	Торфяная

На примере участков 2 и 4 на рис. 2 видно, что визуально относительно однородные по степени деградации участки могут содержать одновременно и торфяную, и деградированную торфяную почву. Так, центр участка 2 и небольшая территория с севера и запада от него представляет собой участок торфяной почвы, окруженный со всех сторон деградированной торфяной почвой, а на участке 4 имеет место постепенный переход от деградированной торфяной почвы к недеградированной торфяной почве в направлении от северо-северо-востока к юго-юго-западу.

Таким образом, при проведении подспутниковых измерений, необходимых для разработки методики разделения по спутниковым снимкам торфяных почв на деградированные и недеградированные, визуальная оценка степени однородности калибровочных участков должна подкрепляться отбором проб почвы и определением в них содержания Сорг, а сами пробы следует брать по сетке, равномерно охватывающей весь калибровочный участок. Использованную в данной работе методику отбора проб (в центре участка и по четырем направлениям от центра, примерно ориентированным по сторонам света) можно применять только в отношении сильно деградированных участков, когда песок хорошо виден на всей площади участка, а на калибровочных

участках с глубиной торфа более 1 м количество отбираваемых проб можно сократить по сравнению с данной работой (в этом случае необходимо проводить проверку глубины торфяного слоя на всем калибровочном участке).

#### Выходы.

1. Картографирование деградированных торфяных почв Полесья путем наземного полевого обследования слишком трудоемко и продолжительно, а, следовательно, слишком дорогостояще даже при выделении только относительно крупных пятен деградации, и практически невозможно при точном картографировании деградированных торфяных почв вследствие их больших площадей и мозаичного расположения среди участков торфяных почв, что вызывает интерес к проведению картографирования на основе данных ДЗ.

2. При проведении подспутниковых измерений, необходимых для разработки методики разделения по спутниковым снимкам торфяных почв на деградированные и недеградированные, визуальная оценка степени однородности калибровочных участков должна подкрепляться отбором проб почвы и определением в них содержания Сорг.

3. При картографировании деградированных торфяных почв на основе спутниковых снимков среднего пространственного разрешения пробы

следует брать по сетке, равномерно охватывающей весь калибровочный участок.

4. В отношении сильно деградированных участков, когда песок хорошо виден на всей площади участка, можно ограничиться отбором проб в центре участка и по четырем взаимно перпендикулярным

направлениям от центра, а на калибровочных участках с глубиной торфа более 1 м можно ограничиться отбором нескольких проб при условии проверки глубины торфяного слоя на всем калибровочном участке.

### Литература

1. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. 2-е изд. М., 1970.
2. Бамбалов, Н. Н. Роль болот в биосфере / Н. Н. Бамбалов, В. А. Ракович. Минск, 2005.
3. Барсуков, А. И. Плодородие трансформированных органогенных почв / А. И. Барсуков // Эволюция торфяных почв под влиянием осушительной мелиорации и ее последствия. Минск, 1983. С. 76–79.
4. Медведев, А. Г. Образование глееземов на территории Белоруссии / А. Г. Медведев, А. В. Горблюк // Человек и биосфера. М., 1975. С. 74–75.
5. Орлов, А. И. Прикладная статистика: учебник / А. И. Орлов. М., 2007.
6. Орлов, Д. С. Практикум по химии гумуса / Д. С. Орлов, Л. А. Гришина. М., 1981.
7. Полевая диагностика почв Беларусь : практ. пособие / Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь, Национальная академия наук Беларусь, РУП «Институт почвоведения и агрохимии»; ред. Г. С. Цыtron. Минск, 2011.
8. Пономарева, В. В. Методы изучения органического вещества в торфяно-болотных почвах / В. В. Пономарева, Т. А. Николаева // Почвоведение. 1961. № 5. С. 88–95.
9. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь : практ. пособие / Комитет по земельным ресурсам, геодезии и картографии при Совете Министров Республики Беларусь; ред. Н. И. Смеян [и др.]. Минск, 2001.
10. Торфяные и сапропелевые месторождения / А. П. Пидопличко [и др.] // Проблемы Полесья. Минск, 1972. Вып. 1. С. 292–313.
11. Эволюция почв мелиорируемых территорий Белоруссии / С. М. Зайко [и др.]. Минск, 1990.
12. Яновский, А. А. Методические предпосылки дистанционного картографирования деградированных торфяных почв Беларусь / А. А. Яновский // Природопользование. Минск, 2012. Вып. 21. С. 192–198.
13. Fox, J. The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R / J. Fox // Journal of Statistical Software. 2005. Vol. 14, N. 9. P. 1–42.
14. Furrer, R. fields: Tools for spatial data. [Electronic resource] / R. Furrer, D. Nychka, S. Sain. 2012. Mode of access : <http://CRAN.R-project.org/package=fields> Date of access : 1.03.2013.
15. Komsta, L. moments: Moments, cumulants, skewness, kurtosis and related tests [Electronic resource] / L. Komsta, F. Novomestky. 2012. Mode of access : <http://CRAN.R-project.org/package=moments> Date of access : 01.03.2013.
16. Quantum GIS Development Team. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project [Electronic resource]. 2012. Mode of access : <http://qgis.osgeo.org>. Date of access : 01.03.2013.
17. R: A language and environment for statistical computing [Electronic resource] / R Development Core Team, R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. 2013. ISBN 3-900051-07-0. Mode of access : <http://www.R-project.org/>. Date of access : 01.03.2013.
18. Urbanek, S. Cairo: R graphics device using cairo graphics library for creating high-quality bitmap (PNG, JPEG, TIFF), vector (PDF, SVG, PostScript) and display (X11 and Win32) output [Electronic resource] / S. Urbanek, J. Horner. 2011. Mode of access : <http://CRAN.R-project.org/package=Cairo>. Date of access : 01.03.2013.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 19.02.2013 г

**А. А. Яновский, В. В. Смирнова, В. А. Ракович, Н. Н. Бамбалов**

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ПОЧВЕННОГО  
ПОКРОВА, ФОРМИРУЮЩЕГОСЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ  
МЕЛИОРИРОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ ПОЛЕСЬЯ**

Многие расположенные на осушенных торфяных почвах сельскохозяйственные поля Беларуси в результате усадки, минерализации и ветровой эрозии торфа в настоящее время представляют собой мозаичные комплексы из участков торфяных и деградированных торфяных почв, которые сильно различаются по водному, тепловому и пищевому режимам. Картографирование деградированных торфяных почв путем наземного полевого обследования слишком трудоемко и продолжительно, а, следовательно, слишком дорогостояще даже при выделении только относительно крупных пятен деградации, и практически невозможно при точном картографировании деградированных торфяных почв вследствие их больших площадей и мозаичного расположения среди участков торфяной почвы, что вызывает интерес к проведению картографирования на основе данных дистанционного зондирования.

Визуально относительно однородные по степени деградации участки могут содержать одновременно и торфяную, и деградированную торфяную почву, поэтому при проведении подспутниковых измерений, необходимых для разработки методики разделения по спутниковым снимкам торфяных почв на деградированные и недеградированные, визуальная оценка степени однородности калибровочных участков должна подкрепляться отбором проб почвы и определением в них содержания Сорг, а сами пробы следует брать по сетке, равномерно охватывающей весь калибровочный участок. Отбор в центре участка и по четырем направлениям от центра можно применять только в отношении сильно деградированных участков, когда песок хорошо виден на всей площади участка. На калибровочных участках с глубиной торфа более 1 м можно ограничиться отбором нескольких проб при условии проверки глубины торфяного слоя на всем калибровочном участке.

**A. A. Yanovskiy, V. V. Smirnova, V. A. Rakovich, N. N. Bambalov**

**SPATIAL HETEROGENEITY OF THE SOIL COVER WHICH IS  
FORMING AT USE OF DRAINED PEAT SOILS OF POLESYE**

*Many agricultural fields of Belarus located on drained peat soils because of shrinkage, mineralization and a wind erosion of peat represent today mosaic complexes from sites of the peat and degraded peat soils, which strongly differ on water, thermal, and food modes. Mapping of the degraded peat soils by land field inspection is too labor consuming and long and, therefore, costs too expensive even at allocation only rather large spots of degradation, and it is almost impossible at exact mapping of the degraded peat soils due to their big areas and a mosaic arrangement among sites of the peat soil. This arouses interest to carrying out mapping based on remote sensing data.*

*Sites, visually tolerably homogenous by degree of degradation, can at the same time contain both peat soil and degraded peat soil areas therefore when carrying out the subsatellite measurements necessary for developing the technique of division peat soils on degraded and not degraded on the basis of satellite images, a visual assessment of homogeneity degree of calibration sites has to be supported with sampling of soil and determination of organic carbon content in them. It is necessary to take the samples on a grid, which evenly covers all calibration site. Sampling scheme that includes taking soil probes at the center of a site and in four directions from the center can be applied only to hardly degraded sites when sand is well visible on all area of a site. On calibration sites with peat depth more 1 m it is possible to limit sampling to several probes with obligatory checking peat depth on all calibration site.*

**В. Н. Киселев<sup>1</sup>, Е. В. Матюшевская<sup>2</sup>, А. Е. Яротов, П. А. Митрахович**

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА СОСНЫ И ДУБА НА БЕЛОРУССКОМ ПОЛЕСЬЕ В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННОГО РЕЖИМА ГРУНТОВЫХ ВОД**

*Представлены результаты исследования изменчивости радиального прироста сосны и дуба на территории Белорусского Полесья, на которой не выполнялись водно-земельные мелиорации в течение двух последних столетий.*

До крупномасштабной осушительной мелиорации ландшафты Белорусского Полесья находились на капиллярно-гидроморфной стадии развития [3]. После осушительной мелиорации песчаные гидроморфные почвы оказались с измененным водным режимом в результате понижения грунтовых вод и, следовательно, зоны увлажнения при их капиллярном поднятии. Современные лесные сообщества после смены поколений образующих их древесных пород развиваются уже в новых условиях увлажнения, ведущее участие в котором принадлежит атмосферным осадкам.

Естественно возникает вопрос: как бы они развивались, если бы сохранился естественный, не нарушенный осушительной мелиорацией, водный режим? Ответ на него можно получить, исследуя динамику радиального прироста основной лесообразующей породы в Полесье – сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*) в местонахождениях, которые не испытали влияние водно-земельной мелиорации за последние два столетия, начиная с осушения болот Западной экспедицией И. И. Жилинского в 1873–1898 гг. «Сплошное осушение» в последней четверти XIX в. продолжилось практически повсеместным вовлечением в интенсивное сельскохозяйственное производство болот и заболоченных земель во второй половине XX в.

Исследование лесных экосистем на территориях, не подвергшихся интенсивному антропогенному воздействию, позволяет получить информацию о естественном развитии природной среды на Полесье без крупномасштабной осушительной мелиорации. Сложность подобной задачи заключается в том, что сейчас невозможно представить, как развивалась бы природа этого региона в естественной динамике.

Сравнение современных физико-географических реалий с реконструированными способствовало бы более осмотрительному использованию его природных, в первую очередь лесных и земельных, ресурсов. Для приближения к решению этой задачи необходимо получить исходный материал, позволяющий выполнить эту реконструкцию. Изменение линейного (по диаметру) прироста основной лесообразующей породы на Полесье – сосны, являющегося индикатором

ежегодных условий его формирования в этом плане представляется необходимым.

Кроме поступательной изменчивости климатических факторов в нем могут содержаться сигналы о цикличности природных процессов. Здесь важно получить надежные древесно-кольцевые хронологии, как можно более продолжительные по времени. Сплошные рубки в XIX и XX в. не оставили, за редким исключением, великовозрастных насаждений, необходимых для достижения этой цели. Массовый дендрохронологический материал продолжительностью до 200 лет и более может быть получен именно на территориях, где заготовка древесины не представляла практического интереса и не выполнялись осушительная мелиорация и культуртехнические работы для сельскохозяйственных целей. Необходимым условием при этом является приповерхностное (не глубже 1 м) залегание грунтовых вод, оказывающих непосредственное влияние на состояние и продуктивность лесных насаждений.

**Радиальный прирост сосны в условиях естественного режима грунтовых вод.** Естественный ход радиального прироста сосны был исследован в ее насаждении, занимающем изолированный, так называемый остров (слабо выраженное овальное повышение поперечником до 150 м) среди верховых и переходных болот на междуречье Березины и Птичи в западной части Светлогорского лесхоза под общим названием «Круковское болото» (рис. 1).

Тип леса – сосновый черничный с участием в зависимости от микрорельефа папоротника орляка (на относительных незначительных повышениях) и багульника болотного (по микропонижениям и по окраине «острова»). Будучи удаленным от лесных массивов и расположенным среди болота, древостой не был подвержен сплошным и санитарным рубкам и рубкам ухода. Насаждение возникло и развивалось при естественном, не измененном осушением болота, увлажнении. Майский уровень грунтовых вод в засушливый год начала исследования (2011 г.) находился у поверхности (в микропонижениях с участием багульника) или на глубине 35 см (на микроповышениях с орляком). К осени грунтовые воды понизились на глубину 60 и 95 см соответственно.



**Рис. 1. Крупномерные деревья сосны в исследованном экотопе**

Почва – дерново-подзолисто-глеевая со следующими горизонтами:  $A_0$  (0–12 см, подстилка),  $A_1A_2$  (до глубины 25–30 см, песок мелкозернистый, темно-серый до черного с белесой присыпкой),  $A_2$  (до глубины 32–48 см, песок мелкозернистый серовато-белесый),  $B_{1g}$  (до глубины 120 см, песок мелкозернистый, рыхлый, серовато-буроватый с сизоватыми и охристыми пятнами, оплывает).

Образцы древесины (керны) всех крупномерных сосен, растущих на «острове», отобраны в январе 2012 г. возрастным буравом на высоте 1,3 м со всех стволов, не имеющих физических повреждений и дефектов роста. Сведения о тестируемых деревьях, имеющих сравнительно одинаковый диаметр ствола, приведены в табл. 1. Статистическая обработка данных выполнена с применением пакета прикладных программ SPSS.

**Таблица 1. Сведения о тестируемых деревьях**

Возраст, лет	Количество деревьев	Диаметр, см	Высота, м
220	9	40–54	26–32
130	7	42–50	26–32
110	9	36–50	22–28

Двухвековой ход изменчивости фактического (мм) радиального прироста представлен на рис. 2, индексового (%), определенного с применением пятилетнего скользящего сглаживания – на рис. 3. Дендрохронологический и дендроклиматический анализ изменчивости радиального прироста учитывал существование в XX в.

двух климатических эпох: влажной и неустойчиво влажной (до и после 1940 г.) [4], а также резкое сокращение притока прямой солнечной радиации после 1976 г. [7]. Синхронность хода изменчивости радиального прироста была свойственна всем трем возрастным группам деревьев. Межсериальный коэффициент корреляции для 220- и 130-летних поколений составил 0,54, для 130- и 110-летних – 0,63, наибольшее значение (0,70) он имел для 220- и 110-летних поколений.

Результаты анализа локальной древесно-кольцевой хронологии 220-летнего поколения сосен (см. рис. 2) указывают на циклический характер изменчивости ширины годичных колец. В его двухвековом ходе выделяется 30–35-летний цикл, ограниченный минимумами радиального прироста в 1852, 1882, 1917, 1952 и 1985 г. Наибольшая стволовая продуктивность сосны была до 1852 г., достигнув максимальных значений в 1825–1845 гг. С возрастом насаждения высота цикла и амплитуда изменчивости радиального прироста уменьшались, его потенциал (максимальная ширина годичного кольца) сокращался (табл. 2).

Начало XIX в. характеризовалось крайне неустойчивой погодно-климатической обстановкой: небывалыми летними засухами, наводнениями и необычайно суровыми зимами [2]. После засухи 1808 г. и летней жары 1812 г., сопровождавшимися на Полесье практически повсеместными лесными пожарами, наступили необычайно морозные зимы. К наиболее значительным относится засуха 1839 г. Угнетение сосны на низком «острове» среди Круковского болота началось после катастрофического наводнения 1845 г.

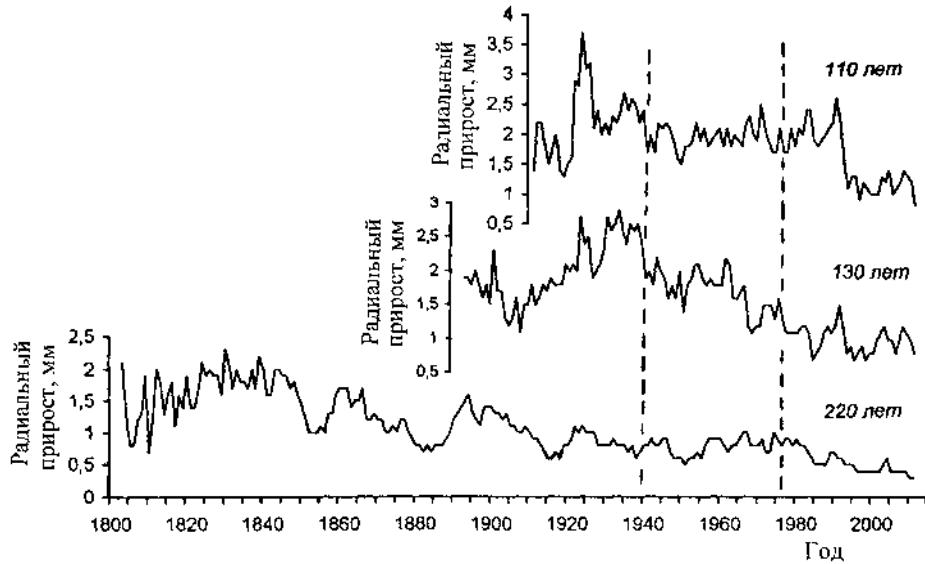


Рис. 2. Двухвековой ход изменчивости фактического радиального прироста возрастных групп сосны на «острове» среди верхового болота. Вертикальными штриховыми линиями показаны 1940 и 1976 г.

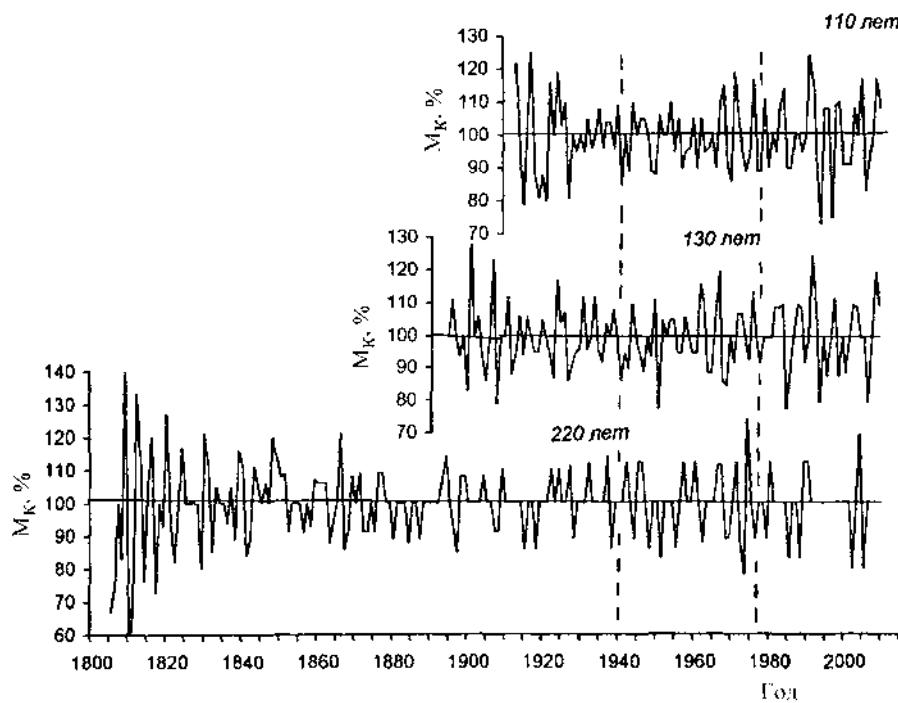


Рис. 3. Двухвековой ход изменчивости индексового прироста возрастных групп сосны на «острове» среди Круковского болота

Этот период ознаменовался несколькими значительными событиями геологического порядка, среди них: извержение вулкана Майон в 1814 г. с мощными выбросами пепла, самое крупное за историческое время извержение со взрывом Тамборы в 1815–1816 гг., извержение с выбросом рыхлых масс Галунгтунга в 1822 г., крупнейшее со взрывом в новейшей исторической эпохе Касигуини в 1835 г.

Максимальный линейный прирост сосны в 1825–1845 гг. был свойственен не только ее нахождению на исследованном «острове», но и на верховых болотах Полесья: «Красная корчма» (Светлогорский лесхоз), Выгонощенском болотном массиве (Ганцевичский лесхоз), в кв. № 205 (Брестский лесхоз); в средней полосе Беларуси: «Дубовый Лог» (Червенский лесхоз), «Прошицкое» (Крупский лесхоз) в Налибокской пуще; в Познере: болото «Мох» (Дисненский лесхоз) [7].

**Таблица 2. Статистическая характеристика годичных колец у древесно-кольцевых хронологий сосны на «острове» в Круковском болоте**

Годы	К <sub>ц</sub>	Радиальный прирост, мм		$\sigma$ индексового прироста, %
		средний	максимальный	
<i>Возраст 220 лет</i>				
До 1852	0,32	1,6	6,1	0,38
1853–1882	0,18	1,2	5,8	0,28
1883–1917	0,17	1,1	3,2	0,22
1918–952	0,19	0,8	3,2	0,13
1953–1985	0,19	0,8	2,2	0,13
1985–2011	0,20	0,5	1,5	0,10
<i>Возраст 130 лет</i>				
1890–1917	0,15	1,7	5,5	0,26
1918–1952	0,29	2,2	4,1	0,39
1953–1985	0,15	1,5	3,9	0,40
1985–2011	0,25	1,0	2,3	0,19
<i>Возраст 110 лет</i>				
1918–1952	0,25	2,2	6,5	0,52
1953–1985	0,21	2,0	3,5	0,21
1985–2011	0,24	1,4	3,0	0,47

Сосняк мшистый на кварцевых песках (Светлогорский лесхоз) [4] и сохранившиеся 190-летние сосны в парке им. 50-летия Октября (Минск) имели высокие показатели радиального прироста именно в эти годы. Высокая стволовая продуктивность этой древесной породы в начале XIX в. подтверждена и исторической дендроклиматологией [7]. Можно говорить об общей тенденции к высокой стволовой продуктивности сосны в начале XIX в. независимо от ее местонахождения.

Сосна, как известно, обладает широким диапазоном толерантности к температурному фактору. Эта толерантность не привела к угнетению радиального прироста при максимальном похолодании 1857–1891 гг. на Русской равнине в холодный период 1593–1891 гг. [6]. В переувлажненных эдафотопах ее состояние и продуктивность определяется изменениями в уровне режиме приповерхностных грунтовых вод, который, в свою очередь, определяется атмосферными осадками.

Дендроклиматические исследования с привлечением радиального прироста 245-летних сосен на валу расположенного рядом «болотного городка» показали, что ширина их годичных ко-

лец зависела от рассеянной солнечной радиации [1]. Как известно, сосна относится к светолюбивым растениям, которые нуждаются в рассеянном освещении и плохо выносят попадание прямых солнечных лучей [9]. По всей видимости, загрязнение атмосферы аэрозолем пирогенного и вулканического происхождения ределили текущий радиальный прирост сосны в условиях контрастных погодно-климатических условий до 1845 г.

Следующая депрессия радиального прироста наступила после дождливых 1876–1879 гг., когда болота были переполнены водой. Сенокосы и яровые были затоплены [3]. Очередной цикл изменчивости радиального прироста закончился в 1917 г. после предшествующего сырого (828 мм осадков) года. Нисходящая ветвь этого цикла принадлежит самому влажному отрезку времени в 1900–1917 гг., когда в среднем за год выпадало 772 мм осадков. Депрессия прироста по окончанию этого цикла продолжалась четыре года, включая 1918 г. с самыми холодными за всю историю инструментальных наблюдений месяцами активного роста (12,1 °C).

С возрастом древостоя дисперсия радиального прироста в 30–35-летнем цикле уменьшалась: до 1852 г. стандартное отклонение  $\sigma = 0,38$  мм, в 1853–1882 гг.  $\sigma = 0,29$  мм, в 1883–1917 гг.  $\sigma = 0,27$  мм, в 1918–1953 гг.  $\sigma = 0,15$  мм, в 1954–1985 гг.  $\sigma = 0,12$  мм и после 1985 г.  $\sigma = 0,11$  мм.

Амплитуда следующего цикла в 1918–1952 гг., естественно, сократилась, к тому же, если судить по ширине годичных колец (< 1,0 мм) сосна уже находилась в угнетенном состоянии. Однако его окончание в 1953 г. с депрессией прироста опять связано с аномально высоким выпадением осадков (905 мм, за вегетационный период 527 мм). Вершина этого цикла оказалась вогнутой: в 1938 г. выпало 809 мм осадков (за вегетационный период 470 мм).

Окончание предпоследнего цикла в 1985 г. последовало за извержением вулкана Святой Елены (1980 г.) и Эль-Чичона (1982 г.) и вызвано рекордным выпадением осадков (246 мм) в месяцы активного роста сосны за всю историю инструментальных наблюдений на метеостанции Василевичи.

Таким образом, природа 30–35-летней цикличности в нарастании стволовой массы 220-летнего поколения сосны в эдафотопе с дерново-подзолисто-глеевой почвой и приповерхностным залеганием грунтовых вод, несложненным осушительной мелиорацией, имеет погодно-климатическую причинность и не является внутренним свойством роста и развития сосны.

В отличие от 220-летнего поколения сосны 30–35-летний цикл изменчивости радиального прироста у 130- и 110-летних групп практически не выражен. Это, возможно, связано с тем, что их рост и развитие происходили в сравнительно од-

нородных климатических условиях влажной и неустойчиво влажной эпохи (до и после 1940 г.).

У 130-летней группы деревьев радиальный прирост после максимального угнетения в максимально влажный 1906 г. постепенно увеличивался, несмотря на то, что в 1907–1917 гг. среднее многолетнее количество осадков (743 мм) несколько превышало норму для влажной климатической эпохи. Наибольшего значения ширина годичных колец достигла в 1920–1940 гг. при среднегодовом количестве осадков в 679 мм.

Переход к неустойчиво влажной эпохе в 1940 г. для этой возрастной группы ознаменовался резким сокращением текущего радиального прироста, уменьшение которого продолжалось вплоть до 2011 г. Следует отметить, что двадцатилетие 1945–1965 гг. было наименее увлажненным в XX в.: в среднем за год выпадало 575 мм осадков, или на 104 мм меньше, чем в предшествующие 1920–1940-е годы. У 110-летней группы деревьев 1920–1940-е годы также характеризуются наибольшим линейным приростом после минимума в 1918 г. Его падение к 1993 г. менее выражено, чем у двух старших возрастных группах после извержения Пинатубо в 1991 г.

Сосна в исследованном насаждении с приповерхностным залеганием грунтовых вод использует их минеральные ресурсы для своего роста и развития. К тому же регулирование водного режима принадлежит торфяной залежи предельного болота с ее гидрофильтральными свойствами. Радиальный прирост должен был мало зависеть от климатических, но не погодных, параметров выпадения атмосферных осадков и температурных условий. По этой причине переход от влажной эпохи к неустойчиво влажной в начале 1940-х годов в индексовом приросте сосны слабо выражен. Более заметен переломный момент 1976 г. при сокращении притока прямой солнечной радиации [7].

**Таблица 3. Коэффициенты корреляции индексового прироста возрастных групп сосны на «острове» на верховом болоте с температурой воздуха и осадками**

Возраст, лет	Период	Коэффициент корреляции $r = 0,...$					
		1879–1905 г.		1906–1940 гг.		1941–1976 гг.	
		$t^{\circ}\text{C}$	осадки	$t^{\circ}\text{C}$	осадки	$t^{\circ}\text{C}$	осадки
220	Безлист.	-07	-46	-15	-27	-19	-20
	М.-и.	<b>-44</b>	26	<b>37</b>	10	-02	-04
	Вегет.	<b>-7</b>	07	<b>35</b>	03	05	07
	Год	-28	-23	13	-15	-09	-07
130	Безлист.	-	-	<b>41</b>	-16	24	13
	М.-и.	-	-	-07	-11	06	32
	Вегет.	-	-	15	14	-12	17
	Год	-	-	<b>47</b>	00	<b>36</b>	20
110	Безлист.	-	-	07	05	28	<b>54</b>
	М.-и.	-	-	08	-04	18	09
	Вегет.	-	-	16	-12	<b>-39</b>	-15
	Год	-	-	06	-07	<b>-45</b>	22

*Примечание.* Полужирным начертанием выделены значения коэффициента корреляции при  $P = 0,95$ , полужирным начертанием и курсивом – при  $P = 0,99$ , полужирным курсивом и подчеркиванием – при  $P = 0,999$ . Безлист. – безлистственный период, м.-и. – май–июнь, вегет. – вегетационный период, год – гидрологический год. Число  $n$  равно количеству лет во временном отрезке.

Насаждение сосны имело низкую чувствительность к климатическим факторам. За исключением 220-летнего поколения, у которого коэффициент чувствительности ( $K_c = 0,32$  до 1852 г.) превысил порог в 0,30, у трех возрастных группах во все остальные временные отрезки он изменился незначительно, и был ниже этого значения, чтобы считать их чувствительными к динамике климата [7]. Как уже показано, возмущения в дендрометрических рядах вызывались погодными аномалиями, приведшими к циклической изменчивости радиального прироста.

Наибольшая дисперсия индексового прироста также пришла на первую половину XIX в.: у 220-летнего поколения она составила 18,5 %. В остальные временные отрезки, определяющие циклы изменчивости радиального прироста, ее амплитуда менялась слабо, незначительно увеличившись у 130- и 110- летних групп после 1976 г. (см. рис. 3, табл. 2).

Анализ корреляций индексового прироста трех возрастных поколений с метеофакторами (температурой воздуха и осадкам) за время инструментальных наблюдений на метеостанции Василевичи показал, что статистически значимой зависимости между ними не существовало: коэффициенты корреляции за месяцы активного роста, вегетационный период и гидрологический год большей частью оказались недостоверными как при влажной, так и при неустойчиво влажной эпохе за некоторым исключением (табл. 3).

Для выявления связи фактического радиального прироста сосны с солнечной радиацией привлечены актинометрические наблюдения на метеостанции Василевичи [1]. Для групп деревьев возрасте 220 и 110 лет он прямо и значимо коррелировал с рассеянной радиацией, что нашло отражение в его зависимости от суммарной (табл. 4).

**Таблица 4. Коэффициенты корреляции ( $r$ ) фактического радиального прироста сосны с солнечной радиацией и метеофакторами после 1955 г.**

Возраст, лет	Период	Коэффициент корреляции $r = 0, \dots$				
		с солнечной радиацией			с метеофакторами	
		прямой	рассеянной	суммарной	$t \text{ } ^\circ\text{C}$	осадками
220	М.-и.	14	<b>34</b>	23	-04	01
	Вегет.	12	<b>53</b>	<b>36</b>	-20	-14
	Год	07	<b>50</b>	<b>33</b>	-22	-08
130	М.-и.	18	-05	12	-05	-16
	Вегет.	22	16	24	-04	-27
	Год	20	11	23	-08	-24
110	М.-и.	-05	<b>36</b>	07	03	02
	Вегет.	-08	<b>48</b>	14	-09	-05
	Год	-15	<b>47</b>	09	-10	-01

*Примечание.* Обозначения и сокращения те же, что и в табл. 3.

У 220-летнего поколения коэффициент корреляции фактического радиального прироста с рассеянной радиацией вегетационного периода  $r = 0,53$  (при  $n = 50$ ,  $P = 0,999$ ), у 11-летнего  $r = 0,48$ . Пользуясь шкалой Чеддока, качественную характеристику силы связи линейного прироста с этой радиацией можно оценить как заметную. У 130-летней группы такая зависимость не прослежена, служа «исключением из правила». Отрицательная корреляция радиального прироста с метеофакторами (температурой и осадками) не имела статистически значимых коэффициентов.

Соотношение между вкладом рассеянной и суммарной радиации и климатическими факторами (температурой и осадками) в стволовую продуктивность сосны в исследованном насаждении можно оценить не только по коэффициенту корреляции, но и по коэффициенту детерминации ( $R^2$ ) между фактическим приростом (кри-териальной переменной) и ими (предикторами), привлекая опыт подобных исследований применительно к сельскохозяйственным культурам [5] и к ее насаждению на кварцевых песках [4]. Коэффициент детерминации – это квадрат корреляции Пирсона ( $R^2 = r^2$ ) между двумя переменными. Он выражает количество дисперсии, общей между двумя переменными

Наибольший вклад в формирование кольца у 220-летнего поколения внесла рассеянная радиация за вегетационный период текущего года ( $R^2 = 0,28$  или 28 %). Несколько меньшее ее участие у 110-летней группы ( $R^2 = 0,23$  или 23 %). У 130-летних сосен вклад рассеянной радиации невысок ( $R^2 = 0,03$  или 3 %). Подавление радиального прироста другими метеофакторами (температурой воздуха и осадками) оказалось незначительным ( $0,01 > R^2 < 0,04$ ).

Результаты проведенного исследования с привлечением насаждения сосны на бедной по плодородию почве укладываются в хорошо известное представление о том, что для светолюбивых растений (в данном случае сосне) необходима рассеянная солнечная радиация, а не пря-

мое солнечное воздействие [9]. Усвоение этой радиации при фотосинтезе зависит от плодородия и увлажненности почвы. На бедных почвах ее значение возрастает.

**Радиальный прирост дуба в условиях естественного и нарушенного режима грунтовых вод.** Белорусское Полесье славилось своими дубравами, которые к настоящему времени, даже сохранившись, претерпели значительное влияние как сплошных рубок XIX и XX в., так и осушительной мелиорации. Они, по-существу, являются остатками древних лесов Европы, покрывавших несколько столетий назад значительные территории. Сохранившиеся в естественном состоянии Круковское болото позволило проследить динамику радиального прироста дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), находящегося за пределами возможного влияния осушительной мелиорации, автодорожного и трубопроводного строительства, техногенного загрязнения воздушной среды и других антропогенных факторов. В данном случае оказалось возможным найти тот «эталон», равнение на который позволяло бы выявлять антропогенные факторы в динамике состояния и продуктивности полесских дубрав на тех территориях, на которых они явно присутствуют.

Для этих целей были привлечены все отдельно стоящие, крупномерные, прямостоящие и высокорослые деревья дуба, растущие в центральной части «болотного городка», расположенного в Круковском болоте (рис. 4). Следует отметить, что по окраине этого болота сохранилось несколько таких «городков», но меньшей размерности. Образца древесины (керны) для дендрохронологического и дендроклиматического анализа отобраны 1 ноября 2011 г. возрастным буравом на высоте 1,3 м у 6 деревьев дуба, растущих в центральной части «городка».

Для «городка», по всей видимости, было использовано естественное повышение («остров») среди болота, которое было обнесено насыпным песчаным валом [1]. Почва – дерново-подзолистая с черным гумусным (культурным)

слоем мощностью до 35 см, ниже которого залегает песок, дифференцированный на горизонты, свойственные данной почвенной разности. Грунтовые воды находились на глубине 1,5 м. Возраст деревьев (250 лет) сопоставим с возрастом сосны на валу «городка» (245 лет) [1]. Диаметр стволов – от 70 до 90 см, высота – 30–35 м.

Одна из немногих дубрав, сохранившихся на Белорусском Полесье вне пойм Припяти и ее

притоков, находится в квартале № 116 Чирковичского лесничества Светлогорского лесхоза, на левобережье канализированной еще Западной экспедицией И. И. Жилинского р. Ипа в одном километре от ее современного русла (канала). Реконструкция осушительной сети и освоение болот и заболоченных земель в ее пойме для интенсивного использования в сельском хозяйстве были выполнены в начале 1960-х годов.



Рис. 4. Отдельно стоящие деревья дуба в «болотном городке»

Исследованное насаждение (рис. 5) относится к грабовым дубравам [8]. Возраст древостоя – 130 лет, диаметр – 36–48 см, высота – 30–36 м. Почва дерново-подзолисто-глееватая со следующими горизонтами:  $A_0$  (0–2 см, дернина),  $A_1 A_2$  (2–15 см, песок мелкозернистый, темно-серый с белесой присыпкой),  $B_1$  (15–50 см, песок мелкозернистый, серовато-желтоватый),  $B_{2g}$  (50–95 см, песок мелкозернистый, светло-желтый с охристыми и сизоватыми пятнами). Грунтовые воды в день отбора во время весеннего паводка на р. Ипа (24 мая 2011 г.) образцов древесины (кернов) возрастным буравом на высоте 1,3 м у 12 деревьев находились на глубине 0,5 м.

Многолетний ход среднего для серии фактического (мм) и индексового (%) радиального прироста насаждения в «болотном городке» и дубраве представлен на рис. 6.

В изменчивости радиальногороста дуба, так же как и сопоставимой с ним по возрасту сосны, растущей на «острове» среди этого же болота, прослеживается квазитридцатилетний цикл, ограниченный минимумами в те же годы. Таким образом, природа этой цикличности имеет погодно-климатическую обусловленность. Однако существуют некоторые особенности по сравнению с сосной в изменчивости фактического прироста.



Рис. 5. Общий вид дубравы. Май 2012 г.

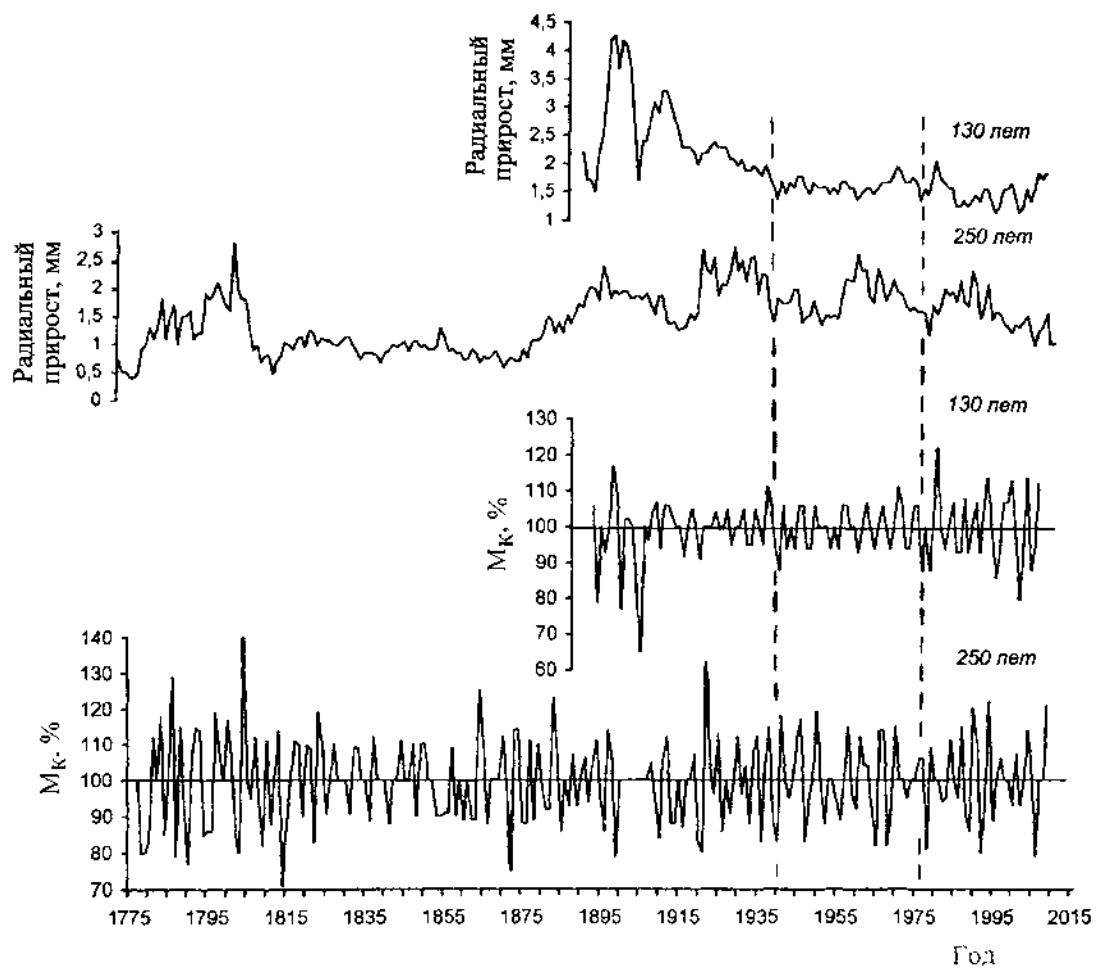


Рис. 6. Многолетний ход фактического (мм) и индексового (М<sub>к</sub>, %) радиального прироста возрастных групп дуба. Вертикальными штриховыми линиями показаны 1940 и 1976 г.

Угнетение дуба, как и сосны, в 1781 г. и в последующие несколько лет, наступило после «великой» зимы 1780–1781 гг. [2] и извержения вулкана Лаки в 1783 г. В контрастных погодных условиях конца XVIII в. и начала XIX в. состояние дуба, по всей видимости, улучшилось, что и отразилось в появлении первого квазитридцатилетнего цикла.

Глубокая депрессия последовала после необычайно холодных зим и летних засух в 1808–1811 гг. и достигла наибольшего падения после извержения вулканов Майон в 1814 г. и Тамборы в 1815 г. После 1815 г. угнетение дуба продолжалось до 1882 г. (табл. 5). Подобного продолжительного угнетения не наблюдалось у сосны на валу «городка» [1] и на «острове».

Климатические условия этого отрезка времени были явно неблагоприятными для дуба: аномально сильные засухи 1839, 1968 и 1874 г., катастрофические наводнения 1845 и 1861 г., необычайно дождливые 1860-е годы и 1876–1879 гг. Теплолюбивый и засухоустойчивый дуб, по всей видимости, угнетался в этот период переувеличением своего исторически культурного эдафотопа: 37 лет из этого 66-летнего периода были дождливыми [2].

При улучшении климатической ситуации в Беларуси с окончанием малой ледниковой эпохи это угнетение укладывается в максимальное похолодание 1857–1891 гг. на Русской равнине в холодный период 1593–1891 гг. [6]. В XX в. угнетение дуба, выражавшееся в депрессии радиального прироста, наступало в те же самые годы с аномальной увлажненностью, что и сосны на «острове» в этом же болоте.

Таким образом, сформировавшиеся циклы в изменчивости радиального прироста дуба имеют погодно-климатическую обусловленность. Однако, не смотря на это совпадение в эдафотопах с неглубоким залеганием грунтовых вод, синхронность погодичной изменчивости радиального прироста сосны и дуба отсутствовала: коэффициент сериальной корреляции оказался равным  $-0,15$  ( $Erg = 0,07$ ).

Отсутствовала синхронность в изменчивости радиального прироста дуба в «городке» и с дубравой на левобережье р. Ипа: коэффициент межсериальной корреляции оказался ничтожно малым ( $r = -0,07$ ). После угнетения в сырье 1895 г. (744 мм осадков) и 1896 г. (803 мм) радиальный прирост дубравы в молодом возрасте достиг максимального значения в последующее менее увлажненное пятилетие (в среднем за год – 625 мм осадков). Глубокая его депрессия в 1906 г. вызвана, как уже отмечалось, рекордным выпадением осадков (1097 мм).

В XX в. радиальный прирост дубравы мало изменялся, не приобретя явно выраженной цик-

личности, свойственной группе деревьев в «городке». Причина этого может быть заключена в разном плодородии почв и зарегулированном уровне режиме грунтовых вод в результате канализации русла реки и осушении болот и заболоченных земель для интенсивного сельскохозяйственного использования.

Изменение индексового прироста отражает климатический сигнал в фактическом. Следует отметить слабо выраженный у него переход от влажной к неустойчиво влажной эпохе в 1940 г. и более заметный переломный момент в 1976 г. Независимо от возраста и места произрастания дуб продемонстрировал низкую чувствительность к изменчивости климатических факторов: коэффициент чувствительности (по А. Е. Дугласу [10]) оказался ниже 0,30 для всех анализируемых временных отрезков (см. табл. 4). Дисперсия индексового прироста, определяемая влиянием климатических условий, имела незначительную вариабельность.

Низкая чувствительность дуба к изменчивости метеоусловий отразилась в переменной статистически достоверной, но не устойчивой, корреляции индексового прироста с температурой воздуха (табл. 6).

Для определения связи стволовой продуктивности дуба в исследованных экотопах с солнечной радиацией [7] привлечены значения фактического (мм) радиального прироста. Фактический радиальный прирост значимо не коррелировал с прямой радиацией за историю инструментальных наблюдений на метеостанции Василевичи, начиная с 1955 г. (табл. 7).

В дубраве на бедной дерново-подзолисто-глееватой почве, в отличие от великовозрастной группы в «городке» с окультуренным эдафотопом, статистически он достоверно коррелировал с рассеянной радиацией за май–июнь и вегетационный период с запаздыванием, при сдвиге на два года ( $r = 0,45$  при  $P = 0,999$ ) и, следовательно, с суммарной. Как известно, потребность древесного растения в радиации увеличивается с его возрастом. Зависимость радиального прироста от рассеянной солнечной радиации с запаздыванием на два года – не что иное, как замедленная реакция на дополнительный слабо изученный в дендроклиматологии лимитирующий фактор.

Такая корреляция отвечает представлению о том, что дуб нуждается в ярком рассеянном освещении, потребность в котором зависит от плодородия почвы. Отрицательная корреляция фактического прироста с метеофакторами (температурой воздуха и осадками) не была статистически значимой.

**Таблица 5. Статистическая характеристика годичных колец у древесно-кольцевых хронологий одновозрастных групп дуба в «городке» и в дубраве (р. Ипа)**

Годы	$K_{\text{ч}}$	Радиальный прирост, мм			$\sigma$ индекс-сового прироста, %
		средний	максимальный	$\sigma$	
<i>Насаждение дуба в «городке»</i>					
1776–1815	–	–	2,8	–	–
1816–1882	0,22	0,9	1,5	0,16	9,9
1883–1917	0,18	1,8	4,3	0,28	8,6
1918–1952	0,24	1,9	7,7	0,29	11,5
1953–1984	0,26	2,0	5,6	0,28	11,6
1985–2011	0,21	1,4	4,5	0,19	9,8
<i>Дубрава (р. Ипа)</i>					
1883–1917	0,09	2,9	5,5	0,87	12,1
1918–1952	0,12	1,9	4,5	0,19	4,9
1953–1984	0,14	1,6	5,8	0,12	6,7
1985–2011	0,21	1,5	3,5	0,23	11,1

**Таблица 6. Коэффициенты корреляции индексового прироста возрастных групп дуба с метеофакторами**

Возраст, лет	Период	Коэффициент корреляции $r = 0, \dots$							
		1884–1905 гг.		1906–1940 гг.		1941–1976 гг.		1977–2011 гг.	
		$t^{\circ}\text{C}$	осадки	$t^{\circ}\text{C}$	осадки	$t^{\circ}\text{C}$	осадки	$t^{\circ}\text{C}$	осадки
250	Безлист.	-07	-23	13	-15	-19	-20	18	28
	М.–и.	<b>-44</b>	26	37	10	-02	-04	<b>-41</b>	-13
	Вегет.	-32	06	<b>45</b>	03	05	07	<b>-44</b>	33
	Год	-28	-23	13	-15	-09	-07	03	29
130	Безлист.	31	-30	06	-31	07	22	11	33
	М.–и.	<b>-62</b>	05	<b>-39</b>	-16	28	-02	-28	00
	Вегет.	-48	35	-09	-32	<b>42</b>	-30	-14	07
	Год	-14	-01	06	<b>-40</b>	09	-08	04	28

Примечание. Обозначения и сокращения те же, что и в табл. 3.

**Таблица 7. Коэффициенты корреляции фактического (в мм) радиального прироста насаждений дуба с солнечной радиацией после 1955 г. в текущем и при запаздывании на два года (лаг 2)**

Период	Коэффициент корреляции, $r = 0, \dots$									
	с солнечной радиацией					с метеофакторами				
	прямой		рассеянной		суммарной	$t^{\circ}\text{C}$		осадками		
	тек.	лаг 2	тек.	лаг 2	тек.	лаг 2	тек.	лаг 2	тек.	лаг 2
<i>Насаждение дуба в «городке»</i>										
М.–и.	-06	19	16	-16	-05	03	-03	08	14	-01
Вегет.	03	27	26	03	09	15	-12	-04	-04	-08
Год	07	35	24	07	14	28	-12	-28	-02	-22
<i>Дубрава (р. Ипа)</i>										
М.–и.	06	-08	27	<b>44</b>	14	10	-06	-06	04	05
Вегет.	18	04	29	<b>45</b>	29	<b>44</b>	-00	-17	-13	-11
Год	12	16	33	<b>45</b>	29	<b>44</b>	-07	-12	12	-17

Примечание. Обозначения и сокращения те же, что и в табл. 3.

**Заключение.** Исследование лесных экосистем на территориях, не подвергшихся интенсивному антропогенному воздействию, позволяет получить информацию о естественном развитии природной среды на Полесье без крупномасштабной осушительной мелиорации. Радиальный прирост сосны и дуба на немелиорированной территории приобретает цикличность, слу-

жающую индикатором изменения увлажненности территорий с приповерхностным залеганием грунтовых вод под влиянием погодно-климатических условий. Данные результаты исследования необходимы для сравнительного анализа современного состояния лесов Полесья, оказавшихся в зоне влияния мелиоративных систем на уровеньный режим грунтовых вод.

### Л и т е р а т у р а

1. «Болотный городок» как объект дендроклиматических исследований / В. Н. Киселев [и др.] // Вес. БДПУ. Сер. 3. 2011. № 1. С. 42–47.
2. Борисенков, Е. П. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы / Е. П. Борисенков, В. М. Пасецкий. М., 1988.
3. Киселев, В. Н. Белорусское Полесье: экологические проблемы мелиоративного освоения / В. Н. Киселев. Минск, 1982.
4. Радиальный прирост сосны на кварцевых песках Белорусского Полесья / В. Н. Киселев [и др.] // Вес. БДПУ. Сер. 3. 2011. № 3. С. 35–46.
5. Сачок, Г. И. Факторы и модели изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур Беларуси / Г. И. Сачок, Г. А. Камышенко. Минск, 2006.
6. Тюрин, А. М. Датирование Малого Ледникового Периода по естественнонаучным данным / А. М. Тюрин. Режим доступа : [http://new.chronologia.org/volume5/tur\\_mlp.html](http://new.chronologia.org/volume5/tur_mlp.html). Дата доступа : 29.03.2011 г.
7. Хвойные леса Беларуси в современных климатических условиях (дендроклиматический анализ) / В. Н. Киселев [и др.] Минск: Право и экономика, 2010. 202 с.
8. Юркевич, И. Д. Леса Белорусского Полесья. / И. Д. Юркевич, Н. Ф. Ловчий, В. С. Гельтман. Минск, 1977.
9. Цельниker, Ю. Л. Физиологические основы теневыносливости древесных растений / Ю. Л. Цельниker. М., 1978.
10. Douglass, A. E. Climatic cycles and tree growth / A. E. Douglass. Wash. Publ., 1936. Vol. 3. 289 p.

<sup>1</sup>Белорусский государственный

педагогический университет имени М. Танка,

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет

Поступила в редакцию 21.12.2012 г.

**B. Н. Киселев, Е. В. Матюшевская, А. Е. Яротов, П. А. Митрахович**

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА СОСНЫ И ДУБА НА БЕЛОРУССКОМ ПОЛЕСЬЕ В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННОГО РЕЖИМА ГРУНТОВЫХ ВОД**

Объектом исследования являлись насаждения сосны и дуба на не мелиорированной территории Белорусского Полесья. Предмет исследования – радиальный прирост современных поколений этих древесных пород. Основные цели и задачи исследования заключались в выявлении особенностей изменчивости радиального прироста сосны и дуба на территории без осушительной сети в современных климатических условиях. Впервые получен массовый дендрометрический материал, отражающий динамическое развитие природной среды региона при гипотетическом предположении об отсутствии осушительной мелиорации, внося свой вклад в понимание современных происходящих изменений в ней.

**V. N. Kisieliou, E. V. Matiushevskaya, A. E. Jarotou, P. A. Mitrachovich**

### **THE COMPARATIVE ANALYSIS OF TREE-RING GROWTH OF PINE AND OAK ON BELARUSIAN POLESYE IN THE CONDITIONS OF THE NATURAL MODE OF GROUND WATER**

The research object were pine and oak plantings on the unreclaimed territory of the Belarusian Polesye. The research topic is – tree-ring growth of modern generations of these tree species. Main objectives and research problems consisted in detection of features of variability of tree-ring growth of pine and oak on the territory without drainage net in modern climatic conditions. For the first time a mass dendrometric material, reflecting a dynamic development of environment of the region at the hypothetical assumption of lack of drainage melioration, contributing thus to the understanding of modern occurring changes in it has been obtained.

**З. А. Ничипорович<sup>1</sup>, В. А. Ракович<sup>2</sup>, Е. Н. Каждан<sup>1</sup>**

## **ДИСТАНЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ И ДИНАМИКИ ПОВТОРНО ЗАБОЛАЧИВАЕМЫХ ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

*Разработана система методов дистанционной диагностики оценки состояния и динамики нарушенных и восстанавливаемых торфяных месторождений по сериям разновременных космоснимков на основе спектральных свойств индикаторных биотопов, включающая визуально-инструментальные и автоматизированные методы распознавания, классификации и тематической интерпретации спутниковой информации, а также комплекс методов представления и визуализации выходных продуктов с использованием базовых средств ERDAS Imagine.*

Использование данных дистанционного зондирования (ДДЗ) для решения задач охраны и восстановления деградированных земель, особенно болотных экосистем, является приоритетным направлением в области рационального природопользования Республики Беларусь. Однако существующие традиционные методы и подходы не позволяют достаточно точно и оперативно контролировать современное состояние и динамику деградированных болот в условиях их повторного заболачивания. В настоящее время нет систематических научных данных о болотообразовательных процессах, главным образом, из-за их территориальной недоступности, высокой стоимости натурных обследований и трудно контролируемых динамично развивающихся процессов трансформации растительности.

Известно, что задача дистанционной диагностики видового состава болотной растительности по сравнению с суходольной является более сложной из-за многофакторности, обусловленной в том числе различной степенью обводненности исследуемой территории. Так, повышенное влагосодержание, причем неравномерно распределенное, и в зависимости от периода космосъемки, спектрального канала и диапазона, снижает или повышает значения яркости, внося неоднозначность при оценке отражательной способности растительного покрова болот [1–6].

Предлагаемые подходы нацелены на разработку системы методов дистанционной диагностики состояния нарушенных болотных экосистем и стадий их восстановления по сериям разновременных космоснимков, которые в настоящее время являются наиболее объективными и детальными, а в силу специфики изучаемого объекта и единственной информацией, позволяющей контролировать направления восстановительных болотообразовательных процессов.

Предлагаемые подходы актуальны и перспективны, так как позволяют оценить эффективность мероприятий по повторному заболачиванию болот, связанных в том числе с глобальной проблемой поглощения/эмиссии парниковых газов и международными обязательствами Республики Беларусь по Киотскому протоколу.

**Методика выполнения работ.** Для реализации поставленных задач по Гричино-Старобинскому и Освейскому полигонам (рис. 1, 2) были использованы следующие исходные данные:

- ДДЗ: Ikonos (17.09.2006, 22.07.2007) – пространственное разрешение 1,2 м; Aster (8.08.2002) Landsat – (18.08.2001) среднего разрешения 15 м (Гричино-Старобинский полигон); Ikonos (22.06.2006) Aster (8.05.2002), Landsat (18.07.2010) (Освейский полигон);

- карты: Почвенная карта землепользования Солигорского района М:50000 (1978, 1983); Векторная топокарта Республики Беларусь М : 100 000;

- GPS-привязка контрольных точек тематических профилей.

### **Краткая характеристика полигонов.**

Торфяное месторождение Освейское расположено в Верхнедвинском районе Витебской области на западном берегу оз. Освейское в прибрежной части озерной котловины. Первоначальная площадь болота составляла 5117 га. Северо-восточная часть торфяного месторождения Освейское расположена на водоразделе. Для северной части месторождения водоприемником является р. Зилупе (Синюха), для южной – оз. Освейское. Северо-восточная часть торфяного месторождения относится к верховому типу залежи. Торфяная залежь была представлена верховой 35 % (средняя степень разложения – 20 %, зольность – 3,3 %), смешанной – 25 % (средняя степень разложения – 25 %, зольность – 4,6 %), переходной – 3 % (средняя степень разложения – 30 %, зольность – 7,1 %), низинной – 37 % (средняя степень разложения – 29 %, зольность – 7,4 %). Наибольшая глубина залежи составляла 6,3 м, средняя – 2,8 м. Добыча торфа торфобрикетным заводом «Освейский» велась на площади 523 га в течение 30 лет (с 1971 по 2001 г.). Осушение осуществлялись открытой сетью каналов. В результате осушения и добычи торфа произошло понижение уровня грунтовых вод на 1,0–2,0 м.

Торфяное месторождение Гричино-Старобинское расположено в Солигорском районе Минской области и относится к области

крупных низинных болот Полесья. Главная геоморфологическая особенность – равнинный рельеф с преобладанием песков и супесей в покровных отложениях.

Торфяная залежь относится к низинному типу и представлена низинными видами торфа. В геоморфологическом плане первоначально образование торфяной залежи происходило в условиях богатого водно-минерального питания. Наиболее распространены древесно-тростниковый, тростниковый, древесно-осоковый и древесный низинный виды торфа степенью разло-

жения 35–40 %. Другие виды торфа встречались единично в придонных слоях. Мощность залежи торфа составляет 0,4–1,5 м, средняя зольность абсолютно сухого вещества – 13,5 %, влажность торфяной залежи – от 80 до 88,6 %.

Под слоем торфа в отдельных контурах залегают сапропелевые отложения, в других местах торфяная залежь подстилается песком.

Повторное заболачивание мелководных водоемов выработанного т. м. Освейское и Гричино-Старобинское представлены на рис. 1 и 2.



**Рис. 1. Повторное заболачивание выработанного торфяного месторождения Освейское, расположенного в котловине бывшего озера**



**Рис. 2 . Повторное заболачивание выработанного торфяного месторождения Гричино-Старобинское**

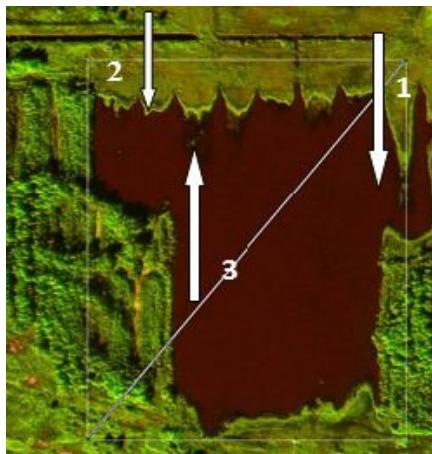
Важной составляющей стадий восстановления является оценка динамики искусственного затопления – определение площадей открытых водных акваторий. Анализ информативности спутниковых данных IKONOS (1,2 м), ASTER (15 м) и LANDSAT (15 м) сверхвысокого, высокого и среднего пространственного разрешений соответственно показал, что открытые водные поверхности, как правило, наиболее достоверно дешифрируются на всех видах космосъемки, так как имеют самый низкий коэффициент отражения по сравнению с другими, например, растительными объектами. Наиболее информативными из анализируемых ДДЗ является Ikonos, что обусловлено более высоким пространственным разрешением по сравнению с Aster и Landsat.

#### **Визуально-инструментальные методы дешифрирования.**

Первый этап работ включал предварительную оценку состояния нарушенных торфяных месторождений с учетом современных направлений использования (торфодобычи, сельскохозяйственного использования, повторное

заболачивание). В рамках данной статьи рассматривается только повторное заболачивание.

Учитывая тот факт, что исследуемые территории в оптическом отношении имеют очень высокую степень разнородности, обусловленную антропогенной деятельностью, для достоверного распознавания прямолинейных линий грунтовых дорог, узколеек, мелиоративных каналов, строительных сооружений целесообразно использовать косвенные признаки дешифрирования. Наряду с косвенными дешифровочными признаками использовали также прямые признаки: яркость, текстура, структура, рисунок изображения. Для более достоверного распознавания ДДЗ разработан Электронный каталог космоэталонов нарушенных торфяных месторождений (ТМ) по спутниковым данным IKONOS (2006, 2007) [1, 5], включающий систему дешифровочных признаков на основе космоэталонирования. Так, на рис. 3 представлен фрагмент сложного космоэталона «Затопленные территории», включающий открытые водные акватории, береговую линию, надводную и частично подводную растительность.



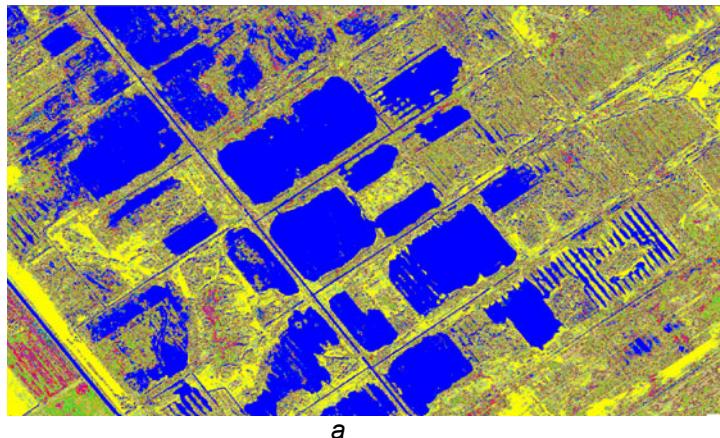
**Рис. 3. Электронный каталог – космоэталон «Затопленные территории» (фрагмент):**  
1 – открытые водные акватории; 2 – береговая линия; 3 – надводная и частично подводная растительность

**Дешифровочные признаки.** Затопленные участки достоверно дешифруются по монотонному темному тону космозображения. Спектральная яркость низкая – порядка 200 относительных единиц. В первую очередь заполняются водой картовые каналы, а затем более возвышенные участки, образуя обширную сплошную водную поверхность. Характерная форма конту-

ров – зубцеобразная. «Зубцы» совпадают или приближены к начальной и конечной точкам каналов, сглаживаясь по мере затопления.

Достаточно четко по тону и текстуре изображения на фоне открытой темной водной акватории 1 выделяется освещенная береговая линия 2 из луговой растительности и кустарника. По мелководистому рисунку идентифицируется надводная и частично подводная растительность 3. Однако для более оперативной и достоверной оценки динамики стадий восстановления нарушенных торфяных месторождений (ТМ) целесообразно использование автоматизированных методов распознавания и классификации на основе космических ГИС-технологий.

**Автоматизированные методы оценки динамики затопления. Визуализация и представление выходных данных (растровые карты).** Анализ динамики затопления рассматривался на примере Гричено-Старобинского и Освейского полигонов с использованием методов без эталонной классификации Unsupervised Classification и спектрального улучшения Tasseled Cap [2]. На рис. 4 представлен пример тематической интерпретации и визуализации результатов автоматизированной классификации Unsupervised Classification: фрагмент растровой карты Гричено-Старобинского полигона по 25 классам с таблицей атрибутов.



Row	Histogram	Color	Description
0	53492856	Black	Unclassified
1	9345379	Blue	вода
2	3994751	Cyan	надв. на перекр. земель
3	2425785	Green	древесная
4	3272707	Magenta	раст. на менее увл.
5	2744731	Red	раст.1
6	1712189	Purple	раст.2
7	4036701	Yellow	раст.3
8	2768607	Brown	(0.71),55
9	2168652	Light Green	тростн
10	1583297	Dark Green	Class 10
11	4494500	Orange	Class 11

**Рис. 4. Растровая карта (фрагмент) Гричено-Старобинского полигона на основе Unsupervised Classification (25 классов) (а) и атрибутивная таблица интерпретированных классов (б)**

**Динамика процессов затопления полигонов.** Анализ динамики процессов повторного заболачивания Гричено-Старобинского полигона осуществлялся с использованием спутниковых данных Landsat (18.08.2001), Aster (8.08.2002) и Ikonos (17.09.2006) за шестилетний период восстановления торфяного месторождения. Установлено, что за период с 2001 по 2006 г. было затоплено 5,22 км<sup>2</sup> – при чем в 2001 г. – всего лишь 0,18 км<sup>2</sup>, а в 2002 г. – уже 0,87 км<sup>2</sup>. На рис. 5 представлены затопленные участки в виде

векторных слоев, которые выделены голубым и синим контуром. Таблицы атрибутов включают количество выделенных ареалов, находящихся под водой – векторных слоев, их площади и длины контуров. Данная информация была использована для построения векторной карты и ГИС Гричено-Старобинского полигона. На круговой диаграмме (рис. 6) представлен сравнительный анализ затопления территорий по годам: 2001, 2002 и 2006 г.

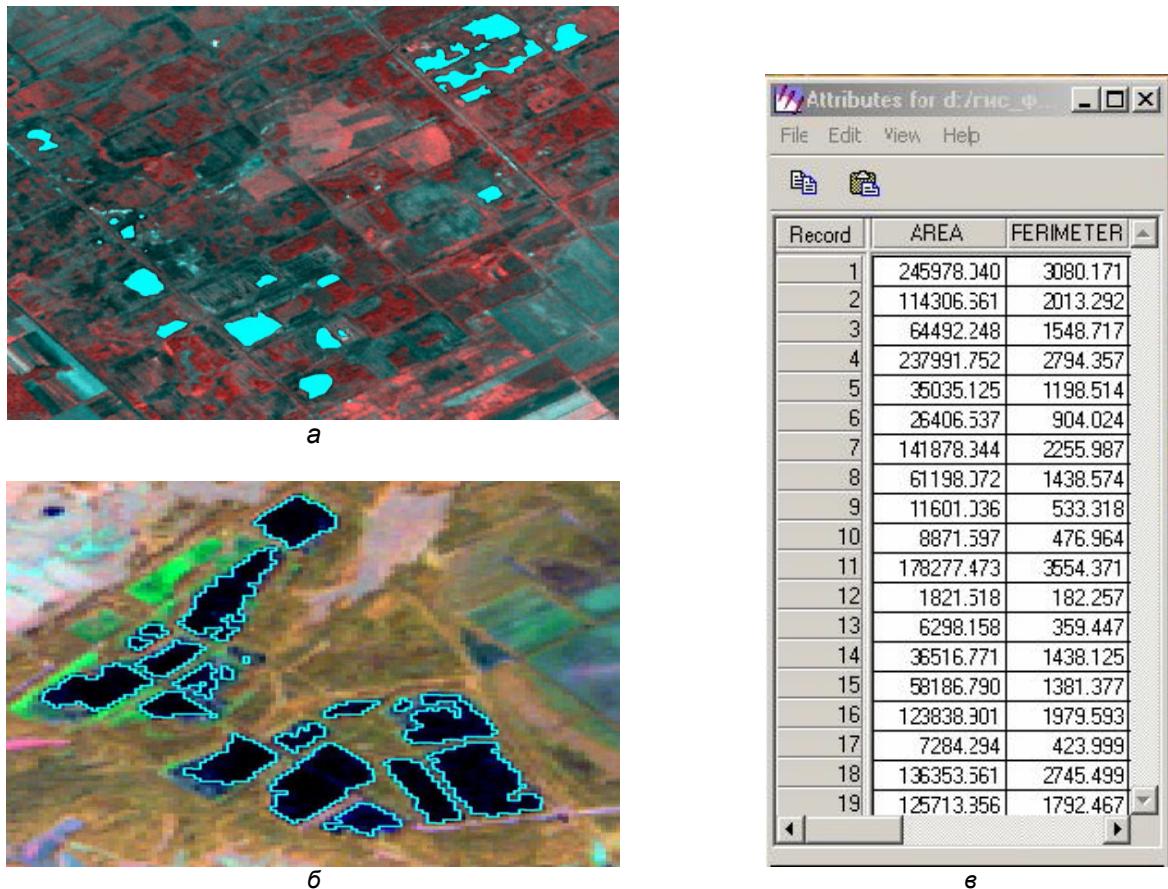


Рис. 5. Отображение векторного слоя «вода» процессов искусственного затопления Гричено-Старобинского (а) и Освейского (б) полигонов: векторный слой «вода» (голубой и синий колер) по спутниковым данным Aster (08.08.2002) (а) и Landsat (18.07.2010) (б); пример таблицы атрибутов: площадь и периметр векторного слоя «вода» в ERDAS Imagine (в)

Динамику процессов повторного заболачивания Освейского полигона оценивали по разновременным спутниковым данным Landsat (27.05.2000) и Landsat (18.07.2010). Установлено,

что за десятилетний период с 2000 по 2010 г. было затоплено 160 га, при чем в 2000 г. – всего лишь 76 га. Результаты анализа представлены на рис. 7 (круговая диаграмма).

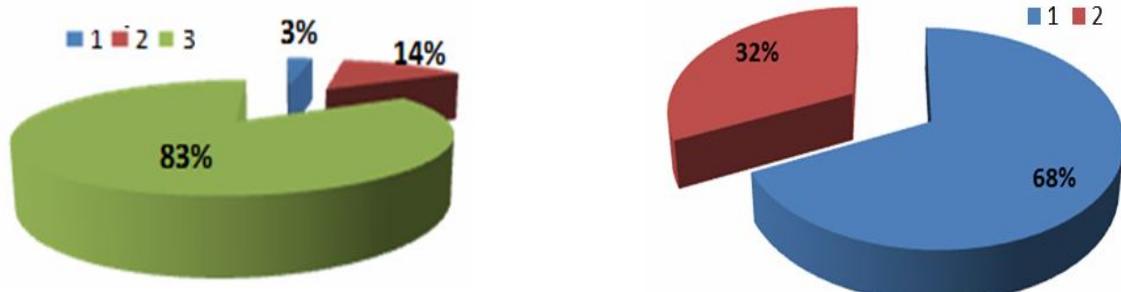


Рис. 6. Динамика искусственного затопления Гричено-Старобинского полигона по ДДЗ за семилетний период восстановления:  
1 – 2001 г.; 2 – 2002; 3 – 2006 г.

Рис. 7. Динамика искусственного затопления Освейского полигона за 10-летний период (2000–2010 гг.): 1 – 2000 г.; 2 – 2010 г.

Таким образом, предлагаемая система методов в полной мере позволяет реализовать задачу оценки состояния и динамики затопленных территорий, разработать автоматизированные технологии их картографирования, визуализации и представления выходных продуктов с целью спутникового мониторинга нарушенных ТМ.

#### **Выводы.**

1. Разработана система методов дистанционной диагностики оценки состояния нарушенных торфяных месторождений и стадий их восстановления в условиях повторного заболачивания на основе спектрально-информационных свойств индикаторных биотопов, позволяющая по разновременным снимкам оценить скорость и направление болотообразовательных процессов. Система включает визуально-инструментальные методы дешифрирования, методические подходы интерпретации и классификации стадий восстановления на основе апробированных методов Unsupervised Classification, спектрального улучшения Tasseled Cap, а также комплекс методов представления, визуализации (растровые, векторные карты) выходной продукции.

2. Предложенные методы дистанционной диагностики на основе оперативных разновременных спутниковых данных являются наиболее перспективными и позволяют оценить эффективность мероприятий по повторному заболачиванию болот, связанных в том числе с пробле-

мой поглощения/эмиссии парниковых газов и международными обязательствами Республики Беларусь по Киотскому протоколу.

3. В перспективе в связи с использованием коммерчески более доступных, по сравнению с зарубежными аналогами, данных Белорусского космического аппарата (БКА) и постоянном мониторинге болот эффективность с каждым годом будет возрастать.

4. Получение оперативной, достоверной и независимой информации по разновременным спутниковым данным о динамике и процессах восстановления нарушенных торфяных месторождений направлено на создание единой геоинформационной основы с целью научно-методического обеспечения реализации принципов рационального природопользования болот в решении таких задач, как:

- внедрение региональных систем учета болот как источников и стоков парниковых газов и включение восстановленных болот в механизмы Киотского протокола;
- организация и ведение спутникового мониторинга восстановленных болот по данным БКА;
- стабильное информационное обеспечение принятия решений в сфере природопользования нарушенных болот;
- интеграция восстановленных болот в экологические сети.

#### **Литература**

1. Ковалев, А. А. Технология дешифрирования и тематическая интерпретация спутниковых данных высокого пространственного разрешения для оценки состояния торфяно-болотных комплексов / З. А. Ничипорович, Е. Н. Каждан // Материалы Четвертого Белорусского космического конгресса, 27–29 октября 2009 г. Минск, 2009. Т. 2. С. 204–206.
2. Ничипорович, З. А. Создание сети калибровочно-эталонных участков как первый этап в решении задач спутникового мониторинга нарушенных торфяных месторождений Беларуси (на примере Гричино-Старобинского полигона) / З. А. Ничипорович, Е. А. Радевич // Мелиорация. 2012. С. 89–94.
3. Adam, E. Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation: a review / E. Adam, O. Mutanga, D. Rugege // Wetlands Ecology and Management. 2010. Vol. 18, № 3. P. 281–296. DOI: 10.1007/s11273-009-9169-z.
4. Crist, E. P. The Tasseled Cap De-Mystified / E. P. Crist, R. G. Kauth // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 1986 Vol. 52, № 1. P. 81–86.
5. Nichiporovich, Z. A. Experience with mapping of bog ecosystems based on remotely sensed spectral data / Z. A. Nichiporovich, E. A. Radovich // Journal of Applied Spectroscopy. 2013. Vol. 79, Iss. 6. P. 944–948. DOI: 10.1007/s10812-013-9698-3.
6. Schmidt, K. S. Spectral discrimination of vegetation types in a coastal wetland / K. S. Schmidt, A. K. Skidmore // Remote Sensing of Environment. 2003. № 85. P. 92–108. DOI:10.1016/S0034-4257(02)00196-7.

<sup>1</sup>НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам,  
<sup>2</sup>Институт природопользования НАН Беларуси

**З. А. Ничипорович, В. А. Ракович, Е. Н. Каждан**

**ДИСТАНЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ И ДИНАМИКИ  
ПОВТОРНО ЗАБОЛАЧИВАЕМЫХ ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Разработана система методов дистанционной диагностики оценки состояния и динамики нарушенных торфяных месторождений и стадий их восстановления по сериям разновременных космоснимков на основе спектральных свойств индикаторных биотопов, включающая визуально-инструментальные и автоматизированные методы распознавания, классификации и тематической интерпретации спутниковой информации, а также комплекс методов представления и визуализации (растровые, векторные карты) выходных продуктов с использованием базовых средств *ERDAS Imagine*.

Предложены подходы на основе оперативных разновременных ДДЗ, которые являются наиболее перспективными и позволяют оценить эффективность мероприятий по восстановлению болотных экосистем, связанных в том числе с проблемой поглощения/эмиссии парниковых газов и с международными обязательствами Республики Беларусь по Киотскому протоколу.

Исследования выполнены в рамках ГКПНИ «Космические исследования» (2010–2012 гг.).

**Z. A. Nichiporovich, V. A. Rakovich, E. N. Kazhdan**

**REMOTE DIAGNOSTICS OF A CONDITION AND  
DYNAMICS OF REBOGGED CUTOVER PEAT DEPOSITS**

*The system of remote diagnostics methods to estimate a condition and dynamics of disturbed peat deposits and stages of their restoration on series of time-varying space pictures on the basis of spectral properties of indication biotops, including visual-instrumental and automated methods of recognition, classification and thematic interpretation of satellite information, and a complex of methods of representation and visualization (raster, vector cards) of target products with use of base means ERDAS Imagine is developed.*

*Approaches on the basis of operative time-varying BRD which are most perspective and allow estimating the efficiency of actions for restoration marsh ecosystem, related as well to the problem of absorption/emission greenhouse gases and to international obligations of Belarus under the Kyoto Protocol are proposed.*

*The researches are carried out in the frameworks of SCPSI «Space researches» (2010–2012).*

УДК 911.5 (476)

Ю. М. Обуховский, Т. А. Жидкова

## СИСТЕМА ЛАНДШАФТНО-ИНДИКАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ГРОДНЕНСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ И СРЕДНЕНЕМАНСКОЙ НИЗИНЫ

*Для индикационной интерпретации и картографирования ландшафтной структуры Гродненской возвышенности и Средненеманской низины разработана система ландшафтно-индикационных характеристик природных территориальных комплексов, позволяющая выявить характер распределения децизионных компонентов ландшафтов, с приведением данных о генетических типах почв, литологии четвертичных отложений и уровнях распределения грунтовых вод.*

В настоящее время при исследованиях и картографировании природных территориальных комплексов (ПТК) особая роль принадлежит методу ландшафтной индикации, заключающегося в использовании характерных внешних особенностей местности в качестве индикаторов почвенных и гидрологических условий [2]. Исследование морфологической структуры ландшафтов с позиций ландшафтной индикации предполагает выявление корреляционных взаимосвязей между его компонентами, систематизацию индикационных характеристик и является важнейшей частью изучения ПТК в плане определения их пространственного размещения, взаимодействия, степени сходства и различия, влияния на физико-географические процессы.

Выбор объекта исследований – ПТК Гродненской возвышенности и Средненеманской низины в пределах Гродненского района Республики Беларусь – объясняется его приуроченностью к двум ландшафтным провинциям республики: Поозерской провинции озерно-ледниковых, моренно-озерных и холмисто-моренно-озерных ландшафтов, а также Белорусской возвышенной провинции холмисто-моренно-эрэзационных и вторично-моренных ландшафтов. Выделение провинций связано с проходящей по территории района исследования границей максимального распространения поозерского оледенения, что обусловило формирование различных родов ландшафтов на сравнительно небольшой территории.

Цель работы – классифицировать ПТК Гродненской возвышенности и Средненеманской низины в ранге эктоярусов уроцищ и разработать для них системы индикационных характеристик. Исходными данными для проведения ландшафтно-индикационного анализа ПТК служили тематические карты территории исследований преимущественно масштабов 1 : 100 000–1 : 200 000 (составление местности на 2004–2008 гг.), а также космические снимки Landsat 7 ETM+ с пространственным разрешением 30 м (дата съемки 10.07.1999 г., 21.05.2007 г.).

**Принципы построения классификационной схемы ПТК.** Изучение морфологической структуры ПТК Гродненской возвышенности и Средненеманской низины предполагало решение широкого круга задач, основными из которых явились: оптимальный выбор используемой системы иерархически соподчиненных ландшафтных единиц; выделение морфологических единиц в ранге эктоярусов уроцищ; исследование индикационных свойств физиономичных компонентов ПТК относительно генезиса четвертичных отложений, их литологических особенностей, условий обводненности.

При проведении настоящих исследований, имеющих ландшафтно-индикационную направленность, в качестве исходной нами была взята классификация ПТК разработанная Г. И. Марцинкевич и Н. К. Клициновой [2], где с учетом особенностей ландшафтного строения территории республики были разработаны система классификационных единиц ПТК и принципы их выделения, а также классификация ПТК, разработанная Ю. М. Обуховским [4, 5] для целей литоиндикации в Припятском Полесье.

На основании указанных классификационных схем при выборе системы таксономических единиц для индикационной характеристики ПТК Гродненской возвышенности и Средненеманской низины учитывались следующие факторы: изученность исследуемой территории, масштаб проводимых работ, особенности отражения выделяемых ПТК на материалах дистанционных съемок и связанные с ними пределы максимальной информативности комплексов-индикаторов.

Основной типологической единицей, выделяемой нами по генетическому принципу, являлся род ландшафта. В пределах района исследований были выделены холмисто-моренно-озерные, холмисто-моренно-эрэзационные, камово-моренно-озерные, камово-моренно-эрэзационные ландшафты Гродненской возвышенности, водно-ледниковые с озерами, озерно-ледниковые и аллювиальные террасированные ПТК в пределах Средненеманской низины. В границах выделен-

ных ландшафтов с учетом масштаба исследований (1 : 100 000) и особенностей ландшафтного строения территории нами была разработана система классификационных единиц эктоярусов урошищ.

Под «эктоярусом урошища» нами понимается ПТК, связанный с частями мезоформ рельефа, характеризующийся одинаковым литологическим составом отложений, одним генетическим типом почв, определенным интервалом уровней грунтовых вод (УГВ), которым соответствуют группы фитоценозов, сходных по условиям обитания и физиономическим характеристикам [3–5]. Данное утверждение устанавливает исключительное значение эктояруса как системы, включающей в себя все возможные группы индикаторов – геоботанические, геоморфологические, комплексные и др. В свою очередь, типологический ряд эктоярусов урошищ выглядит следующим образом: класс–тип–род и отражен в таблице.

В основе выделения эктоярусов классов урошищ ведущим признаком являются элементы мезоформ рельефа. В зависимости от проявления индикационных характеристик, в частности распределения уровней залегания грунтовых вод, которые четко сопряжены с гипсометрическим положением ПТК, в пределах района исследований было выделено семь эктоярусов классов урошищ: вершин, повышенных, центральных частей и пониженных склонов, долин, низин и котловин. Внутри классов урошищ проявляется четкая дифференциация территории по группам растительных формаций и их сочетаний, а также хозяйственному использованию территории, которые были положены в основу обособления типов эктоярусов.

Так, классу вершин соответствуют 2 эктояруса типов урошищ, характеризующие сосновые формации и комплексы, характеризующие сельскохозяйственное использование территории. Классам повышенных, пониженных и центральных частей склонов соответствует более сложная дифференциация типов урошищ, представленная 6 группами растительных формаций: сосновыми, широколиственно-еловыми, широколиственно-елово-сосновыми, дубовыми, осиновыми и березовыми лесами, а также распаханными комплексами. В пределах класса долин, выделяются 2 типа, представленные лесными (дубравы) и луговыми (разнотравно-осоково-злаковыми и злаково-осоковыми) сообществами.

Класс низин характеризуется обособлением 7 эктоярусами типов урошищ, где домини-

рующая роль принадлежит комплексам с луговой и болотной растительностью. Для типов с лесной растительностью характерны сосновые, широколиственно-еловые, березовые, черноольховые и черноольхово-березовые леса. Классу котловин соответствует 1 эктоярус типов урошищ с лесной растительностью – сосняки.

Несмотря на выделение значительного количества типов эктоярусов в пределах исследуемых физико-географических единиц, строгой приуроченности определенных растительных группировок к каждой из названных форм не наблюдается, поэтому индикационное значение эктоярусов на уровне типов урошищ также колеблется в широких пределах.

Следующей выделенной нами типологической единицей стал эктоярус рода урошищ, в обособлении которого положены крупные группы растительных ассоциаций (в лесной растительности им соответствуют серии типов лесов), дополнительным признаком выделения рода выступает направленность хозяйственного использования территории. Например, вершины и повышенные склоны с сосняком бруснично-зеленомошным; пониженные склоны, сельскохозяйственные, распаханные.

Для индикационной интерпретации выделенных в пределах Гродненской возвышенности и Средненеманской низины эктоярусов урошищ проводилась характеристика дециpiентных компонентов эктоярусов, с приведением данных о соответствующих почвогрунтах и условиях их обводненности. Состав отложений давался в следующей градации: пески, супеси, суглинки, торфа. Для песчано-супесчаных отложений указывалась преобладающая гранулометрическая фракция, состав подстилающих пород. Градация глубин грунтовых вод осуществлялась в интервалах 0–0,5, 0,5–1,0, 1–3, 3–5, 5–10 и более 10 м. При наличии фактического материала для некоторых ПТК приведены более узкие значения.

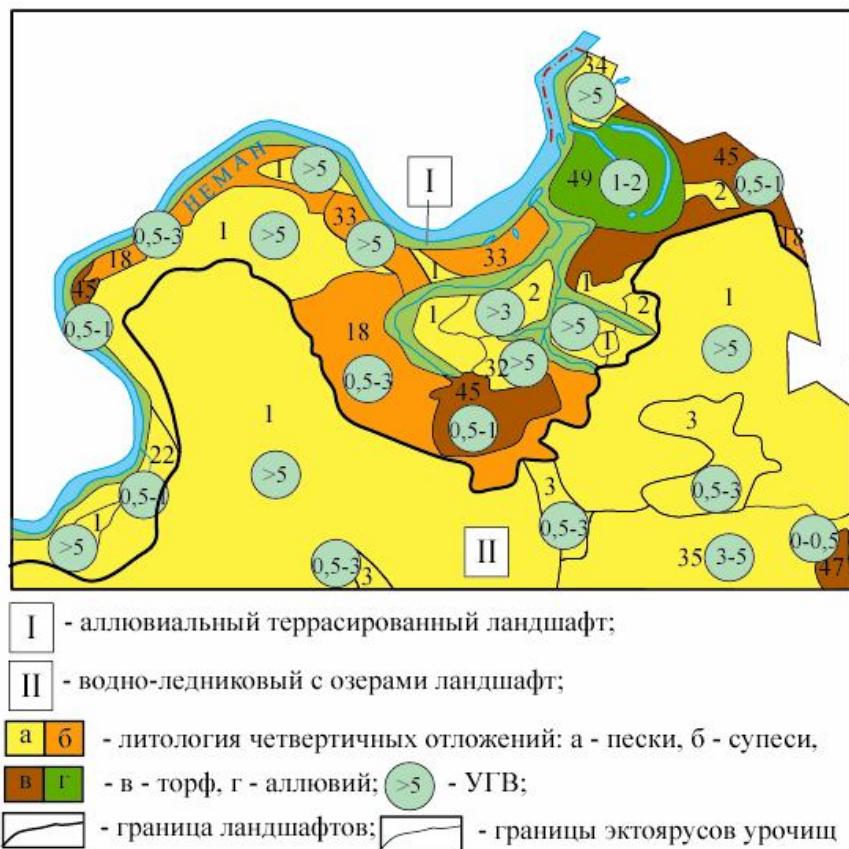
В результате проведенных исследований была составлена ландшафтная карта изученной территории масштаба 1 : 100 000 с приведением всех необходимых условных обозначений и обязательной индексацией выделенных контуров. Фрагмент индикационной интерпретации данной карты в пределах аллювиального террасированного и водно-ледникового с озерами ландшафтов показан на рисунке. Цифровые обозначения эктоярусов указаны в соответствии с разработанной легендой.

### Классификационная схема эктоярусов уроцищ

Класс	Тип	Индикаторы		Индикаты		
		Род		Генетические типы почв	Литология четвертичных отложений	УГВ, м
Элемент ме-зоформы рельефа	Растительные формации; хо-зяйственное использование территории	Группы растительных ассоциаций; направленность хозяйственного использования территории	3	4	5	6
1	2			Дерново-подзолистые	Пески	> 5
Вершины	1. Сосняк	1. Сосняк лишайниково-кустарничковый	Пески		> 5	
	2. Селькохозяйственное	2. Распаханные	Пески		> 5	
Повышенные склоны	1. Сосняк	1. Сосняк бруслично-зеленомошный	Дерново-подзолистые	Пески, супеси	> 3	
	2. Березняк	2. Березняк бруслично-зеленомошный				
	3. Широколиственно-сосновые леса	3. Широколиственно-сосновые орляково-зеленомошно-кисличные леса		Пески, супеси, суглинки, глины	> 5	
	4. Селькохозяйственное	4. Распаханные				
Центральные части склонов	1. Широколиственно-еловые леса	1. Широколиственно-еловые подтаежные бруслично-зеленомошные леса	Дерново-подзолистые	Пески, супеси	2–5	
	2. Широколиственно-елово-сосновые и еловые леса	2. Широколиственно-елово-сосновые и еловые зелено-мошно-кислично-снытевые леса				
	3. Дубравы	3. Дубравы грабово-орляково-черничные				
	4. Осинник	4. Дубравы снытево-кисличные				
	5. Березняк	5. Осинники черничные и бруслично-зеленомошные				
	6. Селькохозяйственное	6. Березняки орляково-зеленомошные и кислично-снытевые				
Пониженные склоны	1. Сосняк	1. Сосняк зеленомошно-черничный и кустарничково-долгомошный	Дерново-подзолистые, иногда оглеенные внизу	Пески, супеси, в том числе оторфованные	0,5–3	
	2. Широколиственно-еловые леса	2. Широколиственно-еловые зеленомошно-черничные и кустарничково-долгомошные леса				
	3. Осинник	3. Осинники крапивно-папоротниковые, кислично-снытевые				
	4. Березняк	4. Березняки зеленомошно-черничные и кустарничково-долгомошные				
	5. Селькохозяйственное	5. Распаханные	Дерново-подзолистые глеевые	Суглинки, супеси, пески	1–3	

## Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
Долины	1. Дубравы пойменные	1. Монодоминантные	Дерново-глеевые и глеевые	Супесчаный и песчаный аллювий	1–2
	2. Луга пойменные	2. Разнотравно-осоково-злаковые и злаково-осоковые	Торфянисто-глеевые, дерново-глеевые	Супеси, супеси оторфованные	0–1
Низины	1. Сосняк	1. Сосняк кустарничково-осоково-травяно-сфагновый и кустарничково-долгомошный	Торфяно- и торфянисто-глеевые	Пески	0,5–1
	2. Широколиственно-еловые леса	2. Широколиственно-еловые подтаежные, осоковые и осоково-сфагновые леса		Супеси	
	3. Березняк	3. Пушисто-березовые, осоково-травяно-сфагновые леса 4. Березняк осоковый с ивовым ярусом	Торфяно-болотные, торфяно-глеевые; дерново-подзолистые глеевые	Оторфованные пески, торф	0–1
	4. Черноольшаник	5. Черноольшаник таволговый и приручейно-разнотравный	Торфяные мало-мощные, торфяно- и торфянисто-глеевые	Оторфованные пески, торф	0–1
	5. Черноольхово-березовые леса	6. Черноольхово-березовые травяно-осоковые леса	Торфяно- и торфянисто-глеевые, дерново-перегнойно-глеевые	Пески	0,5–1
	6. Болота переходные	7. Болота переходные кустарничково-травяно-осоково-сфагновые			
	7. Болота низинные	8. Болота низинные злаково-разнотравно-гипново-осоковые	Торфяные маломощные	Супеси	
	8. Внепойменные луга	9. Внепойменные луга с участками травяных болот и кустарников 10. Злаковые и мелкоосоковые луга и травяные болота 11. Мелкоосоковые и злаковые луга с участками травяных болот	Дерново-глеевые торфяно-глеевые, дерново-перегнойно-глеевые с иллювиально-гумусовым горизонтом	Пески, супеси, торф	
	9. Селькохозяйственное	12. Распаханные	Дерново-глеевые, дерново-перегнойно-глеевые	Пески	
		13. Мелиорированные	Дерново-глеевые	Глины	
Котловины	1. Болота верховые	1. Сосняк кустарничково-пушицево-сфагновый	Торфяные среднемощные и мощные	Торф	0–0,5



#### Индикационная интерпретация ландшафтной карты.

Эктоярусы уроцищ: 1 – вершины с сосняками лишайниково-кустарничковыми; 2 – повышенные склоны с сосняками бруслично-зеленомошными; 3 – пониженные склоны с сосняками зеленомошно-черничными и кустарничково-долгомошными; 18 – пониженные склоны с березняками зеленомошно-черничными и кустарничково-долгомошными; 22 – низины с черноольшанниками таволговыми и приручейно-разнотравными; 32, 33, 34 – вершины и повышенные склоны, распаханные; 45 – низины мелиорированные, распаханные; 47 – котловины; 49 – поймы мелиорированные, заложенные

**Заключение.** В пределах исследуемых физико-географических единиц выделено 50 эктоярусов родов уроцищ. Они были разделены на группы эктоярусов с естественной растительностью и сельскохозяйственными угодьями.

Всего в пределах Гродненской возвышенности и Средненеманской низины эктоярусами с лесной растительностью занято 38 % территории. Эти эктоярусы физиономичны, тесно коррелируют с гипсометрией, вертикальным и горизонтальным расчленением местности. Эктоярусы уроцищ с луговой и болотной растительностью определяются как одной, так и несколькими группами ассоциаций (низины с внепойменными лугами и участками травяных болот и кустарников; низины со злаковыми и мелконосоковыми лугами и травяными болотами). На территории района исследований они представлены не широко и занимают вместе с комплексами мелких речных долин голоценового времени более 8 % площади всех выделенных эктоярусов.

Эктоярусы уроцищ с сельскохозяйственными угодьями, занимающие более 53 % территории, определялись по рельефу и направленность хозяйственного использования терри-

тории (низины с торфяно-болотными почвами, мелиорированные и распаханные). В ходе проведенных исследований установлено, что дифференциация эктоярусов агроландшафтов по составу культурной растительности не целесообразна ввиду ее ежегодной изменчивости.

Таким образом, в ходе проведенных исследований установлено, что именно эктоярусы родов уроцищ являются основными индикаторами почв, литологии четвертичных отложений и уровней залегания грунтовых вод. Они характеризуются устойчивой взаимосвязью с объектами индикации и неизменностью признаков дешифрирования, по которым может быть опознан тот или иной индикатор.

Созданная база данных природных комплексов Гродненской возвышенности и Средненеманской низины может использоваться как региональный банк данных при выполнении полевых и камеральных географических и ландшафтных исследований, разработке схем природопользования, а также в качестве учебных материалов в образовательном процессе высшей школы Республики Беларусь при подготовке специалистов-картографов и ландшафтологов.

## Литература

1. **Ландшафты Белоруссии** / Г. И. Марцинкевич [и др.] ; под. ред. Г. И. Марцинкевич, Н. К. Клициновой. Минск, 1989.
2. **Марцинкевич, Г. И.** Ландшафтovedение : учебник / Г. И. Марцинкевич. Минск, 2007.
3. **Обуховский, Ю. М.** Дистанционная индикация лесоболотных ландшафтов Беларуси : дис. ... д-ра географ. наук / Ю. М. Обуховский; Ин-т проблем использования природных ресурсов и экологии Академии наук Беларуси. Минск, 1997.
4. **Обуховский, Ю. М.** Ландшафтная индикация : учеб. пособие / Ю. М. Обуховский. Минск, 2008.
5. **Обуховский, Ю. М.** Ландшафтная индикация четвертичных отложений и почв Припятского Полесья / Ю. М. Обуховский. Минск, 1990.

**Белорусский государственный университет**

*Поступила в редакцию 13.02.2013 г.*

**Ю. М. Обуховский, Т. А. Жидкова**

### **СИСТЕМА ЛАНДШАФТНО-ИНДИКАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ГРОДНЕНСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ И СРЕДНЕНЕМАНСКОЙ НИЗИНЫ**

*Объектом изучения при проведении ландшафтных исследований всегда выступает определенная территория, поэтому независимо от ранга объекта всегда возникает задача ее всестороннего изучения, анализа и выработки предложений, направленных на оптимизацию природопользования. Одним из ведущих направлений при изучении, проектировании и использовании площадных объектов является ландшафтно-индикационный подход, суть которого заключается в рассмотрении территории как совокупности природно-территориальных комплексов (ПТК), с последующим их описанием и систематизацией. Систематизация, в свою очередь, предопределяет всестороннюю характеристику определенной территории, включая оценку ее ресурсов и возможностей.*

**Y. M. Obukhovskiy, T. A. Zhidkova**

### **SYSTEM OF LANDSCAPE-INDICATIONAL CHARACTERISTICS OF NATURAL TERRITORIAL COMPLEXES OF GRODNO HEIGHT AND MID-NEMAN LOWLAND**

*The object of study during the research landscape is always the designated area, and therefore, regardless of the rank of the object there is always a function of its comprehensive study, analysis and development of proposals for optimization of natural resources. One of the leading trends in the study, design and use of area features is a landscape-indicator approach, the essence of which is to consider the area as a set of environmental systems, followed by their description and systematization. Systematization, in turn, determines the full characteristics of certain territories, including the assessment of its resources and capabilities.*

**Л. А. Кравчук, Е. В. Лаевская**

## **ПРОБЛЕМЫ ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛАНДШАФТНО-РЕКРЕАЦИОННЫМИ ТЕРРИТОРИЯМИ В ГОРОДАХ БЕЛАРУСИ**

*В составе населенных пунктов для создания благоприятной среды обитания целенаправленно формируется система ландшафтно-рекреационных территорий, включающая растительность (насаждения) и, как правило, водные объекты и элементы рекреационно-обслуживающей инфраструктуры. Они предназначены для выполнения экологических и социальных функций – средообразующих, средозащитных, природоохранных, рекреационных и гуманистических. Система управления ими должна включать следующие взаимосвязанные блоки – государственное регулирование (включая правовое обеспечение), планирование (проектирование, составление программ и планов развития), реализацию программ и планов, учет, мониторинг и контроль. Проведен анализ нормативной правовой базы, касающейся вопросов управления ландшафтно-рекреационными территориями в городах Беларусь.*

Регулирующим механизмом общественных отношений при формировании системы управления территориальным развитием городов является нормативная правовая база, разработанная в стране. Учитывая многообразия связей, объект нашего анализа – ландшафтно-рекреационные территории (зоны) (ЛРТ/ЛРЗ) в населенных пунктах отражен в различных сферах законотворческой деятельности и нормирования: градостроительстве, охране окружающей среды, лесном, земельном, водном законодательстве и др.

Следует отметить, что правовое обеспечение системы управления ЛРТ/ЛРЗ в городах со-пряжено с рядом проблем, в основном связанных с комплексностью этого понятия, которая обусловливает многообразие связей. С одной стороны, ЛРТ расположены на землях населенных пунктов и/или пригородных зон, следовательно, попадают в правовое поле земельных отношений, регулируемых в стране Кодексом о земле [13] и иными актами законодательства в области охраны и использования земель [7, 12]. С другой – предназначены для улучшения состояния окружающей среды в населенных пунктах (Закон «Об охране окружающей среды» [22]). ЛРТ – это природные или природно-антропогенные комплексы (ландшафты), в их состав входят растительность (как естественные природно-растительные комплексы – леса, луга, болота, так и специально созданные насаждения) и водные объекты, обращение с которыми регулируется Законами «Об охране окружающей среды» [22], «О растительном мире» [18], Лесным кодексом [16], Водным кодексом [2] и др. В состав ЛРТ могут входить особо охраняемые природные территории (ООПТ), управление которыми определяется Законом «Об особо охраняемых природных территориях» и др. [21, 38]. Использование территорий в населенных пунктах и пригородных зонах регламентируется также градостроительными нормами, отраженными в Законе

«Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Беларусь» [20], генеральных планах городов [3], а также локальных нормативных правовых актах.

Общие положения о праве граждан на благоприятную окружающую среду закреплены в Конституции Республики Беларусь (ст. 46) [14].

В Законе «Об охране окружающей среды» (ст. 43) [22] указано, что «при размещении, проектировании, строительстве и реконструкции населенных пунктов должны соблюдаться требования в области охраны окружающей среды, обеспечивающие благоприятную для жизни и здоровья граждан окружающую среду, а также сохранение естественных экологических систем, биологического и ландшафтного разнообразия». Здесь же отмечено, что «организация населенных пунктов и территорий должна осуществляться в соответствии с архитектурными и градостроительными проектами, в которых должны предусматриваться мероприятия по озеленению и иному обращению с объектами растительного мира, обеспечивающие благоприятную окружающую среду для жизни и здоровья граждан».

В Законе «Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Беларусь» (ст. 4) [20] зафиксировано право «физическими и юридическими лиц на благоприятную среду обитания при осуществлении архитектурной, градостроительной и строительной деятельности, на достоверную, полную и своевременную информацию о состоянии среды обитания и ее предполагаемых изменениях».

Термин «ландшафтно-рекреационные территории» возник и используется в области градостроительства [5] и во многих нормативных документах заменил или существует параллельно с понятием «насаждения», «озелененные территории». Введение данного термина в нормативные правовые акты Республики Беларусь, а

также ряда сопредельных стран (Украина, Россия) явилось шагом к развитию ландшафтного подхода при планировании городов. С одной стороны, в нем манифестируются основные функции, которые выполняют в городах открытые озелененные и обводненные пространства – ландшафтные и рекреационные. С другой – актуализируется основной объект городского планирования – ландшафт, и подчеркивается основное направление его использования в городах, помимо прочих – рекреационное. Введение данного понятия изначально обозначает задачу комплексного подхода к решению проблем организации природного комплекса в городах.

Анализ нормативной правовой базы страны показывает, что основные термины и определения – «ландшафтно-рекреационные территории/зоны», «насаждения», «объекты растительного мира», «озелененные территории», а также «природные комплексы, объекты» («ландшафты») встречаются в нормативных правовых актах (далее – НПА) различного уровня и часто не связаны между собой системой законодательно утвержденных отношений.

Например, в Законе «Об охране окружающей среды» [22] даны определения понятиям: «естественная экологическая система», «компоненты природной среды», «природная среда», «природный объект» (природный ландшафт), «природно-антропогенный объект», «природный комплекс», «биотоп». Понятие ландшафтно-рекреационные территории/зоны в нем отсутствует.

При этом следует отметить, что понятие «ландшафты» в НПА страны часто используется, но без определения, как в контексте сохранения ландшафтного разнообразия, так и в сопряжении с понятием «природные объекты», «природные комплексы» [22].

Определение ЛРТ дано в действующем ныне ТКП 45-3.01-116-2008 [5], где, как и в ранее предшествующих ему строительных нормах, используется понятие «ландшафтно-рекреационные территории» и в разделе 9 указано, что «ландшафтно-рекреационные территории населенных пунктов и пригородных зон предназначены для организации рекреационной деятельности и улучшения состояния окружающей среды. Они должны формировать природный каркас поселения в виде единой системы открытых и озелененных пространств, иметь удобные пешеходные и транспортные связи с жилыми и общественными территориями населенного пункта». Здесь же отмечается, что «они должны включать: озелененные территории населенных пунктов; рекреационные территории пригородных зон; особо охраняемые территории». Следует отметить, что данном документе, как синоним понятия ландшафтно-рекреационные территории применяется также термин «насаждения». В п. 9.1.2, в табл. 9.2 на-

стоящего документа приведена нормативная обеспеченность населения ландшафтно-рекреационными территориями. Нормы обеспеченности населения озелененными территориями в жилой застройке, ЛРТ общего пользования (районного и городского значения), рекреационными территориями в пригородной зоне ранжированы по типам населенных пунктов. Причем, следует отметить, что в составе ЛРТ учитываются не только озелененные территории, но и водные объекты, элементы благоустройства (дорожки, фонтаны, игровые и спортивные площадки и пр.), обслуживающие здания и сооружения.

Данный термин используется в статье 11 Закона «О государственной экологической экспертизе» [17], где закреплена компетенция уполномоченных должностных лиц Минприроды проводить «государственную экологическую экспертизу по градостроительным проектам общего планирования, специального планирования, детального планирования (при освоении застроенных территорий), архитектурным проектам застройки территорий с использованием ландшафтно-рекреационных зон города Минска, административных центров областей, градостроительные проекты общего планирования, которые утверждаются Президентом Республики Беларусь».

В Законе «Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Беларусь» [20], в ст. 49 «виды территориальных зон по преимущественному функциональному использованию, определяемые в градостроительной документации общего планирования республиканского и регионального уровней», помимо других выделены «природоохранные и рекреационные зоны – территории с преобладанием природных ландшафтов, на которых осуществляется деятельность преимущественно по сохранению биологического и ландшафтного разнообразия и которые используются в природоохранных, научно-исследовательских, образовательно-воспитательных, рекреационных и оздоровительных целях (массовый отдых, туризм, санаторно-курортное лечение)».

В ст. 50 данного закона «Виды территориальных зон по преимущественному функциональному использованию территорий населенных пунктов» выделяются «рекреационные зоны – территории, предназначенные для организации мест отдыха населения и включающие в себя парки, городские леса, лесопарки, пляжи и иные объекты отдыха и туризма. На этих территориях не допускаются строительство и расширение действующих промышленных, коммунальных и складских объектов, непосредственно не связанных с эксплуатацией объектов рекреационного и оздоровительного назначения, а также запрещается застройка жилыми дома-

ми, за исключением случаев, предусмотренных градостроительной документацией».

В строительных нормах Беларуси [4] в разд. 5, табл. 5.1 и 5.2, как отдельный тип выделены «рекреационно-ландшафтные зоны» и приводятся их виды для различных уровней генерального планирования (национального, регионального и градостроительного в том числе детального плана). На градостроительном уровне к рекреационно-ландшафтным зонам относят «курортную, длительного отдыха; кратковременного отдыха, спортивно-рекреационную, открытых площадок и территории общего пользования, озелененных территорий общего пользования в населенных пунктах, многофункциональных парков, специализированных парков, лесопарков и природных ландшафтов».

Достаточно детальная классификация и система регламентов использования ландшафтно-рекреационных зон имеется в генеральном плане г. Минска [3]. В данном документе применительно к Минску закреплены отдельные критерии, позволяющие определить ЛР зоны как комплекс территорий, на которых расположены объекты озеленения, обводнения, общественного назначения, инженерной и транспортной инфраструктуры, дана их классификация и оговорены регламенты градостроительного освоения. Однако следует отметить, что этот законодательный акт имеет локальное значение, так как распространяется только на территорию г. Минска и пригород.

Понятие ЛРТ/ЛРЗ используется в ряде постановлений Совета Министров Республики Беларусь, посредством которых утверждены генеральные планы городов Жодино, Барановичей, Новополоцка, Полоцка и др. [23–25, 32].

В Законе «О растительном мире» (ст. 1) [18] даны определения таким понятиям как «объекты растительного мира», «насаждения», «озеленение», т. е., по сути, под его юрисдикцию попадает часть ЛРТ – объекты растительного мира, насаждения.

Для целей планирования и управления по особенностям локализации и типам использования насаждения в населенных пунктах страны, согласно [1, 8, 28] делятся на насаждения общего пользования – парки, скверы, сады, бульвары, лесопарки, зоны кратковременного отдыха у воды, центры развлечений, пляжи и др.; насаждения ограниченного пользования – озелененные территории в пределах жилой, промышленной, общественной застройки и др.; насаждения специального назначения (питомники, кладбища, ботанические и зоологические парки, санитарно-защитные зоны и др.), насаждения вдоль улиц и дорог, а также прочие и резервные озелененные территории. При этом следует отметить, что собственно парки, скверы, центры развлечений и другие – это не только насаждения (совокупность

объектов растительного мира), а в значительной степени – ландшафтно-рекреационные объекты, созданные для отдыха со значительным участием инфраструктуры для отдыха.

Таким образом, анализ позволяет сделать вывод, что правовое понятие ландшафтно-рекреационные территории/зоны последовательно не раскрывается в НПА страны. В ряде упомянутых выше документов используются лишь понятия ЛРТ/ЛРЗ без их определения. Терминологическая непоследовательность и отсутствие связей в формулировании понятий ЛРТ/ЛРЗ негативно влияют на область применения, не давая возможности четко сформулировать правовые основы управления ЛРТ/ЛРЗ и регулировать их обращение. Отношения в области обращения с ЛРТ/ЛРЗ, включающие их классификацию, проектирование, учет, мониторинг и контроль, также практически не урегулированы в нормативной правовой базе.

Комплексность понятия ЛРТ/ЛРЗ указывает на необходимость его отражения в законодательстве об архитектурной, градостроительной деятельности, а также в законодательстве об охране окружающей среды (например, в части определения правовых режимов объектов озеленения, в особенности парков, скверов, бульваров, лесо-, лугопарков, объектов обводнения, природных ландшафтов и т. п.).

Учет объектов растительного мира регламентируется Законом «Об охране окружающей среды» ст. 71–73 [22], где приведены общие положения об учете природных ресурсов и ведению кадастров, в том числе растительного мира [29].

В Законе «О растительном мире» (ст. 9, 18, 54, 56, 65) [18] закреплены обязанности пользователей в области обращения с объектами растительного мира, их охраны, учета, а также ведение Государственной статистической отчетности. Однако отчет о насаждениях представляют юридические лица, их обособленные подразделения, имеющие на своем балансе насаждения; занимающиеся озеленением закрепленных территорий городов и поселков городского типа; занимающиеся выращиванием и посадкой древесно-кустарниковой и цветочной продукции, т. е. по сути, в данных статистической отчетности отсутствуют полные сведения о насаждениях в городах (насаждения в усадебной застройке и на резервных территориях, как правило, не учитываются).

Классификация насаждений и особенности учета объектов растительного мира закреплены в ряде инструкций по их учету на землях разных категорий [8, 9]. Данные учета хранятся у пользователей и периодически обновляются. Эти сведения используются на предприятиях при заполнении экологического паспорта согласно [11], а также при контроле соблюдения землепользователями требований в части обращения с объ-

ектами растительного мира [18, 22]. Сведения об объектах растительного мира как элементе благоустройства используются также при бухгалтерском учете основных средств и нематериальных активов [10].

Положение о порядке ведения Государственного кадастра растительного мира и использования его данных [29] и другие сопровождающие его НПА ориентированы на учет дикорастущих объектов растительного мира в естественных экосистемах.

Леса являются основной составляющей системы озеленения в большинстве поселений страны и, согласно Лесному кодексу (ст. 16) [16], относятся к лесам первой группы, из которых в пределах населенных пунктов и пригородных зон встречаются: леса, расположенные на ООПТ; леса особо ценных участков лесного фонда; водоохранные леса (запретные полосы лесов и леса в границах водоохранных зон по берегам рек, озер, водохранилищ и других водных объектов); санитарно-гигиенические и оздоровительные леса (городские леса, леса зеленых зон вокруг городов, других населенных пунктов и промышленных предприятий, в том числе леса лесопарковых частей зеленых зон, леса первого и второго поясов зон санитарной охраны источников водоснабжения и леса округов санитарной охраны курортов). Их учет, перевод из одной категории защитности в другую регламентируется Лесным кодексом [16] и иными НПА [26, 27].

Обращение с ООПТ, которые согласно ТКП 45-3.01-116-2008 [5] входят в состав ЛРТ/ПРЗ наряду с другими озелененными территориями населенных пунктов, регулируется соответственно Законом «Об особо охраняемых природных территориях» и др. [21]: «ООПТ могут использоваться в оздоровительных и рекреационных целях при условии соблюдения требований, установленных действующим законодательством и режимах их использования, закрепляемыми постановлением о создании ООПТ» (п. 9.4.2, примечание); в п. 9.4.3 оговорено, что: «В пределах ООПТ допускается архитектурная, градостроительная и строительная деятельность, не противоречащая установленным требованиям охраны. Размещение зданий и сооружений в пределах ООПТ допускается в исключительных случаях на основании специальных научных исследований».

Обращение с водными объектами, а также с землями, имеющими статус водоохранных зон, прибрежных полос и охранных зон водозаборов, регламентировано в Водном кодексе и др. [2, 35].

Возобновление ресурсов растительного мира в населенных пунктах страны предусмотрено Законом «О растительном мире» [18]: «В целях обеспечения соблюдения нормативов в области обращения с объектами растительного мира в части озеленения могут произво-

диться компенсационные посадки объектов растительного мира». Размер компенсационных посадок определяют местные исполнительные и распорядительные органы по согласованию с территориальными органами Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды в соответствии с НПА [19, 30, 36]. В них приведены стоимостные оценки компенсации за удаляемые (пересаживаемые) в городах объекты растительного мира, которые определяются видовыми особенностями деревьев, кустарников и др., их возрастом и состоянием. В перечисленных документах указаны обстоятельства, при которых объекты растительного мира могут быть удалены – препятствуют эксплуатации зданий, сооружений и иных объектов, использованию земельных участков по целевому назначению; нахождение в ненадлежащем, в том числе аварийном, состоянии; другое.

Помимо учета объектов растительного мира в стране ведется учет земель, согласно Кодексу о земле [13], в том числе и на территории населенных пунктов. При этом земли разделяются на категории (земли, выделяемые по основному целевому назначению и имеющие определенный законодательством правовой режим использования и охраны) и виды (земли, выделяемые по природно-историческим признакам, состоянию и характеру использования). Среди категорий земель помимо прочих выделяются земли природоохранного, оздоровительного, рекреационного, историко-культурного назначения, земли лесного фонда, земли водного фонда, земли запаса. Из видов земель выделяются сельскохозяйственные (пахотные и залежные, под постоянными культурами, луговые) земли; лесные и под древесно-кустарниковой растительностью, под болотами и водными объектами, под дорогами и иными транспортными коммуникациями, а также земли общего пользования (занятые улицами, проспектами, площадями, проездами, набережными, бульварами, скверами, парками и другими общественными местами); и др. В населенном пункте могут встречаться земли всех категорий и видов. На основании сведений о видах земель можно судить о присутствии в составе населенного пункта относительно малоизмененных территорий природного комплекса (земли под лугами, болотами, лесами, древесно-кустарниковой растительностью, водными объектами). Однако вычленить насаждения общего пользования из данных Государственного земельного кадастра затруднительно, так как в категории «земли общего пользования» насаждения объединены с улицами, площадями, проспектами и другими общественными местами.

Общеэкологическая и общеэкономическая ценность городских озелененных территорий, в той или иной степени учитывается при кадастровой оценке земель [7, 12]. Так, например, в дан-

ных документах предусмотрено повышение коэффициента (до 1,1) при оценке кадастровой стоимости земель в жилых зонах, в случае размещения их в пешеходной доступности (менее 1000 м) по отношению к ботаническим садам, паркам и другим территориям рекреационного назначения; а также в общественно-деловых, в случае расположения их в пределах территории рекреационного назначения (ботанические сады, парки и другие) и историко-культурного значения (1,05). Однако следует отметить, что последняя позиция (расположение общественно-деловой застройки) в таком виде противоречит нормативным документам [1, 3, 5, 8], допускающим строительство на территории рекреационных объектов только обслуживающей инфраструктуры.

Следует заметить, что согласно [12], при кадастровой оценке земель рекреационного назначения введен коэффициент (поправка) – 0,1. Он в 10 раз ниже, чем у земель общественно-делового назначения, в 5–6 раз ниже, чем у земель жилого и производственного назначения. Такое положение изначально могло бы стимулировать инвестиции в развитие ландшафтно-рекреационных территорий в городах, в благоустройство ландшафтно-рекреационных объектов. Однако реальная практика управления землепользованием в городах приводит к противоположному эффекту – на таких землях выгодно строить (они дешевле). Так, например, в ЛРЗ Минска уже построены автостоянки, АЗС, планируются и другие сооружения, которые отнюдь не являются инфраструктурной составляющей рекреационных объектов и не способствуют развитию природного каркаса города, а напротив ведут к его уничтожению.

В целях сохранения полезных качеств окружающей среды в Республике Беларусь выделяются территории, подлежащие специальной охране. Согласно ст. 63 Закона «Об охране окружающей среды» [22]: «специальной охране подлежат курортные зоны, зоны отдыха, водоохраные зоны, прибрежные полосы рек и водоемов, зоны санитарной охраны месторождений лечебных минеральных вод и лечебных сапропелей, зоны санитарной охраны водных объектов, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, зоны санитарной охраны в местах водозабора, водоохранные леса (запретные полосы лесов и леса в границах водоохранных зон по берегам рек, озер, водохранилищ и иных водных объектов), защитные леса (противоэрозионные леса, защитные полосы лесов вдоль железных дорог и автомобильных дорог общего пользования), санитарно-гигиенические и оздоровительные леса (городские леса, леса зеленых зон вокруг городов, иных населенных пунктов и производственных объектов, в том числе леса лесопарковых частей зеленых зон, леса первого и второго поя-

сов зон санитарной охраны источников водоснабжения и леса округов санитарной охраны курортов (курортные леса)), городские парки, охраняемые типичные и редкие природные ландшафты, места обитания диких животных и места произрастания дикорастущих растений, относящихся к видам, включенными в Красную книгу Республики Беларусь, природные территории, имеющие значение для размножения, нагула, зимовки и (или) миграции диких животных, охраняные зоны особо охраняемых природных территорий и иные территории, для которых установлен специальный режим охраны и использования». В той или иной степени ЛРТ/ЛРЗ могут территориально совпадать с указанными в ст. 63 природными территориями, подлежащими специальной охране, и в этом случае применяется специальный режим их охраны. Следует заметить, что в этот перечень с 2013 г. включены парки, скверы и бульвары.

Этот статус подтверждается и в ст. 6 «Требования в области сохранения недвижимых материальных историко-культурных ценностей и охраны особо охраняемых природных территорий, природных территорий, подлежащих специальной охране, и биосферных резерватов» Закона «Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Беларусь» [20]. Однако особенности правового режима специальной охраны парков, скверов, бульваров и других ЛРТ в городах нуждаются в конкретизации и детальной регламентации в НПА страны.

Некоторые вопросы организации озелененных территорий предусмотрены для отражения в Территориальных комплексных схемах рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды, которые составляются согласно [6], где в приложении 4 приведены основные экологические показатели состояния окружающей среды рассматриваемой территории, среди которых помимо прочих: площадь лесов и залесенность территории, ООПТ, местоположение видов, занесенных в Красную Книгу Республики Беларусь, удельный вес озелененных территорий различного назначения (озелененность территории); обеспеченность населения ландшафтно-рекреационными территориями в жилой застройке, общего пользования и в зеленой зоне поселения. Однако данный документ не устанавливает детальность проведения оценок. Для целей городского планирования оценку целесообразно осуществлять в разрезе архитектурно-планировочных единиц города с учетом радиусов доступности и уровня благоустройства ЛРТ. Но при разработке таких схем для городов оценки, как правило, осуществляются на основании сведений статотчетности в целом для города, или его административных единиц.

Основные вопросы регулирования обращения с озелененными территориями в процессе

строительной и иной хозяйственной деятельности должны учитываться при проведении экологической экспертизы, согласно Закону «О государственной экологической экспертизе» [17], а также в иных НПА [16, 20, 31–33]. В первом документе [17] оговорен перечень объектов, для проведения которых необходима государственная экологическая экспертиза «проектной и иной документации по планируемой хозяйственной и иной деятельности», среди которых: «градостроительные проекты общего, специального и детального планирования, архитектурные проекты застройки территорий; обоснования инвестирования в строительство, архитектурные и строительные проекты для ряда объектов, указанных в части первой статьи 13 Закона «О государственной экологической экспертизе»; проекты территориальных комплексных схем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды; проекты водоохранных зон и прибрежных полос водных объектов».

В Положении о порядке проведения государственной экологической экспертизы [31] в гл. 2, р. 10 указано, что «при проведении государственной экологической экспертизы проектной или иной документации оценке подлежат (наряду с остальными указанными в р. 10):

соответствие проектных решений градостроительным регламентам для данной территории (застроенность, озелененность, в том числе наличие парков районного и городского уровня, плотность жилого фонда, обеспеченность объектов местами для парковки и хранения автомобилей).

соответствие объекта целевому использованию земель, его наличие в перечне объектов, разрешенных к размещению в рассматриваемой функциональной зоне в соответствии с нормативными правовыми актами, в том числе техническими нормативными правовыми актами в области строительства, архитектуры и градостроительства, а для г. Минска – соответствие регламентам генплана.

наличие мероприятий, обеспечивающих предупреждение вредного воздействия на объекты растительного мира и (или) среду их произрастания, их сохранение, а также осуществление компенсационных посадок или выплат стоимости удаляемых и пересаживаемых объектов растительного мира».

Государственный, ведомственный, производственный и общественный контроль за соблюдением требований в области охраны окружающей среды и в сфере обращения с объектами растительного мира землепользователями регламентируется статьями 68–72 Закона «О растительном мире» [18].

Нанесенный растительному миру ущерб и компенсационные мероприятия определяются в соответствии с [19, 30, 36].

В системе мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь предусмотрены лишь мониторинг состояния древесных насаждений общего пользования в городах и посадок вдоль магистралей. Мониторинг собственно ЛРТ в городах страны не ведется. Данные о составе, площадях ЛРТ актуализируются лишь во время составления Схем охраны окружающей среды при корректировке генеральных планов.

При формировании системы озелененных территорий в населенных пунктах Беларусь действующими нормативными документами регламентируются следующие показатели:

- уровень озелененности населенного пункта в целом и его основных функциональных зон и объектов рекреации [1, 3, 5, 8];
- обеспеченность населения озелененными территориями в жилой застройке [1, 5, 8];
- обеспеченность населения ландшафтно-рекреационными территориями районного и городского значения и в пригородной зоне поселения [1, 3, 5, 8];
- допустимые рекреационные нагрузки на характерные типы природных и преобразованных ландшафтов (территории природного комплекса) [39, 41];
- способы организации и критерии доступности различных типов ЛРТ [5, 39–41];

– соотношение элементов озеленения (газонов, деревьев, кустарников) в различных видах городских насаждений [1, 8, 37];

– расстояние от посадок до зданий, сооружений и коммуникаций [1, 37];

– компенсационные мероприятия при удалении объектов растительного мира [18, 19, 34, 36] и др.

Таким образом, проведенный выше анализ действующих НПА показывает, что отношения в области обращения с ЛРТ детально не урегулированы и фрагментарно затрагиваются в нормативных правовых документах различного уровня и, соответственно, на различных стадиях управления не принимаются во внимание в должной мере и полном объеме. Документы, напрямую регламентирующие основы управления ЛРТ в городах, отсутствуют.

Данный факт способствует появлению ряда проблем при обращении с ЛРТ в городах, из которых следует отметить необоснованное изъятие их под строительство и другие цели без учета экологической и рекреационной роли – отвод под застройку, автостоянки внутриквартальных озелененных территорий, застройка ЛРТ/ЛРЗ объектами, не являющимися рекреационной составляющей ЛРТ (АЗС, автостоянками, жилыми домами, общественными зданиями и др.), что рождает конфликтные ситуации. В ряде случаев

проектирование и создание рекреационных объектов проводится без учета экологической безопасности населения, на участках, подверженных опасным воздействиям (в зоне действия ВЛЭП, в санитарно-защитных зонах предприятий, вблизи крупных транспортных развязок).

Несовершенство нормативной правовой базы ведет к несовершенству системы управления ЛРТ/ЛРЗ в городах, что проявляется в издержках планирования и организации городских

озелененных территорий. Как показали исследования [15] в ряде городов уже сформировались участки с низкими показателями озелененности, обеспеченности, ослабленными, неустойчивыми насаждениями; отсутствуют свободные от застройки территории, которые могут быть включены в систему ЛРТ для ее оптимизации; отмечается снижение биологического и ландшафтного разнообразия городских территорий.

## Литература

1. **Благоустройство** территорий. Озеленение. Правила проектирования и устройства: ТКП 45–3.02–69–2007. Минск, 2007.
2. **Водный кодекс** Республики Беларусь: Закон Респ. Беларусь, 15 июля 1998 г. (с изм. и доп.: Закон Респ. Беларусь от 20 июля 2006 г. № 162-3, от 13 июня 2007 г. № 238-3, от 29 дек. 2007 г. № 324-3, от 8 июля 2008 г. № 373-3, от 10 нояб. 2008 г. № 444-3, от 2 июля 2009 г. № 32-3, от 4 янв. 2010 г. № 109-3, от 17 мая 2011 г. № 266-3, от 14 июля 2011 г. № 293-3) // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.
3. **Генеральный план** города Минска с прилегающими территориями в пределах перспективной городской черты: Указ Президента Респ. Беларусь от 23 марта 2003 г., № 165 // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.
4. **Государственный** градостроительный кадастр. Порядок зонирования и установления регламентов градостроительного развития и использования территорий: СНБ 3.01.03.98.
5. **Градостроительство.** Населенные пункты. Нормы планировки и застройки: ТКП 45–3.01–116–2008. Минск, 2008.
6. **Инструкция** об определении требований к составу и содержанию территориальных комплексных схем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды: утв. Пост. Минприроды, 2 нояб. 2009 г., № 67 // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.
7. **Инструкция** о порядке ведения регистра стоимости земельных участков: утв. Пост. Гос. комитета по земельным ресурсам, геодезии и картографии при Совете Министров Респ. Беларусь, 14 апр. 2004 г., № 16.
8. **Инструкция** о порядке государственного учета объектов растительного мира, расположенных на землях населенных пунктов, и обращения с ними: утв. Пост. Мин-ва жилищно-коммунального хозяйства Респ. Беларусь, 29 дек. 2004 г., № 40 // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.
9. **Инструкция** о порядке учета объектов растительного мира, расположенных на землях отдельных категорий, и обращения с ними: утв. Пост. Мин-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 29 дек. 2007 г., № 79 // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.
10. **Инструкция** по бухгалтерскому учету основных средств, утв. Пост. Мин-ва финансов Респ. Беларусь от 30 апр. 2012, № 26 // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.
11. **Инструкция** по ведению экологического паспорта предприятия: утв. Пост. Мин-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь 1 дек. 2008 г., № 107 // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.
12. **Инструкция** по кадастровой оценке земель населенных пунктов Республики Беларусь: утв. Пост. Гос. комитета по имуществу Респ. Беларусь 31 мая 2007 г., № 31 // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.
13. **Кодекс** Республики Беларусь о земле: Закон Респ. Беларусь, 23 июля 2008 г. (с изм. и доп.: Законы Респ. Беларусь от 6 нояб. 2008 г. № 447-3, от 28 дек. 2009 г. № 96-3, от 29 дек. 2009 г. № 73-3, от 6 мая 2010 г. № 120-3, от 15 окт. 2010 г. № 176-3, от 7 янв. 2011 г. № 232-3) // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.
14. **Конституция** Республики Беларусь, 15 марта 1994 г. (с изм. и доп., принятыми на респ. референдумах от 24 нояб. 1996 г., 17 окт. 2004 г.) // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 1999. № 1/0; 2004. № 188. 1/6032.
15. **Кравчук Л. А.** Структурно-функциональная организация ландшафтно-рекреационного комплекса в городах Беларуси / Л. А. Кравчук. Минск, 2011.
16. **Лесной кодекс** Республики Беларусь: Закон Респ. Беларусь, 14 июля 2000 г. (с изм. и доп.: Законы Респ. Беларусь от 27 февр. 2004 г. № 271-3; 4 авг. 2004 г. № 310-3, 9 июля 2005 г. № 42-3, от 11 дек. 2005 г. № 66-3, от 29 июня 2006 г. № 135-3, от 29 июня 2006 № 137-3, от 20 июля 2006 № 162-3, от 13 июня 2007 г. № 238-3, от 24 дек. 2007 г. № 299-3, от 10 нояб. 2008 г. № 444-3, от 28 дек. 2009 г. № 96-3, от 17 мая 2011 г. № 260-3) // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.

17. **О государственной** экологической экспертизе: Закон Респ. Беларусь, 9 нояб. 2009 г., № 54-З (с изм. и доп.: Закон от 14 июля 2011 г. № 293-З) // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2009. № 276. 2/1606; 2011. № 82. 2/1845.

18. **О растительном** мире: Закон Респ. Беларусь, 14 июня 2003 г. (с изм. и доп.: Законы Респ. Беларусь 29 окт. 2004 г. № 319-З, 19 июля 2005 г. № 42-З, 29 июня 2006 г. № 137-З, от 20 июля 2006 г. № 162-З, от 20 окт. 2006 г. № 169-З, от 13 июня 2007 г. № 238-З, от 10 нояб. 2008 г. № 444-З, от 2 июля 2009 г. № 32-З, от 28 дек. 2009 г. № 96-З, от 17 мая 2011 г. № 260-З) // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.

19. **О тарах для определения размера возмещения вреда, причиненного окружающей среде:** Указ Президента Респ. Беларусь, 24 июня 2008 г., № 348 (с изм. и доп.) // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.

20. **Об архитектурной**, градостроительной и строительной деятельности в Республике Беларусь: Закон Респ. Беларусь, 5 июля 2004 г., № 300-З (с изм. и доп.: Законы Респ. Беларусь от 16 мая 2006 г. № 117-З; 29 июня 2006 г. № 134-З; 29 июня 2006 г. № 137-З; 20 июля 2006 г. № 162-З, от 5 янв. 2008 г. № 319-З, от 2 июля 2009 г. № 32-З, от 30 нояб. 2010 г. № 196-З, от 14 июля 2011 г. № 293-З) // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.

21. **Об особы охраняемых природных территориях:** Закон Респ. Беларусь, 20 окт. 1994 г., № 3335-XII: в ред. Закона от 23 мая 2000 г. № 396-З (с изм. и доп.: Законы Респ. Беларусь от 29 июня 2006 г. № 137-З, от 7 мая 2007 г. № 212-З, от 8 июля 2008 г. № 375-З, от 10 нояб. 2008 г. № 444-З, от 15 июля 2010 г. № 169-З, от 30 дек. 2011 г. № 331-З) // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.

22. **Об охране** окружающей среды: Закон Респ. Беларусь, 26 нояб. 1992 г., № 1982-XII: в ред. Закона от 17 июля 2002 г. № 126-З (с изм. и доп.: Законы от 29 окт. 2004 г. № 319-З, от 19 июля 2005 г. № 42-З, от 31 дек. 2005 г. № 80-З, от 29 июня 2006 г. № 137-З, от 20 июля 2006 г. № 162-З; от 7 мая 2007 г. № 212-З, от 13 июля 2007 г. № 238-З, от 21 дек. 2007 г. № 298-З, от 8 июля 2008 № 367-З, от 10 нояб. 2008 № 444-З, от 2 июля 2009 г. № 32-З, от 31 дек. 2009 г. № 114-З, от 6 мая 2010 № 127-З, от 31 дек. 2010 г. № 228-З, от 17 мая 2011 г. № 260-З, от 30 дек. 2011 г. № 331-З, от 26 окт. 2012 г. № 432-З) // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.

23. **Об утверждении** генерального плана г. Жодино: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 21 сент. 2010, № 1352 // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.

24. **Об утверждении** генеральных планов городов Барановичи, Новополоцка, Полоцка: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 08 дек. 2004, № 1557 // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.

25. **Об утверждении** Положения о порядке проведения общественной экологической экспертизы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 29 окт. 2010 г., № 1592// Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.

26. **Об утверждении** положения о порядке распределения лесов на группы и категории защитности, перевода лесов из одной группы или категории защитности в другую, а также выделения особо защитных участков леса: Указ Президента Респ. Беларусь от 7 июля 2008 г., № 364 // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.

27. **Об утверждении** Порядка ведения государственного учета лесного фонда: Пост. Совета Министров Респ. Беларусь, 12 июля 2001 №1032 // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.

28. **Озеленение** городов (термины и определения): ГОСТ 28329-89. Введ. 01 янв.1991 г.

29. **Положение** о порядке ведения государственного кадастра растительного мира и использования его данных: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь, 13 дек. 2004 г., № 1580 // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.

30. **Положение** о порядке определения условий проведения компенсационных посадок либо осуществления компенсационных выплат стоимости удаляемых, пересаживаемых объектов растительного мира: утв. Пост. Совета Министров Респ. Беларусь, 25 окт. 2011 г., № 1426 // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.

31. **Положение** о порядке проведения государственной экологической экспертизы: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь, 19 мая 2010 г. № 755 (с изм. и доп.: постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 1 июня 2011 г. № 689, от 13 окт. 2011 г. № 1370) // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2010. № 131. 5/31876; 2011. № 64. 5/33878; № 119. 5/34605.

32. **Положение** о порядке проведения общественных обсуждений в области архитектурной, градостроительной и строительной деятельности: утв. Пост. Совета Министров Республики Беларусь от 1.06.2011 № 687 «О некоторых мерах по реализации Закона Республики Беларусь «О внесении дополнений и изменений в некоторые законы Республики Беларусь по вопросам архитектурной, градостроительной и строительной деятельности».

33. **Положение** о порядке проведения оценки воздействия на окружающую среду: утв. Пост. Совета Министров Респ. Беларусь, 19 мая 2010 г. № 755 (с изм. и доп.: Пост. Совета Министров Респ. Беларусь от 1 июня 2011 г. № 689, от 13 окт. 2011 г. № 1370) // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2010. № 131. 5/31876; 2011. № 64. 5/33878; № 119. 5/34605.

34. **Положение** о порядке установления ограничений или запретов в обращении с объектами растительного мира: утв. Пост. Совета Министров Респ. Беларусь, 1 дек. 2004 г., № 1525 // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.

35. **Положение** о порядке установления размеров и границ водоохраных зон и прибрежных полос водных объектов и режиме ведения в них хозяйственной деятельности: утв. Пост. Совета Министров

Респ. Беларусь, 21 марта 2006 г., № 377 // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.

36. **Положения** о порядке исчисления размера возмещения вреда, причиненного окружающей среде и составления акта об установлении факта причинения вреда окружающей среде, изменении и признании утратившими силу некоторых постановлений Совета Министров Республики Беларусь: утв. Пост. Совета Министров Респ. Беларусь, 17 июля 2008 г., № 1042 / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.

37. **Правила** по организации и ведению зеленого хозяйства в городах Республики Беларусь: утв. Приказом Министра жил.-ком. хозяйства, 25 марта 1996 г., № 37 // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] // Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2013.

38. **Правовые** основы охраны и рационального использования особо охраняемых природных территорий : сб. нормативных документов. Минск, 2009.

39. **Рекомендации** по нормированию зеленых насаждений и проектированию объектов зеленого строительства. Минск, 1981.

40. **Рекомендации** по совершенствованию территориальной организации Белорусской ССР. Архитектурно-планировочная организация водно-зеленых систем и рекреационных территорий в городских поселениях / БелНИИПградостроительства. Минск, 1987.

41. **Рекомендации** по формированию рекреационных ландшафтов в условиях Белорусской ССР. Минск, 1984.

**Институт природопользования НАН Беларуси,  
Белорусский государственный университет**

Поступила в редакцию 12.04.2013 г.

**Л. А. Краечук, Е. В. Лаевская**

### **ПРОБЛЕМЫ ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛАНДШАФТНО-РЕКРЕАЦИОННЫМИ ТЕРРИТОРИЯМИ В ГОРОДАХ БЕЛАРУСИ**

Проведен анализ нормативной правовой базы управления ландшафтно-рекреационными территориями в городах. Выявлено, что вопросы регулирования общественных отношений в области управления ими входит в сферу действия ряда законов и кодексов Республики Беларусь (Об охране окружающей среды, О растительном мире, Об особо охраняемых природных территориях, Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Беларусь, Кодекс Республики Беларусь о земле, Водный Кодекс, Лесной Кодекс), что обусловлено комплексностью понятия ландшафтно-рекреационные территории. Выявлено, что правовое регулирование фрагментарно и в определенной мере достаточно разработано лишь для отдельных компонентов (насаждения, водные объекты, земли), но в недостаточном объеме для регулирования возникающих проблем в сфере обращения с ними. Разные по уровню и значению нормативные правовые акты часто не отвечают современным требованиям в области регулирования управления ландшафтно-рекреационными территориями в городах, что требует совершенствования правового регулирования в данной сфере.

**L. A. Kravchuk, E. V. Laevskaya**

### **PROBLEMS OF LEGAL REGULATION OF LANDSCAPE-RECREATIONAL TERRITORIES MANAGEMENT IN BELARUS CITIES**

*The article deals with analysis of the regulatory framework management landscape and recreational areas in the cities. It has been found that regulation of social relations in the field of management is the scope of laws and codes of the Republic of Belarus (The Law on Environmental Protection, Law on Flora, Law on Specially Protected Areas, Law on Architectural, Urban Planning and Construction Activities in the Republic of Belarus, Code on Land, Water Code, Forest Code) that is stipulated by the complexity of the concept of landscape and recreational areas. It has been revealed that the legal regulation developed enough only for individual constituent components (plantations, water bodies, land), and is insufficient to regulate emerging problems in the field of treatment. Different in terms of value and regulations legal acts often do not meet modern requirements in the field of landscape-recreational territory management in urban areas, what requires the improvement of legal regulation in this area.*

**М. И. Струк, С. Г. Живнач**

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ПРИГОРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ МИНСКА

*Дается обоснование методики геоэкологического районирования пригородной территории. Приведен набор необходимых для этого критериев: ландшафтного, бассейнового, хозяйственного использования и экологической стабилизации. Показаны методические приемы их применения на примере пригородной территории Минска.*

Организация охраны окружающей среды пригородной территории отличается особой сложностью и значимостью. Связано это с двумя основными причинами.

Во-первых, указанная территория, в силу своей близости к городу, испытывает повышенные антропогенные нагрузки. Обусловлены они как непосредственным поступлением в ее пределы загрязняющих веществ с воздушными, водными и техногенными потоками со стороны города, так и размещением здесь различных техногенных объектов его обслуживания – полигонов складирования отходов, аэропортов, транспортных магистралей, очистных сооружений и др.

Во-вторых, к экологическому состоянию рассматриваемой территории предъявляются повышенные требования. Вытекают они, прежде всего, из того, что от данного состояния, помимо обеспечения благоприятных условий проживания местного населения, зависит также функционирование располагающихся в ее пределах зон отдыха жителей города и водозaborов, используемых для его нужд. Кроме этого оно оказывает существенное влияние на качество окружающей среды собственно городской территории.

В Беларуси современный этап развития системы расселения характеризуется активизацией процессов субурбанизации, что приводит к росту заселенности и усилению интенсивности использования прилегающих к городам территорий [13]. В этих условиях повышается необходимость обеспечения рациональной, экологически сбалансированной организации природопользования в их пределах.

Научную основу подобного рода организации, очевидно, должно составить геоэкологическое районирование. К настоящему времени в географии наработаны общие подходы к его проведению, с их применением выполнено районирование территорий различного иерархического уровня [1, 10, 11].

Вместе с тем по отношению к пригородной территории подобного рода работ не проводилось, их методика проработана недостаточно, что и обусловило актуальность исследования с целью ее разработки. Для достижения данной

цели решались задачи по обоснованию критериев геоэкологического районирования, а также методических приемов их применения на примере конкретной пригородной территории.

Объектом исследования выбрана пригородная территория Минска. Ее рациональная планировочная организация имеет для Беларуси особенно важное значение в силу величины города и, соответственно, масштабов оказываемого им влияния на свое окружение.

В ходе предыдущих работ по изучению пригородной территории Минска были выделены ее экологические границы, оценено экологическое состояние расположенных здесь ландшафтов, а также пригородных водоемов [14, 15]. Полученные материалы, дополненные данными проведенных полевых ландшафтных и гидрохимических изысканий, совместно с картографическими и литературными источниками составили информационную основу исследования.

**Обоснование подходов к районированию.** Методика районирования определяется его целью [8]. В качестве таковой обычно выдвигается выявление на рассматриваемой территории объективно существующих районов – пространственных выделов, обладающих сходством по одному или нескольким признакам.

Районирование позволяет раскрыть закономерности пространственной организации той или иной территории. Наряду с познавательным значением оно имеет и практический, конструктивный смысл. Выделенные в результате его проведения районы обеспечивают возможность адекватного пространственного планирования соответствующих видов хозяйственной или иной деятельности.

Геоэкологическое районирование предполагает дифференциацию территории на части, однородные по геоэкологическим условиям. По своему содержанию оно является комплексным. Для более полного отражения геоэкологических условий территории его следует использовать совместно с частным (отраслевым) районированием. Так, понятие подобного рода условий включает в себя множество характеристик, в частности экологические функции природных ком-

плексов и компонентов, их устойчивость к внешним воздействиям, уровень антропогенного нарушения, степень загрязнения и др.

Каждая из отмеченных характеристик оценивается с использованием одного, а чаще нескольких показателей. Соответственно, по любому такому показателю может проводиться свое частное районирование. При необходимости совместного учета не одной, а нескольких характеристик, отражающих различные геоэкологические свойства территории, применяется комплексное районирование.

При проведении геоэкологического районирования какой-либо территории нужно принимать во внимание ее эколого-хозяйственные функции. Эколого-хозяйственная специфика рассматриваемой пригородной территории заключается в ее направленности на удовлетворение потребностей города.

Город и пригородная территория образуют единое целое – систему, в которой город занимает ведущее, а окружающая его территория – подчиненное положение, поскольку потребности города определяют ее развитие. Поэтому базовой моделью изучения данной территории, в том числе ее районирования, должна выступить экосистемная модель, в которой городу будет принадлежать место «хозяина», а пригородной территории – «дома».

Исходя из указанной модели, приоритетными экологическими функциями пригородной территории выступают функции оздоровления воздушного бассейна города и ассимиляция выбрасываемых городскими источниками загрязняющих веществ, а также обеспечения благоприятного гидрологического режима и экологического состояния расположенных в ее пределах и используемых для его нужд рекреационных и водохозяйственных водоемов и подземных водозаборов.

Для отражения геоэкологических свойств территории применяют три группы критериев: природные, собственно экологические и хозяйственные. Первая из этих групп призвана показать специфику природного строения территории, предпосылки ее хозяйственного освоения, а также устойчивость к внешним воздействиям. Вторая группа критериев должна отразить, во-первых, экологическое состояние территории, во-вторых, ее внутренние различия по экологической ценности – значимости для формирования окружающей среды, воспроизведения природных ресурсов и сохранения биологического и ландшафтного разнообразия. Третья группа предназначена для показа социально-экономических функций территории, которые определяют воздействия на окружающую среду, а также требования к ее состоянию.

Внутри каждой из приведенных групп критериев следует выделить те из них, которые

должны выступить ведущими для геоэкологического районирования пригородной территории. Среди природных критериев к таковым следует отнести природно-ландшафтный и бассейновый критерии, экологических – критерий экологической стабилизации, хозяйственных – критерий хозяйственного использования территории. Районирование по этим критериям должно опираться на соответствующие методические подходы. В частности, его природная составляющая – на ландшафтный и бассейновый подходы.

Необходимость ландшафтного подхода к геоэкологическому районированию обусловлена, прежде всего, спецификой природного ландшафта как генетически однородной единицы дифференциации территории, комплексно отражающей присущие ей свойства и обладающей в силу этого сходными условиями природопользования, а также реакцией на внешние воздействия. Именно природный ландшафт обычно определяется в качестве основной пространственной единицы геоэкологических исследований [4, 6, 9], в том числе пригородной зоны [7, 16]. Поэтому природно-ландшафтное районирование пригородной территории следует рассматривать как обязательную составную часть ее геоэкологического районирования.

Применение бассейнового подхода к геоэкологическому районированию пригородной территории вытекает из размещения в ее пределах водоемов, используемых для водоснабжения города и отдыха городского населения. Причем уровень такого использования отличается здесь наиболее высокой интенсивностью. Для сохранения благоприятного режима этих водоемов и качества вод в них необходимо поддерживать в должном состоянии экологическое состояние их водосборов.

При определении порядка рек и водоемов, для которых должны выделяться водосборные бассейны, необходимо принимать во внимание выполнение ими функций городского водоснабжения и рекреации. В качестве такового следует принимать минимальный порядок тех рек, которые эти функции выполняют.

Критерий экологической стабилизации должен отразить внутренние различия пригородной территории по ее влиянию на окружающую среду города. Объектами, которые обеспечивают подобного рода стабилизацию, являются природные комплексы, находящиеся в естественном или близком к таковому состоянии и в первую очередь леса.

Леса выполняют многообразные экологические функции, среди которых в рассматриваемом случае особую значимость имеют функции оздоровления атмосферного воздуха городов, а также обеспечения благоприятного водного режима и качества поверхностных и подземных вод, используемых для городских нужд. Поэтому

лесистость территории можно принять как ведущий показатель, характеризующий ее способность к экологической стабилизации.

Упомянутые экологические функции, очевидно, выполняют любые пригородные леса, расположенные в любом месте пригородной территории. Вместе с тем, оценивая их стабилизирующую роль, следует принимать во внимание также фактор размещения этих лесов. Данный фактор учитывается, в частности, в организации охраны поверхностных вод. Так, согласно Водному кодексу Республики Беларусь, леса, расположенные вдоль рек и озер относятся к категории водоохранных и получают статус охраняемых лесов первой группы [3].

Вместе с тем ограничиться только водоохраной функцией лесов для оценки их роли в стабилизации городской среды недостаточно. Необходимо учитывать также оказываемое ими благоприятное влияние на атмосферный воздух города. В данном случае имеют значение удаленность лесов от городской территории, а также их размещение относительно направлений воздушных потоков.

Более высокое оздоровительное значение по фактору удаленности от города будут иметь леса, расположенные вблизи него; по направлениям воздушных потоков – находящиеся с подветренной для города стороны. Следовательно, дифференциация пригородной территории по критерию экологической стабилизации с использованием показателя лесистости должна быть направлена не столько на отображение ареалов с различной лесистостью, сколько на распределение данного показателя, во-первых, по концентрическим зонам, окружающим город и расположенным на различном удалении от него, во-вторых, по отходящим от города секторам.

Критерий хозяйственного использования территории призван отразить присущие ей различия в выполнении социально-экономических функций, а также размещение источников воздействий на окружающую среду. Применение данного критерия позволит выделить на пригородной территории ареалы, обеспечивающие выполнение тех или иных потребностей города, в том числе предъявляющих повышенные требования к экологическому состоянию, в частности зоны массового отдыха городского населения.

**Геоэкологическое районирование пригородной территории Минска.** Для проведения районирования пригородной территории необходимо, прежде всего, определить ее границы. В практике территориального планирования прилегающей к городу территории используют понятия пригородной зоны и зеленой зоны. Как правило, они пространственно не совпадают.

Подобного рода несовпадение имеет место и применительно к Минску. В схеме планировки пригородной зоны Минска, разработанной БелНИИП градостроительства в 2006 г., ее границы по одним направлениям от города заходят за пределы зеленой зоны, по другим – наоборот [2].

Ранее авторами настоящей статьи, исходя из экологических интересов города, предложено выделять вокруг Минска пригородную территорию, в состав которой входят как пригородная, так и зеленая зоны, а также водосборный бассейн Вилейского водохранилища [14]. Данная территория и принята объектом районирования.

**Ландшафтный подход.** Исходной картографической основой ландшафтного районирования является ландшафтная карта. По отношению к рассматриваемой пригородной территории подобное районирование уже проведено в составе такового страны в целом, для чего использована ландшафтная карта М 1 : 600 000 [5].

Согласно указанному районированию, пригородная территория Минска относится к двум ландшафтным провинциям. Ее северо-западная часть – к Белорусской возвышенной провинции холмисто-моренно-эрэзионных и вторичноморенных ландшафтов и юго-восточная – к Предполесской провинции вторичных водно-ледниковых и моренно-зандровых ландшафтов. Внутри этих частей выделяется по несколько ландшафтных районов.

Вместе с тем использованный для ландшафтного картографирования страны масштаб 1 : 600 000 недостаточен для пригородной территории, площадь которой в выделенных границах составляет около 5 % от площади Беларуси. Поэтому для ее районирования использована составленная нами ландшафтная карта М 1 : 200 000.

Процедура ландшафтного районирования предполагает дифференциацию территории на однородные по ландшафтным сочетаниям выделы. В ландшафтном строении пригородной территории Минска принимают участие 9 родов и 43 вида ландшафтов. На рис. 1 представлен ее генерализованный вариант с отображением только родов ландшафтов, что в данном случае достаточно для районирования. Названия ландшафтов даны в сокращенном виде с указанием лишь их генезиса и геоморфологических свойств без характеристики растительности, почв, освоения. Полные наименования ландшафтов приведены в опубликованной ранее статье [15].

На приведенной карте четко прослеживается закономерное распределение ландшафтов по территории, обусловленное ее генезисом. Так центральную часть данной территории занимают конечно-моренные гряды сожского оледенения, с севера к ней примыкают преимущественно моренные, с юга – водно-ледниковые равнины.

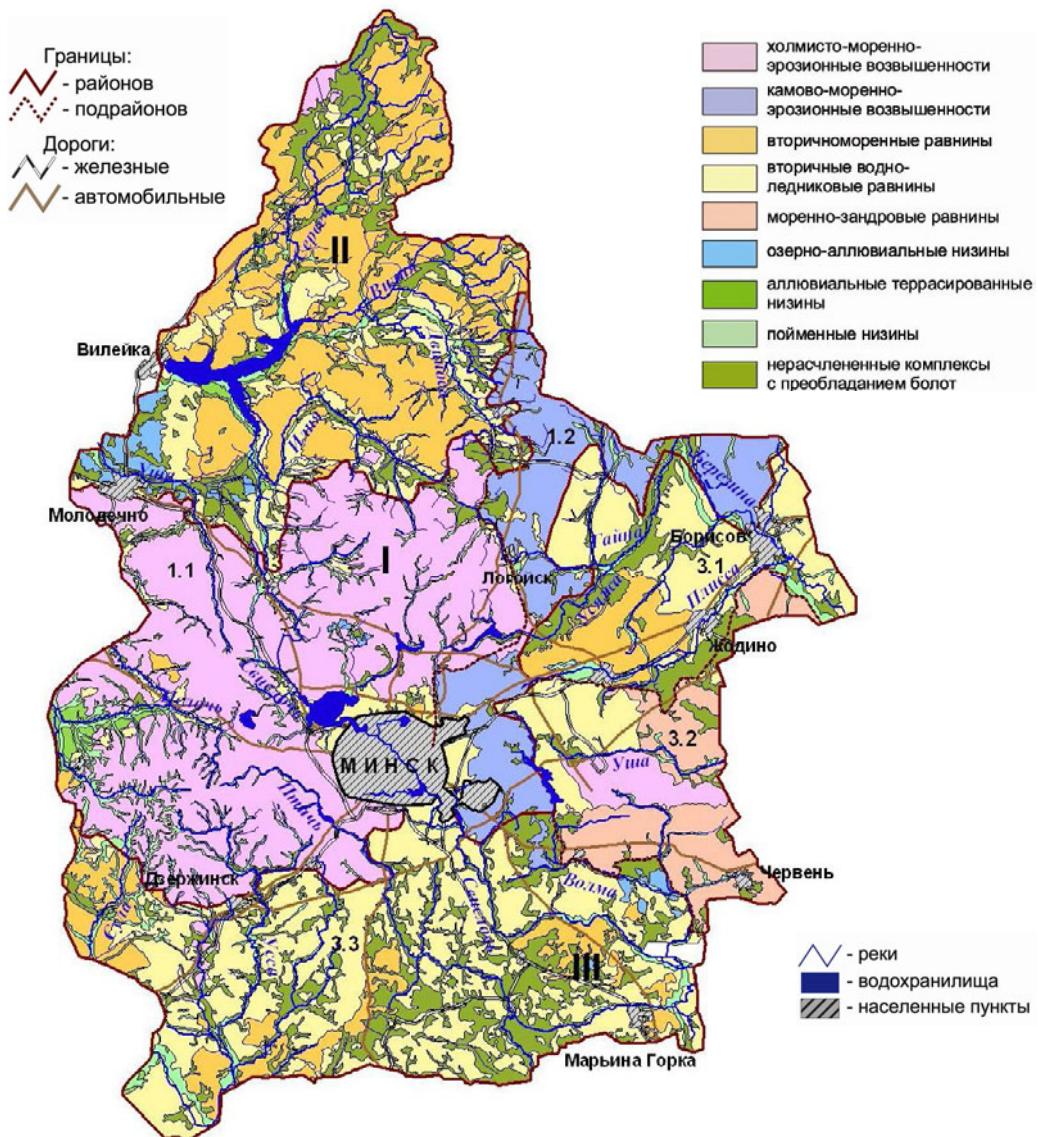


Рис. 1. Природно-ландшафтное районирование пригородной территории Минска.

Районы: I. Район возвышенных холмисто-моренно-эрзационных и камово-моренно-эрзационных ландшафтов: 1.1. подрайон холмисто-моренно-эрзационных возвышенностей; 1.2. подрайон камово-моренно-эрзационных возвышенностей. II. Район равнинных вторичноморенных в сочетании с вторичными водно-ледниковых, озерно-аллювиальными и болотными ландшафтами. III. Район ландшафтов вторичных водно-ледниковых равнин в сочетании с вторичноморенными равнинами и заболоченными речными долинами; 3.1. подрайон водно-ледниковых и морено-зандровых равнин; 3.2. подрайон водно-ледниковых и болотных ландшафтов со значительным распространением болотных ландшафтов

Соответственно, в пределах рассматриваемой территории следует выделить три ландшафтных района. В ее центральной части это будет район преимущественного распространения ландшафтов холмисто-моренно-эрзационных и камово-моренно-эрзационных возвышенностей, в северной – вторичноморенных и водноледниковых равнин с небольшой долей озерно-аллювиальных низин, в юго-восточной – вторичных водно-ледниковых равнин и болотных ландшафтов. Два первых отмеченных района будут отно-

ситься к Белорусской возвышенной и третий – Предполесской ландшафтной провинции.

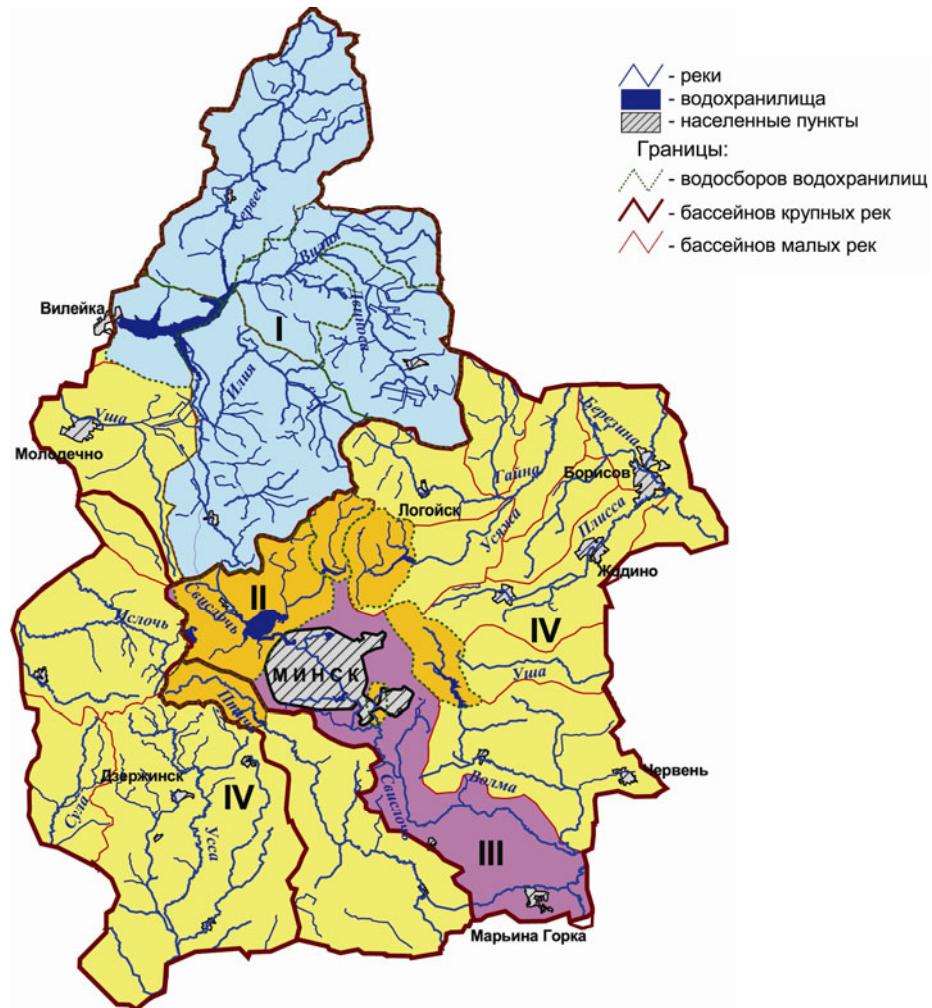
В первом и третьем из выделенных районов прослеживаются пространственно выраженные различия в размещении составляющих их типов ландшафтов. Поэтому данные районы целесообразно разделить на подрайоны. Так, в первом случае выделяются два, а во втором три подрайона (см. рис. 1).

Проведенное районирование отражает внутренние пространственные различия в при-

родно-ландшафтных предпосылках природопользования на пригородной территории.

**Бассейновый подход.** Бассейновая организация пригородной территории Минска связана с ее ландшафтным строением. На ландшафтный район холмисто-моренно-эрозионных и камово-моренно-эрозионных возвышенностей, находящийся в центральной части данной территории,

приходятся самые высокие в Беларусь гипсометрические отметки, превышающие 300 м. По его территории проходит водораздельная линия бассейнов двух морей – Балтийского и Черного (рис. 2). К первому из них относятся бассейны двух больших рек – Немана и его притока Вилии, ко второму – р. Березины.



**Рис. 2. Бассейновое районирование пригородной территории Минска:**  
I – бассейн Вилейского водохранилища; II – бассейны водохранилищ, используемых для массового отдыха городского населения; III – бассейны рек, подверженных загрязняющему влиянию города; IV – бассейны рек, не используемых для нужд города и не подверженных его загрязняющему влиянию

Исходя из функциональной специфики пригородной территории, как территории, обеспечивающей удовлетворение потребностей города, при проведении ее бассейновой дифференциации следует выделить те бассейны или их части, водные ресурсы которых задействованы для этого. Они должны явиться приоритетными для реализации водоохраных мер, так как от их состояния будут зависеть условия водоснабжения и рекреации такого крупного потребителя, как город. Кроме этого целесообразно выделять также

бассейны рек, в которые отводятся городские сточные воды и поступает поверхностный сток с территории города, вследствие чего они будут подвержены его загрязняющему влиянию.

С учетом приведенных различий по выполняемым функциям и риску загрязнения со стороны города пригородная территория Минска по бассейновому критерию поделена на четыре района. Первый из них образует водосборный бассейн Вилейского водохранилища как водоема-донора для Минска; второй – бассейны во-

дохранилищ, используемых для массового отдыха городского населения; третий – бассейны рек, подверженных загрязняющему влиянию города (р. Свислочь); четвертый – бассейны рек, не используемых для нужд города и не подверженных его загрязняющему влиянию.

Как видно из приведенной картосхемы, бассейны пригородных водохранилищ, используемых для массового отдыха городского населения, занимают сравнительно небольшую площадь. Тем самым облегчается возможность принятия на них водоохранных мер.

**Критерий хозяйственного использования.** При дифференциации пригородной территории Минска по критерию хозяйственного использования принималось во внимание размещение здесь основных видов земельных угодий, а также выполняемые ими хозяйствственные функции. Ведущими по занимаемой площади на данной территории являются сельскохозяйственные и лесные угодья (рис. 3). Более широкое распространение лесов наблюдается в северной, а сельскохозяйственных земель – в южной части пригородной территории.

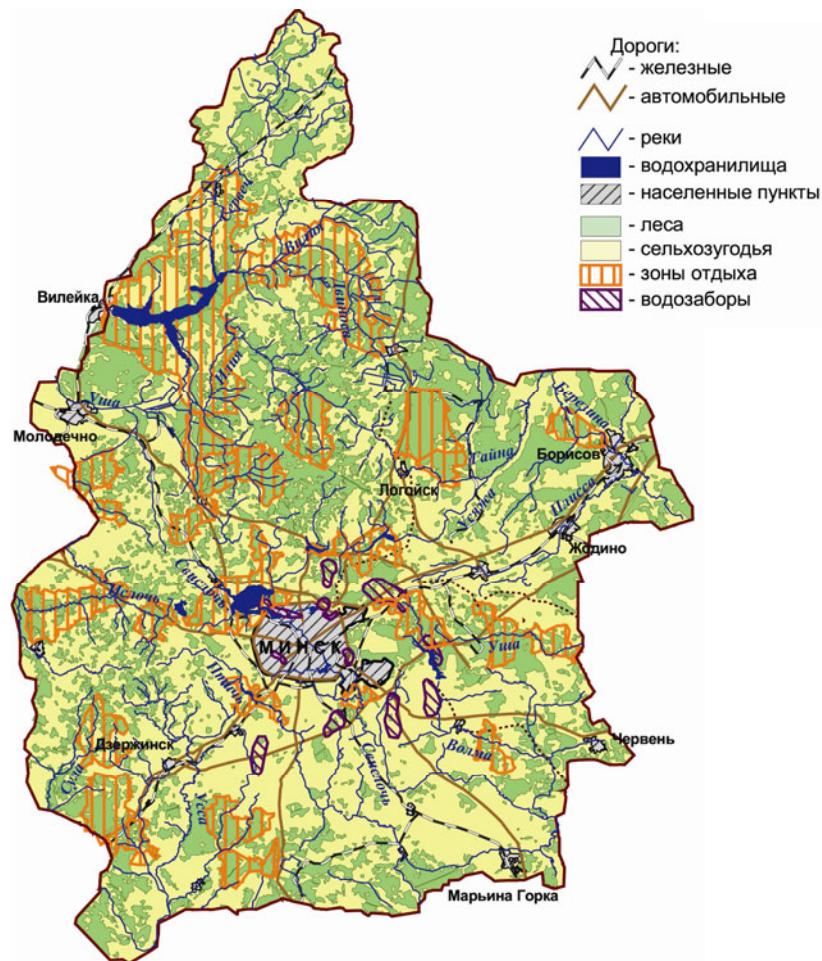


Рис. 3. Хозяйственное использование пригородной территории Минска

К числу важнейших функций пригородной территории, которые требуют сравнительно больших земельных площадей, наряду с сельскохозяйственной относятся рекреационная функция и функция водоснабжения. На приведенной картосхеме показаны запроектированные БелНИИП градостроительства зоны массового отдыха жителей города и водозаборы, предназначенные для его водоснабжения.

Преобладающая часть рекреационных зон приурочена к водохранилищам и находится в северной части пригородной территории. Водоза-

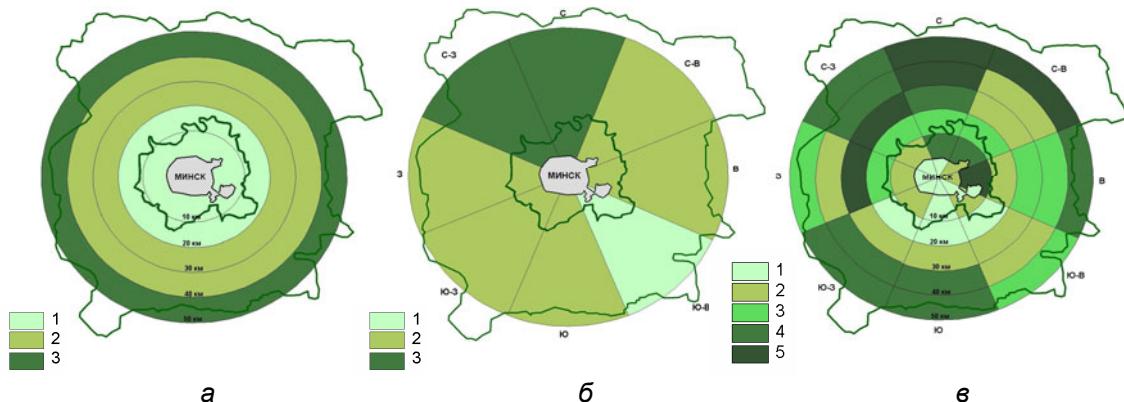
боры размещаются по различным направлениям от города за исключением западного.

**Критерий экологической стабилизации.** Для дифференциации пригородной территории Минска по существующим в ее пределах различиям в выполнении функций экологической стабилизации проведено ее секторально-поясное зонирование. В качестве объекта анализа взята территория радиусом 50 км от внешней границы города. Она примерно соответствует проектной зеленой зоне города, что свидетельствует о повышенной экологической значимости

расположенных здесь лесов, которые отнесены к I группе лесопользования.

Для поясного зонирования пригородной территории вокруг города через каждые 10 км проведены концентрические кольца. Сектора выделены по направлениям сторон горизонта в со-

ответствии с розой ветров. Всего составлены три схемы: поясная, секторальная и совместная – секторально-поясная (рис. 4). Для каждого из полученных выделов рассчитаны показатели лесистости.



**Рис. 4. Распределение лесов в зеленой зоне Минска:**  
**а – по поясам (лесистость: 1 – менее 30 %; 2 – 30–40 %; 3 – более 40 %); б – по секторам (лесистость: 1 – менее 20 %; 2 – 20–40 %; 3 – более 40 %); в – по сочетанию поясов и секторов (лесистость: 1 – менее 10 %; 2 – 10–30 %; 3 – 30–40 %; 4 – 40–50 %; 5 – более 50 %)**

Средняя лесистость рассмотренной 50-километровой зоны составляет 37 %, что является достаточным для сохранения экологического равновесия и примерно соответствует среднему для Беларуси показателю. В то же время данный показатель довольно значительно меняется по выделенным поясам и секторам пригородной территории.

При рассмотрении лесистости по поясам прослеживается последовательное ее увеличение по мере удаления от города. Так, на расстоянии 20 км от Минска показатель лесистости не достигает 30 %, 30–40 км – находится в диапазоне 30–40 % и выше 40 км – превышает 40 %. Подобное распределение пригородных лесов не является оптимальным для города и предопределяет особую значимость сохранения тех из них, которые располагаются вблизи него.

При расчетах распределения лесных земель по секторам, наибольшая их доля установлена в северном (51 %), а также северо-западном (43 %) направлениях, наименьшая – в юго-восточном направлении (19 %). Если принять во внимание размещение основных зон пригородного отдыха, которые находятся к северу и северо-западу от города, то высокая лесистость отмеченных секторов является благоприятной.

В отношении повторяемости ветров самая большая ее величина отмечается для западного (18 %), северо-западного (16 %) и юго-западного (15 %) направлений [12]. По одному из них – северо-западному – имеет место совпадение с высокой лесистостью, по двум остальным отмечается средний ее уровень. В целом, с учетом по-

вторяемости ветров и размещения зон отдыха, распределение пригородных лесов по секторам можно характеризовать как удовлетворительное.

Секторально-поясное распределение лесов показывает наличие высокой контрастности в их размещении. Показатели лесистости полученных выделов изменяются от 10 до 50 %. На непосредственно прилегающей к городу территории высокой лесистостью выделяется восточный сектор. Поскольку основное направление ветров в городе западное, то размещение в данном секторе лесов способствует ассимиляции поступающих от города загрязнений.

Минимальной лесистостью характеризуется прилегающая к городу часть южного сектора. При этом она смыкается с собственно городской территорией, которая также имеет сравнительно невысокую лесистость. Следовательно, размещение здесь объектов с выбросами загрязняющих веществ должно сопровождаться формированием соответствующей экологической инфраструктуры.

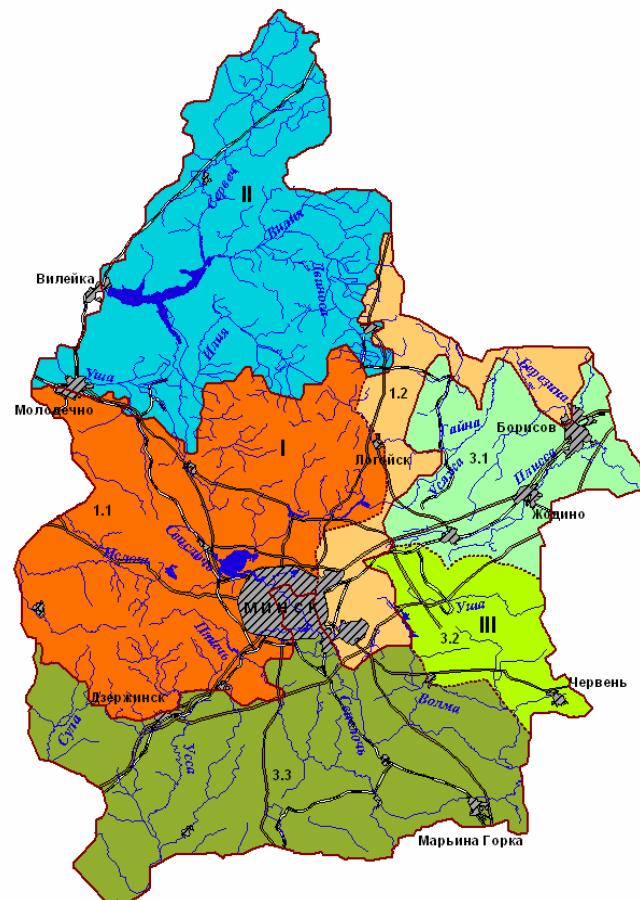
**Комплексное геоэкологическое районирование.** Базовую картографическую основу комплексного геоэкологического районирования пригородной территории Минска составила карта ландшафтных районов. В выборе данной основы нашло отражение представление о ведущей роли ландшафтного строения территории в ее эколого-хозяйственной организации.

Геоэкологическое районирование выполнено путем наложения карты хозяйственного использования территории на карту ее ландшафтных районов. Схемы бассейновой дифферен-

циации территории и распределения лесов в ее пределах использованы как вспомогательные, уточняющие особенности выделенных районов.

На основании особенностей ландшафтной структуры и характера хозяйственного использо-

вания рассматриваемая территория разделена на три геоэкологических района, с подразделением первого на два, а третьего на три подрайона (рис. 5).



**Рис. 5. Геоэкологическое районирование пригородной территории Минска.  
(Названия районов I–III приведены в тексте)**

I. Район многофункционального сельскохозяйственного, оздоровительного, рекреационного и водохозяйственного назначения в пределах возвышенных холмисто-моренно-эрэзионных и камово-моренно-эрэзионных ландшафтов:

1.1. подрайон высокого сельскохозяйственного освоения и умеренной лесистости, с размещением большого числа зон отдыха городского населения и водозаборов для нужд города в пределах холмисто-моренно-эрэзионных ландшафтов;

1.2. подрайон высокой лесистости и низкого сельскохозяйственного освоения с отдельными зонами отдыха в пределах камово-моренно-эрэзионных ландшафтов.

II. Район сельскохозяйственного, лесохозяйственного, водохозяйственного и частично рекреационного назначения в пределах вторичноморенных в сочетании с вторичными водно-

ледниковых, озерно-аллювиальными и болотными ландшафтами.

III. Район сельскохозяйственного, водохозяйственного, оздоровительного и частично рекреационного назначения с умеренным сельскохозяйственным освоением и высокой лесистостью в пределах вторичных водно-ледниковых равнин и болотных ландшафтов:

3.1. подрайон умеренного сельскохозяйственного освоения и высокой лесистости с отдельными зонами отдыха в пределах вторично-моренных и вторичных водно-ледниковых равнин с заболоченными речными долинами;

3.2. подрайон высокого сельскохозяйственного освоения и умеренной лесистости с водозаборами и отдельными зонами отдыха в пределах вторичных моренно-зандровых и водно-ледниковых равнин;

3.3. подрайон высокого сельскохозяйственного освоения и низкой лесистости с водоза-

борами в пределах вторичных водно-ледниковых ландшафтов и болотных ландшафтов.

Выполненное районирование пригородной территории Минска создает основу ее экологического планирования, ориентирует на выбор пространственно дифференцированных мер по оптимизации здесь природопользования. В самих названиях районов указаны, во-первых, приоритетные для них социально-экономические и экологические функции, которые задают соответствующие направления оптимизационной деятельности; во-вторых, лесистость как показатель сохранения в их пределах экологического равновесия; в-третьих, особенности ландшафтного строения, отражающие устойчивость районов к внешним воздействиям.

Так, для геоэкологического района, расположенного в северной части пригородной территории, основным направлением оптимизационной деятельности является обеспечение благоприятного экологического состояния Вилейского водохранилища. В центральном районе наиболее проблемным является подрайон 1.1, где распространены ландшафты холмисто-моренно-эрэзионных возвышенностей с лессовыми отложениями, которые отличаются высоким сельскохозяйственным освоением и значительной подверженностью почвенной эрозии. Здесь же расположена большая часть пригородных рекреационных водохранилищ. Для данного подрайона в первую очередь требуются меры по предотвращению поступления продуктов эрозии в эти водохранилища.

В составе района, занимающего южную часть пригородной территории, экологической напряженностью выделяется подрайон 3.3 с вторичными водно-ледниковыми и болотными ландшафтами и низкой лесистостью. Для него

особенно важным является формирование элементов локальной экологической инфраструктуры и охрана водозаборов.

**Заключение.** Предложенное методическое обоснование геоэкологического районирования пригородной территории направлено на отражение ее эколого-функциональной специфики, исходя из интересов города.

Процедура районирования опирается на картографический метод и включает выполнение таких исследовательских операций, как:

- картирование ландшафтной организации территории и ее ландшафтное районирование;

- картирование бассейновой организации территории и ее бассейновое районирование с выделением районов, которые различаются, во-первых, по выполняемой ими роли в формировании водных ресурсов, используемых для нужд города, во-вторых, по подверженности его загрязняющему влиянию;

- картирование видов угодий территории и их хозяйственного использования;

- картирование лесистости территории как показателя ее экологической стабилизации по отходящим от города поясам и секторам;

- комплексное геоэкологическое районирование территории путем совмещения различных карт с использованием в качестве базовой картографической основы карты ландшафтных районов.

Выполненное с применением разработанной методики геоэкологическое районирование пригородной территории Минска показало, что оно отражает ее дифференциацию на однородные по геоэкологическим условиям выделы и позволяет определить для них приоритетные направления оптимизационной деятельности исходя из интересов города.

## Литература

1. **Блануца, В. И.** Интегральное экологическое районирование: концепция и методы / В. И. Блануца. Новосибирск, 1993.
2. **Бутримович, Т.** Схема планировки пригородной зоны города Минска / Т. Бутримович // Архитектура и строительство. 2008. № 11. С. 12–20.
3. **Водный кодекс Республики Беларусь:** принят Палатой представителей 18 июня 1998 г.: одобрен Советом Республики 29 июня 1998 г.: текст Кодекса с изменениями и дополнениями по состоянию на 14 июля 2011 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://www.pravo.by/main.aspx?guid=3871&p0=hk9800191&p2={NRPA}>. Дата доступа : 18.01.2013.
4. **Исаченко, А. Г.** Ландшафтovedение и физико-географическое районирование / А. Г. Исаченко. М., 1991.
5. **Ландшафтная карта Белорусской ССР.** Масштаб 1 : 600 000. М., 1984.
6. **Ландшафты Беларуси** / под ред. Г. И. Марцинкевич, Н. К. Клициуновой. Минск, 1989.
7. **Ландшафты пригородной зоны Киева и их рациональное использование.** Киев, 1983.
8. **Лихачева, Э. А.** Экологическая геоморфология. Словарь-справочник / Э. А. Лихачева, Д. А. Тимофеев. М., 2004.
9. **Преображенский, В. С.** Основы ландшафтного анализа / В. С. Преображенский, Т. Д. Александрова, Т. П. Куприянова. М., 1988.
10. **Районирование** территории России по степени экологической напряженности / Б. И. Kochurov [и др] // Изв. РАН. Сер. географ. 1994. № 1. С. 119–125.

11. Снытко, В. А. Геоэкология и физико-географическое районирование / В. А. Снытко // Экологическое районирование территории: методы и разработки. Иркутск, 1991. С. 21–23.
12. Справочник по климату Беларуси. Часть IV: Ветер. Атмосферное давление / под общ. ред. М. А. Гольберга. Минск, 2007.
13. Струк, М.И. Региональные особенности оптимизации окружающей среды Беларуси / М. И. Струк. Минск, 2007.
14. Струк, М. И. Географические подходы к выделению внешних экологических границ городов / М. И. Струк, С. Г. Живнач // Природопользование. Минск, 2011. Вып. 19. С. 96–102.
15. Струк, М. И. Экологическое состояние ландшафтов пригородной территории Минска / М. И. Струк, С. Г. Живнач // Природопользование. Минск, 2012. Вып. 21. С. 174–182.
16. Чуприс, В. Д. Формирование ландшафтной структуры пригородной зоны Минска и охрана ландшафтов / В. Д. Чуприс, М. И. Струк // Охрана окружающей среды. Минск, 1984. Вып. 3. С. 47–52.

## Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 12.04.2013 г.

**М. И. Струк, С. Г. Живнач**

### **МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ПРИГОРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ МИНСКА**

Представлено методическое обоснование геоэкологического районирования пригородной территории. Его отличительной особенностью является направленность на отражение ее геоэкологических свойств, исходя из интересов города.

Процедура районирования базируется на картографическом методе и включает последовательное выполнение исследовательских операций по составлению вначале частных схем районирования пригородной территории по критериям: ландшафтному, бассейновому, хозяйственного использования и экологической стабилизации, затем – их совмещения и получения комплексной схемы.

Показан пример реализации методики по отношению к пригородной территории Минска. В ее пределах выделены геоэкологические районы и подрайоны, которые различаются по ландшафтному строению, лесистости, выполняемым функциям, экологической напряженности. Для каждого из них определены направления оптимизационной деятельности.

**M. I. Struk, S. G. Zhivnach**

### **METHODICAL APPROACHES AND RESULTS OF MINSK SUBURBAN AREA GEOECOLOGICAL ZONING**

The methodical substantiation of the suburban area geoecological zoning is presented. Its distinguishing feature is the focus on the display of the suburban area geoecological properties on the basis of city interests.

The procedure of zoning is based on the cartographic method. It includes consistent implementation of research operations on composing of private schemes zoning of suburban area at the beginning on the criteria of landscape, basin, economic use and environmental stabilization; resulting in their combination and obtaining a comprehensive scheme.

An example of this methodology implementation in relation to Minsk suburban area is shown. Geoecological areas and subareas within Minsk suburban area are specified, differing in the landscape structure, forestation, performing functions, environmental stress. Optimization activities for each of these areas are defined.

УДК 504.3.064-034 (47+57)

Т. И. Кухарчик, С. В. Какарека, Т. Л. Лапко, М. И. Козыренко

## АНАЛИЗ СФЕР ПРИМЕНЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ, ДОПОЛНИТЕЛЬНО ВКЛЮЧЕННЫХ В СТОКГОЛЬМСКУЮ КОНВЕНЦИЮ О СОЗ

*Обобщена информация о свойствах химических веществ, дополнительно включенных в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ, истории их производства и назначении, а также о сферах их применения. Обсуждаются возможности идентификации «новых» СОЗ и возникающие при этом проблемы. Приведен перечень наиболее вероятных отраслей использования промышленных химикатов на основе «новых» СОЗ в Беларуси.*

Первоначальный список химических веществ, отнесенных к стойким органическим загрязнителям (СОЗ) и подпадающих под действие Стокгольмской конвенции о СОЗ, включал 12 наименований: альдрин, дильдрин, хлордан, ДДТ, эндрин, гептахлор, гексахлорбензол, мирекс, токсафен, ПХБ, ПХДД и ПХДФ [5]. В 2009 г. на 4-й Конференции Сторон Стокгольмской конвенции о СОЗ было принято решение о расширении перечня регулируемых СОЗ и включении в него дополнительно девяти новых соединений, по своим свойствам, поведению в окружающей среде и эффектам воздействий на живые организмы подпадающих под определение СОЗ. Среди вновь включенных в перечень СОЗ альфа-гексахлорциклогексан, бета-гексахлорциклогексан, хлордекон и линдан относятся к пестицидам, гексабромдифенил, гексабромдифениловый эфир и гептабромдифениловый эфир (коммерческий октабромдифениловый эфир), перфтороктановая сульфоновая кислота, ее соли и перфтороктановый сульфонилфторид, тетрабромдифениловый эфир и пентабромдифениловый эфир (коммерческий пентабромдифениловый эфир) – к промышленным химикатам; пентахлорбензол – одновременно попадает в две группы, а также может образовываться непреднамеренно в ходе ряда термических и производственных процессов [6].

Согласно Стокгольмской конвенции о СОЗ, инвентаризация химических веществ, подпадающих под действие Конвенции, является одним из необходимых условий обеспечения их экологически безопасного управления. Это означает, что, как и ранее для 12 СОЗ, потребуются значительные усилия по сбору и анализу информации о реальных сферах применения «новых» СОЗ, идентификации продукции и отходов, оценке запасов.

Во многих странах в последние годы предприняты значительные усилия по выявлению и оценке запасов «новых» СОЗ. Под эгидой ЮНЕП, ЮНИДО, Еврокомиссии, ВОЗ, Арктического совета, промышленных ассоциаций, других инициатив подготовлены отчеты, касающиеся ситуации с использованием полибромированных соедине-

ний и перфтороктановых сульфоновых соединений [12, 13, 15, 19, 22–24, 28]. В 2012 г. разработано руководство по инвентаризации ПФОС [17] и проект руководства по инвентаризации полибромдифениловых эфиров [18].

В Беларуси предприняты первые шаги в отношении химических веществ, дополнительно включенных в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ. В 2011 г. начат проект в рамках ГНТП «Природные ресурсы и окружающая среда», направленный на создание научно-методического обеспечения выявления и оценки запасов новых СОЗ.

В статье обобщена информация о свойствах химических веществ, дополнительно включенных в список СОЗ, истории их производства и назначении, а также о сферах их применения. Обсуждаются возможности идентификации новых СОЗ и возникающие при этом проблемы.

В качестве информационной основы использованы материалы, размещенные на сайте Стокгольмской конвенции о СОЗ, в том числе документы, касающиеся обоснования включения химических веществ в приложения к Стокгольмской конвенции, опубликованные отчеты международных организаций (UNIDO, UNEP, AMAP, COWI, KEMI), национальные отчеты ряда стран Западной Европы, справочная и техническая литература.

### **Производство и применение промышленных химикатов, дополнительно включенных в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ**

#### **Хлорорганические пестициды**

Из пяти хлорорганических пестицидов, включенных в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ, два (**альфа- и бета-гексахлорциклогексан**) не являются коммерческим продуктом. Как и другие изомеры ГХГ, они образуются при фотохимическом хлорировании бензола в процессе производства технического ГХГ и являются основой технического ГХГ. На долю изомеров альфа-ГХГ приходится 53–70 % от суммы всех изомеров, бета-ГХГ – 3–14 % суммы изомеров ГХГ.

Производство ГХГ в бывшем СССР было налажено в г. Чапаевск (Чапаевский завод химических удобрений, 1960–1987 гг.), г. Дзержинск

(«Корунд», 1948–1980 гг.), Сумгаите («Химпром», 1960–1985 гг.).

В настоящее время основным источником альфа- и бета-ГХГ служит производство линдана, во время которого они образуются в качестве побочных продуктов. При производстве одной тонны линдана генерируется от шести до десяти тонн других изомеров ГХГ, в том числе до восьми тонн альфа- и бета-ГХГ [27].

**Линдан** – общепринятое название гамма-изомера 1,2,3,4,5,6-гексахлорциклогексана (ГХГ). Это широко известный пестицид, который производили во многих странах Европы, в том числе в Чехии, Испании, Франции, Германии, Великобритании и др. Общемировое производство линдана в 1990–1995 гг. составляло около 3222 т ежегодно. В бывшем СССР непосредственно линдан не производили.

В последние годы производство линдана резко сократилось. По данным [10, 26, 27] линдан производится в Румынии и Индии. В Беларуси производство линдана отсутствует.

**Пентахлорбензол** применяли как пестицид либо использовали в качестве промежуточного продукта для производства пестицида – пентахлорнитробензола (квинтозина/квントцена). Квントцен, в свою очередь, по данным [4], входил в состав препарата пентатиурама, его доля составляла 23 %. В России пентахлорбензол не производили [1].

Пентахлорбензол обнаруживается в качестве примеси в ряде других пестицидов, например техническом ГХГ (1,8 %), хлорталониле, эндосульфане, хлорпирофосметиле, атразине, клотирилиде, пиктораме и некоторых других пестицидах [11, 29]. ПеХБ был компонентом хлорбензольных смесей, которые применяли для понижения вязкости продуктов ПХБ, используемых в электротехническом оборудовании.

В Беларуси пентахлорбензол не производили.

В прошлом ПеХБ и ТеХБ применяли в основах красителей, однако, данный вид применения полностью прекращен.

**Хлордекон** производили под разными торговыми наименованиями и использовали в качестве сельскохозяйственного инсектицида и фунгицида. Впервые он был изготовлен в 1950-х годах в США под торговыми названиями «Кепон®» и «GC-1189» [9].

Раствор технического хлордекона (80 % активного ингредиента) экспорттировали из США в Европу и, в частности, в Германию в больших количествах с 1951 по 1975 год, где его перерабатывали в келефан, являющийся производным соединением хлордекона, используемого в тех же целях.

Модифицированный хлордекон продавали во Франции под названием «Кюрлон» с 1981 по 1993 г. Хлордекон обнаружен также в технических сортах мирекса и в препаратах мирекса. В

Российской Федерации [1] и в Беларуси хлордекон не производили и не использовали.

Хлорсодержащие пестициды включены в Приложение А (Ликвидация) Стокгольмской конвенции о СОЗ; их производство и использование запрещено. Как и другие запасы СОЗ, они подлежат удалению экологически безопасным способом. Конкретное исключение принято лишь в отношении применения линдана: в качестве фармацевтического средства для лечения педикулеза и чесотки у людей в качестве терапии второй линии.

### **Промышленные химикаты**

**Гексабромдифенил** представляет собой смесь бромированных дифенилов, включающую 2,2,4,4,5,5-гексабромдифенил (ПББ 153; 50–60 % по массе); 2,2,3,4,4,5,5-гептабромдифенил (ПББ 180; 10–15 %) и 2,2,3,4,4,5 – гексабромдифенил (ПББ 138; 5–10 %).

Производили химикат как антиприрен; промышленное производство осуществляли в США в период с 1970 по 1975 г. Всего было произведено около 5400 т гексабромдифенила; считается, что весь объем использован в США. Информация о возможном производстве гексабромдифенила в России, развивающихся странах или странах с переходной экономикой отсутствует.

Наиболее известные марки продукции – FireMaster BP-6 и FireMaster FF-1, на долю которых приходилось 98 % общего производства антиприренов на основе ГБД.

Гексабромдифенил применяли при производстве следующих видов продукции: акрилонитрил-бутадиен-стирольных (АБС) термопластов; изоляции для кабелей, лакокрасочных материалов; пенополиуретана; ПВХ.

Основная сфера применения АБС-пластика, содержащего гексабромдифенил, – производство корпусов канцелярской оргтехники, промышленных и электротехнических изделий, а также внутренней обшивки автомобилей. По данным [18], значительная часть изделий/оборудования, изготовленных с применением гексабромдифенила, утратила потребительские свойства и утилизирована. Исключение составляют легковые и грузовые автомобили и автобусы, произведенные в период с 1970 по 1976 г. в США.

Доля гексабромдифенила в АБС-пластике составляет около 10 % [29].

Гексабромдифенил включен в Приложение А (Ликвидация) Стокгольмской конвенции о СОЗ; конкретные исключения для производства и использования этого вещества отсутствуют.

**Гексабромдифениловый эфир и гептабромдифениловый эфир (коммерческий октабромдифениловый эфир; к-октаБДЭ)** представляет собой смесь нескольких полибромдифениловых эфиров и родственных им

соединений. Наибольший вклад вносят изомеры гептабромдифенилового эфира (от 43 до 58 %), на втором месте – изомеры октабромдифенилового эфира (от 26 до 37,9 %) [28]. На долю изомеров гексабромдифенилового эфира приходится от 5,5 до 12 %.

К-октабДЭ производили как антиприрен и использовали в сочетании с трехокисью сурьмы. Основные марки к-октабДЭ: Great Lakes DE-60, DE-61, DE-62, DE-71, DE 79, Bromkal 79-8DE, CD 79, Saytex 111, Tardex 80, FR 1208, FR 143 и др.

Основной производитель к-октабДЭ, как и других полибромированных эфиров, – США. К-октабДЭ производили также в Нидерландах, Франции, Германии, Японии, Израиле. Производство к-октабДЭ в США осуществляли с середины 1970-х гг. до 2004 г. В странах ЕС его производство запрещено в 1997 г. Общий объем производства оценивается в 102,7–118,5 тыс. т [28].

Примерно 95 % общего объема произведенного к-октабДЭ использовано для производства АБС-пластика. Незначительное количество этого соединения (около 5 %) использовали для производства ударопрочного полистирола, полибутилентерефталата и полиамидных полимеров.

АБС-пластик, содержащий к-октабДЭ, предназначался для электронной и электротехнической промышленности: прежде всего, для производства мониторов и телевизоров с электронно-лучевыми трубками, корпусов оргтехники и других изделий. Считается, что практически любые электротовары могут содержать к-октабДЭ и другие полибромдифениловые эфиры. Содержание к-октабДЭ в АБС-полимерах составляет 12–18 %. Общий объем производства АБС-пластика с к-октабДЭ оценивается в 800 тыс. т.

К-октабДЭ использовали также для производства нейлона и полиэтилена низкой плотности, поликарбоната, фенолформальдегидных смол, ненасыщенных полиэфиров, а также адгезивных и защитных покрытий [2, 29].

Учитывая законодательные ограничения в странах ЕС, США, Канаде, к-окта-БДЭ в настоящее время не используется, потенциальный производитель к-октабДЭ и продукции – Китай, другие страны Азии.

**Тетрабромдифениловый эфир и пентабромдифениловый эфир (комерческий пентабромдифениловый эфир)** представляет собой смесь полибромированных эфиров и родственных им соединений, основную массу которой составляют изомеры тетрабромдифенилового и пентабромдифенилового эфиров. Согласно Стокгольмской конвенции о СОЗ, к-пентабДЭ включает 2,2',4,4'-тетрабромдифениловый эфир (БДЭ-47; регистрационный номер КАС 5436-43-1) и 2,2',4,4',5-пентабромдифениловый эфир (БДЭ-99; регистрационный

номер КАС 60348-60-9) и другие изомеры тетра- и пентабромдифениловых эфиров.

К-пентабДЭ – антиприрен; производили в период с 1970 по 2005 г. в США, странах ЕС, Японии. С 1999 г. начато производство в Китае. В странах ЕС выпуск вещества прекращен в 1997 г.; в 2004 г. запрещено его использование. В США производство прекращено в 2004 г.

Основные торговые марки к-пентабДЭ: Bromkal 70, Bromkal 70-5 DE, Saytex 125, Tardex 50, Pentabromodiphenyl ether и др. Общий объем произведенных пента-БДЭ может составлять от 91 до 105 тыс. т.

Основное количество к-пентабДЭ использовано при производстве пенополиуретана, на долю которого приходится около 95 % общего объема к-пентабДЭ [28]. Всего в глобальном масштабе было произведено примерно 2,5 млн т пенополиуретана с применением к-пентабДЭ.

В небольших количествах к-пентабДЭ использовали для обработки тканей, при производстве красок, лаков, изделий из резины (конвейерных лент, облицовочных материалов и панелей для пола) и буровых растворов. До начала 1990-х годов к-пентабДЭ использовали в Азии при производстве интегральных схем на основе слоистого пластика типа FR2 (фенолольдегидные смолы) [8].

В свою очередь полимерные изделия с к-пентабДЭ использовали в различных сферах, в том числе:

- в транспортных средствах (автомобилях, железнодорожном подвижном составе, самолетах и судах) для набивки сидений, в качестве амортизационных материалов, акустической изоляции;

- при изготовлении мягкой мебели – мебельной обшивки, матрасов, эластичных компонентов из вспененных материалов;

- при производстве электрических и электронных приборов – компьютеров, бытовой электроники, офисного оборудования, бытовых приборов и других изделий, имеющих интегральные схемы на основе слоистых пластмасс типа FR2 (пластмассовые наружные корпуса и внутренние пластмассовые детали, которые используют в телевизорах, радиоприемниках, видеомагнитофонах), автомобильной электронике, стиральных машинах, кухонных приборах и др.);

- в производстве стройматериалов – пенных наполнителей, изоляционных плит, пеноизоляции, труб, панелей для стен и пола, пластмассовых листовых покрытий, смол и т. д.;

- в текстильном производстве – штор, ковров, оснований для ковров из вспененного материала, палаток, непромокаемых курток, рабочей и защитной одежды; в начале 1990-х гг. в ЕС 60 % всего объема к-пентабДЭ использовали при обработке тканей;

- при производстве упаковочных материалов на основе пенополиуретана.

Из общего объема к-пентабДЭ примерно 36 % было использовано в транспортном секторе (преимущественно в автомобилях, автобусах), 60 % – при изготовлении мебели и 4 % – в других целях [28].

В пенополиуретане может содержаться от 10 до 18 % к-пентабДЭ [8]. Содержание к-пентабДЭ в зависимости от плотности пенополиуретана составляет: при плотности 19 кг/м<sup>3</sup> – 5,45 %; 24 кг/м<sup>3</sup> – 4,3 %; 29 кг/м<sup>3</sup> – 2,77 %. Содержание пента-БДЭ в мебельных тканях составляет 0,45 % [12]. Полиуретановая пена, использованная в транспортных средствах США, содержит от 0,5 до 1 % к-пентабДЭ (по данным исследований [20]).

Согласно [18], транспортный сектор является основным для выявления запасов к-пентабДЭ. Это связано с большим сроком службы автомобилей и автобусов, других средств передвижения.

Мебель (мягкая мебель, матрацы) не рассматриваются в настоящее время как существенный источник к-пентабДЭ. С одной стороны, это связано со сроком службы таких изделий (не более 10 лет), с другой – с ограниченной сферой применения: полиуретановую пену с к-пента-БДЭ использовали преимущественно в странах, где были весьма жесткие требования по технике пожарной безопасности (Англия, США и др.).

К-октабДЭ и к-пентабДЭ включены в Приложение А (Ликвидация) Стокгольмской конвенции о СОЗ с конкретными исключениями. Сторона может разрешить рециркуляцию изделий, которые содержат или могут содержать указанные эфиры, и применение и окончательное удаление таких изделий при условии, что рециркуляция и окончательное удаление осуществляются экологически обоснованным образом и не ведут к восстановлению данных соединений для целей их повторного использования.

**Перфтороктановая сульфоновая кислота, ее соли и перфтороктановый сульфонилфторид.** Химическая формула ПФОС – C<sub>8</sub>F<sub>17</sub>SO<sub>2</sub>X, (X = OH, соли металлов (O-M+), гаплоиды, амиды и другие производные, включая полимеры) [8].

Стокгольмская конвенция о СОЗ регулирует обращение следующих соединений, относящихся к ПФОС: перфтороктановая сульфоновая кислота; перфтороктановый сульфонилфторид; перфтороктановый сульфонат лития; перфтороктановый сульфонат калия; перфтороктановый сульфонат диэтаноламмония; перфтороктановый сульфонат аммония; перфтороктановый сульфонат тетраэтиламмония; перфтороктановый сульфонат ди(децил)ди(метил)аммония.

Перфтороктановая сульфоновая кислота, ее соли и перфтороктановый сульфонилфторид (ПФОС) относятся к группе фторированных со-

единений, в которую также входят спирты фтортеломеров, фторированные карбоновые кислоты, перфтороктановая кислота, перфторонаановая кислота.

Большинство препаратов на основе ПФОС представляют собой полимеры с высоким молекулярным весом, в которых ПФОС является лишь одной из составных частей самого полимера и конечного продукта [19]. Трактовка связанных с ПФОС веществ не вполне одинакова, сегодня существует несколько списков таких веществ. Они содержат различные количества связанных с ПФОС веществ, считающихся потенциально способными расщепляться с образованием ПФОС. Имеется 96 веществ, которые могут преобразоваться в перфтороктановый сульфонат в окружающей среде. Связанные с ПФОС вещества должны содержать в структуре молекулы одну или несколько групп с химической формулой C<sub>8</sub>F<sub>17</sub>SO<sub>2</sub>.

ПФОС и связанные с ПФОС вещества производили более чем 50 лет. Основной производитель ПФОС и связанных с ПФОС веществ – компания «3М» (США), которая являлась главным мировым производителем до 2000 г.

Производство ПФОС осуществляли также в Европе (6 предприятий), в Азии (6 предприятий) и в Латинской Америке (1 предприятие). В 2000 г. было принято решение (добровольное) о прекращении производства соединений ПФОС.

В настоящее время производство ПФОС осуществляют в Китае, Индии, Бразилии. Вероятно, Китай остается главным производителем.

Все промышленные химикаты на основе ПФОС являются промежуточными продуктами; их использовали и используют для производства различных химических препаратов либо непосредственно в технологическом процессе для придания материалам/изделиям требуемых свойств. Наиболее широкое применение ПФОС получили в качестве поверхностно-активных веществ (ПАВ). Ниже приведен краткий анализ основных сфер применения ПФОС.

**Средства пожаротушения.** Применение ПФОС в виде ПАВ для пожаротушения обусловлено их высокой эффективностью при тушении возгораний нефти, нефтепродуктов и др. Фторированные ПАВ относятся к пленкообразующим пенообразователям, которые получили широкое распространение во всех развитых странах. Концентрация перфторированных соединений в противопожарной пени составляет от 0,9–1,5 до 3 % [25].

Для маркировки пенных средств пожаротушения, содержащих фторированные соединения, в том числе ПФОС, используется аббревиатура AFFF (препараты на водной основе) и ATC (спиртовые концентраты). Противопожарные пены имеют длительный срок хранения (10–20 лет и более); считается, что ПФОС-содержащие противопожарные пены (например, FC-600) могут использовать и сегодня.

**Поверхностная обработка металла (пластмасс).** ПФОС применяют в качестве ПАВ при поверхностной обработке металлов и пластмасс, в том числе при хромировании, никелировании, меднении и др. Обработку металлов и пластмасс осуществляют с целью изменения свойств поверхности для декоративной отделки и улучшения отражательной способности, повышения твердости и износостойкости, предотвращения коррозии, для повышения прочности при окрашивании, нанесении светочувствительного покрытия и т. д. Концентрация ПФОС в товарах различных компаний может варьировать от 5 до 50 %.

При хромировании в ваннах с горячей кислотой добавки ПАВ на основе ПФОС способствуют формированию защитной пленки на поверхности (противоиспарительного барьера), предотвращающей унос шестивалентного хрома. Фторированные ПАВ (включая ПФОС) используют также в других гальванических ваннах для регулирования пены и повышения ее стабильности, для уменьшения поверхностного натяжения, для нанесения покрытий равномерной толщины, для придания положительного заряда частицам фторполимеров.

**Обработка тканей.** ПФОС широко использовали в текстильной промышленности для придания водо- и грязеотталкивающих свойств при создании одежды, зонтов, сумок, палаток, навесов, кожи, обуви, ковров и т. д. ПФОС-производные обычно составляют 2–3 % от веса волокна для тканей и 15 % – для ковров.

Согласно обобщениям [3], до 2000 г. это были наиболее важные области применения производных ПФОС. В связи с запрещением ПФОС, это вещество был заменено аналогами с более короткой цепью и фторалкоголями, а также не содержащими фтора химическими веществами. Следует подчеркнуть, что торговые наименования были сохранены; вероятно, это обстоятельство затруднило идентификацию ПФОС-содержащей продукции в настоящее время.

**Обработка бумаги.** Фторсодержащие вещества использовали в бумажной промышленности для производства водоотталкивающей и пергаментной бумаги. Концентрация веществ, необходимых для защиты бумаги, составляет 1,0–1,5 % от сухого веса волокон. ПФОС поступают в бумагу/картон, как правило, на стадии очистки/подготовки волокон и значительно реже – на заключительных стадиях при изготовлении из бумаги/картона упаковочной тары.

**Производство промышленных и бытовых чистящих средств.** Производные ПФОС использовали в качестве ПАВ для снижения поверхностного натяжения и улучшения смачивания в различных промышленных и бытовых чистящих средствах. Концентрация ПФОС в конечном продукте, как правило, колеблется от 0,005 % и 0,01 %, но может быть и выше. Перечень чистящих/моющих средств, которые использовали в

промышленности и для бытовых целей, весьма широк: средства для чистки стекол, воск для автомобилей, антикоррозийные добавки для антифризов, жидкости для посудомоечных машин, жидкие мастики, в том числе для натирания пола, нивелирующие жидкости; щелочные моющие средства для микроволновых печей, стиральные порошки и другие препараты.

Предполагается, что основное производство таких средств осталось в прошлом, поскольку компания ЗМ прекратила выпуск ПФОС, а такая продукция быстро расходуется. Вместе с тем в Швеции были выявлены чистящие средства с ПФОС.

**Фотографическая промышленность.** В фотографической промышленности связанные с ПФОС вещества (перфтороктановый сульфонат тетраэтиламмония) используют в процессе производства кинопленки, фотобумаги и фотопластин. Эти соединения выполняют функцию регулирующих агентов трения и грязеотталкивания. Перфтороктановый сульфонат лития и перфтороктановую сульфокислоту используют в фотопромышленности в качестве антибликовых агентов. Технологический процесс предусматривает приготовление эмульсии с концентрацией ПФОС от 5–7 % до 67–77 %.

**Производство химических средств для нанесения покрытий, лакокрасочных материалов.** При производстве покрытий, красок и лаков производные ПФОС использовали до 2000 г. для уменьшения поверхностного натяжения, как диспергирующие агенты, для усиления блеска, улучшения антистатических свойств и других целей. ПФОС добавлялись в концентрациях менее 0,01% (по весу) [17].

**Гидравлические жидкости в авиации.** Гидравлические масла с содержанием около 0,1 % перфтороктанового сульфоната калия используют в гражданских и военных самолетах с 1970 г. в целях предотвращения испарения, пожаров и коррозии.

**Электронная и электротехническая промышленность.** Химические вещества на основе ПФОС используют в производстве цифровых камер, сотовых телефонов, принтеров, сканеров, спутниковой связи и радиолокационных систем и т. д. ПФОС используют в ремнях и роликах принтеров и копировальных машин. Выпускаемые внутренние передаточные ленты содержат ПФОС в количестве до 100 ppm.

ПФОС уменьшают поверхностное натяжение и рефлекцию травильных растворов, что важно для точной фотолитографии в полупроводниковой промышленности (фоторезисторы и фотшаблоны). Свойства ПФОС имеют решающее значение для достижения достоверности и точности, необходимых при изготовлении миниатюрных полупроводниковых микросхем высокой производительности.

**Производство видеодисков.** Видеодиски, которые используют для осмотра и ле-

чения пациентов в больницах, имеют цветной ПЗС-фильтр, содержащий небольшое количество (150 нг) ПФОС, которые играют важную роль в производстве рентгеноконтрастного этилен-тетрафторэтилена, позволяя достичь высокого уровня точности, необходимого для медицинских приборов (например, радио-непрозрачные катетеры, такие как катетеры для ангиографии и постоянные игольчатые катетеры).

Перфтороктановая сульфоновая кислота, ее соли и перфтороктановый сульфонилфторид включены в Приложение В (Ограничение) Стокгольмской конвенции о СОЗ с указанием приемлемых целей и конкретных исключений. В качестве приемлемых целей использования (и производства) ПФОС определены следующие виды деятельности: воспроизведение фотоизображения; фоторезистивные и антиотражающие покрытия для полупроводников; реактив для травления полупроводниковых соединений и керамических фильтров; авиационные гидравлические жидкости; металлоконструкции в системах с замкнутым циклом; некоторые медицинские приборы (например, пленки на основе сополимера тетрафторэтилена (ЭТФЭ) и производство рентгеноконтрастного ЭТФЭ, медицинские приборы для диагностики в искусственных условиях и цветовые фильтры ПЗС; пена для огнетушителей; приманка для борьбы с муравьями-листорезами. Конкретные исключения для использования ПФОС включают: фотомаски в производстве полупроводников и жидкокристаллических дисплеев; металлоконструкции; электрические и электронные компоненты некоторых цветных принтеров и цветных копировальных машин; инсектициды для борьбы с муравьями и термитами; применение химических реагентов в нефтедобыче; ковровые покрытия; кожа и предметы одежды; текстиль и обивочные материалы; бумага и упаковочные материалы; покрытия и присадки к покрытиям; резина и пластмассы.

Согласно Стокгольмской конвенции о СОЗ, с целью сокращения и в конечном итоге прекращения производства и/или использования ПФОС Стороны принимают меры по поэтапному прекращению их использования при наличии альтернативных вариантов.

#### **Общие принципы выявления химических веществ, дополнительно включенных в Стокгольмскую конвенцию**

Хлорорганические пестициды, в отличие от других химических веществ, дополнительно включенных в Стокгольмскую конвенцию, являются готовым к употреблению продуктом. В ряде случаев их использовали в качестве добавок при производстве других пестицидов. В редких случаях химические вещества, являющиеся основой пестицидов, используют при производстве других

изделий (например, линдан при производстве ветпрепаратов).

Среди вновь включенных в перечень СОЗ пестицидов низка вероятность обнаружения хлордекона (производство прекращено в 1976 г.); пентахлорбензол может присутствовать в составе других пестицидов; альфа-гексахлорциклогексан, бета-ексахлорциклогексан и линдан входят в состав технического ГХГ.

В этой связи, как и в отношении других пестицидов, подпадающих под действие Стокгольмской конвенции, необходимо выявлять запасы устаревших пестицидов и пестицидов, запрещенных к применению. В особенности это касается технического ГХГ, который содержит все изомеры ГХГ, включая альфа-ГХГ, бета-ГХГ и гамма-ГХГ (линдан). Выявление его запасов представляется актуальным для Беларуси (и других стран СНГ), поскольку в Беларуси его использовали до 1996 г.

Гораздо сложной и трудоемкой представляется задача выявления и идентификации промышленных химикатов на основе «новых» СОЗ, что обусловлено следующими причинами:

- имеется широкий ассортимент промышленных химикатов на основе ГБД, к-пентабДЭ, к-октабДЭ и ПФОС;

- несмотря на запреты во многих странах полибромдифениловых эфиров, их производство, судя по всему, продолжается; поэтому существует вероятность поступления в страну антиприренов на основе полибромдифениловых эфиров и содержащей их продукции (особенно из Китая и других стран Азии);

- ПФОС производят и используют в различных технологических процессах до сих пор; более того, для ряда процессов не найдены альтернативы ПФОС; соответственно, вероятность поступления их в страну достаточно высока;

- промышленные химикаты на основе СОЗ использовали/используют первоначально в промежуточной продукции (например, при производстве АБС-пластика или пенополиуретана, ПАВ для промышленной чистки, гальваники и многих других целей и др.);

- сфера применения как промышленных химикатов на основе СОЗ, так и промежуточной продукции, содержащей «новые» СОЗ, очень широка; по сути, их могут применять в химической промышленности, машиностроении и металлообработке, текстильной, обувной, целлюлозно-бумажной и пр.;

- «новые» СОЗ могут присутствовать практически в любых электронных и электротехнических изделиях, в транспортных средствах;

- конечная продукция в зависимости от многих факторов (тип, назначение, способ изготовления и пр.) содержит разное количество ПФОС (от сотых долей процента до нескольких процентов);

– в большинстве случаев в готовых изделиях крайне сложно (без аналитических данных) доказать содержание в продукции именно ПФОС, а не других фторсодержащих полимеров.

Как и другие СОЗ, вновь включенные в перечень СОЗ химические вещества ранее не регулировали; в их отношении нет нормативно-методической базы. Пока отсутствует химико-аналитическая база определения «новых» СОЗ.

Учитывая вышесказанное, основными принципами выявления химических веществ, дополнительно включенных в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ, являются приоритетность выявления собственно промышленных химикатов на основе СОЗ и приоритетность рассмотрения наиболее вероятных сфер использования «новых» СОЗ.

Принцип приоритетности выявления собственно промышленных химических соединений на основе «новых» СОЗ позволяет сосредоточить основное внимание на наиболее важных, с точки зрения регулирования, веществах (промежуточных продуктах, готовых продуктах/изделиях). Это необходимо для последующего планирования работ по уточнению и детализации оценок.

Принцип приоритетности рассмотрения наиболее вероятных (известных в других странах/регионах) сфер использования «новых» СОЗ позволяет сузить на первых этапах сферу поиска и идентификации химических веществ, выявить региональные отличия (в связи со сложившимся производственным профилем) в использовании химических продуктов.

На первых этапах выявления промышленных продуктов, изделий и материалов, содержащих «новые» СОЗ, целесообразно использовать индикационные признаки, к которым относятся, прежде всего, торговые названия/марки промышленной продукции. В качестве вспомогательных признаков могут рассматриваться производители продукции, год производства и страна.

Перечень индикационных признаков «новых» СОЗ подготовлен в ходе выполнения задания 2.1.5 ГНТП «Природные ресурсы и окружающая среда» и использован при разработке ТКП 17.11-06-2012 (02120). Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила проведения инвентаризации стойких органических загрязнителей, дополнительно включенных в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ [7].

В качестве наиболее вероятных отраслей и процессов использования промышленных химикатов на основе «новых» СОЗ в Беларусь определены следующие:

– коммерческого пентабромдифенилового эфира (к-пента-БДЭ): производство полиуретановой пены, набивных матрацев, мягкой мебели, антиприенов, средств огнезащиты, поливинилхлорида и изделий на его основе, резины и резинотехнических изделий, кабельной продукции, ковров и ковровых покрытий;

– коммерческого октабромдифенилового эфира (к-октаБДЭ): производство и использование АБС-пластика; ударопрочного полистирола, полибутилентерефталата и полиамидных полимеров; переработка вторичных пластмасс;

– ПФОС: производство и применение фторсодержащих пенообразователей; производство продукции с использованием ПФОС (химические препараты для гальваники; моющие средства; лакокрасочные материалы); использование химических препаратов, содержащих или возможно содержащих ПФОС (нанесение покрытий на металл; электронная, радиотехническая, фотографическая промышленность; производство ковров, обработка тканей, кожевенная промышленность; применение ПФОС в гидравлических жидкостях, используемых в авиации).

Среди готовых изделий/материалов, потенциально содержащих полибромдифениловые эфиры, требуется выявить автомобили и автобусы, содержащие пенополиуретан и другие полимерные изделия, обработанные антиприенами на основе к-пентаБДЭ, а также телевизоры и мониторы с электронно-лучевой трубкой, при производстве которых использован АБС-пластик, обработанный антиприенами на основе к-октаБДЭ.

Для оценки запасов ПФОС приоритетным представляется выявление и анализ фторсодержащих пленкообразующих пенообразователей, предназначенных для пожаротушения нефти, нефтепродуктов и других легковоспламеняющихся жидкостей.

**Заключение.** Список СОЗ остается открытым; по мере накопления данных в него будут включаться новые химические вещества. Так, в 2011 г. на 5-ой конференции Сторон принято решение о включении эндосульфана. Это означает, что совершенствование научно-методических основ инвентаризации химических веществ, а также создание информационной базы их управления должно стать активно развивающимся научным направлением в Беларусь с учетом собственного опыта инвентаризации такой группы химических веществ как ПХБ, а также достижений международных организаций и развитых стран в области выявления и оценки запасов химических веществ (СОЗ).

## Литература

1. **Диагностический** анализ состояния окружающей среды арктической зоны Российской Федерации. Глава 4.3.4. Стойкие органические загрязнители (СОЗ) в АЗРФ / Отв. редактор: д-р геогр. наук Б. А. Моргунов. Глобальный экологический фонд programma ООН по окружающей среде. М., 2011.
2. **Октабромдифениловый** эфир, производимый в коммерческих целях. Характеристика рисков / Доклад Комитета по рассмотрению стойких органических загрязнителей о работе его третьего совещания. Добавление // Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях. Комитет по рассмотрению стойких органических загрязнителей. Третье совещание. Женева, ноябрь 2007 г.
3. **Руководство** по альтернативам перфтороктановой сульфоновой кислоте и ее производным. Доклад Комитета по рассмотрению стойких органических загрязнителей о работе его шестого совещания. Добавление. UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.3/Rev.1. 2011.
4. **Справочник** по пестицидам / Н. Н. Мельников, К. В. Новожилов, С. Р. Белан, Т. Н. Пылова. М., 1985.
5. **Стокгольмская** конвенция о стойких органических загрязнителях. Опубликовано временным секретариатом Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях. UNEP, 2001. 53 с.
6. **Стокгольмская** конвенция о стойких органических загрязнителях с поправками, внесенными в 2009 г. Текст и приложения.
7. **ТКП 17.11-06-2012 (02120)**. Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила проведения инвентаризации стойких органических загрязнителей, дополнительно включенных в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды №19-Т от 26.12.2012.
8. **Характеристика** рисков по промышленному пентабромдифениловому эфиру. Доклад Комитета по рассмотрению стойких органических загрязнителей о работе его второго совещания. Добавление. Комитет по рассмотрению стойких органических загрязнителей в рамках Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях. Второе совещание. Женева, ноябрь 2006 г.
9. **Хлордекон.** Характеристика рисков. Доклад Комитета по рассмотрению стойких органических загрязнителей о работе его третьего совещания. Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях. Комитет по рассмотрению стойких органических загрязнителей. Третье совещание. Женева, 19–23 ноября 2007 г.
10. **Assessment** of Lindane and Other Hexachlorocyclohexane Isomers, 2006. Electronic resource] / U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). Mode of access : <http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-PEST/2006/Febuary/Day-08/p1103.htm>. Date of access : 5.02.2013.
11. **Assessment** of the Dietary Cancer Risk of Hexachlorobenzene and Pentachlorobenzene as impurities in Chlorothalonil, PCNB, Picloram, and several other pesticides. DP Barcode D243499. Chemical codes 061001 (Hexachlorobenzene) & 081901 (Chlorothalonil). Memorandum 2/26/98. US EPA, 1998.
12. **Brominated** Flame Retardants – Substance Flow Analysis and Assessment of Alternatives. Carsten Lassen and Søren Løkke. COWI A/S Lina Ivar Andersen. Danish Institute of Fire Technology. Environmental Project Nr. 494 1999. Miljøprojekt.
13. **Brominated** Flame Retardants. A Report to the Joint Standing Committee on Natural Resources, 122nd Maine Legislature [Electronic resource] / Maine Bureau of Health and Maine Department of Environmental Protection. 2005. Mode of access : <http://www.maine.gov/dep/rwm/publications/legislativereports/pdf/bromfeb2005.pdf>. Date of access : 20.04.2013.
14. **Buser** Andreas, Morf Leo 2009: Substance Flow Analysis of PFOS and PFOA. Perfluorinated surfactants perfluorooctanesulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) in Switzerland. Environmental studies no. 0922. Federal Office for the Environment, Bern. 144 pp.
15. **Carloni D.** Perfluorooctane Sulfonate (PFOS). Production and Use: Past and Current Evidence / Prepared for UNIDO, December 2009.
16. **Current** status of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluoroalkyl sulfonate (PFAS) in Australia. 2009. P. 17.
17. **Guidance** for the Inventory of Perfluorooctane Sulfonic Acid (PFOS) and related Chemicals under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. UNEP, UNIDO, UNITAR. July 2012.
18. **Guidance** for the Inventory of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) listed under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants/UNEP, UNIDO, UNITAR. Draft. July, 2012.
19. **Hazard** assessment of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and its salts. ENV/JM/RD (2002)17/FINAL, November 21, Paris. OECD, 2002. 362 pp.
20. **Ludeka R.** Flexible Polyurethane Foam Waste Management and Recycling. November 2011 [Electronic resource]. Mode of access : [www.pfa.org/library/UNIDO](http://www.pfa.org/library/UNIDO). Date of access : 15.11.2012.
21. **OECD** (2002). Cooperation on existing chemicals, Hazard assessment of Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) and its salts, ENV/JM/RD(2002)17/Final.
22. **Perfluorooctane** Sulfonate – Risk reduction strategy and analysis of advantages and drawbacks, Final Report prepared for Department for Environment, Food and Rural Affairs and the Environment Agency for England and Wales. RPA & BRE, Risk & Policy Analysts Limited in association with BRE Environment, 2004.
23. **Perfluorooctane** Sulphonate (PFOS). Hazardous Substances Series. OSPAR Commission 2005 (2006 Update). Publication Number: 269/2006.
24. **SCHER**, 2005. Opinion on «RPA's report «Perfluorooctane Sulphonates Risk reduction strategy and analysis of advantages and drawbacks» / European Commission Health & Consumer Protection Directorate-general. Directorate C – Public Health and Risk Assessment. C7 – Risk assessment. Scientific Committee on Health and Environmental Risks.

25. **Small-scale** test protocol for firefighting foams def(aust)5706: effect of bubble size distribution and expansion ratio. Ashlea J. Laundess, Mark S. Rayson, Bogdan Z. Dlugogorski and Eric M. Kennedy. 2008. [Electronic resource]. Mode of access : <http://www.nfpa.org/assets/files//PDF/Foundation%20proceedings/Laundess.pdf>. Date of access : 12.03.2013.

26. **The Legacy** of Lindane HCH Isomer Production. A global Overview of residue Management, Formulation and Disposal. International HCH & Pesticides Association (IHPA), 2006 [Electronic resource]. Mode of access : [www.ihpa.info](http://www.ihpa.info). Date of access : 10.02.2013.

27. **The North American Regional Action Plan (NARAP)** on Lindane and Other Hexachlorocyclohexane (HCH) Isomers. Commission for Environmental Cooperation (CEC, 2006). November, 2006. [Electronic resource]. Mode of access : <http://www.cec.org/Lindane>. Date of access : 10.02.2013.

28. **UNEP** 2010. Technical review of the implications of recycling commercial penta and octabromodiphenyl ethers. Stockholm Convention document for 6th POP Reviewing Committee meeting (UNEP/POPs/PORC.6/INF/6). Ceneva 11–15. October 2010.

29. **WHO IPCS** (1994). Environmental health criteria; 162 Brominated diphenylethers, World Health Organisation, International Programme on Chemical Safety.

## Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 19.04.2013 г.

**T. I. Кухарчик, С. В. Какарека, Т. Л. Лапко, М. И. Козыренко**

### **АНАЛИЗ СФЕР ПРИМЕНЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ, ДОПОЛНИТЕЛЬНО ВКЛЮЧЕННЫХ В СТОКГОЛЬМСКУЮ КОНВЕНЦИЮ О СОЗ**

Приведены общие сведения о химических веществах, дополнительно включенных в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ, их назначении, истории производства и сферах применения. Даны общие принципы выявления химических веществ, дополнительно включенных в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ.

Показано, что среди вновь включенных химических веществ в перечень СОЗ низка вероятность обнаружения хлордекона и гексабромдифенила (прекращено производство в середине 1970-х годов); пентахлорбензол может присутствовать в составе других пестицидов; альфа-гексахлорциклогексан, бета-гексахлорциклогексан и линдан входят в состав технического ГХГ.

Выявление и идентификация промышленных химикатов на основе коммерческого октабромдифенилового эфира, коммерческого пентабромдифенилового эфира, а также перфтороктановой сульфоновой кислоты, ее солей и перфтороктанового сульфонилфторида является сложной задачей; не исключена вероятность поступления химических препаратов в страну и в настоящее время. Приведены основные принципы выявления химических препаратов на основе «новых» СОЗ. Указаны наиболее вероятные отрасли и процессы использования промышленных химикатов на основе «новых» СОЗ в Беларуси.

**T. I. Kukharchyk, S. V. Kakareka, T. L. Lapko, M. I. Kozyrenko**

### **THE ANALYSIS OF APPLICATION SPHERES AND PROBLEMS OF CHEMICAL SUBSTANCES IDENTIFICATION, INCLUDED ADDITIONALLY INTO THE STOCKHOLM CONVENTION ON POP**

General data on chemical substances included additionally into the Stockholm Convention on POP, their role, production history and application spheres are given. General principles of chemicals revealing, included in addition into the Stockholm Convention on POP are given.

It has been shown, that among newly included chemicals into POP list the probability of chlordecon and hexabromodiphenyl (manufacture in the mid-seventies ceased) is low; pentachlorobenzene can be present in the structure of other pesticides; an alpha-hexachlorocyclohexane, beta-hexachlorocyclohexane and lindane are as part of technical HCH (hexachlorocyclohexane).

Detection and identification of commercial chemicals on the basis of commercial octabromodiphenyl ether, commercial pentabromodiphenyl ether, and also perfluorooctane sulfonic acids, its salts and perfluoroctanesulfonyl fluoride is a challenge; the probability of chemical preparations delivery in the country is not excluded even now. Main principles of chemicals detection on the basis of «new» POP are resulted. The most probable branches and processes of use of commercial chemicals on the basis of «new» POP in Belarus are specified.

УДК 553.97

**Б. В. Курзо, О. М. Гайдукевич, Л. С. Лис, Г. В. Переход,  
И. С. Барановский, Ю. Ю. Навоша**

## **РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ТОРФЯНЫХ И САПРОПЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЛЕЛЬЧИЦКОГО РАЙОНА И ПРОБЛЕМЫ ЕГО ОСВОЕНИЯ**

*Исследовано размещение, исторический аспект разведки и освоения ресурсов торфа и сапропеля на территории Лельчицкого района Гомельской области. Изучено строение торфяных залежей на типичных участках крупных месторождений, выявлены качественные характеристики торфа, рассмотрено распределение запасов торфа по целевым фондам. Определены задачи по освоению торфяных и сапропелевых ресурсов на перспективу.*

Развитие экономики любой страны во многом зависит от полноты использования минерально-сырьевых ресурсов, поиск и освоение которых являются важнейшими стратегическими задачами. Лельчицкий район – один из самых уникальных в нашей стране. Он характеризуется широким набором важных для развития народного хозяйства полезных ископаемых, сосредоточенных на небольшой территории. Это, прежде всего, месторождения строительного и облицовочного камня, бурых углей, каолина, разнообразного сырья для производства стеновых материалов и бетона, буровых растворов. Центральное место среди разведенных полезных ископаемых занимают торф и сапропель. По геологическим запасам торфа Лельчицкий район стоит на первом месте в Гомельской области. Для комплексного освоения минерально-сырьевых ресурсов региона и в соответствии с протоколом № 41 заседания Президиума Совета Министров Республики Беларусь от 27 сентября 2011 года в Министерстве экономики Республики Беларусь создана рабочая группа по обеспечению реализации специальных мероприятий, направленных на ускорение ввода в строй целого ряда действующих перспективных месторождений.

Территория Лельчицкого района относится к Южной агроклиматической области, которая характеризуется короткой и мягкой зимой, наиболее продолжительным и теплым вегетационным периодом с теплым неустойчиво влажным летом. В районе сложились благоприятные условия для выращивания теплолюбивых культур – сахарной свеклы, кукурузы, подсолнечника, сои, проса и др. Рельеф территории района равнинный, однако встречаются небольшие песчаные возвышения и дюны. Пониженные места заняты торфяными болотами и месторождениями торфа. Доля земель, занятых лесом, в Лельчицком районе составляет 69,5 %, что существенно выше, чем в среднем по области (49,9 %). В связи с этим доля сельскохозяйственных земель, наоборот, ниже среднеобластного показателя (31,3 %) и составляет 14,1 %. Ввиду значительного распространения лесных угодий Лельчицкий район отличается самой низ-

кой антропогенной трансформацией ландшафтов по сравнению с другими районами Белорусского Полесья [9].

Почвы сельскохозяйственных угодий дерново-подзолистые (22 %), дерново-подзолистые заболоченные (32 %), торфяно-болотные (25 %), аллювиальные (19 %) и др. По гранулометрическому составу среди пахотных угодий в Лельчицком районе преобладают песчаные – 72,2 %. На супесчаные приходится 6,6 %, глинистые и суглинистые – 0,2 % [1]. Доля торфяно-болотных почв среди пахотных угодий в 3 раза больше, чем по области и составляет 21 %. Осушено около 20 тыс. га болот и заболоченных земель (в том числе закрытым дренажем – более 11 тыс. га). Почвы сельскохозяйственных угодий отличаются низким бонитетом и имеют средний балл 29, в том числе пахотных земель – 37 баллов.

Невысокий балл почв обусловлен повышенной кислотностью, низким содержанием подвижного фосфора и калия, недостатком микроэлементов. Следует отметить, что ввиду повышенной доли торфяно-болотных почв в составе пахотных угодий и высоких в прошлом объемов использования торфа в сельском хозяйстве, запасы гумуса в почвах района несколько выше областных показателей.

Наличие кислых пахотных почв по Гомельской области составляет 6,5 %. Наибольшая площадь кислых почв отмечена в Лельчицком районе (15,1 %). Средневзвешенное содержание подвижного фосфора в пахотных почвах области в настоящее время составляет 225 мг/кг. Наиболее существенное снижение содержания подвижного фосфора в пахотных почвах произошло в Ельском (от 204 до 198 мг/кг) и Лельчицком (от 154 до 149 мг/кг) районах. В Гомельской области за последнее десятилетие отмечено уменьшение удельного веса пахотных почв, слабо обеспеченных калием (<140 мг/кг K<sub>2</sub>O). Если в 1998 г. такие почвы занимали 43,4 % пашни, то в настоящее время – 32,8 %. Однако еще достаточно большой удельный вес они занимают в Калинковичском (51,3 %), Лельчицком (52,2 %), Петриковском (61,4 %) и Светлогорском (60,4 %) районах [1].

Содержание микроэлементов (бора, меди, цинка) в пахотных угодьях Лельчицкого района заметно ниже, чем в аналогичных угодьях области. Восполнить дефицит микроэлементов можно за счет применения сапропелевых удобрений и жидких гуминовых микроудобрений на основе торфо-сапропелевого сырья.

Низкие агрохимические показатели почв сельскохозяйственных земель Лельчицкого района не обеспечивают высокую урожайность основных сельскохозяйственных культур. По данным Белстата [13] на протяжении последних семи лет она была заметно ниже, чем в среднем по области: по зерновым и зернобобовым культурам – на 25 %, по картофелю – на 19, по овощам – на 7 %.

Получение устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур на преобладающих в Лельчицком районе дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава, обладающих низким потенциальным плодородием, тесно связано с содержанием в них органических веществ. Поэтому необходимо наращивать объемы использования торфа и сапропеля для поддержания положительной динамики содержания гумуса в почвах.

В связи с интенсификацией сельскохозяйственного производства произошли также изменения в структуре посевных площадей района. Существенно расширены посевы пропашных культур, особенно кукурузы. Одновременно сокращены посевы многолетних трав, главного гумусообразующего и почвозащитного фактора современного земледелия [3]. Если в 1995 г. в среднем на один гектар пропашных культур приходилось 1,8 гектаров многолетних трав, то в настоящее время это соотношение снизилось вдвое – до 0,9 га. Поэтому для достижения бездефицитного баланса гумуса в почвах следует кроме наращивания объемов использования торфа и сапропеля в сельском хозяйстве проводить работу по совершенствованию структуры посевов.

Первые сведения о болотах Лельчицкого района получены в конце XIX в., когда на юге Беларуси работала западная экспедиция под руководством И. И. Жилинского по осушению болот Полесья для повышения продуктивности заболоченных лесных угодий и прокладки лесосплавных каналов [5].

В довоенное время Лельчицкий район находился в приграничной полосе и разведка торфяных ресурсов здесь практически не проводилась. В то время было рекогносцировочно исследовано 4088 га торфяного месторождения Кандель–Яловец–Ольхово с целью оценки возможности осушения его восточной части [14]. Первые систематические сведения о ресурсах торфа в районе получены в 1947–1951 гг. в период работы здесь Ленинградского отделения треста «Росторфразведка», когда маршрутно бы-

ло исследовано 21 торфяное месторождение на общей площади 59,7 тыс. га с установленными запасами почти 107 млн т торфа (рис. 1, табл. 1) [15]. После геологоразведочных работ, проведенных в послевоенное время, началось планомерное освоение торфяных ресурсов Лельчицкого района с целью получения органических удобрений. Первые торфяные участки в районе построены на торфяных месторождениях, расположенных недалеко от райцентра: Манчицы-2, Крупка, Дубровское, Забок, Жмуринский канал, Дисно и др.

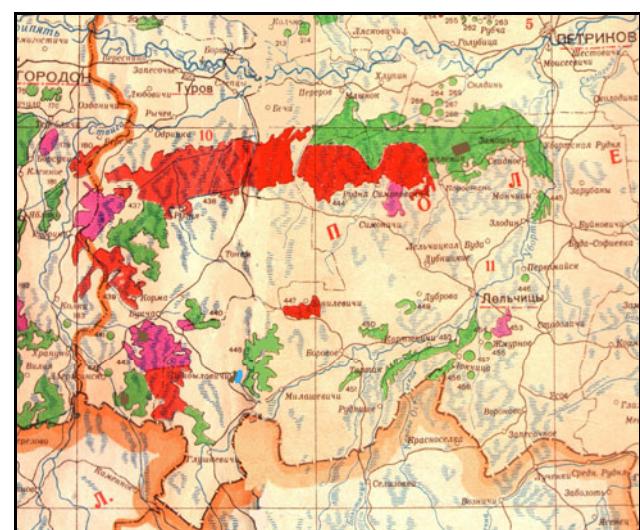


Рис. 1. Карта изученных на начало 1953 года торфяных месторождений Лельчицкого района: зеленым цветом обозначены низинные участки, красным – верховые, фиолетовым – переходные

Одновременно с освоением первых месторождений, начиная с 1960-х годов, в районе проводится большой комплекс работ по разведке запасов торфа на недостаточно изученных торфяных месторождениях, а на перспективных для разработки участках выполняется предварительная и детальная разведка. Итоги этих работы обобщены в двухтомном кадастровом справочнике торфяного фонда Гомельской области [16].

За 25 лет на 33 торфяных месторождениях Лельчицкого района, имеющих суммарную площадь 49,5 тыс. га, что составляет приблизительно 60 % общей площади торфяных месторождений района, на современной методической основе выполнены поисково-оценочные работы и проведена предварительная разведка, а на 20 перспективных по запасам и качественным характеристикам торфа участках проведены детальные геологоразведочные работы (табл. 2). Стоимость выполненных в 1953–1978 гг. геологоразведочных работ на торф в Лельчицком районе в пересчете на современные цены ориентировочно составила более 75 млрд руб.

**Таблица 1. Кадастровые сведения о разведке и добыче торфяных ресурсов Лельчицкого района**

Источник информации	Количество торфяных месторождений	Общая площадь торфа в нулевой границе, га	Первоначальный		Оставшийся запас торфа на конец периода, тыс. т	Период добычи торфа, лет	Выработано, тыс. т
			объем торфа, тыс. м <sup>3</sup>	запас торфа, тыс. т (W 40 %)			
Торфяной кадастр БССР по состоянию на 01.01.1940 г.	1	4 088	69 500	—	—	—	—
Торфяной фонд БССР по состоянию на 01.01.1953 г.	21*	59 699	653 913	106 966	—	—	—
Торфяной фонд Гомельской области по состоянию на 01.01.1978 г.	50	81 329**	1 042 637**	178 488**	172 636	26	5 852 225,0
Схема рационального использования и охраны торфяных ресурсов БССР на период до 2010 г. (кн. 11. Лельчицкий район)	49	79 057	1 060 768	172 636	166 561	10	6 075 607,5

\* В современных границах Лельчицкого района.

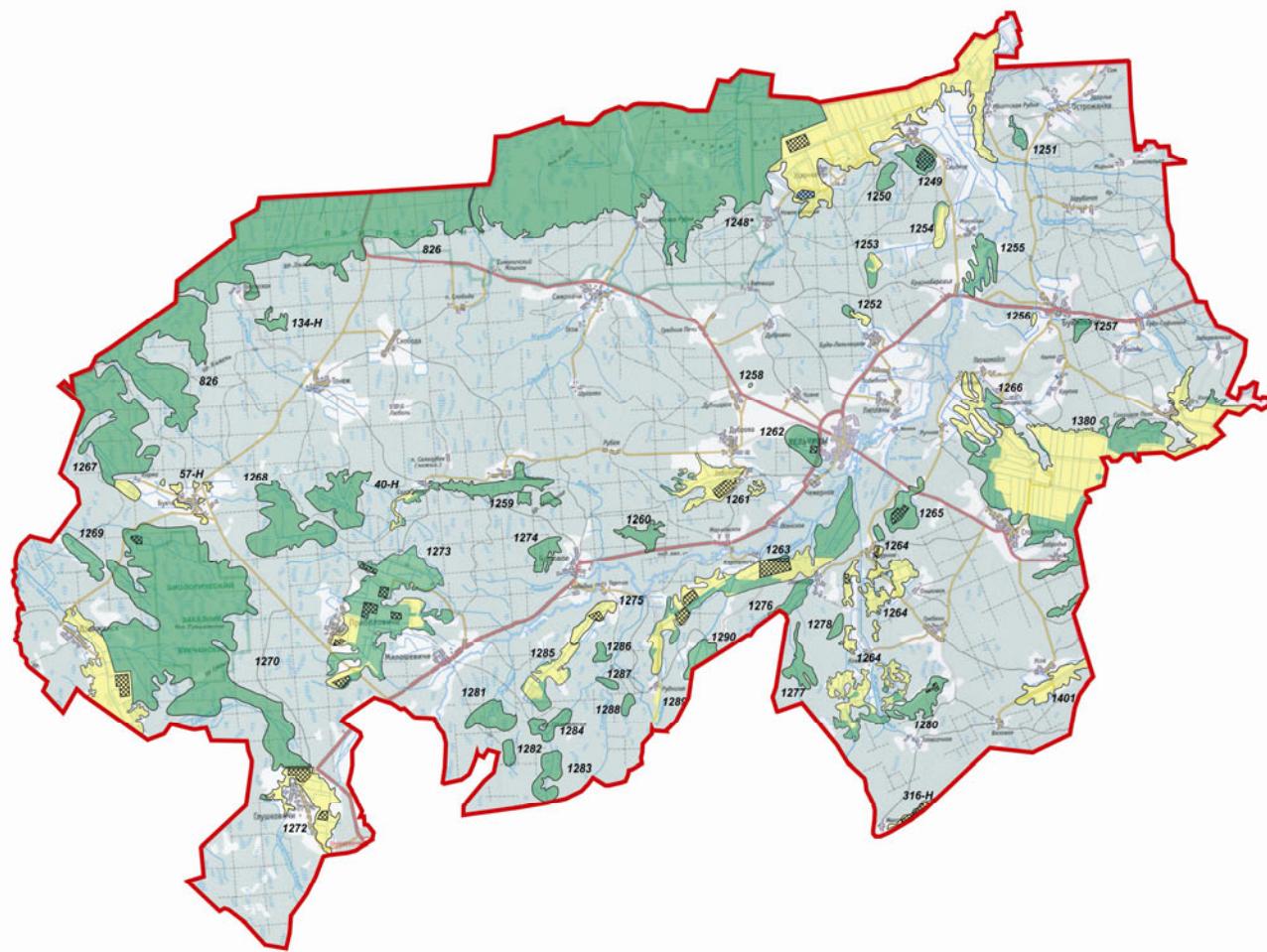
\*\* Учтена площадь и запасы частично расположенных в Лельчицком районе торфяных месторождений Пересечное, Граничное, Межч и Галло.

**Таблица 2. Площадь геологоразведочных работ разной степени детальности изучения торфяных месторождений Лельчицкого района, разведенная в 1953–1978 гг.**

Стадия геологоразведочных работ	Исследованная площадь		Количество изученных объектов	Стоимость, млн руб. (современные цены)	
	га	% от общей на торф		1 га	всей площади
Маршрутная разведка (до 1955 г.)	35 730	40,5	12	—	—
Поисково-оценочные работы (категория оценки С <sub>2</sub> )	5 240	5,9	21	0,25	1 310
Предварительная разведка (категория оценки С <sub>1</sub> )	44 300	50,2	12	1,50	66 450
Детальная разведка (категория оценки А)	2 990	3,4	20	2,50	7 475
Всего	88 260	100,0	65		75 235

Общая площадь 50 разведанных и доизученных к 1978 г. месторождений торфа в Лельчицком районе составила 81,3 тыс. га, а выявленные запасы торфяного сырья – 178,5 млн т (табл. 1). К 1978 г. за 26 лет, прошедших с момента начала разработки торфяных ресурсов, в районе было добыто около 5850 тыс. т торфа, или в среднем 225 тыс. т в год. За последующие 10 лет общая площадь торфяных месторождений в районе снизилась на 2270 га, или на 3 %, за счет выработки торфа, минерализации и эрозии на мелкозалежных частях, осущенных под пашню, и другие сельхозугодья участках. С 1978 по 1988 г. в Лельчицком районе отмечается замет-

ное увеличение объемов добычи торфа для сельского хозяйства. Если до этого в год добывалось в среднем 225 тыс. т торфа, то в период 1978–1988 гг. средняя добыча его превысила 600 тыс. т в год. К началу 1990-х годов в Лельчицком районе суммарно выработано около 12 млн т торфа, а оставшиеся его ресурсы составили 166,5 млн т, что соответствует 20 % общих запасов, имеющихся в Гомельской области. Картасхема размещения торфяных месторождений в пределах Лельчицкого района с разрабатываемыми и временно выбывшими из эксплуатации торфоучастками представлена на рис. 2.



**Рис. 2. Картосхема размещения торфяных месторождений Лельчицкого района с выбывшими из эксплуатации и действующими торфяными участками.**

**Желтым цветом обозначены участки торфяных месторождений, используемые в сельском хозяйстве, зеленым – находящиеся в естественном состоянии, заштрихованы – торфоучастки**

В Лельчицком районе разведано 7 торфяных месторождений, подстилаемых сапропелем [7]. К перспективным для освоения относятся выбывшие из эксплуатации торфоучастки с сапропелем на торфяных месторождениях Свидное и Милошевичи. Только на месторождении Милошевичи имеются три перспективных участка для добычи сапропеля: «Липенец», «Верховина» и «Волосаха». На последнем в 2012 г. выполнены детальные геологоразведочные работы на торф и сапропель. Участок готовится для освоения.

В последние десятилетия объемы геологоразведочных работ на торф и объемы его добычи снизились. В 2008–2013 гг. силами ОАО «Лельчицкий агросервис» детально разведаны 3 участка торфяных месторождений на площади 380 га и озеро Прибыловичи с окружающим его торфяным массивом (87 га). На разведанные участки получены горные отводы, составлены проекты их разработки, начаты подготовительные работы, а сапропелевое месторождение в озере Прибыловичи с примыкающей залежью торфа введено в эксплуатацию в 2010 г.

Лельчицкий район расположен в области крупных низинных болот Полесья, где заторфованность территории составляет около 18 %. В целом в Полесье преобладают площади, занятые низинными торфяными месторождениями – 87 %. На переходные массивы приходится 7 % и на верховые – 6 % [10]. В связи со специфическими геоморфологическими условиями Лельчицкого района, торфяные болота занимают более 25 % его территории. Здесь преобладает низинный тип залежей (54 %), однако значительные площади приходятся на верховой (37 %), а также на смешанный и переходный (4 и 5 % соответственно).

Торфяные месторождения верхового и переходного типа занимают повышенные и водораздельные участки и имеют абсолютные отметки поверхности 145–158 м. Возвышенные участки крупных торфяных месторождений (Кандель–Яловец–Ольхово, Межч, Топиловское и др.) также сложены торфами верхового типа. На более низком уровне размещаются переходные и смешанные залежи, а самые низкие площади в поймах и на первых надпойменных террасах рек Уборть, Свиновод, Плав, Коростинка заняты залежами низинного типа.

В зависимости от типологической принадлежности торф изученного района имеет специфические характеристики общетехнического состава, которые используются в качестве первичных критериев при выборе направлений исполь-

зования торфяного сырья. Самую низкую минимальную и среднюю зольность, а также степень разложения имеет торф месторождений верхового и смешанного типов (табл. 3).

**Таблица 3. Средние качественные характеристики торфа Лельчицкого района, %**

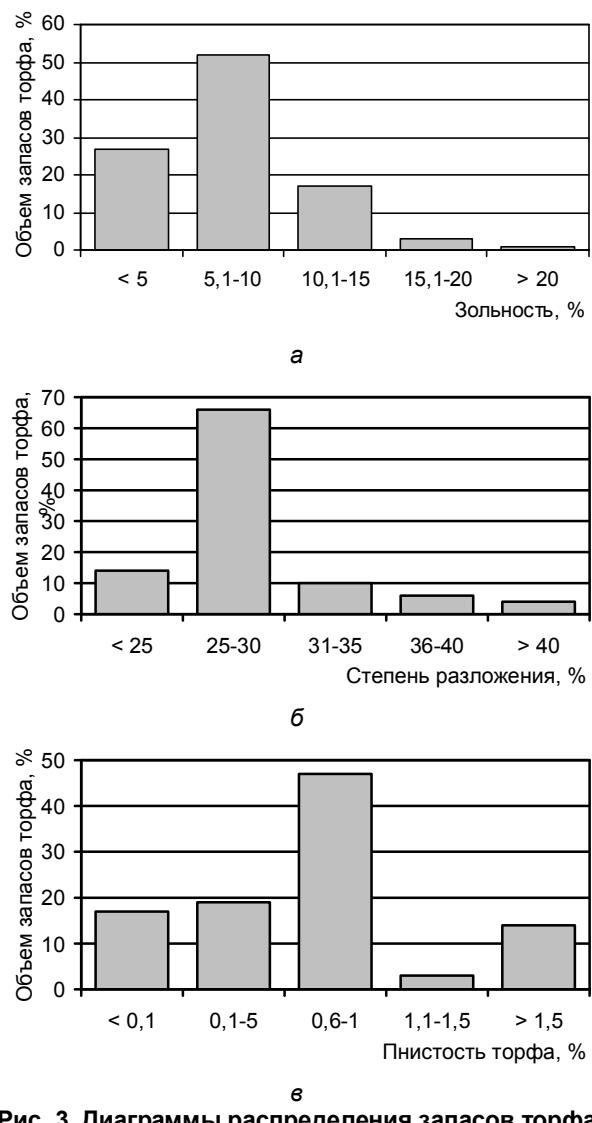
Тип торфяных месторождений	Количество объектов	Зольность	Степень разложения	Пнистость
Низинный	36	4,6–45,5 14,4	20–45 33	б/пн–4,8 0,3
Верховой	8	1,7–11,4 6,2	10–48 27	б/пн–5,5 0,9
Смешанный	1	7,6	32	б/пн
Переходный	4	5,1–13,0 9,4	18–44 33	б/пн–0,8 0,15
Всего	49	1,7–45,5 12,5	10–48 32	б/пн–5,5 0,35

Примечание. Числитель – пределы колебаний, знаменатель – среднее значение.

Для месторождений низинного типа эти показатели значительно выше. В целом низкую зольность торфа (до 5 %) имеет 27 % запасов торфа в основном верхового типа. Больше всего в районе торфа средней (5–15 %) зольности – 69 %, а 4 % запасов относится к торфу повышенной более 15 % зольности (рис. 3, а). Распределение объемов запасов торфа по степени разложения представлено на рис. 3, б. Низкая (< 25 %) степень разложения свойственна 14 % запасов в основном торфа верхового типа. Для 76 % запасов торфа свойственна средняя степень разложения от 25 до 35 %. На торф повышенной степени разложения приходится 10 % запасов. По пнистости торф Лельчицкого района распределяется следующим образом: малая пнистость до 0,5 % характерна для 36 % запасов, повышенная пнистость (0,5–1,5 %) – для 50 % запасов и высокая пнистость (> 1,5 %) – для 14 % (рис. 3, в).

Стратиграфия и вещественный состав торфа на типичных участках крупных торфяных месторождений Кандель–Яловец–Ольхово, Топиловское, Милошевичи и Урочище Берин представлены на рис. 4. Обращает на себя внимание крайне низкая зольность сосново-пушицевого торфа высокой степени разложения на торфяном месторождении Урочище Берин, пушицево-сфагнового торфа на переходном участке месторождения Топиловское и магелланикум-торфа на верховом участке массива Кандель–Яловец–Ольхово. Контактные с подстилающим сапропелем нижние слои низинного торфа на месторождениях Милошевичи и Урочище Берин имеют весьма разнообразный состав и пониженную кислотность.

В Лельчицком районе имеются четыре озера с сапропелем. На самом крупном из них осущенном озере Прибыловичи выполнены поисково-оценочные (1976 г.) и детальные (2008 г.) геологоразведочные работы. В результате детальной разведки определены запасы в объеме 1002,8 тыс. м<sup>3</sup> (576 тыс. т при условной 60 %-ной влажности), которые утверждены в Республиканской комиссии по запасам (РКЗ).



**Рис. 3. Диаграммы распределения запасов торфа Лельчицкого района по интервалам зольности (а), степени разложения (б) и пнистости (в)**

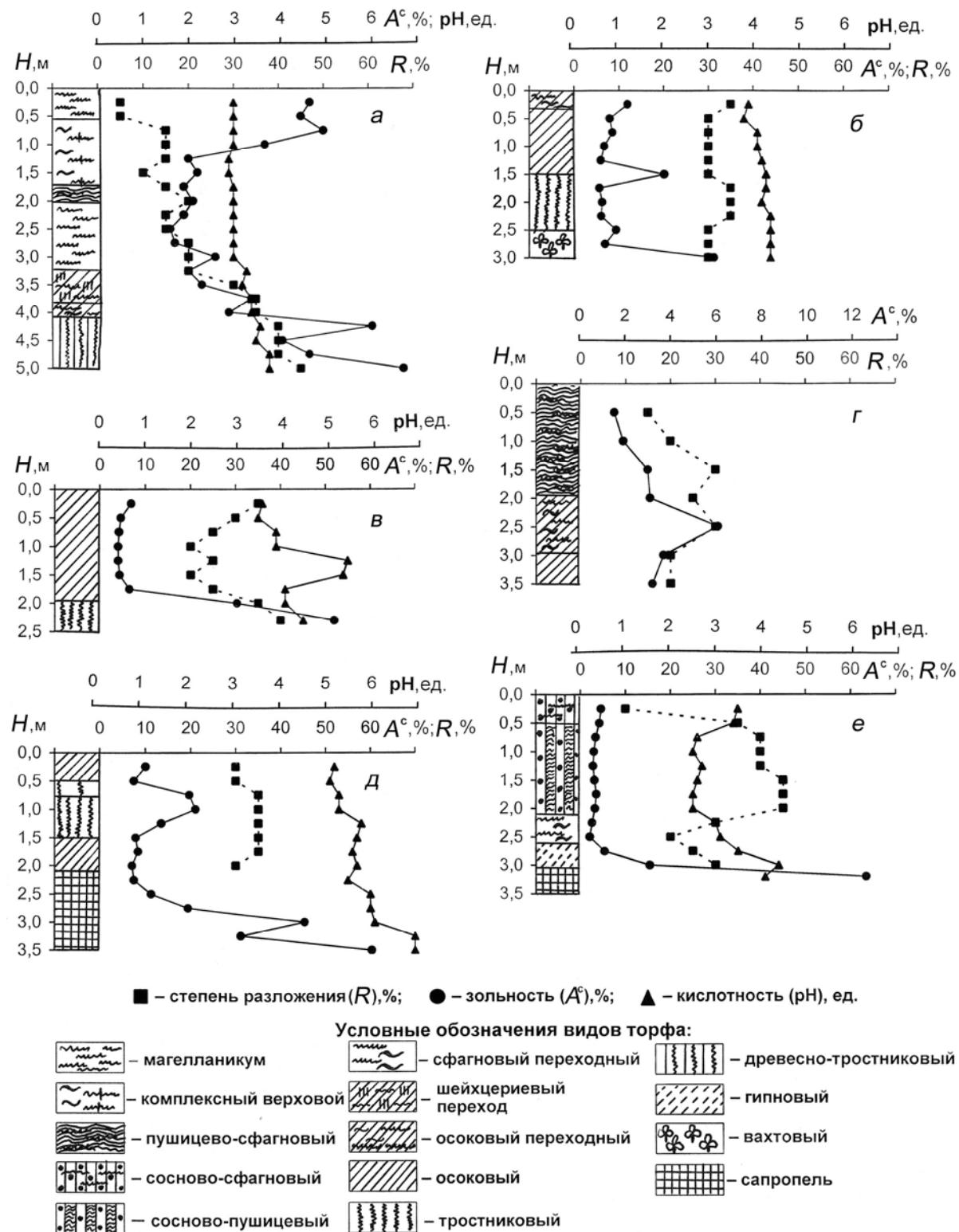


Рис. 4. Строение торфяных залежей типичных месторождений Лельчицкого района:  
 (а, б – соответственно верховой и низинный участки т.м. Кандель – Яловец – Ольхово;  
 в, г – соответственно низинный и переходный участки т.м. Топиловское;  
 д – участок «Прибыловичи» т.м. Милошевичи; е – т.м. верхового типа Урочище Берин

На основании детальных работ ОАО «Лельчицкий агросервис» получил горный отвод, спроектировал объект по добыче и с 2010 г. приступил к разработке месторождения. Отличительной особенностью данного месторождения является наличие трех типов сапропеля. Сверху залегает кремнеземистый сапропель средней зольностью 52,9 % с повышенным содержанием микроэлементов, оксида серы (в среднем 1,6 % SO<sub>3</sub>), железа (11,5 %), азота (1,85 %) и фосфора (0,82 %). Заметное присутствие важных в агрохимическом отношении элементов и низкая влажность (в среднем 79,2 %) делают разведанный сапропель хорошим сырьем для производства сапропелевых удобрений, которые испытаны в производственных опытах и обеспечили прибавки урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от дозы внесения на 14–24 % [6]. Ниже кремнеземистого сапропеля в залежи идет смешанный со средней зольностью 52,1 %. Подстилается залежь карбонатным сапропелем зольностью 57,4 % и содержанием CaO 29,7 %. Последний тип сапропеля хорошо проявил себя при раскислении почв и как добавка в корм сельскохозяйственным животным.

В 2011 г. на юг и запад от озера Прибыловичи разведана примыкающая к нему площадь

торфяной и сапропелевой залежи месторождения Милошевичи с целью расширения сырьевой базы торфа и сапропеля. В результате проведенных работ установлено, что наибольшее распространение в образовании торфяной залежи участка получили тростниково-осоковый (48 %) и осоковый (19 %) низинные торфа, которые подстилаются на севере смешанным, а на юге карбонатным сапропелем. Стратиграфия торфо-сапропелевой залежи на юго-запад от озера Прибыловичи на участке «Волосаха» представлена на рис. 4. Запасы торфа подсчитаны на площади 73,2 га в границе промышленной (0,5 м) мощности торфяной залежи и составляют 245,3 тыс. т при 40 %-ной условной влаге. Запасы сапропеля подсчитаны на площади 43,3 га в границе промышленной (0,5 м) мощности сапропелевой залежи и составляют 312,1 тыс. т при 60 %-ной условной влажности. Дополнительно разведанные запасы торфа и сапропеля также утверждены в РКЗ и являются перспективными для освоения.

Направления использования площадей, занятых торфом в Лельчицком районе на протяжении двух периодов (с 1952 по 1978 г. и с 1979 по 1988 г.) представлены в табл. 4.

**Таблица 4. Направления использования площадей торфяных месторождений Лельчицкого района, га**

Годы оценки	Общая площадь торфяной залежи	Осушено		В естественном состоянии	Выработано	Действующие торфоучастки	Законсервированные торфоучастки	Созданы водоемы
		открытой сетью каналов	дренажем					
1952–1978	81 329 100	18 186 22,3	2935 3,6	59 343 73,0	457 0,6	313 0,4	95 0,1	–
1978–1988	79 057 100	9408 11,9	11 202 14,1	56 623 71,6	1178 1,5	280 0,4	139 0,2	227 0,3

Примечание. Числитель – площадь в га, знаменатель – процент от общей площади.

По сравнению с условным первым периодом освоения торфяных месторождений, продолжавшимся до 1978 г., в последующее десятилетие в районе произошло снижение общей площади, занятой торфом в связи с интенсификацией его добычи, сельскохозяйственного использования осущенных территорий, усилением в связи с этим его минерализации и эрозии. Более 40 % площади болот, ранее осущенных открытой сетью каналов, переведено в категорию осущенных дренажем. В связи с разработкой торфяных месторождений на 4,5 % уменьшилась площадь болот, находящихся в естественном состоянии, на месте выработанных от торфа участков общей площадью 227 га созданы четыре искусственных водоема.

В настоящее время площади торфяных болот, осущенные открытой сетью каналов, практически не изменились по сравнению с началом

1990-х годов. Начиная с 2001 г. проводится реконструкция старых мелиоративных систем в рамках областной программы сохранения и использования мелиорированных земель (КСУП «Приболовичи», КСУП «Ударный» и др.). Заторфованные территории, осущенные закрытым дренажем, ввиду неэффективного использования и отсутствия поддерживающего ухода в настоящее время преимущественно закустарены, поросли мелколесью и превратились в выбывшие из эксплуатации сельскохозяйственные угодья с нарушенным воздушно-водным режимом торфяно-болотных почв. По экспертным оценкам площадь таких территорий составляет не менее половины участков, осущенных ранее закрытым дренажем [4].

Всего в Лельчицком районе площадь выбывших из эксплуатации сельскохозяйственных угодий на месте осущенных закрытым дренажем

торфяных залежей составляет около 5,5 тыс. га. Самым крупным объектом такого рода является мелиоративная система Замошье на юго-востоке торфяного месторождения Кандель–Яловец–Ольхово, площадь которого с примыкающими минеральными почвами составляет более 5300 га. Из-за конструктивного несовершенства данная мелиоративная система эксплуатировалась в неуправляемом режиме и как выход из сложившейся ситуации была выведена из сельскохозяйственного оборота. Приблизительно 5,7 тыс. га осущененных дренажем территорий в Лельчицком районе все еще относится к категории функционирующих угодий, которые используются в основном под сенокосы и пастбища, реже – под пашню.

Площадь действующих и законсервированных участков по добыче торфа и сапропеля в настоящее время сократилась втрое по сравнению с 1988 г., а территории торфяных болот в естественном состоянии, выработанные от торфа участки и занятые под водоемы остались практически без изменения. Выполняемая в настоящее время работа по переоценке запасов торфяного фонда и направлений использования торфа в каждом административном районе для разработки обновленного варианта «Схемы рационального использования торфяных месторождений и охраны торфяных болот Республики Беларусь на период до 2030 года» позволила выявить наиболее полную картину современного использования площадей торфяных месторождений Лельчицкого района и предложить распределение запасов торфа по целевым фондам с учетом современного состояния торфяных болот.

При оценке изменений, произошедших в структуре целевых фондов за последние 25 лет, и выборе перспективных объектов для разработки учитывалось, что антропогенное воздействие на торфяное месторождение при осушении для добычи торфа или использования его в сельском хозяйстве нарушает сложившуюся стабильность торфяно-болотных комплексов – изменяется водно-воздушный режим залежи тор-

фа, начинаются деструктивные превращения органического вещества в осущеной части, что сопровождается потерями торфа. По данным Н. Н. Бамбалова и А. С. Мееровского, потери органического вещества торфа на мелиорированных торфяных почвах достигают 3–7 т/га и выше [2, 8]. В пересчете на торф условной влажности годовые потери составляют 8–12 т/га. В связи с тем, что установить виды севооборотов за период эксплуатации торфяных почв месторождений, используемых в сельском хозяйстве (месторождения земельного фонда), достаточно сложно, для уточнения оставшихся запасов торфа принимали средние ежегодные потери из-за минерализации органического вещества и эрозии, равные 9,6 т/га при 40 %-ной условной влажности. Запасы торфа на месторождениях, находящихся в естественном состоянии, уточнялись в сторону увеличения пересчетом выявленных на период разведки геологических запасов с учетом вида торфа, его влажности, плотности и естественного прироста в современных условиях на разных по генезису торфяных залежах [11, 12].

С учетом сказанного выше, современное распределение запасов торфа Лельчицкого района по целевым фондам в сравнении с распределением 1988 г., когда действовала «Схема рационального использования и охраны торфяных ресурсов на период до 2010 года» представлено в табл. 5.

В последние годы по экономическим причинам заготовка торфа для сельского хозяйства снизилась до 40–60 тыс. т в год. Общие потери торфа за последнюю четверть века с учетом его добычи, минерализации, эрозии на осущеных торфяных месторождениях, а также прироста на торфяных болотах в естественном состоянии снизились по сравнению с предыдущим двадцатилетием и составили 2416 тыс. т, или в среднем 97 тыс. т в год. Это снижение произошло в основном по причине сокращения добычи торфа и уменьшения площади земельного фонда на торфяных болотах.

**Таблица 5. Распределение запасов торфа Лельчицкого района по целевым фондам, тыс. т / %**

Целевой фонд	Распределение 1988 г.	Предлагаемое распределение
Природоохранный	69 004 41	87 088 53
Земельный	37 544 23	34 557 21
Разрабатываемый	1614 1	6401 4
Неиспользуемый	58 354 35	36 054 22
Всего	166 516 100	164 100 100

С другой стороны, при расширении площади Национального парка «Припятский» на 12 % увеличились запасы торфа, размещенные на особо охраняемых природных территориях. Переоценка неиспользуемого торфяного фонда позволила увеличить разрабатываемый фонд в 4 раза (с 1,6 до 6,4 млн т), путем перевода в этот фонд дополнительно запасы 6 торфяных месторождений, ранее считавшихся неперспективными для разработки по причине большой пнистости или невозможности эффективного осушения. Кроме того, значительная часть неиспользуемого торфяного фонда попала в категорию природоохранного.

В настоящее время ОАО «Лельчицкий агросервис» производит разработку сапропеля на озере Прибыловичи и торфа на приозерной территории данного объекта. Из добытого сырья производятся сапропелевые удобрения органокремнеземистого и органического вида, а также кормовой сапропель и торфо-сапропелевые грунты. Для последнего вида продукции используется сапропель и низинный торф месторождения Милошевичи, залегающий совместно с сапропелем у разрабатываемого озера. Кроме этого, добывается торф для сельского хозяйства на участке «На варте» торфяного месторождения Топиловское и ведутся подготовительные работы по освоению северо-западного участка данного месторождения, который отличается низкой зольностью торфа и перспективен для производства торфяного топлива. На севере района осваивается для производства компостов торф низинного участка «Ударное» (200 га) торфяного месторождения Кандель–Яловец–Ольхово, ранее находившийся в сельскохозяйственном использовании.

Добытый торф и сапропель, после соответствующей подготовки, используются для удобрения местных сельскохозяйственных угодий, а также экспортится в Украину, Польшу, Азербайджан. В ОАО «Лельчицкий агросервис» совместно с Институтом природопользования НАН Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по животноводству выполнены необходимые экспериментальные работы и планируется организация современных производств по трем инвестиционным проектам: выпуск биологически активных кормовых добавок на основе сапропеля (2013 г.), жидких гуматов калия из торфо-сапропелевого сырья для предпосевной подготовки семян и внекорневой обработки посевов (2014 г.) и комплексных гранулированных органоминеральных удобрений (2014 г.). Начаты испытания по применению гумата натрия в качестве ростстимулирующей добавки в корма сельскохозяйственным животным.

Наличие в торфяном фонде района значительного количества торфяных месторождений

верхового типа создает хорошие условия для организации здесь в перспективе производств по комплексной глубокой переработке торфа. В разрабатываемый фонд при перераспределении торфяных ресурсов включены такие крупные месторождения, как Кандель–Яловец–Ольхово (200 га), Забок (150 га), Щащиц (300 га), Топиловское (133 га), Урочище Берин (80 га). Данные месторождения являются перспективной сырьевой базой для производства сельскохозяйственных субстратов и удобрений, теплоизоляционных и упаковочных материалов, гуминовых биологически активных препаратов, активных углей из отдельных малозольных слоев верхового торфа. Кроме того, в разрабатываемый фонд включен ряд ценных месторождений низинного типа: Милошевичи (500 га), Галло (160 га), Синьковское (210 га), Дубровское (110 га), низинный участок массива Топиловское (60 га), месторождение переходного типа Нересня (285 га), которые могут обеспечить сырьем топливное направление и в особенности коммунально-бытовой сектор, а также в перспективе организацию производства красителя для древесины, кожи, текстиля, преобразователя ржавчины, жидких гуматсодержащих микроудобрений, консервантов кормов.

Таким образом, оценка ресурсного потенциала торфа Лельчицкий район показала высокую заторфованность территории, которая составляет 25 %, что заметно выше, чем в среднем по Полесью (18 %). В связи с этим доля геологических запасов торфа в районе составляет приблизительно шестую часть запасов торфа Гомельской области. Торфяной фонд отличается повышенным участием торфа верхового типа, который распространен на 37 % площади торфяных месторождений, в то время как в целом в Полесье его доля составляет 6 %.

Анализ современного состояния торфяных месторождений, ресурсов торфа и сапропеля на территории Лельчицкого района позволил определить 17 перспективных для добычи объектов с геологическими запасами торфа более 6,4 млн т, что в несколько раз больше, чем по «Схеме рационального использования и охраны торфяных ресурсов до 2010 года». Наиболее активно разработка торфа происходила в 1970–80-е годы, когда ежегодно в среднем добывалось около 600 тыс. т торфа для сельского хозяйства. В настоящее время добыча торфа осуществляется на трех месторождениях в объеме 40–60 тыс. т в год с перспективой увеличения добычи до 80–120 тыс. т. Для наращивания объемов заготовки торфа и сапропеля подготавливаются к разработке новые участки.

Значительным резервом для повышения плодородия пашни на бедных спусченных почвах района является сапропель. Освоенное в 2010 г. сапропелевое месторождение в озере Прибыло-

вичи характеризуется разнообразными запасами, пригодными для производства кормовой добавки, раскислителя почв, сапропелевых удобрений органокремнеземистого и органоизвесткового видов. В связи с тем, что шестая часть пашни района имеет высокую кислотность и по этому показателю лидирует в Гомельской области, внесение сапропелевых удобрений органоизвесткового вида позволяет снизить кислотность почв пахотных угодий и экономить бюджетные средства путем замены привозной доломитовой муки на местные известковые удобрения. Использование органокремнеземистого сапропеля с повышенным содержанием микроэлементов, азота и особенно фосфора дает возможность оптимизировать режим почв по этим эле-

ментам, что в конечном итоге ведет к улучшению агрохимических показателей и увеличению урожайности.

Разнообразие сырьевой базы торфа и сапропеля позволяет организовать выпуск на их основе инновационной продукции, востребованной как у нас в стране, так и за рубежом. В ближайшее время на базе ОАО «Лельчицкий агроСервис» по инвестиционным проектам планируется наладить производство кормовой добавки на основе сапропеля (10 тыс. т в год), жидкого препарата гумата калия для стимулирования урожайности сельскохозяйственных культур (3 тыс. т в год), комплексных гранулированных удобрений на основе торфа и сапропеля (3–5 тыс. т в год).

## Литература

1. Агрохимическая и радиологическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Гомельской области : Сб. материалов к 45-летию КУП «Гомельская ОПИСХ». Гомель, 2009.
2. Бамбалов, Н. Н. Баланс органического вещества торфяных почв и методы их изучения / Н. Н. Бамбалов. Минск, 1985.
3. Богдевич, И. М. Агрохимические показатели плодородия почв и мероприятия по их улучшению / И. М. Богдевич // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. 2005. № 4. С. 48–59.
4. Гидрogeологическая экспертиза широкомасштабных осушительных мелиораций Белорусского Полесья / А. В. Кудельский [и др.]. Минск, 1993.
5. Жилинский, И. И. Очерк работ Западной экспедиции по осушению болот (1873–1898) / И. И. Жилинский. СПб., 1899.
6. Красноберская, О. Г. Изменение агрохимических свойств легких почв и урожайности сельскохозяйственных культур при внесении сапропеля озера Прибыловичи / О. Г. Красноберская, Г. А. Соколов, В. Н. Назаров // Природопользование. Минск, 2011. Вып. 20. С. 139–142.
7. Курзо, Б. В. Анализ ресурсов сапропелей под торфом Полесья и выделение перспективных для разработки залежей / Б. В. Курзо, Л. П. Пекач // ГЕО-материалы, механика, технология, экология : сб. науч. ст. РУП «БелНИИтопроект»; под ред. Б. Ф. Зюзина. Минск, 2001. Вып.1. Вып.1. С. 1–14. Деп. в БелИСА 06.08.2001. № Д 200154 // Реферат. сб. непублик. работ. 2001. № 3 (22). С. 85.
8. Лихацевич, А. П. Состояние и перспективы сельскохозяйственного использования торфяных почв / А. П. Лихацевич, А. С. Мееровский // Природные ресурсы. 1997. № 2. С. 31–39.
9. Мартинкевич, Г. И. Комплексная оценка и районирование антропогенно трансформированных ландшафтов Белорусского Полесья / Г. И. Мартинкевич, И. И. Счастная // Природопользование: экология, экономика, технологии : матер. Междунар. научн. конф., Минск, 6–8 окт. 2010 г. / НАН Беларуси [и др.]; редкол. : В. С. Хомич (отв. ред.) [и др.]. Минск, 2010. С. 194–198.
10. Пидопличко, А. П. Торфяные месторождения Белоруссии / А. П. Пидопличко. Минск, 1961.
11. Ракович, В. А. Аккумуляция углерода естественными болотами Беларуси по периодам голоцена / В. А. Ракович // Природопользование. Минск, 2010. Вып. 17. С. 78–84.
12. Ракович, В. А. Аккумуляция углерода естественными болотными экосистемами в зависимости от произрастающей на них растительности / В. А. Ракович // Природопользование. Минск, 2011. Вып. 19. С. 82–90.
13. Регионы Беларуси в цифрах: годовые данные: Лельчицкий район // Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. 2013. Режим доступа : [http://www.belstat.gov.by/home/ru-indicators/redions\\_annual\\_data/Gomel](http://www.belstat.gov.by/home/ru-indicators/redions_annual_data/Gomel). Дата доступа : 21.02.2013.
14. Торфяной кадастр БССР (восточные области). Минск, 1940.
15. Торфяной фонд Белорусской ССР (по состоянию разведанности на 1 января 1953 года). М., 1953.
16. Торфяной фонд Белорусской ССР (кадастровый справочник по состоянию разведанности на 1 января 1978 г.: Гомельская область). Минск, 1979.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 15.03.2013 г.

**Б. В. Курзо, О. М. Гайдукевич, Л. С. Лис,  
Г. В. Переход, И. С. Барановский, Ю. Ю. Навоша**

### **РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ТОРФЯНЫХ И САПРОПЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЛЕЛЬЧИЦКОГО РАЙОНА И ПРОБЛЕМЫ ЕГО ОСВОЕНИЯ**

Данные агрохимической характеристики пахотных почв и урожайности основных сельскохозяйственных культур Лельчицкого района свидетельствуют о низком уровне их плодородия. Одним из действенных способов улучшения качественного состава почв является наращивание объемов использования органических удобрений, в том числе торфа и сапропеля.

Лельчицкий район занимает первое место в Гомельской области по геологическим запасам торфа – 164,1 млн т (оценка 2012 г.). Представлен исторический аспект изучения ресурсов и освоения месторождений торфа и сапропеля. Всего на территории района для целей сельского хозяйства добыто более 12 млн т торфа. В последнее время введено в строй действующее месторождение сапропеля в озере Прибыловичи, из сырья которого производится кормовая добавка, сапропелевые удобрения, торфо-сапропелевые грунты для собственного производства и на экспорт.

Для изыскания новых сырьевых баз торфа выполнена переоценка его запасов и перераспределение по целевым фондам. Это позволило увеличить разрабатываемый фонд в 4 раза с 1,6 до 6,4 млн т по сравнению с распределением 1988 года за счет перевода в этот фонд запасов торфа на месторождениях неиспользуемого фонда, ранее считавшихся неперспективными для разработки. Часть неиспользуемого торфяного фонда попала в категорию природоохранного при расширении площади Национального парка «Припятский».

Разнообразие сырьевой базы торфа и сапропеля Лельчицкого района позволяет организовать выпуск на их основе целого ряда продукции, востребованной как у нас в стране, так и за рубежом, в том числе новой, которая представлена гуминовыми биологически активными препаратами для растениеводства и животноводства, комплексными гранулированными органоминеральными удобрениями и др.

**B. V. Kurzo, O. M. Gaidukevich, L. S. Lis,  
G. V. Perekhod, I. S. Baranovski, Y. Y. Navosha**

### **RESOURCE POTENTIAL OF PEAT AND SAPROPEL DEPOSITS OF LELCHITSY REGION AND ITS DEVELOPMENT PROBLEMS**

*Data of agro-chemical characteristics of arable soils and yield of major crops of Lelchitsy region indicate a low level of fertility. One of the most effective ways to improve quality of soil is to increase the use of organic fertilizers, including peat and sapropel.*

*Lelchitsy region ranks first in the Gomel district regarding geological peat reserves – 164,1 million tons (2012 estimation). A historical aspect of learning the resources and the development of deposits of peat and sapropel is presented. Total amount of extracted peat in the district for agricultural purpose is over 12 million tons. Recently the acting deposit of sapropel at the lake Pribylovichi has been put into operation, the raw materials of which is used to produce fodder additive, sapropel fertilizers, peat-sapropel grounds for personal manufacture and export .*

*To prospect new raw-material bases of peat the revaluation of its stocks and redistribution by trust funds is executed. It has allowed a 4 fold increase of the developed fund – from 1,6 to 6,4 million t in comparison to distribution of 1988 due to transfer into this fund stocks of peat at deposits of not used one, earlier considered as unpromising for development. The part of not used peat fund has got to a category of nature protective due to expansion of the area of National park «Pripjatsky».*

*A variety of raw-material base of peat and sapropel of Lelchitsky region allows to organize release of a variety of production on their basis demanded both in the country and abroad, including new one, which is presented by humic biologically active preparations for plant growing and animal industries, complex granulated organic mineral fertilizers, etc.*

УДК 622.331:878

Л. С. Лис, В. Б. Кунцевич, Т. Я. Кашинская, С. Т. Мультан, Л. П. Калилец,  
Н. В. Шевченко, Т. И. Макаренко, Н. А. Кот, А. В. Осипов

## АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ТОРФЯНЫХ РЕСУРСОВ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИХ ОСВОЕНИЯ

С учетом новых задач в освоении торфяных ресурсов Витебской области предложено их перераспределение по целевым фондам, определяющее рациональные направления освоения. Обоснованы критерии и правила выполнения этой работы, показаны результаты по предложенным составам целевых фондов всех административных районов области.

Территория Витебской области находится в пределах двух торфяных областей: области верховых торфяных месторождений холмисто-озерного ландшафта и области небольших верховых и низинных месторождений в условиях широкого распространения лессовых пород [5]. Различные геоморфологические условия этих регионов обусловили своеобразие их торфяного фонда.

Первая торфяная область, куда входит почти 2/3 территории административной области, характеризуется наличием гряд и возвышеностей, сложенных конечно-моренными образованиями, и рядом понижений-впадин и пологовсхолмленных равнин [1]. Здесь имеется большое количество озер, многие из которых заторфованы, в некоторых накопились мощные толщи сапропеля.

Заторфованность этого региона составляет 10,6 %, распределена она неравномерно: размах показателя составляет 8–15 %. Преобладающий тип торфяных месторождений – верховой (52,0 % по площади), низинные занимают 37,6 %. Важной особенностью запасов верхового торфа этого региона является преобладание высокоразложившегося (более 25 %) около 80 % запасов) и низкозольного (менее 15 %) – 98,0 %, при этом выделяются торфяные месторождения крупные по площади. Это особенно характерно для всей западной половины Витебской области.

В геоморфологическом плане в рассматриваемом регионе преобладают в основном два вида торфяных месторождений: бессточных котловин и неглубоких междуречных впадин ложбинного характера, подстилаемые озерными глинами, что важно с позиций определения направлений их использования.

Для первого вида месторождений характерно наличие у основания залежи довольно мощного слоя озерных отложений, причем эти месторождения расположены преимущественно на севере области. Слой озерных отложений, как правило, покрыт значительной толщиной (до 1,5 м) пушищево-сфагнового торфа высокой степени разложения (30–35 %), на котором располагается еще более мощный слой магелланитум-торфа или фускум-торфа (до 2–3 м) низкой степени

разложения (5–20 %). Большинство бессточных котловин, а ранее они существовали как озера, в настоящее время почти полностью заполнены торфом и сапропелем. Второй вид торфяных месторождений – неглубокие междуречные впадины – приурочены к западной части Витебской области и состоят преимущественно из верхового торфа. Днища этих месторождений, как правило, выстланы сосново-пушищевым или сосново-сфагновым торфом высокой степени разложения (35–55 %) небольшой мощности (до 0,5 м). Сверху располагается сосново-пушищевый или пушищево-сфагновый торф низкой степени разложения, встречаются также мощные участки комплексного верхового торфа, как низкой степени разложения, так и высокой (30 % и более). Такая разнообразная стратиграфия обеспечивает возможность подбора необходимого сырья для различных вариантов комплексного освоения торфяных ресурсов этого региона. Для описанной торфяной области характерны такие крупные месторождения, как Ельня, Долбенишки, Скураты, Стречно, Оболь II, Дубатовка и др.

Вторая торфяная область, приуроченная к юго-восточной части административной области, характеризуется наличием небольших верховых и низинных торфяных месторождений в условиях широкого распространения лессовидных пород. Ее заторфованность – около 8 %, причем в ряде административных районов она совсем невысокая. Отличительной особенностью этого региона (Толочинский, Оршанский, Дубровенский районы) является преобладание низинных торфяных месторождений – 60,8 %, верховые составляют только 32,0 %, причем имеющиеся запасы торфа сосредоточены в основном на месторождениях с небольшой площадью. Кроме того, эта область характеризуется повышенным процентом высокозольного торфа. В целом регион характеризуется наличием большого количества озер, а имеющиеся здесь торфяные месторождения подстилаются порой значительными толщами сапропеля.

В геоморфологическом плане здесь встречаются торфяные месторождения бессточных котловин, надпойменных террас и неглубоких междуречных понижений, которые существенно различаются по стратиграфии торфяной залежи.

Первый вид торфяных месторождений подстилается сапропелем или слоем тростниково-осокового торфа. Выше формировались древесно-тростниковые, сосново-пушицевые или пушицово-сфагновые виды торфа, как правило высокой степени разложения. Эти торфяные месторождения имеют выпуклую форму, превышение центра над окраинами составляет до 5 м.

Хорошо развитая гидрологическая сеть рассматриваемого региона создала возможность развития торфяных месторождений надпойменных террас, особенно в районах возвышенного рельефа. Строение таких залежей достаточно просто: подстилающим, как правило, выступает осоково-гипновый торф небольшой мощности. Выше идет древесно-тростниковый при степени разложения 45–60 %, который может быть покрыт осоковым или осоково-гипновым торфом степенью разложения 25–30 %. Наличие большого количества торфяных месторождений низинного типа в этом регионе обеспечивает освоение торфяных ресурсов в топливном и сельскохозяйственном направлениях. Кроме того, рассмотренные стратиграфические особенности месторождений этой торфянной области свидетельствуют о наличии большого разнообразия видов торфа, что представляется важным при решении вопросов комплексного использования торфяных ресурсов, которое незначительными темпами начинает развиваться в настоящее время.

Помимо описанных двух торфяных областей необходимо выделить отдельно Островецко-Лепельский торфяной район, расположенный в южной части административной области и характеризующийся высокой заторфованностью: средняя – 15 %, отдельные районы – 20–25 % [5]. Здесь преобладающим типом залежей являются низинные (73 %), верховые составляют только 20 %. Половина запасов торфа относится к малоразложившимся категориям. Часть торфяных месторождений низинного типа этого района имеют площадь в промышленных границах более 1000 га – это торфяные месторождения Габы, Сервечь, Березовик, Чистец, Чисть и др.

Представим обобщенную характеристику торфяного фонда Витебской области. Всего в области имеется 3477 торфяных месторождений с общими запасами 966 073 тыс. т на период 2010 г. (см. таблицу). Изученность торфяного фонда характеризуется следующими данными: всего детальной разведкой охвачено более 40 % ресурсов, причем в наибольшей степени это касается торфяных месторождений Докшицкого, Шумилинского, Витебского, Толочинского и Сенненского районов. Приблизительно на таком же уровне изучены ресурсы области поисковой разведкой (категория C<sub>2</sub>), в связи с этим ресурсы разведенности категории C<sub>1</sub> в областном фонде наименьшие. Область располагает значитель-

ными запасами верхового торфа как низкой, так и высокой степени разложения, причем такие запасы имеются почти во всех административных районах. Запасы этих категорий верхового торфа приблизительно одинаковы – 31,2 и 39,1 млн т соответственно [3].

Особенностью существующего распределения запасов торфа по целевым фондам по сравнению с другими областями является включение в земельный фонд незначительного количества торфяных месторождений: 15 % по площади и 11 % по запасам. Отличается область также высокой долей природоохранного фонда – 22 % по площади и 39 % по запасам. Здесь имеется большой ресурс торфа в неиспользуемом фонде: 55 и 41 % соответственно. Разрабатываемый фонд установлен на уровне остальных областей около 5 % по запасам.

В настоящее время в области работает шесть торфопредприятий с общим объемом добычи около 300 тыс. т в год. В 2015 г. планируется увеличение добычи торфа до 600 тыс. т, а в 2020 г. – 700 тыс. т.

Распределение запасов торфа по площадям торфяных месторождений области не слишком контрастное: на месторождениях площадью 100–500 га – 24,1 %, с площадью – 1000–5000 га – 39,1 %. Отмечается значительная доля запасов торфа на больших месторождениях (более 5000 га) – 16,9 % (см. рисунок, а).

Достаточно равномерно распределение торфяного фонда по величине запасов, выделяются интервалы 1000–5000 тыс. т – 20,2 %, и более 20 000 тыс. т – 20,8 % (см. рисунок, б). Отмечается значительная доля запасов торфа на глубокозалежных торфяных месторождениях: глубиной торфа 2–3 м – 37,6 %, а глубиной торфа 3–4 м – 41,4 % (см. рисунок, в).

По обобщенным качественным показателям максимальные запасы торфа приходятся на интервал степени разложения 21–25 %, таких 34,2 %. Значительны также запасы в пределах степени разложения 26–30 % и 31–35 % – 44,8 % (суммарно), мала доля запасов с низким значением этого показателя (менее 15 %) – около 0,04 % (см. рисунок, г). Распределение запасов по степени разложения близко к логнормальному.

Отличительной особенностью и позитивным моментом торфяных запасов области является наличие низкозольных категорий: запасы торфа с зольностью до 3 % составляют 8,7 %, а с зольностью от 3 до 5 % – 29,5 % (см. рисунок, д).

Современное состояние и использование торфяных месторождений Витебской области характеризуются следующими данными. Из 2304 торфяных месторождений, которые анализировали по всем административным районам, осушено 11,5 % их площади (7,8 % – открытой сетью каналов).

## Перераспределение запасов торфа по целевым фондам Витебской области, тыс. т

Район	всего	Перераспределение запасов торфа по целевым фондам*							
		существующее				предлагаемое			
		природоох- ранный	разрабаты- ваемый	земельный	неисполь- зуемый**	природоох- ранный	разрабаты- ваемый	земельный	неисполь- зуемый**
Бешенковичский	18 191	2170	654	1210	14 157	342	1233	4674	11 942
Браславский	44 545	4000	3026	2090	35 429	39 721	611	2636	1577
Верхнедвинский	35 025	17 438	3811	606	13 170	17 385	3183	2063	12 394
Витебский	33 757	9822	2052	1335	20 548	13 060	1321	2090	17 286
Глубокский	21 623	1055	930	2942	16 696	1055	2163	3605	14 800
Городокский	76 001	10 941	1473	4242	59 345	13 610	11 083	5082	46 226
Докшицкий	148 410	64 362	9723	44 123	30 202	93 297	2353	22 287	30 473
Дубровенский	5309	—	1670	2338	1301	443	1006	2749	1111
Лепельский	86 551	60 669	291	2989	22 602	62 440	1145	5964	17 002
Лиозненский	6973	173	147	125	6528	1780	638	2525	2030
Мирский	145 141	130 911	1207	1486	11 537	131 728	3223	1576	8614
Оршанский	4562	226	195	2187	1954	—	—	1996	2566
Полоцкий	86 637	12 744	692	8091	65 110	14 671	2535	7731	61 700
Поставский	14 821	493	100	3932	10 296	7333	418	3118	3952
Россонский	46 437	28 187	808	69	17 373	28 984	814	1073	15 566
Сенненский	31 409	4249	1357	8716	17 087	5846	1075	9160	15 328
Толочинский	20 615	—	1470	7119	12 026	8	3218	3978	13 411
Ушачский	27 878	—	242	6546	21 090	1945	5249	3826	16 858
Чашникский	23 570	458	1649	3999	17 464	1128	1704	7470	13268
Шарковщинский	34 051	615	820	199	32 417	28 299	92	1246	4414
Шумилинский	54 567	30 045	3603	3145	17 774	30 096	1792	1853	20 826
<i>Итого:</i>	966 073	378 558	35 920	107 489	444 106	493 171	44 856	96 702	331 344

\* Запасы торфа приведены в границах промышленной глубины залежи (0,5–0,7 м);

\*\* Запасной фонд включен условно в состав неиспользуемого.

Максимум осущенных площадей относится к районам, в которых расположены действующие предприятия (Докшицкий, Шумилинский, Чашникский, Толочинский районы), а также к тем, в которых значительная доля месторождений находится в сельскохозяйственном использовании (Сенненский, Ушачский районы).

Важный показатель торфяного фонда – площадь месторождений, сохранившихся в естественном состоянии, среди них имеются таковые как по всей площади, так и на отдельных участках. Более 20 тыс. га таких месторождений имеется в Городокском, Докшицком, Лепельском, Миорском, Полоцком и Шумилинском районах.

С этой категорией земель связан показатель площадей торфяных месторождений, находящихся в составе особо охраняемых природных территорий. Крупные объекты охраняемых территорий – Национальный парк «Браславские озера», Березинский биосферный заповедник, Национальный парк «Нарочанский» – включают в свой состав торфяные месторождения Браславского (10 670 га), Докшицкого (12 820 га), Лепельского (16 760 га) районов. Значительные площади торфяных залежей Миорского и Шумилинского районов входят в состав гидрологических заказников республиканского значения.

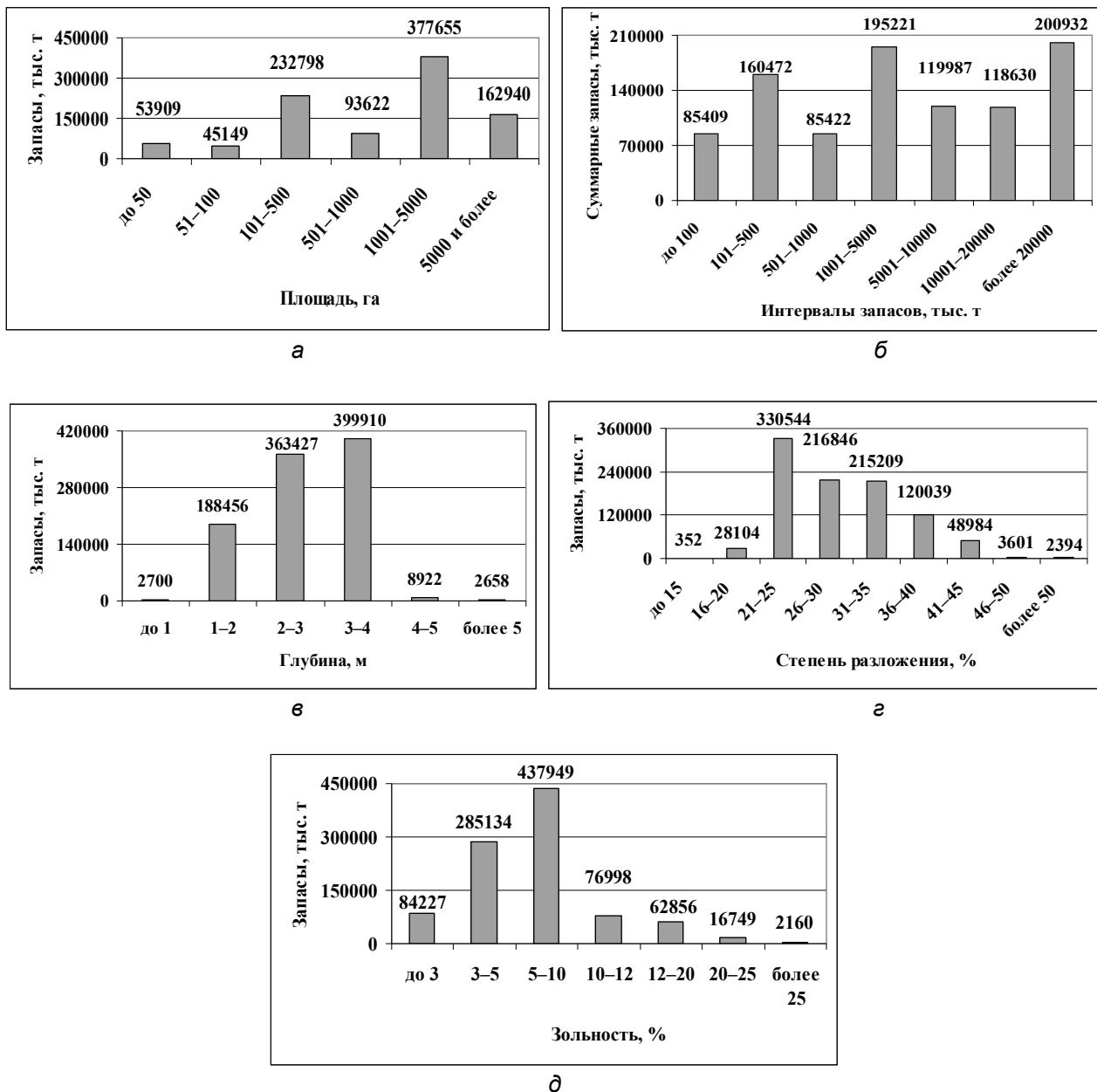


Рис. 1. Распределение торфяных месторождений Витебской области по площадям (а), интервалам запасов (б), глубине (в), степени разложения (г) и зольности (д)

В сельскохозяйственном использовании в области находится 12,8 % торфяного фонда по площади в основном под луговыми культурами, частично встречается пашня. Часть из этих земель закустарена и заболочена, что требует проведения определенных технических мероприятий. В области выработано 51 320 га торфяных месторождений, что составляет 6 % от всего фонда. Такие объекты находятся в районах расположения действующих предприятий – Витебский, Браславский, Докшицкий, Шумилинский, Толочинский и Чашникский районы. Значительные площади выработаны службами агросервиса (сельхозхимии) для производства торфяных компостов – Сенненский, Миорский районы. Выработанные и выбывшие из эксплуатации участки торфяных месторождений в основном переданы в Гослесфонд.

Под водохранилищами частично находятся выработанные торфяные месторождения в Витебском и Бешенковичском районах.

Выполнение новых задач по освоению торфяных месторождений в настоящее время связано с перераспределением имеющихся ресурсов по целевым фондам. Эта работа в первую очередь основывается на использовании комплекса критериев по пригодности изучаемых объектов к направлениям их использования. Уточнение существовавших критериев [6] касалось доработки их в части разрабатываемого фонда. В последний был добавлен набор критериев, устанавливающих требования пригодности торфа к комплексной глубокой переработке, а это – вводимые ограничения, прежде всего по следующим характеристикам: тип залежи, степень разложения и зольность торфа, геологические запасы. Выполнение работы по перераспределению торфяного фонда осуществляется экспертыным путем, при этом помимо отмеченных критериев необходимо учитывать ряд дополнительных показателей, касающихся как самого перераспределяемого объекта, так и его взаимосвязей с окружающей средой, и его роли в регионе. Из таких дополнительных показателей отметим, прежде всего, ботанический состав и частично химические свойства (групповой состав органической части и состав золы – содержание определенных оксидов). Важное значение придается технологиям добычи сырья и условиям его хранения, а также пространственному расположению распределяемого объекта, потребностям региона и ближайших территорий в определенной продукции на основе торфа. Следует отметить, что не вся информация из требуемой может быть получена из официальных источников, в связи с чем нами предложены определенные методические подходы к получению недостающих данных, что изложено в разработанном и утвержденном нормативном документе «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»\*.

Критерии выделения торфяных месторождений в природоохранный, земельный и запасной фонды по принципиальным позициям сохраняются в прежнем виде, так как соответствуют современным подходам и требованиям.

Важным моментом в задачах перераспределения торфяных ресурсов является выделение в разрабатываемый фонд отмеченных выше пригодных месторождений для комплексной глубокой переработки торфа с получением целого ряда новой научноемкой продукции многоцелевого назначения. Такие новые производства в большинстве своем относятся к ресурсосберегающим и малотоннажным. В этом случае запасы торфа для сырьевых баз будут определяться в первую очередь установленным уровнем конкретно строящегося производства: республиканского, областного или местного, определяемого спецификой конкретной продукции и потребностью в ней. Эти вопросы решаются при обосновании и проектировании таких производств. Что касается количественных показателей общетехнических характеристик (степень разложения, зольность, вид торфа), то они достаточно избирательны по видам продукции.

Проблема перераспределения торфяных ресурсов относится к достаточно сложным и многовариантным типам задач. Для объективной и всесторонней оценки каждого конкретного торфяного месторождения в первую очередь изучаются условия образования и последующего формирования этого природного объекта, т. е. его геоморфологические характеристики, особенности генезиса и гидрогеологии. Учитываются данные по влиянию техногенных воздействий различных технологий добычи на изменение состава и свойств получаемого сырья. Изучаются разнообразные материалы землеустроительных, природоохраных и лесотехнических служб всех административных районов, имеющаяся карта-графическая документация, в ряде случаев проводится полевое обследование выбранных торфяных месторождений. Учет такой всесторонней информации позволит научно обосновать экологосовместимые технологии освоения торфяных ресурсов республики.

При перераспределении торфяных месторождений анализу подлежит в первую очередь неиспользуемый фонд, а также земельный, только при выполнении некоторых условий, которые заключаются в наличии определенных запасов торфа (площадь более 50 га, глубина залежи бо-

\* Принято решение о распространении этого документа на период до 2030 г.

лее 1,5 м), в близости к действующим предприятиям (до 50 км), в близости к крупным животноводческим комплексам (до 25 км) и наличии ценных категорий торфа (верховой тип  $R \leq 20\%$  и  $R \geq 30\%$ ).

Проблема рационального освоения торфяных ресурсов и максимального сохранения пригодных запасов торфа непрерывно связана с наиболее эффективными с экономических позиций направлениями его использования и минимизацией всех видов потерь. Обоснование и выбор оптимальных технологий использования торфяных месторождений возможны только на основании научных подходов к оценке свойств торфа с учетом геоморфологических и гидрологических особенностей генезиса и строения, а также их роли и биосферных функций в природно-территориальных комплексах.

При выполнении работ по перераспределению имеющийся перечень торфяных месторождений каждого административного района с исключенными объектами природоохранного и запасного фондов анализируются в первую очередь на предмет пригодности к разрабатываемому и природоохранному фондам согласно установленным критериям. В разрабатываемый фонд последовательно включаются месторождения, пригодные для энергетических целей (новые предприятия, торфобрикетные заводы, ми-ни-ТЭЦ), участки по добыче кускового торфа и используемые в сельскохозяйственных целях. Ответственным этапом при этом является выбор торфяных месторождений, перспективных для комплексного использования. В этом случае при анализе учитывается наличие уникальных категорий торфа и расчетные показатели компонентного и химического состава.

Оставшиеся торфяные месторождения перечня составят земельный фонд, а обводненные и закустаренные территории, не представляющие интереса для практического использования, остаются в неиспользуемом фонде.

Анализу подлежат также выбывшие из разработки торфяные месторождения, на которых при оценке состояния и использования выявлены значительные запасы торфа. Они могут быть пригодными к разработке для сельскохозяйственного использования (на подстилку, компосты) или к организации участков по производству мелкокускового торфа как бытового топлива.

#### **Выводы.**

1. Основной задачей перераспределения торфяных ресурсов по целевым фондам является выбор наиболее рационального и эффективного направления их использования. Это означает определение для каждого из распределемых объектов такого направления его освоения, которое обеспечит наиболее полное извлечение заложенных в нем природой потенциальных возможностей на пользу общества. Например, нали-

чие в составе торфа битумных веществ позволит получить определенную порцию тепла при сжигании, но гораздо эффективнее этот продукт будет использован при извлечении, будучи примененном как основа для производства антиадгезионных составов, антакоррозионных смазок или различных фармацевтических кремов, в том числе и лечебных [4]. Сжигание физиологически активных компонентов торфа также не внесет в теплотворную способность топлива дополнительных калорий, но, будучи активизированными в составе стимуляторов роста, они дадут прибавку урожая сельскохозяйственных культур на 10–20 % [7].

2. Работа по перераспределению торфяных ресурсов по целевым фондам выполняется экспертным путем в следующей последовательности. Производится поэтапный анализ по каждому объекту торфяного фонда основных показателей (тип залежи, степень разложения, зольность и запасы торфа), устанавливаемых дополнительно геоморфологического статуса и возможной стратиграфии месторождения, расчетных данных по содержанию отдельных компонентов и химическому составу минеральной части, возможная роль и положение объекта в инфраструктуре административного района, оценивание потребности региона в продукции на основе торфа. Результатом такого анализа является принятие экспертного решения о возможном отнесении изучаемого объекта к конкретному целевому фонду.

3. В результате перераспределения торфяных ресурсов Витебской области предложено включить в разрабатываемый фонд дополнительно порядка 45 млн т торфяных запасов, причем эти объекты предложены практически по всем административным районам, за исключением Оршанского (см. таблицу). Наибольшее увеличение в этих предложениях получили запасы Бешенковичского, Докшицкого, Лепельского, Сенненского и Чашникского районов, и это особенно важно для тех из них, где работают торфопредприятия. Незначительное пополнение разрабатываемого фонда рекомендовано для Лиозненского, Россонского и Шарковщинского районов, где выделенные торфяные месторождения могут стать базой для производства коммунально-бытового топлива или продукции сельскохозяйственного назначения.

4. Важной особенностью торфяных ресурсов Витебской области является наличие запасов верхового торфа разной степени разложения, что создает широкую сырьевую базу для организации комплексной глубокой переработки торфа. Как показали наши исследования, в качестве перспективных для этих целей выбраны торфяные месторождения Городокского, Миорского, Полоцкого, Толочинского районов, где намечены значительные запасы в разрабатываемом фонде, а также имеются необходимые тех-

нические возможности для организации новых производств.

5. В разработанных предложениях по перераспределению торфяных ресурсов по запасам приведены изменения других фондов. Предложено уменьшение неиспользуемого фонда на 25 %, незначительно уменьшается и земельный фонд (в основном за счет неэффективно используемых сельскохозяйственных угодий: чрезмерная закустаренность и обводненность). Увеличе-

ние природоохранного фонда на 30 % произошло в результате расширения существующих и создания новых заказников различного назначения за период 1990–2012 гг. В дальнейшей работе возможно обоснование других объектов, которые могут быть представлены в перспективный природоохранный фонд. Предложенные изменения состава целевых фондов позволят реализовать выполнение ряда новых задач по эффективному использованию торфяного фонда Витебской области.

### Литература

1. Геология антропогена Белоруссии / Э. А. Левков [ и др.] ; под общ. ред. Г. В. Гурского. Минск. 1973.
2. Дементьев, В. А. Основные черты рельефа и геоморфологические районы Белоруссии / В. А. Дементьев // Вопросы географии Белоруссии, Минск, 1960.
3. Кадастровый справочник. Торфяной фонд Белорусской ССР (Витебская область) / Управление государственного торфяного фонда «Госторффонд» при Госплане БССР. Минск, 1979.
4. Лиштван, И. И. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. Минск, 1975.
5. Пидопличко, А. П. Торфяные месторождения Белоруссии / А. П. Пидопличко ; под ред. М. И. Нейштадт. Минск, 1961.
6. Схема рационального использования и охраны торфяных ресурсов БССР (Витебская область) / Белгипроводхоз Минводхоза БССР, б-ка Ин-та природопользования АН БССР. Минск, 1990.
7. Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. Минск, 2009.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 19.02.2013 г.

**L. С. Лис, В. Б. Кунцевич, Т. Я. Кашинская, С. Т. Мультан,  
Л. П. Калилец, Н. В. Шевченко, Т. И. Макаренко, Н. А. Ком, А. В. Осипов**

### **АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ТОРФЯНЫХ РЕСУРСОВ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИХ ОСВОЕНИЯ**

Рассмотрены геоморфологические особенности территории Витебской области и связанные с этим закономерности территориального распределения торфяных месторождений. Приведена обобщенная характеристика торфяного фонда по общетехническим и качественным показателям торфяных залежей, оценено их современное состояние и использование. Обоснована необходимость перераспределения торфяных ресурсов по целевым фондам (направлениям использования), предложены методические подходы выполнения такой работы, дана характеристика используемой при анализе информации с необходимой последовательностью ее учета при выполнении анализа для принятия экспертных решений, приведены результаты предложенных составов целевых фондов по всем административным районам области.

**L. S. Lis, V. B. Kuntsevich, T.Y. Kashinskaya, S. T. Multan,  
L. P. Kalilets, N. V. Shevchenko, T. I. Makarenko, N. A. Kot, A. V. Osipov**

### **ANALYSIS OF PECULIARITIES OF PEAT RESOURCES OF VITEBSK REGION TO SUBSTANTIATE RATIONAL DIRECTIONS OF THE DEVELOPMENT**

*Geomorphological features of the territory of Vitebsk area and due to them laws of territorial distribution of peat deposits have been considered. The generalized characteristic of peat fund by general-technical and qualitative indices of peat deposits has been given, their modern condition and use have been estimated. The necessity of redistribution of peat resources on target funds (use directions) has been substantiated, methodical approaches to perform this work have been offered, the characteristic of the information used at the analysis with necessary sequence of its account at the performance of the analysis to take expert decisions has been given, results of the offered structures of target funds on all administrative areas of the district have been provided.*

УДК 553.98/33.001.336.7(476)

А. В. Унукович<sup>1</sup>, П. Б. Цалко<sup>2</sup>, А. В. Краковецкий<sup>1</sup>, А. А. Добрыян<sup>3</sup>

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОСВОЕНИЯ НЕФТЕПЕРСПЕКТИВНЫХ СТРУКТУР ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

*Изложены современные теоретические основы экономической оценки ресурсов углеводородного сырья нефтеперспективных структур Припятского прогиба Беларусь.*

Для оценки экономической эффективности освоения месторождений углеводородов и определения наиболее оптимальных направлений нефтеисковых работ на выявление запасов углеводородов использовано структурное районирование по подсолевым и межсолевым отложениям Припятского прогиба [1] Припятский нефтегазоносный бассейн включает Северный нефтегазоносный район и два нефтеперспективных района – Центральный и Южный, которые отличаются между собой степенью доказанности промышленной нефтегазоносности. При этом в качестве основной задачи предусматривается определить первоочередные, наиболее перспективные и достоверно подготовленные объекты по Северному нефтегазоносному району (НГР) и другим структурам для постановки поискового бурения.

Для решения указанной задачи необходимым явилось проведение комплексного анализа геологических, геофизических, геохимических, гидрогеологических и промыслового-геофизических данных по указанным объектам (структур), подготовленным к поисковому бурению с целью определения наиболее перспективных и достоверно подготовленных для постановки поисковых работ, выполнение расчетов по определению ожидаемых прогнозных локализованных ресурсов (ожидаемых запасов) углеводородов. Предполагалось также выполнить дифференцированную геолого-экономическую оценку подготовленных к поисковому бурению объектов для определения промышленной ценности прогнозных ресурсов углеводородного сырья в целях повышения эффективности поисково-разведочного бурения и в последующем освоении месторождений углеводородного сырья. Основные результаты экономических исследований состояли в следующем.

Геологический и экономический аспекты изучения прогнозных ресурсов углеводородов Припятского прогиба можно рассматривать как многофакторное исследование, включающее: качественную оценку с целью выявления и изучения пространственного изменения геологических структур, благоприятных для генерации и аккумуляции углеводородов; оценку вероятностной величины ресурсов и ее распределения по площади и разрезу осадочного чехла; экономи-

ческую оценку, определяющую эффективность извлечения ресурсов углеводородов в зависимости от геологических и экономических условий их освоения. При этом под экономической оценкой ресурсов углеводородов понимается определение потенциального эффекта в денежном выражении, который может быть получен после перевода ресурсов в запасы с последующей их разработки с учетом достижений научно-технического прогресса и фактора времени [5].

По своему экономическому содержанию такой потенциальный эффект можно рассматривать в качестве дифференциальной нефтяной ренты, отражающей интересы государства, являющегося собственником недр, и пользователей недр, осуществляющих право поисков, разведки и разработки месторождений. Результаты освоения ресурсов углеводородов будут считаться эффективными, если они обеспечивают полное возмещение требуемых поисковых, разведочных и эксплуатационных затрат и необходимого дохода в виде чистой дисконтированной прибыли, что требует соответствующего выбора методического подхода и системы показателей.

В основу определения экономической ценности ресурсов углеводородного сырья по нефтеперспективным структурам Припятского прогиба положен также принцип, согласно которому в запасы включены прогнозные извлекаемые ресурсы по всем установленным нефтеперспективным структурам. Поэтому при оценке структур залежи (скопления) подразделены на группы, близкие по горно-геологическим условиям освоения и объемам ресурсов углеводородного сырья. Экономическая ценность ресурсов типичной залежи, входящей в группу, распространяется на все залежи этой группы [4].

Проведение экономической оценки предусматривает определение по годам разработки месторождений системы показателей, характеризующих прогнозные извлекаемые запасы промышленных категорий, объемы добычи углеводородов, стоимость товарной продукции, капитальные вложения (инвестиции) и эксплуатационные (текущие) затраты, прогнозируемый доход с учетом фактора времени, рентабельность капитальныхложений, срок их окупаемости [2, 4].

Для определения годовой добычи нефти по стадиям прогнозной разработки месторожде-

ний в условиях Беларуси и решения задач их экономической оценки разработан и рекомендован для практики следующий методологический подход. На основании анализа существующих проектных и технологических схем разработки месторождений углеводородов определена зависимость прогнозируемой годовой добычи нефти ( $Q_{ht}$ ) от времени ( $t$ ) исходя из максимального годового темпа отбора нефти в процентах от начальных извлекаемых запасов. При этом темпы отбора нефти по годам разработки для конкретного месторождения предлагаются определять по следующему уравнению:

$$O(t) = 100((29,438 + 1,2534t + 0,0635t^2)k)^{-1}, \quad (1)$$

где  $O(t)$  – темп отбора нефти в долях от общих извлекаемых запасов по годам разработки месторождения;  $k$  – коэффициент, определяющий изменение параметров уравнения (1), который равен отношению величины темпа отбора по месторождению, принятому в качестве базисного (3,25 %), к заданному темпу отбора оцениваемого месторождения;  $t$  – порядковый год добычи нефти от начала разработки месторождения.

Приведенное уравнение является базовым (усредненным), которое может быть дифференцировано в зависимости от конкретных условий эксплуатируемых месторождений, величины извлекаемых запасов углеводородного сырья и стадийности их разработки. Так, в результате поисковых и разведочных работ, например на Северо-Завойтской межсолевой структуре, расположенной в пределах Южного нефтеперспективного района, установлено, что первоначальные извлекаемые ресурсы углеводородного сырья составляют 861,8 тыс. т. По данным опытной эксплуатации и прогнозного изучения добычи нефти на аналогичных месторождениях принимается, что по указанной структуре годовой темп отбора нефти на 5-м году разработки составит 4,252 %. В этом случае коэффициент изменения параметров уравнения (1) будет равен 0,7647 (3,25/4,252), а уравнение для определения темпов отбора нефти по годам примет вид:

$$O(t)_{\text{прогн.}} = 100 \cdot (21,2601 + 0,9052t + 0,0458t^2)^{-1}. \quad (2)$$

Можно также предположить, что на стадии нарастающей добычи (5 лет) значение временной величины ( $t$ ) будет изменяться от 5 до 1. В соответствии с этим темпы годового отбора нефти на первом году разработки ( $t = 5$ ) составят 3,506 %, на втором ( $t = 4$ ) – 3,687, на третьем ( $t = 3$ ) – 3,872, на четвертом ( $t = 2$ ) – 4,061 и на пятом году ( $t = 1$ ) – 4,252 %. На основании определенных таким образом темпов отбора углеводородного сырья в процентах от начальных извлекаемых ресурсов по годам освоения межсолевой структуры рассчитывается годовая добыча

нефти, накопленная добыча нефти на конец года (в процентах и тоннах) и остаточные запасы нефти на конец года.

Расчеты по обоснованию капитальных вложений заключаются в последовательном определении затрат технологических показателей разработки, капитальных затрат на бурение эксплуатационных и нагнетательных скважин, обустройство объектов разработки, транспортировку нефти. В состав капитальных вложений по оцениваемым объектам разработки включены:

- затраты на создание вновь вводимых основных производственных фондов проектируемых объектов (бурение разведочных и эксплуатационных скважин, промысловое обустройство);

- затраты на строительство подъездных путей, отводов от трубопроводов и другие транспортные средства и сооружения, предназначенные для удовлетворения транспортных нужд освоения нефтеперспективных структур;

- затраты на экологическую защиту окружающей природной среды;

- затраты на выполнение прочих капитальных работ.

Расчетное количество добывающих скважин на оцениваемом объекте нефтеперспективной структуры уменьшается на число поисковых и разведочных скважин, которые могут быть использованы при его эксплуатации. В той же мере сокращается и потребность в капитальных вложениях на разработку объекта.

Расчет капитальных вложений в эксплуатационное бурение, промысловое и транспортное обустройство основывается на использовании сложившихся в нефтедобывающих районах затрат, которые определяются при составлении проектов и технологических схем разработки нефтяных и нефтегазовых месторождений, исходя из условий максимизации величины экономического эффекта при извлечении запасов углеводородного сырья из оцениваемого объекта. Для учета инфляции применяются индексы – дефляторы, позволяющие привести стоимостные нормативы и затраты разных лет к единому расчетному году.

Для оценки экономической эффективности освоения ресурсов нефтеперспективных структур Припятского прогиба капитальные вложения определены исходя из анализа фактических и расчетных затрат по нефтяным месторождениям Беларуси. В результате определена стоимость 1 м разведочного и эксплуатационного бурения, которая в среднем составляет 830 и 660 долл. США соответственно.

При оценке экономической эффективности освоения нефтеперспективных структур затраты на научно-исследовательские и геофизические работы по выявлению и подготовке структур к глубокому бурению приняты в размере фактических расходов на эти виды работ с учетом ранее

понесенных затрат на поисковой стадии на объекте и включены в стоимость бурения поисковых скважин.

Прочие капитальные вложения (проектно-изыскательские работы, капитальные вложения в нефтепромысловое оборудование скважин, капитальные вложения в прирост оборотных средств, содержание дирекции, подготовка кадров, возмещение потерь сельскохозяйственного и лесохозяйственного производства, рекультивация земель, преодоление отрицательных экологических последствий загрязнения территории и др.) принятые на основании анализа фактических затрат в процентах по отношению к величине капитальных вложений в действующий фонд скважин в размере 25 %.

Эксплуатационные затраты (использование электроэнергии по извлечению нефти, искусственное воздействие на пласт, технологическая подготовка и транспортировка нефти, содержание и эксплуатация оборудования, заработка плата производственных рабочих, выплата отчислений в фонд социального страхования, уплата налогов в бюджет и отчислений в инновационный фонд, прочие эксплуатационные расходы) рассчитаны как нормативные по уравнению, определяющему зависимость суммарных эксплуатационных затрат в расчете на годовую добычу нефти от временной величины ( $t$ ).

Для расчета прогнозных эксплуатационных затрат на освоение нефтеносных и нефтеперспективных структур по годам ( $S(t)_{\text{экс}}$ ) на всех стадиях добычи от временной величины ( $t$ ) предлагаются следующее уравнение, которое является базовым:

$$S(t)_{\text{экс}} = 10000[(3,2403 + 0,0581t + 0,0013t^2)K]^{-1}, \quad (3)$$

где  $K$  – коэффициент изменения параметров уравнения (3), равный отношению величины суммарных эксплуатационных затрат на освоение нефтеперспективной структуры, принятого в качестве базисного, к соответствующей величине оцениваемой нефтеперспективной структуры.

На основании этого уравнения рассчитаны нормативы суммарных эксплуатационных затрат на освоение нефтеносных и нефтеперспективных структур в зависимости от максимально годовой добычи углеводородного сырья, а также в расчете на одну тонну нефти. Приведенная зависимость определена параболой второго порядка на основании анализа величины эксплуатационных затрат и объема годовой добычи нефти.

Нормативные данные об эксплуатационных затратах являются исходной информационной основой для расчета суммарных эксплуатационных затрат по нефтеперспективным структурам, предполагающим различную добычу углеводородного сырья по годам разработки. Для этого в уравнение (3) вносятся соответствующие

поправочные корректировки. За базовую нефтеперспективную структуру, которой соответствует уравнение (3), принята структура с суммарными эксплуатационными затратами, равными 3088,8 тыс. долл. США.

Например, на Северо-Завойтской структуре максимальная годовая добыча нефти соответствует пятому, шестому, седьмому и восьмому годам освоения и составляет 36,644 тыс. т. Суммарные эксплуатационные затраты при указанной годовой добыче углеводородного сырья составят 3077,6 ((3088,8 – (36,955 – 36,644)(3088 – 3059,9)) / (36,955 – 36,150)) тыс. долл. США. Соотношение величин 3088,8/3077,6, равное 1,0036, укажет на коэффициент изменения параметров уравнения (3) применительно для Северо-Завойтской нефтеперспективной структуры, которое примет вид:

$$S(t)_{\text{экс}} = 10000(3,2403 + 0,0583t + 0,0013t^2)^{-1}. \quad (4)$$

По уравнению (4) рассчитываются суммарные эксплуатационные затраты по годам нарастающего и стабильного освоения нефтеперспективной структуры. Следовательно, такой подход позволяет рассчитать суммарные эксплуатационные затраты по первым десяти годам разработки месторождения.

Амортизация считается одной из статей расходов, которая уменьшает базу налогообложения. Одновременно она представляет доход и может быть использована в качестве инновационного источника для экономического развития. В этой связи амортизационные отчисления при расчете показателей стоимостной оценки месторождений углеводородов учитывают отдельно и определяют по методу прямой линии (пропорционального списания), т. е. капитальные вложения списывают равными долями в течение всего срока освоения месторождения с учетом установленных норм амортизации (в среднем 10 % в год от балансовой стоимости инвестиций).

При определении экономической ценности углеводородного сырья нефтеперспективных структур для решения государственных задач налоги и платежи в расчетах не учитывают, для коммерческих целей – учитывают те виды налогов и платежей, которые в соответствии с действующим законодательством подлежат оплате на момент освоения залежей.

В настоящее время на мировом рынке цены на нефть имеют тенденцию к резкому колебанию (повышению или понижению). Поэтому все расчеты по обоснованию показателей экономической эффективности ресурсов нефтеперспективных структур основаны на цене 70–110 долл. США за 1 баррель нефти. Поэтому экономическая оценка ресурсов углеводородного сырья нефтеперспективных структур Припятского прогиба включает определение системы показателей в зависимости от изменения указанных цен на нефть.

Показатели, определяющие экономическую ценность нефтеносных и нефтеперспективных структур Припятского прогиба, рассчитываются за 10 лет освоения месторождения, что соответствует допустимому сроку окупаемости капитальных вложений [4, 5]. Указанные показатели определены по группам структур в зависимости от величины прогнозных извлекаемых запасов углеводородного сырья и цен на нефть (табл. 1). Как показывает анализ данных, прогнозируемые ресурсы углеводородного сырья по группам нефтеперспективных структур незначительные по своим извлекаемым запасам и колеблются в пределах от 379,0 до 1397 тыс. т. Вместе с тем они обладают несложными геологическими, технологическими и экономическими условиями разработки, поэтому при сложившейся конъюнктуре рынка на нефтепродукты и складывающихся ценах на нефть в пределах 80–110 долл. США за баррель, они представляют коммерческий интерес для освоения. При этом прослеживается тесная зависимость доходности нефтеперспективных структур от величины ресурсов углеводородного сырья.

Полагаем также, что при передаче нефтеперспективных структур в разработку было бы целесообразным взимание платы за добычу нефти осуществлять ежегодно в зависимости от цены на нефть и размера прогнозируемой чистой прибыли. Введение такой платы за добычу полезных ископаемых позволит учитывать индивидуальные геологические и экономические условия конкретных залежей углеводородного сырья – экономико-географические, горно-геологические и другие факторы, что будет способствовать рациональной разработке нефтяных месторождений. В порядке эксперимента этот подход апробирован на указанных структурах с учетом изменения мировых цен на нефть (70–110 долл. США за 1 баррель нефти), которые в соответствии с законодательством могут быть объектами налогообложения, но обладают различной экономической эффективностью извлекаемых запасов. Изменение экономической ценности углеводородного сырья, определяемой внутренней нормой доходности в процентах (IRR), по нефтеперспективным структурам характеризуется следующими данными.

Разработка нефтеперспективных структур с прогнозными ресурсами до 100 тыс. т является убыточной при всех приведенных значениях мировых цен на нефть. Низкая рентабельность добыча нефти возможна по группе структур с ресурсами углеводородного сырья от 101 до 200 тыс. т при цене 80–110 долл. США за 1 баррель нефти. По нефтеперспективным структурам, входящим в остальные группы, рентабельность добычи углеводородного сырья является

достаточно высокой, что обуславливает необходимость дифференцированного подхода при выборе направлений инвестирования средств на проведение геологоразведочных работ.

Следует отметить, что для определения экономической ценности углеводородного сырья по нефтеперспективным структурам Припятского прогиба приняты разовые капитальные вложения, поэтому для расчета величины  $NVP$  применена формула:

$$NVP = \sum_{t=1}^{10} NCF_t (1+r)^{-t} - I_0, \quad (6)$$

где  $NVP$  – чистая текущая стоимость будущих потоков реальных денег (чистого дисконтированного дохода), получаемой в результате освоения залежей углеводородного сырья;  $NCF_t$  – годовой чистый поток реальных денег (чистая прибыль);  $I_0$  – первоначальные капитальные вложения (инвестиции), которые осуществляются единовременно в момент начала освоения ресурсов углеводородного сырья;  $t$  – порядковый номер года после начала освоения ресурсов углеводородного сырья;  $r$  – ставка дисконтирования, равная 10%;  $n$  – предельный срок функционирования капитальных вложений (10 лет), в течение которого поступают либо положительные, либо отрицательные потоки реальных денег.

Расчеты чистой дисконтированной стоимости ( $NVP$ ) для определения экономической ценности ресурсов нефтеперспективных структур широко распространены, и применение их возможно лишь при надежности исходных данных, что позволяет в данном случае более обоснованно прогнозировать будущие потоки реальных денег исходя из складывающейся технологической и ценовой ситуации. При этом для сравнения различных инвестиционных вложений используется также коэффициент дисконтированной стоимости ( $PVR$ ), определяемый как отношение накопленной чистой дисконтированной стоимости за предельный срок функционирования капитальных вложений в абсолютной величине первоначальных потоков реальных денег (первоначальных капитальных вложений), или как норма дисконтированной чистой прибыли на единицу инвестиций. Для определения экономической ценности ресурсов углеводородного сырья по нефтеперспективным структурам достаточным представляется рассчитывать и индекс рентабельности первоначальных инвестиций ( $PI_0$ ). Этот показатель определяется как отношение суммы всех дисконтированных чистых потоков реальных денег к абсолютной величине первоначальных разовых инвестиционных вложений при условии, что более высокий индекс их рентабельности обеспечивает и более высокую чистую дисконтированную стоимость потоков реальных денег.

**Таблица 1. Показатели экономической ценности ресурсов по группам нефтеперспективных структур  
Припятского прогиба за первые 10 лет разработки**

Показатель	Распределение нефтеперспективных структур по группам в зависимости от величины прогнозных ресурсов углеводородного сырья, тыс. т									
	До 100	101–200	201–300	301–400	401–500	501–600	601–700	701–800	801–900	901 и более
Количество нефтеперспективных структур в группе, ед.	5	19	15	7	1	1	5	3	1	1
Начальные извлекаемые запасы углеводородного сырья, млн т	0,38	2,61	3,61	2,44	0,44	0,59	3,25	2,19	0,86	1,41
Добыча нефти на типичной структуре, тыс. т	30,05	57,69	98,16	144,47	176,29	237,19	269,05	293,77	345,30	559,73
Капитальные вложения (инвестиции), млн долл. США	9,12	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13
Текущие затраты на добычу и реализацию нефти (без амортизации), млн долл. США	1,99	2,08	2,21	2,36	2,47	2,69	2,81	2,90	3,11	3,75
Амортизация, млн долл. США	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
Показатели эффективности капиталовложений при цене 110 долл. США за 1 баррель нефти:										
чистая прибыль (NCF), млн долл. США	3,27	22,59	48,20	77,44	97,52	135,92	155,87	171,41	203,68	339,65
чистый дисконтированный доход (NVP) при ставке дисконта 10 %, тыс. долл. США	1,87	13,66	29,22	46,98	59,16	82,49	94,61	104,39	123,66	206,19
накопленный чистый дисконтированный доход, млн долл. США	-7,25	4,53	20,09	37,85	50,04	73,37	85,48	95,27	114,53	197,07
коэффициент дисконтированной стоимости (PVR)	-0,795	0,497	2,202	4,148	5,483	8,039	9,367	10,439	12,550	21,594
внутренняя норма доходности (IRR), %	-14,4	20,1	48,4	77,8	97,2	134,9	153,2	168,1	198,9	328,9
срок окупаемости капитальных вложений по накопленному чистому дисконтированному доходу (PP), лет	-	5,76	2,51	1,52	1,2	0,85	0,74	0,68	0,57	0,34
Показатели эффективности капиталовложений при цене 100 долл. США за 1 баррель нефти:										
чистая прибыль (NCF), млн долл. США	0,68	19,14	42,32	68,86	86,96	121,65	139,76	153,81	182,99	306,12
чистый дисконтированный доход (NVP) при ставке дисконта 10 %, млн долл. США	0,3	11,57	25,66	41,76	52,75	73,51	84,81	93,34	111,07	185,83
накопленный чистый дисконтированный доход, млн долл. США	-8,83	2,44	16,52	32,64	43,62	64,38	75,68	84,21	101,94	176,70
коэффициент дисконтированной стоимости (PVR)	-0,967	0,267	1,801	3,576	4,780	7,055	8,293	9,228	11,170	19,362
внутренняя норма доходности (IRR), %	-26,2	15,8	42,6	69,3	87,0	120,3	137,7	151,2	179,2	296,7
срок окупаемости капитальных вложений по накопленному чистому дисконтированному доходу (PP), лет	-	7,06	2,89	1,72	1,36	0,99	0,83	0,75	0,63	0,38

Окончание табл. 1

Показатель	Распределение нефтеперспективных структур по группам в зависимости от величины прогнозных ресурсов углеводородного сырья, тыс. т									
	До 100	101–200	201–300	301–400	401–500	501–600	601–700	701–800	801–900	901 и более
Показатели эффективности капиталовложений при цене 90 долл. США за 1 баррель нефти:										
чистая прибыль (NCF), млн долл. США	-1,92	15,68	36,44	60,33	76,39	107,44	123,64	136,21	162,31	272,59
чистый дисконтированный доход (NVP) при ставке дискоцнта 10 %, млн долл. США	-1,27	9,47	22,07	36,47	46,33	65,22	75,02	82,65	98,50	165,46
накопленный чистый дисконтированный доход, млн долл. США	-10,39	0,34	12,95	27,34	37,21	56,09	65,89	73,52	89,38	156,34
коэффициент дисконтированной стоимости (PVR)	-1,139	0,037	1,419	2,996	4,077	6,147	7,220	8,056	9,794	17,131
внутренняя норма доходности (IRR), %	-47,7	10,9	35,4	60,7	76,7	106,7	122,2	134,3	159,3	264,5
срок окупаемости капитальных вложений по накопленному чистому дисконтированному доходу (PP), лет	-	9,41	3,39	1,98	1,55	1,09	0,94	0,85	0,72	0,43
Показатели эффективности капиталовложений при цене 80 долл. США за 1 баррель нефти:										
чистая прибыль (NCF), млн долл. США	-4,51	12,22	30,56	51,48	65,84	93,23	107,53	118,62	141,63	239,06
чистый дисконтированный доход (NVP) при ставке дискоцнта 10 %, млн долл. США	-2,91	7,48	18,50	31,21	39,92	56,55	65,23	71,96	85,94	145,10
накопленный чистый дисконтированный доход, млн долл. США	-12,04	-1,65	9,38	22,08	30,79	47,42	56,10	62,84	76,82	135,97
коэффициент дисконтированной стоимости (PVR)	-1,319	-0,180	1,027	2,420	3,374	5,197	6,148	6,885	8,417	14,899
внутренняя норма доходности (IRR), %	-86,20	5,60	29,60	51,70	66,38	92,80	106,70	117,30	139,50	231,90
срок окупаемости капитальных вложений по накопленному чистому дисконтированному доходу (PP), лет	-	12,0	4,1	2,35	1,81	1,26	1,09	0,98	0,82	0,50
Показатели эффективности капиталовложений при цене 70 долл. США за 1 баррель нефти:										
чистая прибыль (NCF), млн долл. США	-7,10	8,77	24,68	42,83	55,28	79,02	91,41	101,02	120,94	205,53
чистый дисконтированный доход (NVP) при ставке дискоцнта 10 %, млн долл. США	-4,40	5,27	14,93	25,95	33,50	47,92	55,34	61,27	73,38	124,92
накопленный чистый дисконтированный доход, млн долл. США	-13,53	-3,86	5,80	16,82	24,38	38,79	46,22	52,15	64,25	115,79
коэффициент дисконтированной стоимости (PVR)	-1,482	-0,423	0,636	1,844	2,671	4,251	5,064	5,714	7,040	12,688
внутренняя норма доходности (IRR), %	-156,0	-5,6	22,9	43,0	55,8	79,2	91,0	100,4	119,6	200,3
срок окупаемости капитальных вложений по накопленному чистому дисконтированному доходу (PP), лет	-	-	5,20	2,86	2,18	1,50	1,29	1,16	0,96	0,56

Таким образом, по результатам проведенных исследований, которые представлены выше, возможны следующие предложения: экономически выгодное промышленное освоение залежей углеводородного сырья в условиях Припятского прогиба при сложившихся мировых ценах на нефть возможно на нефтеперспективных структурах с извлекаемыми запасами углеводородного сырья от 201 тыс. т и выше. При этом наблюдается резкое возрастание экономической эффективности их освоения с увеличением объемов первоначальных извлекаемых их запасов. Вместе с тем недостаточно рентабельными представляются залежи, содержащие ресурсы от 101 до 200 тыс. т углеводородного сырья, а убыточными являются залежи с ресурсами углеводородного сырья до 100 тыс. т;

внутренняя норма доходности (*IIRR*) по нефтеперспективным структурам с ресурсами углеводородного сырья от 201 тыс. т и выше значительна, либо многократно превышает предельную ставку дисконтирования (10 %). Срок окупаемости первоначальных инвестиций по этим структурам в зависимости от складывающихся мировых цен на нефть колеблется от 3 месяцев до 5 лет. Коэффициент дисконтированной стоимости достаточно высок, изменяется от 0,636 до 2,202 и означает, что вложенная единица инвестиций может обеспечить получение высокой дисконтированной стоимости;

основные показатели, определяющие экономическую ценность ресурсов углеводородного сырья по изучаемым рентабельным нефтеперспективным структурам, показывают, что даже при возможно разумных отклонениях реальной стоимости реализованного углеводородного сырья, капитальных вложений и текущих производственных затрат от выше приведенных показателей, значение *NPV* примет положительную величину даже при неблагоприятном стечении об-

стоятельств, связанных ценовым колебанием, технологическими и другими рисками.

Следует также отметить, что результаты экономического исследования по оценке нефтеперспективных структур Припятского прогиба, которые приведены выше, являются исходной информационной основой для решения ряда практических задач, направленных на принятие решений по повышению эффективности геологоразведочных работ, осуществляемых за счет бюджетных средств. Важными представляются и совершенствование государственного регулирования отношений в области налогообложения и взимания платежей за добычу углеводородного сырья, финансирования освоения месторождений углеводородного сырья и лицензирования. При этом экономический эффект, который характеризует величину потенциального чистого дисконтированного дохода (за вычетом доли инвестора), может быть дифференцировано изъять при освоении месторождений углеводородов в пользу государства через законодательно установленные соответствующие налоги и платежи. Для более конкретного решения этих задач предлагается использовать также уравнение

$$Y = (9,7933 + 10,204X + 1,3212X^2) hK, \quad (7)$$

где *Y* – внутренняя норма доходности, в процентах; *X* – ресурсы углеводородного сырья нефтеперспективной структуры, тыс. т; *K* – коэффициент, определяющий отношение цены 1 барреля нефти, которая сложилась на данный момент, к цене 1 барреля нефти, равной 90 долл. США; *h* – расчетная величина дифференциации коэффициента *K* в зависимости от мировой цены на нефть и ресурсов углеводородного сырья по нефтеперспективным структурам, определяемая согласно табл. 2.

**Таблица 2. Значения величины *h* в зависимости от мировой цены на нефть по группам нефтеперспективных структур Припятского прогиба**

Цена 1 барреля нефти, долл. США	Внутренняя норма доходности ( <i>IIRR</i> ) по группам нефтеперспективных структур, %						
	101–200	201–300	301–400	401–500	501–600	601–700	701 и выше
110 и выше	1,1780	1,0880	1,0487	1,0369	1,0290	1,0258	1,0216
100,1–110	1,1068	1,0533	1,0275	1,0209	1,0148	1,0141	1,0124
90,1–100	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
80,1–90	0,8716	0,9149	0,9582	0,9725	0,9775	0,9824	0,9853
80 и ниже	0,7179	0,8088	0,9112	0,9354	0,9544	0,9575	0,9654

По приведенному уравнению (7) представляется возможным с допустимой точностью рассчитать дифференцированную внутреннюю норму доходности не прибегая к трудоемким работам, а затем и другие экономические показатели, определяющие экономическую ценность ресурсов углеводородного сырья для конкретной нефтеперспективной структуры, исходя из установленных прогнозных ресурсов углеводородного сырья и сложившихся мировых цен на нефть.

Вместе с тем следует отметить, что капитальные вложения и эксплуатационные затраты, а также затраты на проведение мероприятий по охране окружающей среды и геологоразведочные работы определялись на основе расчетного метода и методов экспертных оценок проектных разработок и соответствующих технологических схем. Поэтому эти показатели являются источником определенного риска в точности расчетов, который является допустимым. Важным здесь представляется учет изменения объемов капитальных вложений, определяемого глубиной залегания полезного ископаемого и возможными технологическими рисками, и его влияния на экономические показатели разработки прогнозных месторождений. Для этих целей производят соответствующие экономические исследования. По расчетам авторов, например, фактор глубины залежей может увеличивать или снижать объемы капитальных вложений в пределах Припятского прогиба от их среднего значения до 50 % и более, что скажется на доходности освоения месторождений углеводородного сырья. Как показали исследования, увеличение капитальных вложений на 1 тыс. долл. США ведет к снижению внутренней нормы доходности на 0,0045 %, а уменьшение капитальных вложений на такую величину повышает ее на 0,0063 %. Такой подход дает возможность рассчитать показатели экономической ценности ресурсов углеводородного сырья по нефтеперспективным структурам при любой глубине залежей. Например, при капитальных вложениях (в объеме 12444,0 тыс. долл. США), связанных с более глубоким бурением скважин (поискового и эксплуатационного) по сравнению с ее средним значением на 36,35 %, или 3318,0 тыс. долл. США, внутренняя норма доходности составит на 14,9 (3318,0×0,0045) процентов ниже.

В равной мере это относится и к другим показателям, определяющим экономическую ценность добываемого углеводородного сырья, которые зависят не только от цен реализации нефти, но и от условий его залегания. В результате они могут заметно отклоняться от принятых расчетных средних значений. Эти отклонения могут

отражаться на характеристиках показателей экономической ценности месторождений углеводородного сырья, экономической эффективности инвестиций и величине чистого дисконтированного дохода по периодам разработки нефтеперспективных структур.

Эти особенности оценки экономической ценности ресурсов углеводородного сырья на нефтеперспективных структурах обусловливают необходимость проведения анализа устойчивости ее показателей, к которым относятся: прежде всего объемы капитальных затрат, эксплуатационные затраты, цены реализации минерального сырья, стоимость геологоразведочных работ и природоохранных мероприятий. Для этого может быть использован метод определения величины чистого дисконтированного дохода (*NVP*) при отклонениях исходных данных от их расчетных величин, что позволит повысить достоверность расчетных показателей экономической эффективности добычи углеводородного сырья, рассчитанных на основе его экономической ценности.

Имеются другие исследования по оценке рентабельных размеров месторождений углеводородного сырья Припятского прогиба [3]. Однако считаем, что по этой проблеме необходимы, прежде всего, дальнейшие экономические исследования.

Устойчивое экономическое развитие должно обеспечивать сохранность во времени всего достояния страны, включая природные экологические активы. В ходе хозяйственной деятельности потребляются различные виды природных ресурсов, которые в долгосрочном прогнозе должны быть восстановлены. Некоторые виды природных ресурсов (экологических активов) можно восстановить относительно легко, другие вовсе не поддаются восстановлению, например, запасы углеводородов. Для разрешения этого противоречия целесообразным представляется создание постоянно действующего фонда, где невозобновляемые природные ресурсы должны трансформироваться со временем в доход от использования невозобновляемых минеральных ресурсов в возобновляемый финансовый источник дохода и инвестирования. Эта проблема требует также дополнительного исследования в рамках решения задач практического применения результатов оценки экономической ценности месторождений углеводородного сырья для обоснования программ развития минерально-сырьевой базы на ближайшую и отдаленную перспективу, а также конкретных проектов, связанных с проведением научных исследований, поисковых и геологоразведочных работ.

## Литература

1. Айзберг, Р. Е. Структурное районирование подсолевых комплексов Припятского прогиба. Р. Е. Айзберг, В. Н. Бескопыльный, Я. Г. Грибик // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. 2011. Т. 55, № 1. С. 86–90.
2. Грибик, Я. Г. Стоимостная оценка месторождений углеводородов Беларуси / Я. Г. Грибик, А. В. Унукович, Л. А. Полещук // Природные ресурсы. 2009. № 2. С. 102–109.
3. Грибик, Я. Г. Направления геологоразведочных работ РУП «Белгеология» по поискам залежей углеводородов Беларуси в первой половине 21 века / Я. Г. Грибик, А. Л. Сусленко, Л. Я. Маенов // Потенциал добычи горючих ископаемых Беларуси и прогноз его реализации в первой половине 21 века : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Гомель, 2012. С. 68–77.
4. Методическое руководство по количественной и экономической оценке ресурсов нефти, газа и конденсата России. М., 2000.
5. Правила стоимостной оценки месторождений полезных ископаемых. Технический кодекс установленной практики. Минск, 2008.

<sup>1</sup>Институт природопользования НАН Беларуси,

<sup>2</sup>Белорусский научно-исследовательский

геологоразведочный институт,

<sup>3</sup>Белорусский национальный технический

университет, энергетический факультет

Поступила в редакцию 19.02.2013 г.

**A. В. Унукович, П. Б. Цалко, А. В. Краковецкий, А. А. Добрыян**

### **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОСВОЕНИЯ НЕФТЕПЕРСПЕКТИВНЫХ СТРУКТУР ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА**

*Изложены современные теоретические основы экономической оценки ресурсов углеводородного сырья нефтеперспективных структур Припятского прогиба Беларуси. Приведены правила определения экономической ценности ресурсов углеводородного сырья, включающие оценку геологических условий структур, технологические показатели и методы определения годовых объемов добычи углеводородного сырья, модели обоснования капитальных и эксплуатационных затрат, а также рассмотрена система показателей экономической ценности ресурсов углеводородов и порядок их расчета. На основании обобщений определены возможности применения полученных результатов для экономического обоснования оптимальных управленческих решений, связанных с поисками, разведкой и рациональным использованием углеводородного сырья.*

**A. V. Unukovich, P. B. Tsalko, A. V. Krakovetsky, A. A. Dobryyan**

### **THE DEVELOPMENT ECONOMIC EFFICIENCY OF OIL-PERSPECTIVE STRUCTURES OF PRIPYAT TROUGH**

*Modern theoretical foundations of economic evaluation of hydrocarbon resources of oil-bearing structures of the Pripyat Trough of Belarus are given. The rules to determine economic value of hydrocarbon resources, which include assessment of geological conditions of the structures, process indicators and methods to determine annual hydrocarbon production, model studies of capital and operating costs are provided, and a system of indicators of economic value of hydrocarbon resources and calculation order is regarded. On the basis of generalizations, the possibilities of applying the results obtained for optimal management decisions related to the search, exploration and management of hydrocarbon resources have been determined.*

## II. БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 662.642.2:662.732

**И. И. Лиштван, В. М. Крайко, В. М. Дударчик, Е. В. Ануфриева,  
Н. А. Булгакова, Е. А. Смолячкова**

### КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУРЫХ УГЛЕЙ ЖИТКОВИЧСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*Приведены результаты определения технических характеристик технологической пробы бурых углей Житковичского месторождения, выполнены исследования химического и компонентного состава органического вещества, теплоты сгорания, изучена их термоустойчивость. Показано, что по составу и свойствам бурые угли Житковичского месторождения Северной залежи относятся к гумусированным землистым углям класса Б1 неогенового периода формирования.*

Среди местных видов топлива в республике потенциальными возможностями в качестве сырья для термохимической переработки обладают бурые угли. В Беларуси прогнозные общие запасы их составляют около 2 млрд т, из них разведанные, экономически целесообразные марки Б1 – около 160; в перспективе – около 250; детально разведанные к настоящему времени – 100 млн т. Наиболее перспективными для промышленного освоения являются месторождения бурых углей в западной части Гомельской области – Житковичское, Бриневское и Тонежское. Средняя мощность пластов – 3–4 м, максимальная – 19,9 м, вскрыши от 21 до 81 м [3].

Белорусской геологоразведочной экспедицией – филиалом Геологоразведочного республиканского унитарного предприятия «Белгеология» Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь – на Северной залежи Житковичского месторождения на глубине от 30,7 до 41,0 м из куста скважин диаметром 108 мм выполнен отбор валовой пробы бурого угля весом 1050 кг, состоящей из 57 образцов, на основании которых, согласно ГОСТу 10742–71, была сформирована общая технологическая проба, явившаяся предметом исследований.

Цель работы – определить основные качественные показатели углей, к наиболее важным из которых относятся теплотехнические характеристики, химический и компонентный составы органического вещества и минеральных соединений, термоустойчивость.

При проведении эксперимента руководствовались традиционными методами исследования твердого топлива. Определение исходных качественных показателей бурых углей таких, как влажность и зольность, проводили по ГОСТу

11014–2001 и ГОСТу 11022–95, ИСО 1171–81 соответственно. Определение летучих веществ проводили по ГОСТу 6382–2001, ИСО 562–98; гуминовых веществ – по ГОСТу 9517–94, ИСО 5073–85; высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания – по ГОСТу 147–95, ИСО 1928–76.

Содержание влаги зависит от степени углефикации топлива. Бурые угли характеризуются высокой естественной влажностью. Влажность исследованных образцов колеблется в диапазоне 43,8–64,4 % со средним значением 58,4 %. Доля образцов с влажностью до 50 % составляет в количественном выражении всего 5,3 %, образцов с влажностью 50–55 %, соответственно, 15,8 %. Влажностный диапазон 55–60 % соответствует 28 % и выше 60 % составляет более 50 %. Корреляции между показателями влажности образцов и глубиной их отбора не обнаружено.

Представленные для формирования технологической пробы образцы по зольности достаточно неоднородны. Диапазон по зольности составляет 10–35 %, хотя встречаются единичные образцы и с более высокими значениями. Для изучения химического и компонентного составов, теплотехнических и технологических характеристик из 57 исходных образцов сформировано 6 комбинированных проб с градацией по зольности: до 10 %; 10–15 %; 15–20 %; 20–25 %; 25–30 % и более 30 %. Данные по количеству образцов в указанных диапазонах и их средней зольности представлены в табл. 1.

Летучие вещества являются важной характеристикой топлива, их количественный выход зависит от степени метаморфизма и термической устойчивости его органической массы и определяет направления наиболее рационального использования углей в энергетике [3, 6].

Выход летучих веществ на сухое вещество колеблется в пределах 33–53 % в зависимости от зольности (табл. 2). Данный показатель закономерно снижается пропорционально увеличению зольности исследуемых образцов. При пересчете его на органическое вещество диапазон колебаний существенно суживается и за редким исключением образуется интервал в 54–58 %, что указывает на сравнительную однородность различающегося по зольности исходного органического материала исследуемых проб бурых углей.

Для определения качественных показателей органического вещества бурых углей был исследован его групповой состав. Из компонентов определено содержание гуминовых кислот и битумов. При экстракции угля органическими растворителями в раствор переходит часть органической массы, называемая битумами. Их выход зависит от используемого растворителя. Большое распространение получил метод экстракции битумов спирто-бензольной смесью в соотношении 1:1. Экстракцию угля осуществляли в аппарате Грефе при температуре кипения растворителя до полного его обесцвечивания. Экстракти упаривали, битумы подсушивали в течение 2 ч при 80 °С и определяли весовым методом.

Для определения общего выхода гуминовых кислот уголь обрабатывали щелочным раствором пирофосфата натрия в течение 1 ч при перемешивании. Центрифугированием отделяли экстракт от осадка, который затем нагревали в растворе гидроксида натрия в течение 2 ч на кипящей бане. После охлаждения суспензию центрифугировали, а экстракти объединяли. Из полученного объема отбирали аликвоту, в которой осаждали гуминовые кислоты, подкисляя 5 %-ным раствором соляной кислоты. Осадок гуминовых кислот отделяли центрифугированием, промывали, подсушивали и взвешивали. Полученные данные представлены в табл. 3. Результаты показывают, что исследуемые бурые угли содержат в составе органической массы от 58 до 77 % гуминовых кислот и 5,5–10,7 % битумов.

Таким образом, бурые угли Житковичского месторождения по своему составу относятся к гумусовым, так как основную часть их органической массы составляют гуминовые вещества. Поэтому эти угли могут рассматриваться как важный и перспективный источник биологически активных веществ для земледелия в виде стимуляторов роста растений, мелиорантов почв, органоминеральных удобрений, а также как сырье для получения углещелочных реагентов, применяемых при бурении скважин, и других продуктов нетопливного назначения. Высокое содержание гуминовых веществ позволяет рассматривать данный уголь как перспективное сырье для производства новых видов удобрительно-мелиорирующих материалов для нужд сельско-

хозяйственного производства, а также охраны окружающей среды в части восстановления природной функции и плодородия нарушенных, деградированных, загрязненных поллютантами разного происхождения почв, исходно низкоплодородных песчаных земель, а также для удовлетворения массового спроса садоводов и огородников [2].

**Таблица 1. Характеристика проб, сформированных по зольности**

Номер пробы	Диапазон по зольности, %	Количество исходных образцов для формирования пробы, шт.	Средняя зольность пробы, %
1	до 10	7	9,7
2	10–15	18	12,2
3	15–20	8	16,7
4	20–25	6	21,9
5	25–30	7	27,9
6	Более 30	11	40,2

**Таблица 2. Выход летучих веществ бурых углей Житковичского месторождения**

Номер образца	Летучие вещества, % на а. с. в.	Летучие вещества, % на органическое вещество
1	50,4	55,8
2	46,0	52,4
3	45,8	56,5
4	41,1	55,2
5	38,5	55,5
6	34,1	56,8
Технологическая пробы (ТП)	42,6	55,4

**Таблица 3. Содержание гуминовых кислот и битумов в бурых углях Житковичского месторождения**

Номер образца	Выход гуминовых кислот на органическую массу, %	Выход битумов на органическую массу, %
1	72,7	10,7
2	74,4	10,3
3	58,0	5,7
4	76,8	5,5
5	76,7	5,9
6	75,0	6,1
ТП	77,0	5,8

Теплота сгорания – одна из важнейших теплотехнических характеристик углей. Она зависит от содержания влаги и зольности, которые являются балластом и снижают теплоту сгорания углей, а также от состава органической массы топлива. Определение теплоты сгорания осуществляли на калориметре IKA® C 5000 (производство Германия). Полученные результаты приведены в табл. 4.

**Таблица 4. Термодинамические характеристики бурого угля из Житковичского месторождения**

Номер образца	Влажность, %	Зольность, %	Теплота сгорания, на сухое вещество, кДж/кг/ккал/кг
1	37,1	9,7	23534 / 5620
2	38,5	12,2	20949 / 5000
3	16,2	16,7	20683 / 4940
4	14,9	21,9	17661 / 4215
5	14,0	27,9	16055 / 3830
6	26,6	40,2	15581 / 3720
ТП	27,6	20,9	19053 / 4550

**Примечание.** Теплота сгорания бурых углей естественной влажности (55 %) для технологической пробы будет составлять около 2000 ккал/кг.

Результаты показывают, что с ростом зольности закономерно снижается теплота сгорания образцов бурых углей. Показатель теплоты сгорания технологической пробы в пересчете на сухое вещество составил 4550 ккал/кг. Для сравнения показатель теплоты сгорания технологической пробы Бриневских бурых углей – 5000 ккал/кг [1], для углей Тонежского месторождения данный показатель отсутствует. Однако, сравнивая высшие удельные теплоты сгорания отдельных образцов всех указанных месторождений, следует отметить, что они сопоставимы и укладываются в диапазон 5000–6900 ккал/кг.

Элементный состав органической части углей определяли на С, Н, N, S, O – анализаторе фирмы ELEMENTAR модель VARIO EL III (производство – Германия). Получены следующие данные: среднее содержание углерода на сухой образец – 50,5 %, водорода – 3,9, азота – 0,7, серы – 0,6, кислорода – 44,3 (табл. 5).

Содержание углерода в пересчете на органическое вещество колеблется в пределах 62–67 %, водорода – 4,8–5,5, азота – 0,9–1,2, серы – 0,6–0,8 %. В ряду образцов с повышением зольности наблюдается слабая тенденция к увеличению содержания углерода и водорода в органическом веществе, что свидетельствует о несколько меньшей степени его окисленности. Эти

данные подтверждают ранее полученный вывод о снижении степени минерализации органического вещества, связанного с глинистой составляющей. Косвенным подтверждением сказанного являются значения отношений O : C, которые существенно ниже у самых высокозольных образцов (№ 5 и 6). Показатель C : H, характеризующий степень ароматичности органического вещества, у представленных образцов не выявил значительных отклонений, что может характеризовать органическое вещество изучаемых бурых углей как достаточно однородное по всей залежи. Значимых изменений особенностей органического вещества в зависимости от глубины отборной пробы не выявлено.

Для изучения термоустойчивости бурых углей был проведен дериватографический анализ с учетом термогравиметрических потерь масс образцов в различных температурных интервалах [5]. Полученные результаты приведены в табл. 6 и на рисунке.

Термохимическое разложение органического вещества бурых углей начинается с выделения воды (реакции дегидратации и декарбоксилирования), затем по мере возрастания температуры протекают процессы разрыва межмолекулярных связей с последующей деструкцией органического вещества, разложения органоминеральных комплексов, и параллельно проходят реакции конденсации ароматических структур и образования новых соединений. Как следует из данных термогравиметрического анализа (табл. 6), процесс термического разложения угля протекает в основном в две стадии – до 500 °C и выше. Скорость потери массы для углей Житковичского месторождения достигает максимальных значений в области 400 °C, что связано с выделением летучих соединений, обусловленных наличием в углях значительных количеств гуминовых веществ и других летучих органических соединений. Потеря массы при постоянной скорости пиролиза продолжается до 1000 °C за счет разложения термоустойчивых органоминеральных соединений, что подтверждается газообразованием с выделением горючих компонентов – CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>.

Следует отметить, что содержание водорода и оксида углерода в газе растет с повышением температуры, а этот процесс обусловлен процессами конденсации ароматических соединений кокса и восстановлением диоксида углерода на коксе до монооксида углерода соответственно.

Сравнивая потери масс исследуемых образцов в диапазоне 200–500 °C легко заметить ожидаемую корреляцию между потерей массы и исходной зольностью образцов: чем ниже зольность, тем выше величина потери массы при термодеструкции. Следует отметить, что данная закономерность прослеживается и в интервале температур до 700 °C и менее явно до 900 °C.

**Таблица 5. Элементный состав органического вещества образцов бурых углей Северной залежи Житковичского месторождения**

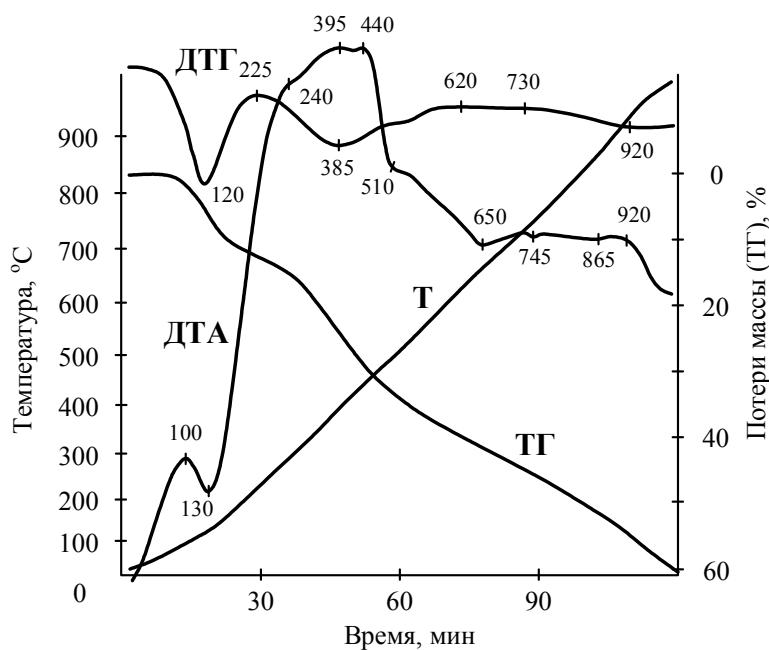
Номер образца	A <sup>c</sup> , %	% на сухое вещество					% на органическое вещество					Отношение C:H	Отношение O:C
		C	H	N	S	O (по разности)	C	H	N	S	O (по разности)		
1	9,7	58,22	4,34	1,15	0,64	35,65	64,47	4,80	1,27	0,70	28,76	13,4	0,45
2	12,2	54,42	4,05	1,00	0,52	40,01	62,00	4,61	1,14	0,59	31,66	13,4	0,51
3	16,7	54,34	4,14	0,87	0,57	40,08	65,23	4,97	1,04	0,68	28,08	13,1	0,43
4	21,9	48,86	3,62	0,72	0,53	42,27	62,56	4,64	0,92	0,69	31,19	13,5	0,50
5	27,9	46,57	3,84	0,70	0,56	48,33	64,59	5,32	0,97	0,78	28,34	12,1	0,44
6	40,2	40,62	3,32	0,61	0,47	54,98	67,92	5,55	1,02	0,79	24,62	12,2	0,36
Среднее содержание	21,2	50,50	3,89	0,84	0,59	44,18	64,09	4,94	1,07	0,75	29,15	13,0	0,45
ТП	20,9	52,67	3,93	0,70	0,50	42,20	66,00	4,92	0,88	0,63	27,57	13,4	0,42

**Таблица 6. Результаты термогравиметрического анализа образцов бурых углей Северной залежи Житковичского месторождения – потери массы, % на сухое вещество**

Номер образца	Зольность, %	Интервалы температур, °C							200–500 500–900 (Z)
		До 200	200–350	200–500	500–700	500–800	500–900	200–900	
1	9,7	16,0	10,9	32,1	13,7	20,6	28,1	60,2	1,14
2	12,2	14,8	11,8	29,7	12,3	17,4	24,7	54,4	1,20
3	16,7	13,4	11,4	29,2	12,6	19,3	25,7	55,0	1,14
4	21,9	12,2	10,1	25,8	10,9	16,6	22,7	48,6	1,14
5	27,9	11,2	8,7	23,6	9,9	14,9	20,3	43,9	1,16
6	40,2	12,4	9,2	23,5	10,4	15,2	20,7	44,3	1,14
ТП	20,9	50,9	9,3	24,2	12,4	18,6	24,2	48,4	1,00

**Таблица 7. Химический состав золы бурых углей Житковичского месторождения (Северная залежь)**

Номер образца	Содержание оксидов, % на сухое вещество											Потери при прокаливании
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	
1	31,26	1,21	25,13	5,13	26,20	1,66	0,148	1,10	2,14	0,17	4,94	0,49
2	54,91	1,26	15,27	3,15	16,18	1,66	0,095	1,20	1,73	0,11	3,62	0,47
3	57,00	1,26	11,71	4,49	16,18	2,77	0,084	0,95	1,92	0,10	3,80	0,23
4	73,54	1,21	7,34	1,77	10,02	1,10	0,060	0,60	1,53	0,08	2,18	0,10
5	74,50	1,26	7,45	1,65	9,25	1,66	0,057	0,70	1,38	0,09	2,40	0,14
6	72,90	1,32	7,71	1,52	10,02	1,10	0,055	1,00	1,48	0,07	2,15	0,20
ТП	64,35	1,30	10,63	2,39	13,10	1,66	0,073	2,00	1,37	0,09	2,38	0,21



**Кривые термического анализа технологической пробы бурого угля  
Житковичского месторождения**

При изучении объектов, содержащих значительное количество гуминовых веществ, исследователи используют показатель  $Z$ , характеризующий отношение масс разложившегося органического материала в диапазоне до 500 °C и выше этой температуры. Чем ниже данный показатель, тем больше в органическом веществе термоустойчивых фрагментов, которыми являются в гуминовых веществах более конденсированные ароматические структуры. В исследованном ряду образцов значение показателя  $Z$  примерно равно 1,14, за исключением незначительных отклонений у образцов 2 и ТП, что объяснить пока достаточно сложно.

Бурые угли Беларуси характеризуются повышенной зольностью. Выход золы углей Житковичского месторождения колеблется в пределах 9–42 %, со средним значением 21,2 %. Выполнен химический анализ минеральной части отдельных образцов и технологической пробы бурых углей Житковичского месторождения Северной

залежи, результаты которых представлены в табл. 7. Из приведенных данных следует, что исследуемые угли имеют преимущественно глиноземисто-кремнеземистый состав. Зола бурых углей Житковичского месторождения состоит в основном (до 90 %) из оксидов кремния, алюминия, кальция и железа.

Анализ качественных показателей технологической пробы показал, что бурые угли Житковичского месторождения характеризуются высокой естественной влажностью и зольностью, значительным выходом летучих веществ. По этим показателям, а также теплоте сгорания, химическому составу органической массы (элементный анализ, выход битумов и гуминовых кислот) они относятся к гумусированным землистым углям класса Б1 неогенового периода формирования и по своим характеристикам могут быть рекомендованы к использованию как в энергетическом, так и в нетопливном направлениях.

#### Л и т е р а т у р а

1. Качественные характеристики бурых углей Бриневского месторождения / П. Л. Фалюшин [и др.] // Природопользование. Минск, 2007. Вып. 13. С. 109–113.
2. Лиштван, И. И. Угли месторождений Беларуси и направления их комплексного использования / И. И. Лиштван // Энергоэффективность. 2010. № 5. С. 9–17.
3. Полезные ископаемые Беларуси: к 75-летию БелНИГРИ / под. ред. П. З. Хомича. Минск, 2002.
4. Равич, М. Б. Топливо и эффективность его использования / М. Б. Равич. М., 1971.
5. Уэндландт, У. Термические методы анализа / У. Уэндландт. М., 1978.
6. Химия твердых горючих ископаемых / С. Г. Аронов [и др.]. Харьков, 1960.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 21.02.2013 г.

*И. И. Лиштван, В. М. Крайко, В. М. Дударчик,  
Е. В. Ануфриева, Н. А. Булгакова, Е. А. Смолячкова*

## **КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУРЫХ УГЛЕЙ ЖИТКОВИЧСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Приведены результаты оценки качественных показателей технологической пробы бурых углей Житковичского месторождения. Изучен химический, элементный и компонентный состав, представленных проб, их теплотехнические, технические и технологические характеристики: естественная влажность колеблется в диапазоне 43–64 % со средним значением 58,4 %; зольность 9–45 % со средним значением по технологической пробе 20,9 %. Выход летучих веществ составляет 54–58 % на органическое вещество со средним показателем по технологической пробе, равном 55,7 %. Содержание гуминовых веществ в органической составляющей бурых углей по данным технологической пробы равно 77 %; содержание спирто-бензольных битумов варьирует в пределах 5,5–10,7 % со средним показателем по технологической пробе, равном 5,8 %. По элементному составу углерод в органическом веществе исследованных углей составляет 62–67 %, водород – 4,8–5,5 %, азот – 0,9–1,2 %, сера – 0,6–0,8 %, кислород (по разности) – 24,5–30,0 %. Теплота сгорания исследованных углей на сухое вещество укладывается в диапазон 15,5–23,5 МДж/кг со средним значением по технологической пробе, равном 19 МДж/кг.

На основании результатов исследования свойств и состава технологической пробы бурых углей Житковичского месторождения Северной залежи установлено, что они относятся к гумусированным землистым углем класса Б1 неогенового периода формирования и по своим характеристикам могут быть рекомендованы к использованию как в энергетическом, так и нетопливном направлениях.

*I. I. Lishtvan, V. M. Kraiko, V. M. Dudarchik,  
E. V. Anufrieva, N. A. Bulgakova, E. A. Smolyachkova*

## **QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF BROWN COALS OF ZHITKOVICHY DEPOSIT**

*Results of estimation of quality indicators of technological test of brown coals of Zhitkovichsky deposit are given. The chemical, element and componential structure, the presented tests, their heat-technical, technical and technological characteristics has been studied: a natural humidity fluctuates in a range of 43–64 % with average value of 58,4 %; ash content 9–45 % with average value on technological test of 20,9 %. The volatile substances outcome makes 54–58 % on organic substance with an average index on technological test, equal to 55,7 %. The humic substances content in organic component of brown coals according to technological test is 77 %; the spirit-benzol bitumens content varies within 5,5–10,7 % with an average index on technological test, equal to 5,8 %. As for element structure, carbon in organic substance of the investigated coals makes 62–67 %, hydrogen – 4,8–5,5 %, nitrogen – 0,9–1,2 %, sulfur – 0,6–0,8 %, oxygen (by difference) – 24,5–30,0 %. Combustion heat of the investigated coals per dry matter fits the range of 15,5–23,5 MDj/kg with average value on technological test 19 MDj/kg.*

*On the basis of research results of the properties and structure of technological test of brown coals of the Zhitkovichsky deposit of Northern deposit it is established, that they refer to humus-like earthy coals of B1 class of Neogenic period of formation and regarding characteristics can be recommended for use both in energy-technological and non-fuel directions.*

УДК 622.7

Л. Ю. Цвирко, С. В. Пармон, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов

## ВЛИЯНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ ТОРФА НА ОПТИЧЕСКУЮ ПЛОТНОСТЬ РАСТВОРОВ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ

*Изучено влияние гидродинамической кавитации торфа низинного и верхового типов на изменение оптической плотности растворов гуминовых кислот (ГК). Экспериментально показано, что под воздействием гидродинамической кавитации торфа в молекулах ГК разрушаются мостиковые связи, уменьшается система полисопряжения и, как следствие этого, ослабляется интенсивность окраски их щелочных растворов.*

Отличительной чертой ГК является высокая интенсивность поглощения света, и это их свойство используется при получении торфяного красителя [7, 10]. Окраска растворов гуминовых веществ (ГВ) является суммарным эффектом поглощения света различными хромофорными группами атомов, представленными двойными связями, входящими в систему полисопряжения ароматических фрагментов молекул, индивидуальными хромофорами типа  $-N=$ ,  $>C=O$  и другими [2, 8, 9, 12]. Характерными особенностями спектров поглощения ГВ в ультрафиолетовой и видимой областях являются отсутствие максимумов и возрастание интенсивности поглощения в коротковолновой области, поэтому они представляют собой пологие кривые с постепенным уменьшением величины поглощения по мере увеличения длины волны. При этом алифатические и неконденсированные ароматические фрагменты молекул ГВ поглощают свет в коротковолновой части спектра, а конденсированные ароматические – в длинноволновой [13].

Абсолютная величина светопоглощения ГК в видимой области обусловлена действием двух причин: собственным светопоглощением конденсированных ароматических систем, находящихся в структурных ячейках, и эффектом полисопряжения, создаваемым в результате соединения ячеек в одну большую молекулу. Каждая молекула поглощает свет в определенной части спектра, но поскольку существует большой набор молекул разной величины, то поглощение света наблюдается по всему диапазону видимой области, и поглощения отдельных молекул сливаются, образуя непрерывный спектр.

Таким образом, сплошной характер электронных спектров ГВ обусловлен наличием в их молекулах систем сопряженных углерод-углеродных и углерод-кислородных связей, входящих в состав ароматических фрагментов [1, 8, 9, 12], мостиковых связей, соединяющих ароматические фрагменты и обеспечивающих полисопряжение, а также большим набором молекул ГВ с разными молекулярными массами.

Окисление ГК пероксидом водорода приводит к резкому ослаблению величины оптичес-

ской плотности их растворов за счет разрушения мостиковых связей, соединяющих структурные ячейки, что ведет к уменьшению систем полисопряжения [2, 12]. Величина оптической плотности у окисленных препаратов ГК характеризует степень полисопряжения ароматических систем в структурных ячейках.

Изменение величины оптической плотности всегда связано с изменением молекулярной структуры ГК, поэтому спектроскопия в видимой области широко используется в химии ГК как инструмент изучения их изменения под воздействием технологических и природных процессов.

При гидродинамической кавитации органических веществ, включая торф, в момент склонивания пузырьков газа происходит окисление молекул и разрыв химических связей [6], однако влияние кавитации на молекулярную структуру ГК, и, в частности, на их светопоглощение в настоящее время изучено недостаточно, так же, как и не исследованы подробные спектральные характеристики препаратов ГК, получаемых после кавитации торфа.

Цель данной работы – изучить влияние гидродинамической кавитации торфа низинного и верхового типов на изменение оптической плотности растворов ГК.

Объекты исследования: ГК, выделенные из низинного и верхового торфа до и после кавитационной обработки. Для проведения эксперимента использовали низинный древесно-тростниковый торф из месторождения Ореховский Мх со степенью разложения ( $R$ ) 35–40 %, зольностью ( $A^c$ ) 8,4 %, pH 5,6 и верховой магелланикум-торф из месторождения Радемье ( $R = 20 \%$ ,  $A^c = 9,9 \%$ , pH 3,2). Высокая величина зольности верхового торфа объясняется наличием минеральных примесей. Перед загрузкой в кавитатор образцы фрезерного торфа предварительно измельчали, просеивали через сито с диаметром ячеек 2 мм, так как более крупные частицы торфа не проходили через кавитационную установку.

Состав супензии: для низинного торфа – 1 кг торфа 40 %-ной влажности + 3,5 л воды; для верхового торфа – 0,5 кг торфа 40 %-ной влажности + 4 л воды. Такие различия обусловлены

разной водопоглотительной способностью и насыпной плотностью этих видов торфа. Малоразложившийся сфагновый торф поглощал много воды, и при соотношении 1:4 суспензия, пригодная для кавитационной обработки, не была получена, поэтому количество торфа было уменьшено до 0,5 кг на 4 л воды. Условия кавитации: низинный торф подвергали кавитационной обработке в течение 50 мин, верховой – 40 мин, так как такая продолжительность кавитации является оптимальной для получения наибольшего выхода ГВ из этих видов торфа [15]. Пробы торфа отбирали в виде суспензии, которую в процессе кавитации разогревали до температуры 70–80 °C, но начальная температура при запуске кавитационной установки была 15–20 °C. После кавитации суспензии охлаждали до комнатной температуры, после чего из них отбирали пробы для выделения ГК. Экстракцию ГК проводили 2 %-ным раствором NaOH при разных температурах: 18–20, 60, 80 и 96–98 °C [15]. Далее полученные ГК исследовали методом спектрального анализа.

Для регистрации спектров поглощения готовили 0,01 %-ные растворы ГК в 0,1 н. NaOH. Регистрацию спектров поглощения осуществляли на спектрофотометре UV-VIS SPECORD M 40 (фирма-производитель CARLZEISS JENA ГДР) в

кварцевых кюветах с толщиной слоя 10 мм через 24 ч после приготовления раствора.

На рис. 1, 2 представлены электронные спектры ГК, экстрагированных при разной температуре из торфа низинного и верхового типов до и после кавитации, из которых видно, что растворы ГК низинного и верхового торфа после кавитации в течение 40–50 мин имеют меньшие значения оптической плотности по сравнению с растворами ГК этих образцов торфа до кавитации. Это означает, что кавитация существенно снижает оптическую плотность растворов ГК. Например, для раствора ГК, выделенных при 96–98 °C из низинного торфа до кавитации, максимальное значение оптической плотности при 400 нм составило 1,0430, в то время как в растворе ГК из этого же образца торфа, выделенных после кавитации, значение оптической плотности уменьшилось до 0,7013. В растворах ГК верхового торфа, полученных при температуре экстракции 18–20 °C, значения оптической плотности при 400 нм изменяются менее существенно в зависимости от кавитации: от 0,6143 до 0,5245. Похожие изменения происходят в величине оптической плотности растворов ГК, выделенных из низинного и верхового торфа до и после кавитации, при длине волны 600 нм.

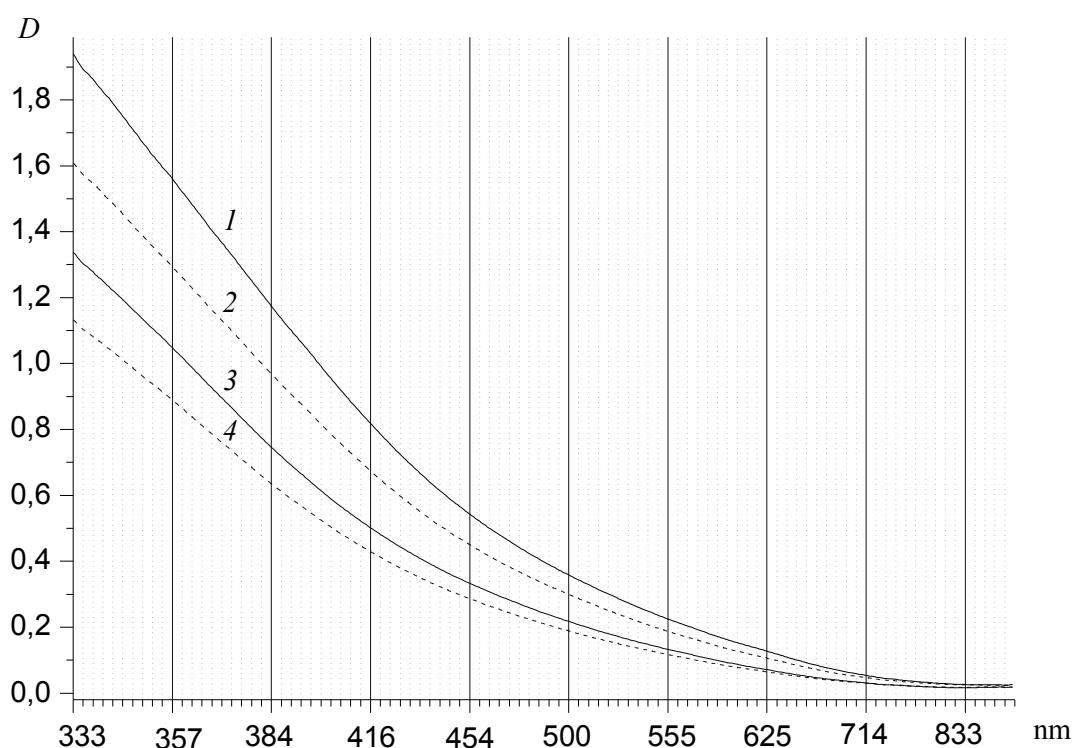
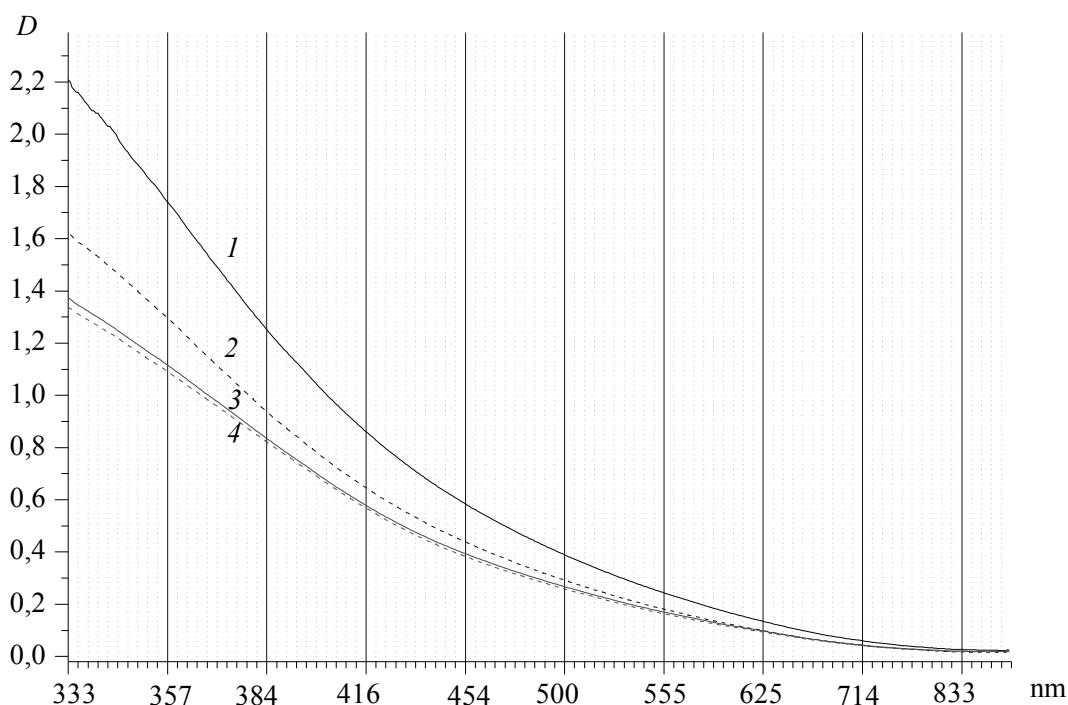


Рис. 1. Электронные спектры поглощения гуматов натрия, выделенных из торфа при 18–20 °C:  
1 – низинного торфа до кавитации; 2 – низинного торфа после кавитации; 3 – верхового торфа до кавитации; 4 – верхового торфа после кавитации



**Рис. 2. Электронные спектры поглощения гуматов натрия, выделенных из торфа при 96–98 °С:**  
1 – низинного торфа до кавитации; 2 – верхового торфа до кавитации; 3 – низинного торфа после кавитации; 4 – верхового торфа после кавитации

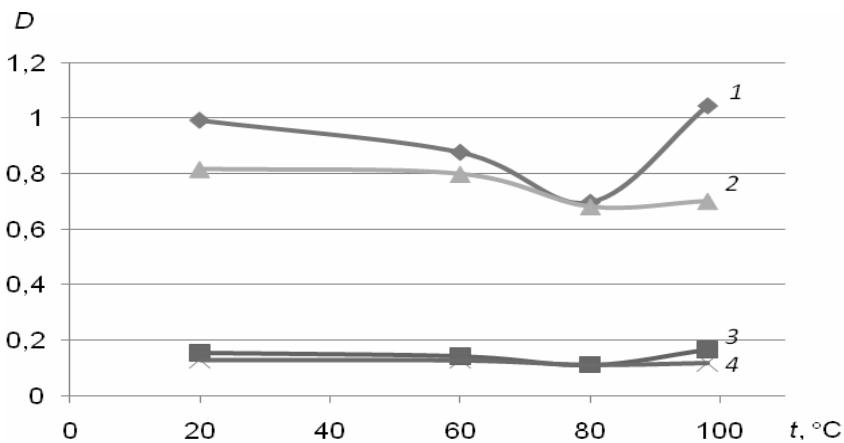
Данные по влиянию температуры экстракции на величину оптической плотности растворов ГК представлены в таблице и на рис. 3, 4, согласно которым у ГК исходного низинного торфа при повышении температуры экстракции с 18–20 до 80 °С происходит снижение величины оптической плотности, особенно в коротковолновой части спектра, а затем при повышении температуры экстракции до 96–98 °С она возрастает и в исследуемом диапазоне температур достигает максимальной величины. Такие изменения объясняются тем, что при воздействии на ГК щелочи при различных температурах имеет место параллельное протекание противоположных химических процессов деструкции макромолекул и конденсации с соответствующими изменениями систем полисопряжения [3, 5, 11]. Доказано [3], что ГК, выделенные из торфа щелочью при 18–20 °С, имеют оптическую плотность значительно более высокую, чем ГК, извлеченные при 80 °С. При 80 °С идет щелочной гидролиз ГК с уменьшением молекулярной массы [4]. Экспериментально установлено [5], что если раствор ГК, извлеченных при 18–20 °С, выдерживать в течение 30–60 мин при 96–98 °С, то величина оптической плотности возрастает за счет реакции конденсации. Способность ГК к реакциям конденсации и увеличению размера систем полисопряжения с

повышением интенсивности окраски при нагревании, использовано в технологии получения торфяного красителя [7, 10]. Таким образом, зависимость величины оптической плотности от температуры экстракции из торфа до кавитации (рис. 3, 4) доступно объясняется с позиции современных знаний о превращениях ГК в щелочной среде: до 80 °С преобладают процессы щелочной деструкции, а при более высоких температурах – процессы конденсации.

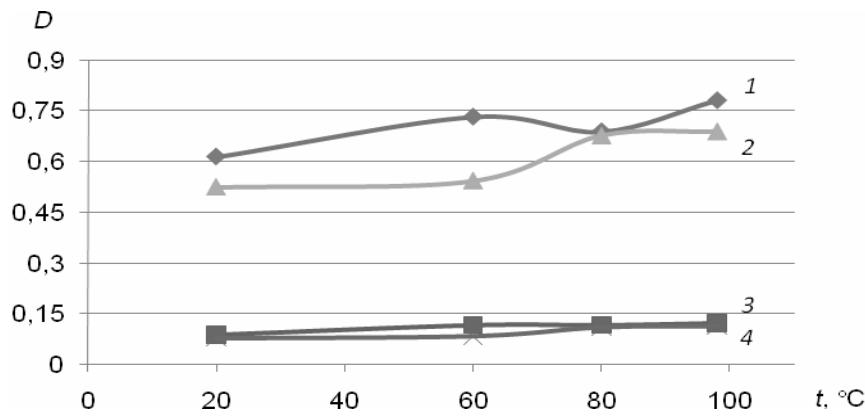
В процессе кавитации торфа произошли изменения молекулярной структуры ГК, поэтому их щелочная деструкция в интервале температур 18–60 °С не наблюдалась (на рис. 4 не было снижения  $D_{400}$  и  $D_{600}$ ). Однако ГК, экстрагированные при 80 °С из торфа, подвергшегося кавитации, имели пониженную оптическую плотность, а у ГК, выделенных при 96–98 °С, она снова возросла, но была значительно ниже оптической плотности ГК исходного торфа. При всех температурах экстракции ГК из торфа после кавитации их оптическая плотность была ниже, чем у исходного торфа. Это означает, что в процессе кавитации в ГК произошло разрушение систем полисопряжения, что согласуется с данными об уменьшении молекулярных масс ГК в процессе кавитации [14].

**Оптическая плотность 0,01 %-ных растворов ГК в 0,1 н. NaOH из разных типов торфа**

Условия выделения ГК	<i>D</i>		<i>Q</i> <sub>4/6</sub>
	400 нм	600 нм	
<i>Торф низинного типа</i>			
До кавитации, 18–20 °C	0,9912	0,1544	6,42
После кавитации, 18–20 °C	0,8163	0,1288	6,33
До кавитации, 60 °C	0,8763	0,1421	6,17
После кавитации, 60 °C	0,7987	0,1268	6,30
До кавитации, 80 °C	0,6971	0,1107	6,30
После кавитации, 80 °C	0,6812	0,1108	6,15
До кавитации, 96–98 °C	1,0430	0,1656	6,30
После кавитации, 96–98 °C	0,7013	0,1177	6,39
<i>Торф верхового типа</i>			
До кавитации, 18–20 °C	0,6143	0,0884	6,95
После кавитации, 18–20 °C	0,5245	0,0792	6,62
До кавитации, 60 °C	0,7325	0,1165	6,29
После кавитации, 60 °C	0,5432	0,0854	6,36
До кавитации, 80 °C	0,6888	0,1165	5,91
После кавитации, 80 °C	0,6783	0,1105	6,14
До кавитации, 96–98 °C	0,7817	0,1223	5,96
после кавитации, 96–98 °C	0,6906	0,1134	6,09



**Рис. 3. Величина оптической плотности гуматов натрия из торфа низинного типа в зависимости от температуры: 1 – при  $D_{400}$ , до кавитации; 2 – при  $D_{400}$ , после кавитации; 3 – при  $D_{600}$ , до кавитации; 4 – при  $D_{600}$ , после кавитации**



**Рис. 4. Величина оптической плотности гуматов натрия из торфа верхового типа в зависимости от температуры: 1 – при  $D_{400}$ , до кавитации; 2 – при  $D_{400}$ , после кавитации; 3 – при  $D_{600}$ , до кавитации; 4 – при  $D_{600}$ , после кавитации**

Для верхового торфа наблюдается аналогичное влияние кавитационной обработки на величину оптической плотности ГК: в исследованном диапазоне температуры экстракции она у ГК, выделенных из торфа после кавитации ниже, чем у ГК исходного торфа. Следовательно, основным результатом кавитационного воздействия на органическое вещество торфа является уменьшение систем полисопряжения в молекулах ГК. Вместе с тем у ГК верхового торфа в отличие от ГК низинного торфа не наблюдается щелочной деструкции при температуре ниже 60 °С. По-видимому, это связано с тем, что верховой торф в течение многих столетий находился в кислой среде, и за это время медленно шли процессы кислотного гидролиза, поэтому ГК верхового торфа оказались более устойчивы к воздействию щелочи, что было отмечено ранее [2].

Величина оптической плотности растворов ГК является удобной мерой относительных размеров систем полисопряжения при сравнительных исследованиях, но она не характеризует соотношение между алифатическими и конденсированными ароматическими фрагментами в пределах молекул ГК. Такая информация может быть получена путем вычисления коэффициентов цветности  $Q_{4/6}$ , поскольку указанные выше фрагменты поглощают свет в разных частях видимого спектра: конденсированные системы – в длинноволновой части, алифатические цепи и одиночные ароматические кольца – в коротковолновой. В наших исследованиях коэффициент цветности определяли по отношению  $D_{400}/D_{600}$ . Чем больше величина  $Q_{4/6}$ , тем больше в молекулах ГВ доля боковых цепей по сравнению с

конденсированными ароматическими ядрами, и наоборот.

По современным представлениям [2, 12, 13, 16] молекулы ГК состоят из структурных ячеек, каждая из которых имеет конденсированный ароматический фрагмент (ядро) и алифатические цепи. Методом пиролитической масс-спектроскопии в ГК торфа обнаружены конденсированные ароматические фрагменты, состоящие из двух, трех и четырех бензольных колец [16]. Структурные ячейки соединяются между собой мостиковыми связями, обеспечивающими полисопряжение. Итогом такого объединения является формирование в молекулах ГК укрупненной системы полисопряженных химических связей.

Представленные в таблице данные показывают, что для исследованных образцов ГК величины коэффициентов цветности близки, поэтому можно утверждать, что несмотря на разрушение систем полисопряжения в молекулах ГК при гидродинамической кавитации торфа, соотношение между алифатическими и конденсированными ароматическими фрагментами практически не изменилось. Это означает, что уменьшение размеров систем полисопряжения в молекулах ГК произошло за счет разрушения мостиков между структурными ячейками, а алифатические и ароматические фрагменты в самих ячейках практически не изменились.

Таким образом, исследования показали, что под воздействием гидродинамической кавитации торфа в молекулах ГК разрушаются мостиковые связи, уменьшается система полисопряжения и, как следствие этого, ослабляется интенсивность окраски их щелочных растворов.

## Литература

1. Александрова, Л. Н. Органическое вещество почв / Л. Н. Александрова. Л., 1980.
2. Бамбалов, Н. Н. Минерализация и трансформация органического вещества мелиорированных торфяных почв при их сельскохозяйственном использовании (на примере торфяных почв Белоруссии) : дис.... д-ра с.-х. наук: 06.01.03 / Н. Н. Бамбалов. Минск, 1983.
3. Бамбалов, Н. Н. Изменение оптической плотности растворов гуминовых кислот торфов в процессе гумификации / Н. Н. Бамбалов, В. Е. Раковский // Изв. АН БССР. Сер. хим. наук. 1967. № 2. С. 129–131.
4. Бамбалов, Н. Н. Современное состояние и проблемы методики группового анализа органического вещества торфяных почв / Н. Н. Бамбалов // Физико-химические, геохимические и микробиологические процессы мелиорированных почв Полесья. Минск, 1974. С. 165–209.
5. Бамбалов, Н. Н. Зависимость оптической плотности растворов гуминовых веществ торфа от концентрации гидроксида натрия и температуры / Н. Н. Бамбалов, А. С. Решетник, В. В. Смирнова // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. 2011. № 2. С. 111–115.
6. Влияние гидродинамической кавитации на выход гуминовых веществ из торфа / Г. А. Соколов [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. 2010. № 4. С. 112–117.
7. Гаврильчик, А. П. Превращение торфа при добыче и переработке / А. П. Гаврильчик. Минск, 1992.
8. Комиссаров, И. Д. Спектры поглощения гуминовых кислот / И. Д. Комиссаров // Гуминовые препараты. Тюмень, 1971. С. 99–115.
9. Кононова, М. М. Органическое вещество почвы / М. М. Кононова. М., 1963.
10. Лиштван, И. И. Торфяной краситель для мебельной промышленности / И. И. Лиштван, С. С. Маль, С. П. Поваркова // Торфяная промышленность. 1982. № 9. С. 20–23.

11. Маль, С. С. Углеводы и азотсодержащие вещества торфа / С. С. Маль. Минск, 1982.
12. Орлов, Д. С. Гумусовые кислоты почв / Д. С. Орлов. М., 1974.
13. Орлов, Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д. С. Орлов. М., 1990.
14. Соколов, Г. А. Изменение молекулярно-массового распределения гуминовых кислот в процессе гидродинамической кавитации торфяной суспензии / Г. А. Соколов, А. Д. Константинова, В. В. Смирнова // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. хім. наука. 2009. № 3. С. 123–124.
15. Цвирко, Л. Ю. Изменение растворимости и оптических свойств гуминовых веществ в процессе гидродинамической кавитации торфа / Л. Ю. Цвирко, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов // Процессы и средства добычи и переработки полезных ископаемых : Материалы Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 2012. С. 89–93.
16. Bambalov, N. Peculiarities of the chemical composition and the molecular structure of peat humic substances / N. Bambalov, T. Smychnik, V. Maryganova // Acta agrophysica. Lublin, 2000. № 26. Р. 149–177.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 31.01.2013 г.

**Л. Ю. Цвирко, С. В. Пармон, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов**

**ВЛИЯНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ ТОРФА  
НА ОПТИЧЕСКУЮ ПЛОТНОСТЬ РАСТВОРОВ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ**

*Изучено влияние гидродинамической кавитации торфа низинного и верхового типов на изменение оптической плотности растворов гуминовых кислот.*

*Под воздействием гидродинамической кавитации торфа в молекулах гуминовых кислот разрушаются мостиковые связи, уменьшается система полисопряжения и, как следствие этого, ослабляется интенсивность окраски их щелочных растворов.*

**L. Y. Tsvirko, S. V. Parmon, N. N. Bambalov, G. A. Sokolov**

**PEAT HYDRODYNAMIC CAVITATION IMPACT  
ON OPTICAL DENSITY OF HUMIC ACIDS SOLUTIONS**

*Lowland and high-moor peat hydrodynamic cavitation influence on the change of optical density of humic acids solutions has been studied.*

*Under the impact of peat hydrodynamic cavitation the bridge links in molecules of humic acids collapse, the system of poly-conjugation decreases resulting thus in weakening of color intensity of their alkaline solutions.*

**В. В. Смирнова, Н. Н. Бамбалов, С. В. Пармон**

## ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ, ВЫДЕЛЕННЫХ ВОДНЫМ РАСТВОРОМ АММИАКА

Выполнена оценка физико-химических свойств гуминовых кислот (ГК), выделенных водным раствором аммиака в разных условиях. Характеристика ГК дана по содержанию гидролизуемых веществ 2 %-ной соляной кислотой, электронным и ИК-спектрам, а также по содержанию кислых функциональных групп.

Водные растворы аммиака используют для получения биологически активных гуминовых веществ (ГВ), натуральных красителей, преобразователей ржавчины и др. В указанных препаратах основным компонентом являются аммонийные соли ГК.

При экстракции ГВ водным аммиаком или органическими растворителями, содержащими аминогруппы, получаются препараты с повышенным содержанием азота [5, 6, 10] за счет его необратимого включения в молекулы ГК.

В научной литературе основной массив данных о физико-химических свойствах ГК относится к препаратам, выделенным едкими и углекислыми щелочами и пирофосфатом натрия. Научные знания о свойствах ГК, выделенных водным аммиаком, немногочисленны, поэтому имеется дефицит знаний о влиянии условий и технологических режимов выделения ГК (температуры, кислотного гидролиза, давления и др.) на их свойства.

Ранее [4] выполнена сравнительная оценка выхода гуминовых веществ из низинного и верхового типов торфа при различных условиях экстракции 2 %-ным водным раствором аммиака. Установлено, что наибольший выход ГВ из торфа со степенью разложения 35 % и выше имеет место при температуре экстракции 96–98 °C. Повышение температуры до 125 °C ведет к уменьшению выхода ГВ из торфа. Предварительный кислотный гидролиз торфа высокой степени разложения 5 %-ной серной кислотой уменьшает выход ГВ.

Цель настоящей работы – оценить физико-химические свойства ГК, выделенных водным раствором аммиака в разных условиях.

Для исследований использовали наиболее распространенные виды торфа: низинный тростниково-осоковый со степенью разложения ( $R$ ) 35 %, зольностью ( $A$ ) 11,3 %, pH в KCl 5,2 из месторождения Гало-Ковалевское и верховой сосново-пушицевый ( $R = 50\%$ ,  $A = 3,3\%$ , pH в KCl 3,3) из месторождения Радемье.

Экстракцию ГВ 2 %-ным водным аммиаком осуществляли в течение 2 ч при 96–98 °C (кипящая водяная баня) и атмосферном давлении, и при 125 °C в закрытом реакторе при давлении 3,0–3,5 атм. Для экстракции использовали торф исходный и прогидролизованный 5 %-ной серной

кислотой при 96–98 или 125 °C в течение 3 ч. Во всех случаях модуль был равен 1:10. Из водно-аммиачных экстрактов ГК осаждали при pH 1,0. Осадки центрифugировали, вымораживали при минус 4–5 °C, отмывали от избытка ионов хлора и сушили при 50 °C.

Характеристику ГК давали по содержанию гидролизуемых веществ 2 %-ной соляной кислотой, электронным и ИК-спектрам, а также по содержанию кислых функциональных групп.

Гидролиз ГК, выделенных в различных условиях, осуществляли 2 %-ной соляной кислотой при 96–98 °C в течение 3 ч при соотношении 1:50 [9]. Выход легкогидролизуемых веществ (ЛГВ) определяли по разнице масс ГК до и после гидролиза.

Регистрацию электронных спектров 0,01 %-ных растворов ГК в 0,1 н. NaOH осуществляли на спектрофотометре Specord M-40 при длине волн 300–800 нм в кварцевой кювете толщиной 1 см. ИК-спектры ГК регистрировали в области 4000–400 см<sup>-1</sup> с использованием автоматизированного комплекса на базе спектрофотометра «Specord M-80» и ПЭВМ IBM, позволяющего производить запись спектров в цифровом виде. Образцы ГК готовили в виде запрессовок с KBr (концентрация ГК 0,35 %).

Кислые функциональные группы определяли по методике [7].

В табл. 1 представлены данные по содержанию ЛГВ в ГК, выделенных в различных условиях.

Известно [1, 7–9], что при гидролизе ГК 5 %-ной серной или 2 %-ной соляной кислотой часть их ОВ переходит в гидролизат, при этом количество гидролизуемых веществ в ГК снижается с увеличением степени разложения торфа. В составе кислотных гидролизатов ГК обнаружены углеводы, аминокислоты, альдегиды, аминосахара, фенолы, фурфурол, фульвоподобные вещества и др. В процессе кислотного гидролиза от ГК отщепляются боковые цепи и параллельно идут реакции конденсации, приводящие к увеличению молекулярной массы твердого остатка [2]. Это означает, что, с одной стороны, кислотный гидролиз торфа должен уменьшать выход ГК из него, а с другой – после кислотного гидролиза из сырья извлекаются ГК с искаженной молекулярной структурой.

**Таблица 1. Содержание легкогидролизуемых веществ в ГК, выделенных водным аммиаком в различных условиях**

Вариант	Условия экстракции	Выход ГК, % к ОВ торфа	Агк, %	ЛГВ	НГВ	ЛГВ/НГВ
				% к ОВ ГК		
<b>Низинный торф</b>						
1	2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 96–98 °C	29,5	2,8	51,4	48,6	1,1
2	5 %-ный раствор $\text{H}_2\text{SO}_4$ 2 ч при 96–98 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 96–98 °C	22,9	2,3	45,1	54,9	0,8
3	2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч в при 125 °C	29,2	3,8	50,0	50,0	1,0
4	5 %-ный раствор $\text{H}_2\text{SO}_4$ 2 ч при 125 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 125 °C	21,7	3,9	45,3	54,7	0,8
<b>Верховой торф</b>						
1	2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 96–98 °C	54,7	0,4	22,8	77,2	0,3
2	5 %-ный раствор $\text{H}_2\text{SO}_4$ 2 ч при 96–98 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 96–98 °C	37,1	0,3	21,6	78,4	0,3
3	2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч в при 125 °C	51,7	0,3	23,4	76,6	0,3
4	5 %-ный раствор $\text{H}_2\text{SO}_4$ 2 ч при 125 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 125 °C	36,8	0,4	22,8	77,2	0,3

*Примечание.* ОВ – органическое вещество; НГВ – негидролизуемые вещества.

Наибольший выход гидролизуемых веществ получили в препаратах, которые выделены из низинного и верхового торфа без предварительного кислотного гидролиза. Так, ГК низинного торфа, выделенные по варианту 1 при 96–98 °C, дают выход ЛГВ 51,4 %, а из ГК, выделенных при этой же температуре после предварительного кислотного гидролиза, выход ЛГВ составляет 45,1 %. Для верхового торфа результаты аналогичные, только абсолютные величины выхода гидролизуемых веществ меньше, чем для ГК низинного торфа: 22,8 % при выделении без предварительного кислотного гидролиза и 21,6 % после гидролиза 5 %-ной серной кислотой.

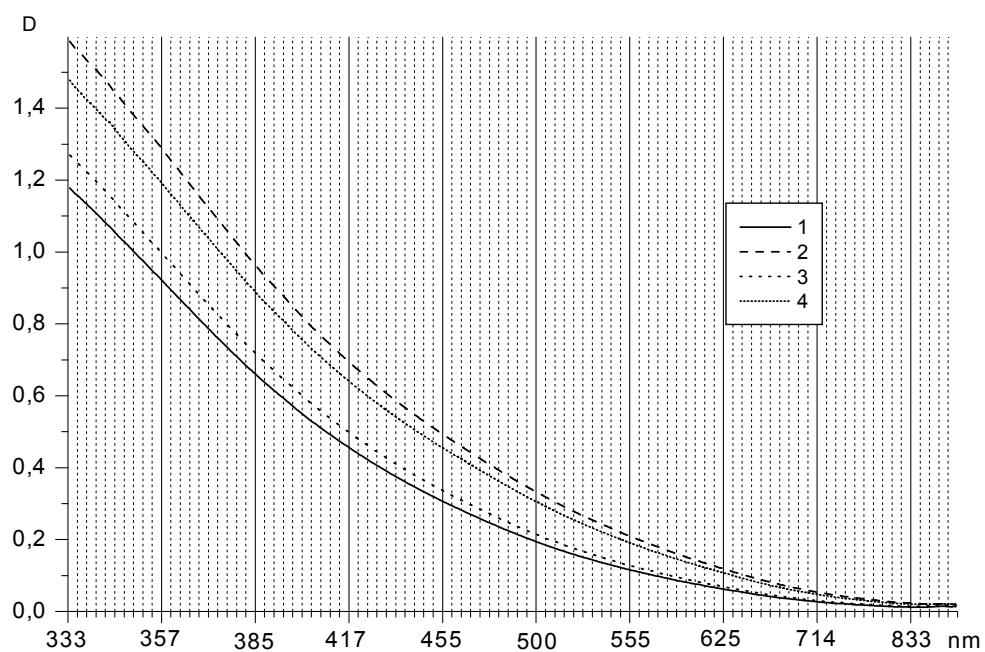
Выход ЛГВ из ГК, выделенных 2 %-ным водным раствором аммиака из низинного торфа, значительно выше (2,00–2,25 раза), чем из ГК верхового торфа, выделенных при таких же условиях. Это объясняется тем, что ГК верхового торфа сформировались в кислой среде (рН около 3,0) и находились в этой среде многие сотни лет. За это время проходил кислотный гидролиз ГК в естественных условиях без нагревания, в результате чего ГК утратили некоторую часть гидролизуемых веществ. В условиях низинной торфяной залежи этих процессов нет, поэтому количество гидролизуемых веществ в ГК низинного торфа больше, чем в ГК верхового.

Несмотря на предварительный кислотный гидролиз торфа 5 %-ной серной кислотой в препаратах ГК содержится более 50 % ЛГВ. Эти результаты позволяют утверждать, что кислотный гидролиз ГК, находящихся в составе торфяных частиц, и их изолированных препаратов протекает по-разному. В торфяном сырье, высушенному до воздушно-сухого состояния, ГК находятся в виде плотно упакованных ассоциатов молекул и надмолекулярных агрегатов, поэтому доступ кислоты к ним затруднен, гидролиз идет преимущественно на их поверхности. При растворении

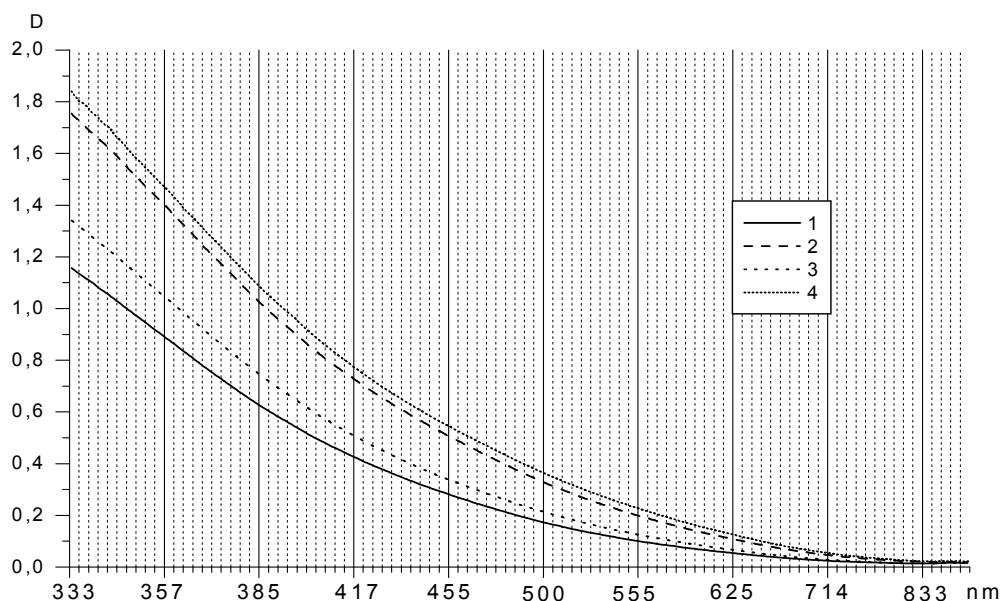
ГК в щелочи находившиеся в торфе ассоциаты и агрегаты молекул ГК разрушаются, затем при подкислении выпадают в виде рыхлого осадка и после сушки твердые препараты в определенной степени сохраняют поры, через которые проходит водный раствор кислоты, поэтому гидролиз протекает если не во всем объеме препарата ГК, то в его большей части. Это предположение можно подтвердить исследованиями [10], где было установлено, что емкость обмена торфа зависит от его влажности, причем при сушке торфа до влажности 25–35 % и менее его емкость обмена снижается. Такое снижение емкости обмена объясняется тем, что при влажности торфяного сырья ниже 25–35 % происходит коагуляция коллоидов, при этом агрегаты молекул уплотняются и становятся менее проницаемы для водных растворов.

Присутствие ЛГВ в ГК, выделенных по вариантам 2 и 4, указывает на то, что при гидролизе торфа 5 %-ной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  от ГК отщепляется лишь меньшая часть ЛГВ (6–13 %), а основное их количество (87–94 %) сохраняется в молекулах ГК и может быть удалено только при кислотном гидролизе препаратов, выделенных из торфа. Особенно важно отметить, что столь большое содержание ЛГВ в ГК характерно только, если они были извлечены водным аммиаком. Как известно, при экстракции ГК из торфа едким натром содержание ЛГВ находится в диапазоне 18–25 % [1, 6].

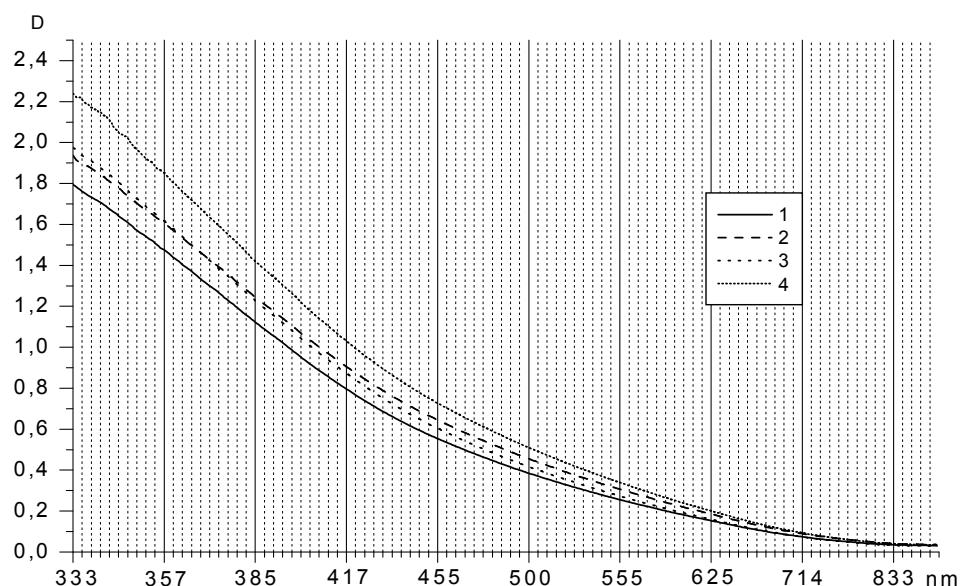
Электронные спектры поглощения в видимой области препаратов ГК, полученных разными методами, представлены на рис. 1–4, а их качественная характеристика в табл. 2. Электронные спектры поглощения ГК имеют сплошной характер с постепенным уменьшением поглощения по мере увеличения длины волны, что характерно для типичных ГК торфа [8].



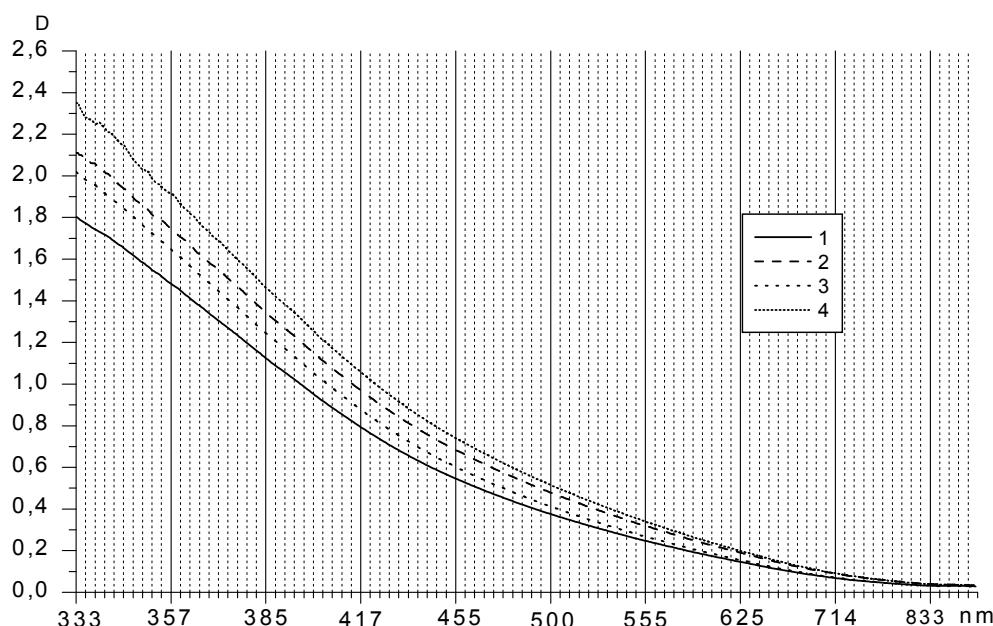
**Рис. 1.** Электронные спектры растворов ГК, выделенных из низинного торфа при 96–98 °С:  
1 – экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$ ; 2 – экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$ , затем гидролиз ГК 2 %-ной  $\text{HCl}$ ;  
3 – гидролиз торфа 5 %-ной  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , затем экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$ ; 4 – гидролиз торфа 5 %-ной  
 $\text{H}_2\text{SO}_4$ , затем экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$ , затем гидролиз ГК 2 %-ной  $\text{HCl}$



**Рис. 2.** Электронные спектры растворов ГК, выделенных из низинного торфа при 125 °С:  
1 – экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$ ; 2 – экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$ , затем гидролиз ГК 2 %-ной  $\text{HCl}$ ;  
3 – гидролиз торфа 5 %-ной  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , затем экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$ ; 4 – гидролиз торфа 5 %-ной  
 $\text{H}_2\text{SO}_4$ , затем экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$ , затем гидролиз ГК 2 %-ной  $\text{HCl}$



**Рис. 3.** Электронные спектры растворов ГК, выделенных из верхового торфа при 96–98 °С:  
1 – экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$ ; 2 – экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$ , затем гидролиз ГК 2 %-ной  $\text{HCl}$ ;  
3 – гидролиз торфа 5 %-ной  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , затем экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$ ; 4 – гидролиз торфа 5 %-ной  
 $\text{H}_2\text{SO}_4$ , затем экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$ , затем гидролиз ГК 2 %-ной  $\text{HCl}$



**Рис. 4 –** Электронные спектры растворов ГК, выделенных из верхового торфа при 125 °С:  
1 – экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$ ; 2 – экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$ , затем гидролиз ГК 2 %-ной  $\text{HCl}$ ;  
3 – гидролиз торфа 5 %-ной  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , затем экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$ ; 4 – гидролиз торфа 5 %-ной  
 $\text{H}_2\text{SO}_4$ , затем экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$ , затем гидролиз ГК 2 %-ной  $\text{HCl}$

Во всех вариантах ГК, выделенные после предварительного гидролиза торфа 5 %-ной  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , имеют более высокую величину оптической плотности по сравнению с ГК, выделенными без предварительного кислотного гидролиза торфа (табл. 2).

Например, у препаратов ГК, выделенных из низинного торфа по варианту 1,  $D_{465}$  состав-

ляет 0,2761, а по варианту 2 (после кислотного гидролиза) – 0,4503. Аналогично отличаются величины  $D_{465}$  у ГК, выделенных по вариантам 3 и 4, а также величины  $D_{465}$  для всех препаратов, полученных из верхового торфа. Факт увеличения оптической плотности в результате кислотного гидролиза был установлен ранее [1], однако, не ясным оставался вопрос, происходят ли при

этом изменения в системе полисопряжения в молекулах ГК.

Увеличение оптической плотности происходит в связи с удалением из молекул ГК неокрашенных фрагментов типа аминокислот, сахаров, альдегидов и др., а в остатках после кислотного гидролиза хромофорные группы сохраняются, и их доля в структуре молекул возрастает за-

счет перешедших в гидролизат неокрашенных соединений. Из данных табл. 1 видно, сколько веществ перешло в гидролизат, а из данных табл. 2 – на какую величину возрастла оптическая плотность. По этим данным можно сказать, что система полисопряжения молекул ГК в процессе кислотного гидролиза 2–5 %-ными растворами минеральных кислот практически не изменяется.

**Таблица 2. Оптическая плотность и коэффициент цветности растворов ГК, выделенных 2 %-ным раствором аммиака в различных условиях**

Вариант	Условия выделения ГК	$D_{465}$	%	$D_{665}$	%	$Q_{465/665}$
Низинный торф						
1	2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 96–98 °C	0,2761	100,0	0,0425	100,0	6,50
2	2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 96–98 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{HCl}$ 3 ч при 96–98 °C	0,4503	163,1	0,0828	194,8	5,44
3	5 %-ный раствор $\text{H}_2\text{SO}_4$ 2 ч при 96–98 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 96–98 °C	0,3032	109,8	0,047	110,6	6,45
4	5 %-ный раствор $\text{H}_2\text{SO}_4$ 2 ч при 96–98 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 96–98 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{HCl}$ 3 ч при 96–98 °C	0,4160	150,7	0,0741	174,4	5,61
5	2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч в при 125 °C	0,2517	100,0	0,0374	100,0	6,73
6	2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч в при 125 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{HCl}$ 3 ч при 96–98 °C	0,4597	182,6	0,0737	197,1	6,24
7	5 %-ный раствор $\text{H}_2\text{SO}_4$ 2 ч при 125 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 125 °C	0,3044	120,9	0,0449	120,1	6,78
8	5 %-ный раствор $\text{H}_2\text{SO}_4$ 2 ч при 125 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 125 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{HCl}$ 3 ч при 96–98 °C	0,4977	197,7	0,0859	229,7	5,79
Верховой торф						
1	2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 96–98 °C	0,5074	100,0	0,1101	100,0	4,61
2	2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 96–98 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{HCl}$ 3 ч при 96–98 °C	0,5926	116,8	0,1342	121,9	4,42
3	5 %-ный раствор $\text{H}_2\text{SO}_4$ 2 ч при 96–98 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 96–98 °C	0,5517	108,7	0,1128	102,5	4,89
4	5 %-ный раствор $\text{H}_2\text{SO}_4$ 2 ч при 96–98 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 96–98 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{HCl}$ 3 ч при 96–98 °C	0,6674	131,5	0,1427	129,6	4,68
5	2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч в при 125 °C	0,4989	100,0	0,1039	100,0	4,80
6	2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч в при 125 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{HCl}$ 3 ч при 96–98 °C	0,6267	125,6	0,1359	130,8	4,61
7	5 %-ный раствор $\text{H}_2\text{SO}_4$ 2 ч при 96–98 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 125 °C	0,5490	110,0	0,1089	104,8	5,04
8	5 %-ный раствор $\text{H}_2\text{SO}_4$ 2 ч при 125 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 125 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{HCl}$ 3 ч при 96–98 °C	0,6787	136,0	0,1407	135,4	4,82

Такое же заключение можно сделать и по данным изменений коэффициентов цветности (табл. 2). После дополнительного кислотного гидролиза 2 %-ной соляной кислотой у препаратов ГК величина оптической плотности возрастает, а коэффициенты цветности уменьшаются, что

свидетельствует об увеличении доли ароматических фрагментов в молекулах ГК. Следует отметить, что величина коэффициентов цветности более достоверна, чем величина оптической плотности, поскольку при расчете коэффициентов цветности все ошибки, допущенные при из-

мерении оптической плотности (неточность взвешивания, приготовления растворов и т. д.), взаимно уравновешиваются.

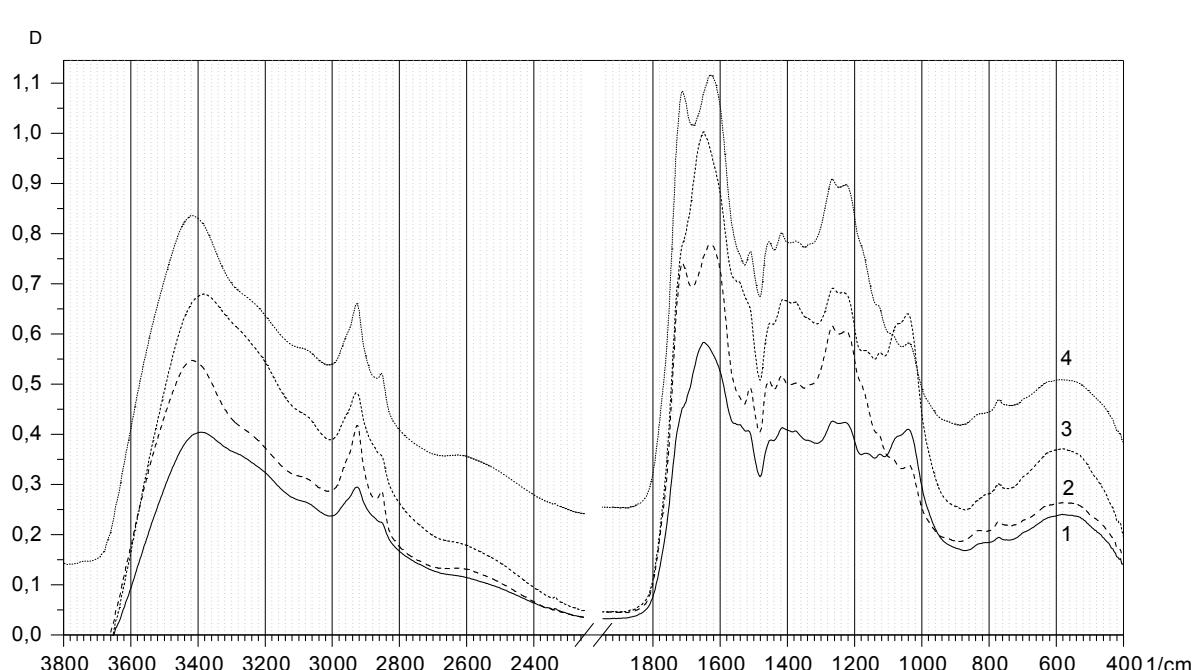
На рис. 5–8 представлены ИК-спектры ГК, выделенных из низинного и верхового торфа в разных условиях. Эти спектры схожи между собой и характеризуются типичными для них полосами поглощения, отнесение которых к разным группам атомов в молекулах ГК описано в [3]. Широкая полоса с максимумом при  $3400\text{ cm}^{-1}$  обусловлена валентными колебаниями водородно-связанных гидроксильных групп; полосы при  $2920$  и  $2850\text{ cm}^{-1}$  обусловлены валентными колебаниями  $\text{CH}_2$ - и  $\text{CH}_3$ -групп; широкая слабая полоса при  $2700$ – $2400\text{ cm}^{-1}$  обусловлена наличием димеров кислот; полосы при  $1720$ – $1700$  и  $1670\text{ cm}^{-1}$  соответствуют колебаниям  $\text{C=O}$  карбоксильных групп и амидов; полоса при  $1620$ – $1600\text{ cm}^{-1}$  – валентным колебаниям сопряженных двойных связей  $\text{C=C}$  конденсированных ароматических структур и углерод-кислородных двойных связей  $\text{C=O}$ ; полоса при  $1510\text{ cm}^{-1}$  – колебаниям  $\text{C=C}$ monoароматических структур; поглощение при  $1270$ – $1220$  и  $1170\text{ cm}^{-1}$  соответствует  $\text{C-O}$  кислот, сложных эфиров и  $\text{OH}$ -фенолов; полоса при  $1130$ – $1040\text{ cm}^{-1}$  –  $\text{C-O}$  углеводов, спиртов, циклических и алифатических эфиров.

Сопоставление спектров показало, что предварительный кислотный гидролиз низинного торфа 5 %-ной серной кислотой приводит к изменениям в их ИК-спектрах: во всех случаях на-

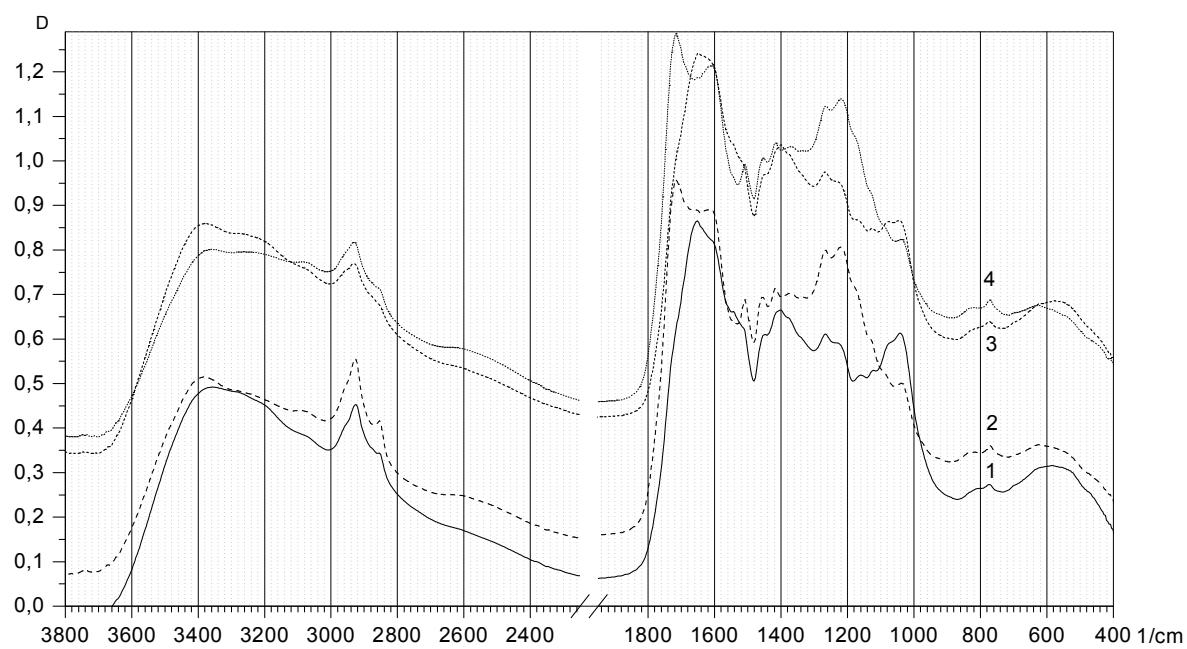
блюдается уменьшение полос поглощения при  $1160$ – $1040\text{ cm}^{-1}$  ( $\text{C-O}$  углеводов) и  $1660\text{ cm}^{-1}$  (валентных колебаний  $\text{C=O}$  амидов). Вследствие этого наблюдающееся в спектре ГК низинного торфа до кислотного гидролиза плечо при  $1720$ – $1700\text{ cm}^{-1}$  у препарата, полученного после кислотного гидролиза торфа, превращается в самостоятельный пик за счет удаления полосы поглощения аминокислот, а существенное ослабление полосы при  $1160$ – $1040\text{ cm}^{-1}$  объясняется удалением из препаратов ГК углеводов. Дополнительный кислотный гидролиз препаратов ГК 2 %-ной соляной кислотой лишь усиливает эти изменения за счет удаления дополнительных количеств гидролизуемых фрагментов молекул.

Все указанные изменения имеют место также и в ИК-спектрах верхового торфа, но здесь они выражены слабее, потому что верховой торф формировался в течение многих столетий в кислой среде, где протекали процессы кислотного гидролиза в торфяной залежи, поэтому ГК верхового торфа содержат меньше указанных гидролизуемых компонентов по сравнению с ГК низинного торфа.

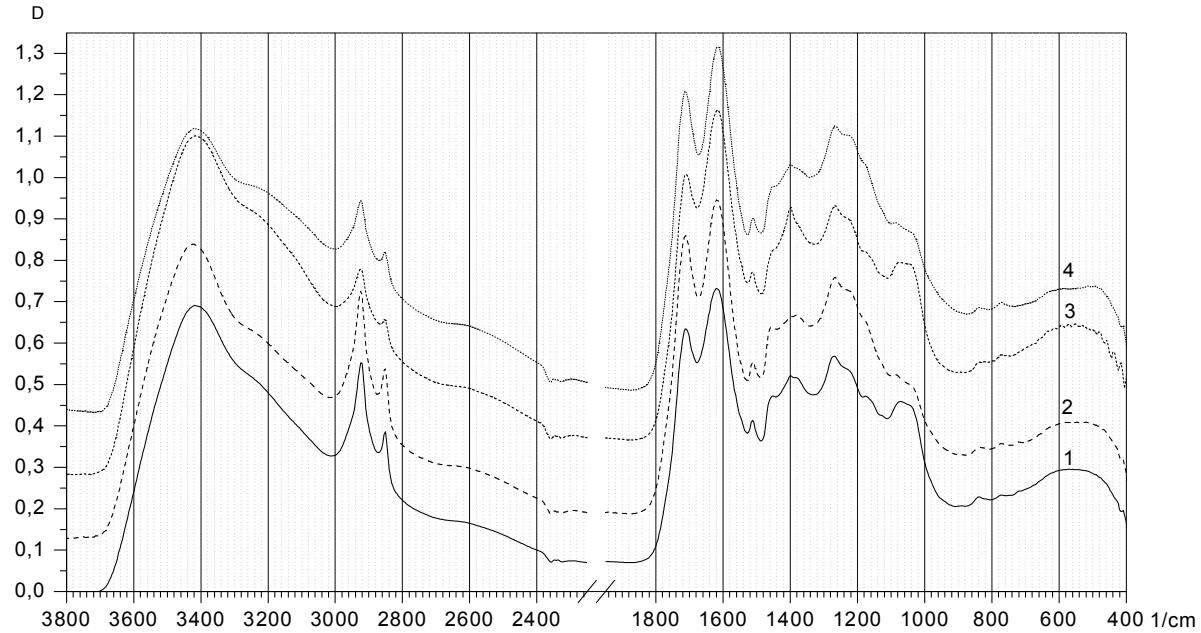
По данным ИК-спектроскопии, можно сказать, что исследуемые нами условия выделения гуминовых препаратов оказывают заметное влияние лишь на периферическую часть молекул ГК и не затрагивают их основную, ароматическую, часть.



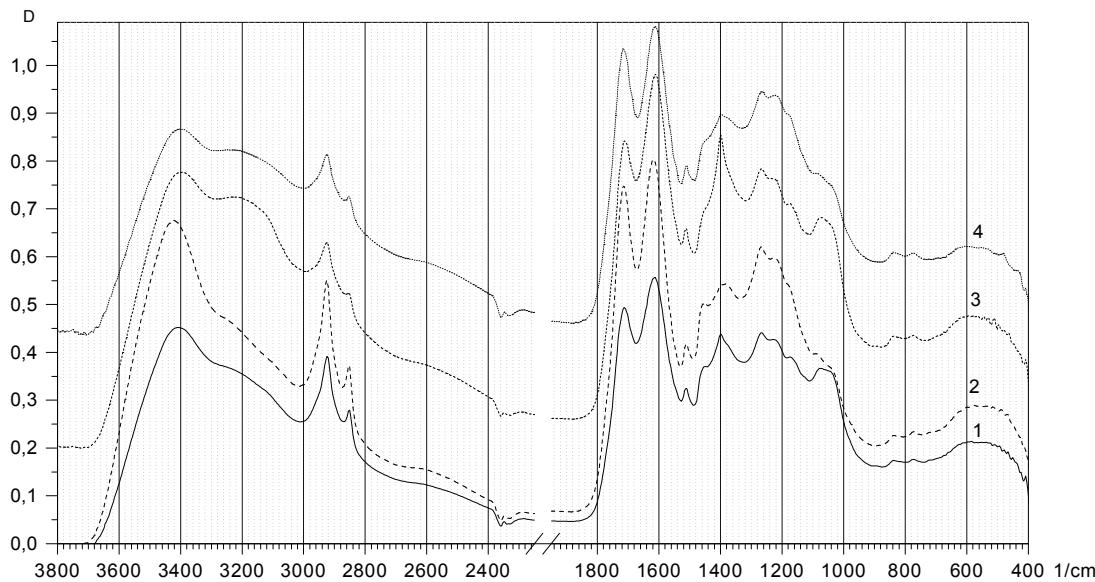
**Рис. 5. ИК-спектры ГК, выделенных из низинного торфа:** 1 – экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$  (96–98 °C); 2 – экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$  (96–98 °C), затем гидролиз ГК 2 %-ной  $\text{HCl}$  (96–98 °C); 3 – гидролиз торфа 5 %-ной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (96–98 °C), затем экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$  (96–98 °C); 4 – гидролиз торфа 5 %-ной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (96–98 °C), затем экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$  (96–98 °C), затем гидролиз ГК 2 %-ной  $\text{HCl}$  (96–98 °C)



**Рис. 6. ИК-спектры ГК, выделенных из низинного торфа: 1 – экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$  ( $125^\circ\text{C}$ ); 2 – экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$  ( $125^\circ\text{C}$ ), затем гидролиз ГК 2 %-ной  $\text{HCl}$  ( $96\text{--}98^\circ\text{C}$ ); 3 – гидролиз торфа 5 %-ной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $125^\circ\text{C}$ ), затем экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$  ( $125^\circ\text{C}$ ); 4 – гидролиз торфа 5 %-ной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $125^\circ\text{C}$ ), затем экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$  ( $125^\circ\text{C}$ ), затем гидролиз ГК 2 %-ной  $\text{HCl}$  ( $96\text{--}98^\circ\text{C}$ )**



**Рис. 7. ИК-спектры ГК, выделенных из верхового торфа: 1 – экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$  ( $96\text{--}98^\circ\text{C}$ ); 2 – экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$  ( $96\text{--}98^\circ\text{C}$ ), затем гидролиз ГК 2 %-ной  $\text{HCl}$  ( $96\text{--}98^\circ\text{C}$ ); 3 – гидролиз торфа 5 %-ной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $96\text{--}98^\circ\text{C}$ ), затем экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$  ( $96\text{--}98^\circ\text{C}$ ); 4 – гидролиз торфа 5 %-ной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $96\text{--}98^\circ\text{C}$ ), затем экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$  ( $96\text{--}98^\circ\text{C}$ ), затем гидролиз ГК 2 %-ной  $\text{HCl}$  ( $96\text{--}98^\circ\text{C}$ )**



**Рис. 8. ИК-спектры ГК, выделенных из верхового торфа: 1 – экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$  (125 °C); 2 – экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$  (125 °C), затем гидролиз ГК 2 %-ной  $\text{HCl}$  (96–98 °C); 3 – гидролиз торфа 5 %-ной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (125 °C), затем экстракция 2 %-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$  (125 °C); 4 – гидролиз торфа 5 %-ной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (125 °C), затем гидролиз ГК 2 %-ной  $\text{HCl}$  (96–98 °C)**

Следует указать, что четко выраженные на ИК-спектрах полосы поглощения с максимумами при 3400, 2920 и 2850  $\text{cm}^{-1}$  указывают на наличие примесей битумоидов во всех исследованных гуминовых препаратах.

В препаратах ГК, полученных из торфа,

прогидролизованного 5 %-ной серной кислотой, содержание карбоксильных групп выше, чем у препаратов, выделенных из торфа, который не подвергался кислотному гидролизу (табл. 3). Это может быть объяснено удалением из ГК веществ, которые не содержат карбоксильных групп.

**Таблица 3. Содержание функциональных групп в ГК, выделенных в различных условиях, мг-экв/г**

Вариант	Условия экстракции	COOH	OH	COOH + OH
		Низинный торф		
1	2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 96–98 °C	2,70	1,95	4,65
2	5 %-ный раствор $\text{H}_2\text{SO}_4$ 2 ч при 96–98 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 96–98 °C	3,02	2,24	5,26
3	2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 125 °C	2,09	1,99	4,08
4	5 %-ный раствор $\text{H}_2\text{SO}_4$ 2 ч при 125 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 125 °C	2,50	2,38	4,88
Верховой торф				
1	2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 96–98 °C	2,39	2,44	4,85
2	5 %-ный раствор $\text{H}_2\text{SO}_4$ 2 ч при 96–98 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 96–98 °C	2,69	2,71	5,40
3	2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 125 °C	2,53	2,48	5,01
4	5 %-ный раствор $\text{H}_2\text{SO}_4$ 2 ч при 125 °C, затем 2 %-ный раствор $\text{NH}_4\text{OH}$ 2 ч при 125 °C	2,59	3,02	5,61

Содержание фенольных гидроксилов в ГК также увеличивается при кислотном гидролизе торфа. Увеличение содержания фенольных гидроксилов в препаратах ГК, выделенных при 125 °C по сравнению с 96–98 °C (табл. 3), вероятнее всего связано с отщеплением при 125 °C от молекул ГК неароматических фрагментов, приводящим к относительному обогащению препаратов фенольными гидроксилами.

Полученные данные по оценке содержания функциональных групп подтверждают выводы о влиянии кислотного гидролиза торфа на изменение периферической части молекул ГК [2].

**Выходы.** Особенностью ГК, извлекаемых из торфа водным раствором аммиака, является наличие в них существенно большего количества гидролизуемых веществ (у ГК низинного торфа 45–51 % и 22–23 % у ГК верхового торфа) по сравнению с ГК, выделяемыми едким натром (18–25 %).

При кислотном гидролизе торфа, предшествующем экстракции ГВ, от ГК отщепляется лишь 6–13 % от общего количества гидролизуемых веществ, а 87–94 % их сохраняется и может быть удалено из ГК только при дополнительном кислотном гидролизе препаратов, выделяемых из

торфа. Это означает, что в торфе ГК упакованы более плотно, чем в изолированных препаратах.

В препаратах ГК, полученных из торфа, прогидролизованного 5 %-ной серной кислотой,

содержание карбоксильных групп и фенольных гидроксилов выше, чем у препаратов, выделенных из торфа, который не подвергался кислотному гидролизу.

### Литература

1. Бамбалов, Н. Н. Изменение физико-химических свойств гуминовых кислот в процессе гумификации торфов : автореф. дис. ... канд. хим. наук / Н. Н. Бамбалов. Минск, 1968.
2. Бамбалов, Н. Н. Влияние кислотного и щелочного гидролиза на полидисперсность гуминовых кислот, выделенных нейтральным раствором пирофосфата натрия / Н. Н. Бамбалов, Т. Я. Беленъкая, В. В. Команденко // Физические, технологические и химические свойства торфа. Минск, 1973. С. 86–90.
3. Бамбалов, Н. Н. Особенности химического состава фракций гуминовых кислот торфа / Н. Н. Бамбалов [и др.] // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. науок. 2006. № 1. С. 91–95.
4. Бамбалов, Н. Н. Экстракция гуминовых веществ из торфа водным аммиаком / Н. Н. Бамбалов, В. В. Смирнова, А. С. Немкович // Проблемы природопользования: итоги и перспективы : материалы Междунар. науч. конф. Минск, 2012. С. 15–18.
5. Драгунов, С. С. Извлечение торфяных гуминовых кислот аминами жирного ряда / С. С. Драгунов, А. П. Рождественский // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Киев, 1968. С. 206–211.
6. Комиссаров, И. Д. Влияние способа извлечения гуминовых кислот из сырья на химический состав получаемых препаратов / И. Д. Комиссаров, И. Н. Стрельцова // Гуминовые препараты. Тюмень, 1971. С. 48–62.
7. Кононова, М. М. Органическое вещество почвы / М. М. Кононова. М., 1963.
8. Орлов, Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д. С. Орлов. М., 1990.
9. Пунтус, Ф. А. Исследование периферической части гуминовых кислот торфа и сапропелей / Ф. А. Пунтус, Н. Н. Бамбалов, Т. П. Смычник // Проблемы использования сапропелей в народном хозяйстве. Минск, 1976. С. 115–121.
10. Тишкович, А. В. Теория и практика аммонизации торфа / А. В. Тишкович. Минск, 1974.

### Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 13.02.2013 г.

**B. В. Смирнова, Н. Н. Бамбалов, С. В. Пармон**

### **ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ, ВЫДЕЛЕННЫХ ВОДНЫМ РАСТВОРОМ АММИАКА**

Особенностью ГК, извлекаемых из торфа водным раствором аммиака, является наличие в них существенно большего количества гидролизуемых веществ: у ГК низинного торфа 45–51 % и 22–23 % у ГК верхового торфа, по сравнению с ГК, выделяемыми щелочным натром (18–25 %).

При кислотном гидролизе торфа, предшествующем экстракции ГВ, от ГК отщепляется лишь 6–13 % от общего количества гидролизуемых веществ, а 87–94 % их сохраняется и может быть удалено из ГК только при дополнительном кислотном гидролизе препаратов, выделяемых из торфа. Это означает, что в торфе ГК упакованы более плотно, чем в изолированных препаратах.

В препаратах ГК, полученных из торфа, прогидролизованного 5 %-ной серной кислотой, содержание карбоксильных групп и фенольных гидроксилов выше, чем у препаратов, выделенных из торфа, который не подвергался кислотному гидролизу.

**V. V. Smirnova, N. N. Bambalov, S. V. Parmon**

### **FEATURES OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF HUMIC ACIDS, EXTRACTED BY AMMONIA AQUEOUS SOLUTION**

A HAs specificity extracted from peat by ammonia aqueous solution, is the presence of rather great quantities of hydrolyzed substances in them: HAs of lowland peat have 45–51 % and 22–23 % have HAs of raised-bog peat, in comparison with HAs, extracted by caustic (18–25 %).

During the acidic peat hydrolysis, preceding HMs extraction, from HAs only 6–13 % is chipped from the total of hydrolyzed substances, and 87–94 % of them remains and can be removed from HAs only at the additional acidic hydrolysis of the preparations, extracted from peat. It means that in peat HAs are packed more densely, than in the isolated preparations.

In preparations of HAs obtained from peat, hydrolyzed by 5 % sulfuric acid, the content of carboxylic groups and phenol hydroxides is higher than in those, extracted from peat which was not subjected to acidic hydrolysis.

УДК 622.7

Л. Ю. Цвирко, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов

## ДИНАМИКА ВЫХОДА ВОДОРАСТВОРИМЫХ И ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ТОРФА ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ

*Представлены данные по динамике выхода водорасстворимых и гуминовых веществ (ГВ) из торфа под влиянием гидродинамической кавитации. Установлено, что в водном растворе увеличивается концентрация водорасстворимых веществ в 2,9–7,0 раз по сравнению с исходным торфом, при этом общий выход водорасстворимых веществ из верхового торфа в 2 раза выше, чем из низинного. Эксперименты показали, что гидродинамическая кавитация является эффективным методом преобразования органического вещества торфа и позволяет увеличить выход щелочерасстворимых веществ в 2 раза. По-видимому, дополнительное количество щелочерасстворимых ГВ образуется за счет преобразования нерастворимых в щелочи ГВ негидролизуемого остатка в результате кавитационного окисления. Для получения наибольшего выхода ГВ кавитационную обработку торфа следует осуществлять в течение 40–50 мин.*

Кавитационные технологии находят все большее применение в процессах переработки углеводородного сырья, растительных масел, крахмала, пектинов, фруктов, овощей, молочных и других пищевых продуктов, а также ископаемых твердых топлив, древесины, радиоактивных материалов и т. д. [16].

Гидродинамическая кавитация является эффективным средством изменения структуры различных материалов за счет сил гидравлического удара и физико-химических эффектов, возникающих при схлопывании кавитационных пузырьков вблизи обтекаемых кавитационным потоком частиц. При этом основными процессами являются: механическое измельчение частиц, возбуждение молекул, ионизация, окисление, разрыв химических связей, а также противоположные процессы укрупнения молекул, образования ассоциатов и твердых частиц. При кавитационной обработке различных материалов образуются радикалы, ионы, возникают ион-радикальные образования [3, 16].

Энергии, выделяющейся при схлопывании пузырьков в современных кавитационных аппаратах, достаточно для разрыва химических связей [16], поэтому, используя кавитацию, можно разрушать химические связи между отдельными частями молекул. Наиболее детально этот вопрос изучен применительно к молекулам углеводородов: при разрыве C–H связи от углеводородной цепи отдывается протон, а при разрыве C–C связи молекула углеводорода распадается на две неравные части [4].

При кавитационной обработке торфа наблюдалось увеличение выхода фракций ГВ, извлекаемых последовательно 0,1 М растворами пирофосфата, бикарбоната и гидрата оксида натрия, а их суммарный выход возрастал до 25 % по сравнению с исходным торфом за счет пере-

хода нерастворимых в щелочи ГВ негидролизуемого остатка в растворимое состояние [4]. Наблюдалось также существенное изменение молекулярно-массового распределения гуминовых кислот (ГК) с образованием в процессе кавитации высокомолекулярных фракций [18]. Изменения столь значительны, что предложено использовать кавитационную обработку торфа для регулирования молекулярно-массового распределения ГВ [8].

Из приведенного краткого обзора следует, что кавитация является эффективным методом преобразования физических и химических свойств веществ разного происхождения, однако по превращению органического вещества (ОВ) торфа имеется большой дефицит знаний.

Цель данной работы – исследовать динамику выхода ГВ в процессе гидродинамической кавитации торфа низинного и верхового типов.

Объекты исследования: низинный древесно-древесниковый торф из месторождения Ореховский Мх со степенью разложения ( $R$ ) 35–40 %, зольностью ( $A^c$ ) 8,4 %, pH 5,6 и верховой магелланум-торф из месторождения Радемье ( $R = 20\%$ ,  $A^c = 9,9\%$ , pH 3,2). Высокая величина зольности верхового торфа объясняется наличием минеральных примесей. Так как более крупные частицы торфа не проходили через кавитатор, образцы фрезерного торфа измельчали, просеивали через сито с диаметром ячеек 2 мм и загружали в кавитационную установку.

Состав супензии: для низинного торфа – 1 кг торфа + 3,5 л воды; для верхового торфа – 0,5 кг торфа + 4 л воды. Такие различия обусловлены разной водопоглотительной способностью и насыпной плотностью этих видов торфа. Малоразложившийся сфагновый торф поглощал много воды, поэтому при соотношении 1:4 супензия не была получена, и для процесса кави-

тации необходимо было уменьшить количество торфа до 0,5 кг на 4 л воды. Условия кавитации: пробы торфа после кавитации в виде суспензии отбирали последовательно через 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 90 мин кавитации. Начальная температура при запуске кавитационной установки была 15–20 °С, но в процессе кавитации суспензия разогревалась до температуры 70–80 °С.

Дальнейшая работа с охлажденными до комнатной температуры образцами суспензии после кавитации включала определение количества ОВ, переходящего в раствор 2 % NaOH при 18–20 и 96–98 °С в течение 2 ч и определение количества ОВ, перешедшего в водный раствор при 18–20 °С ( $C_{\text{ВР}}$ ). Следует отметить, что в ходе

кавитации происходят сложные преобразовательные процессы. В результате реакций окисления к одним молекулам присоединяется кислород, а другие разлагаются на воду и иные продукты, поэтому содержание ОВ определяли не весовым методом, а по содержанию углерода для получения наиболее точных данных. В прозрачных растворах после центрифугирования определяли содержание углерода ОВ микрохромовым методом [1], оптическую плотность – на приборе КФК-2 при 440 и 670 нм.

Данные по динамике количества углерода ОВ, переходящего в водный раствор ( $C_{\text{ВР}}$ ) в процессе кавитации низинного и верхового торфа, представлены на рис. 1.

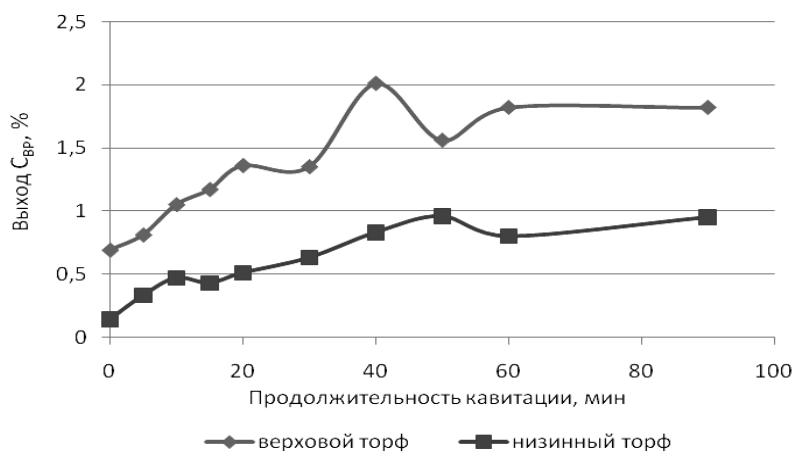


Рис. 1. Выход  $C_{\text{ВР}}$  из низинного и верхового торфа в зависимости от продолжительности кавитации

Под воздействием гидродинамической кавитации торфа в водном растворе увеличивается концентрация растворимых веществ в 2,9–7,0 раз по сравнению с исходным торфом, при этом общий выход водорастворимых веществ из верхового торфа в 2 раза выше, чем из низинного.

Более высокий выход водорастворимых веществ при кавитации верхового торфа, вероятно, обусловлен тем, что в результате кавитационного окисления образуется часть водорастворимых соединений с карбоксильными группами, которые при кавитации низинного торфа могут взаимодействовать с кальцием, железом и другими поливалентными ионами металлов и выпадать в осадок. В верховом торфе эти процессы практически не имеют места из-за низкого содержания двух- и трехвалентных катионов, поэтому такие вещества остаются в водном растворе. Кроме этого, в водный раствор переходят моно- и олигосахариды, образующиеся в результате деструкции полисахаридов, которых в верховом торфе во много раз больше, чем в низинном [12]. Наибольший выход водорастворимых веществ при кавитации торфа достигается в течение 50–60 мин.

Волнообразный характер изменения выхода водорастворимых веществ (рис. 1) объясняется сложностью превращения органических веществ в процессе кавитации, так как наряду с деструкцией больших молекул параллельно происходит противоположный процесс конденсации их водорастворимых фрагментов с вторичным образованием нерастворимых в воде соединений [3, 4, 16]. В зависимости от преобладания процесса деструкции или конденсации наблюдаются колебания концентрации водорастворимых веществ в кавитируемой суспензии. В природных и технологических процессах волнобразный характер динамики концентрации является общей закономерностью процессов превращения биополимеров и других органических молекул, в том числе и ОВ торфа [17].

В табл. 1 представлены данные по изменению оптической плотности в зависимости от продолжительности кавитации.

С увеличением продолжительности кавитации оптическая плотность экстрактов водорастворимых веществ как в низинном, так и в верховом торфе возрастает, однако лишь до 50–60-минутного воздействия, после чего она умень-

шается. Возрастание оптической плотности может происходить по двум причинам: за счет повышения концентрации ГВ и за счет перехода в водный раствор более конденсированных фрагментов молекул ГВ. Логично допустить, что в наших экспериментах имеют место оба процесса. Снижение оптической плотности через 50–60 мин после начала кавитации происходит за счет разрушения молекул водорастворимых ГВ. Применительно к ГК торфа уменьшение оптической

плотности под воздействием окисления атомарным кислородом объясняется уменьшением систем полисопряжения в их молекулах с одновременным уменьшением молекулярных масс [19].

Данные по выходу ОВ, растворимого в 2 %-ном растворе NaOH при 18–20 и 96–98 °C из низинного и верхового торфа до и после кавитации и изменение температуры кавитации во времени, представлены в табл. 2, 3.

**Таблица 1. Динамика величины оптической плотности водорастворимых веществ**

Продолжительность кавитации, мин	Низинный торф		Верховой торф	
	$D_{440}$	$D_{670}$	$D_{440}$	$D_{670}$
0 (исходный торф)	0,069	0,022	0,234	0,040
5	0,131	0,024	0,337	0,051
10	0,197	0,049	0,477	0,086
15	0,218	0,053	0,547	0,090
20	0,263	0,063	0,675	0,134
30	0,433	0,104	0,935	0,274
40	0,481	0,119	1,092	0,211
50	0,540	0,135	1,169	0,214
60	0,482	0,121	1,385	0,350
70	—	—	1,297	0,261
90	0,411	0,102	—	—

**Таблица 2. Влияние продолжительности кавитации на растворимость ОВ верхового торфа в 2 %-ной NaOH при 18–20 и 96–98 °C, % на ОВ**

Продолжительность кавитации, мин	Температура суспензии, °C	С <sub>ГВ</sub> , %	
		при 18–20 °C	при 96–98 °C
0 (исходный торф)	16	11,4	23,9
5	24	10,6	27,1
10	32	14,8	26,7
15	38	15,2	29,2
20	45	15,6	31,2
30	58	15,3	22,7
40	66	14,4	42,0
50	72	15,1	44,7
60	79	14,0	48,5
70	82	14,1	47,7

**Таблица 3. Влияние продолжительности кавитации на растворимость ОВ низинного торфа в 2 %-ной NaOH при 18–20 и 96–98 °C, % на ОВ**

Продолжительность кавитации, мин	Температура суспензии, °C	С <sub>ГВ</sub> , %	
		при 18–20 °C	при 96–98 °C
0 (исходный торф)	16	21,2	31,1
5	23	21,8	40,1
10	30	22,0	41,1
15	37	21,9	42,9
20	42	14,9	31,8
30	47	22,9	30,0
40	53	27,9	58,2
50	64	26,2	54,9
60	68	26,5	55,6
90	69	26,9	54,5

В результате гидродинамической кавитации торфа выход ГВ, извлекаемых 2 % NaOH при 18–20 °C, из верхового торфа увеличился с 11,4 до 15,6 %, а из низинного – с 21,2 до 27,9 %. Полученные данные подтверждают вывод [4] об эффективном повышении выхода ГВ из торфа в результате кавитации, в данном случае до 30–35 % по сравнению с исходным торфом.

Еще большее увеличение выхода ГВ под воздействием кавитации наблюдается при их извлечении 2 % NaOH при 96–98 °C: из верхового торфа в 2 раза (с 23,9 до 48,5 %), по сравнению с исходным торфом, из низинного – в 1,8 раза (с 31,1 до 58,2 %). В данных исследовани-

ях выход ГВ из низинного торфа был выше, чем из верхового из-за большей степени разложения.

Данные рис. 2 показывают, что в период между 20 и 30 мин процесса кавитации происходит существенное снижение выхода ГВ – ниже, чем их было в исходном сырье; а затем, в период между 30 и 40 мин, происходит скачкообразное и весьма быстрое увеличение выхода – до 1,8–2,0 раза по сравнению с их выходом до кавитации. Указанные изменения объясняются протеканием побочных и противоположных реакций конденсации продуктов кавитации с образованием нерастворимых соединений и последующим их разрушением с переходом в раствор.

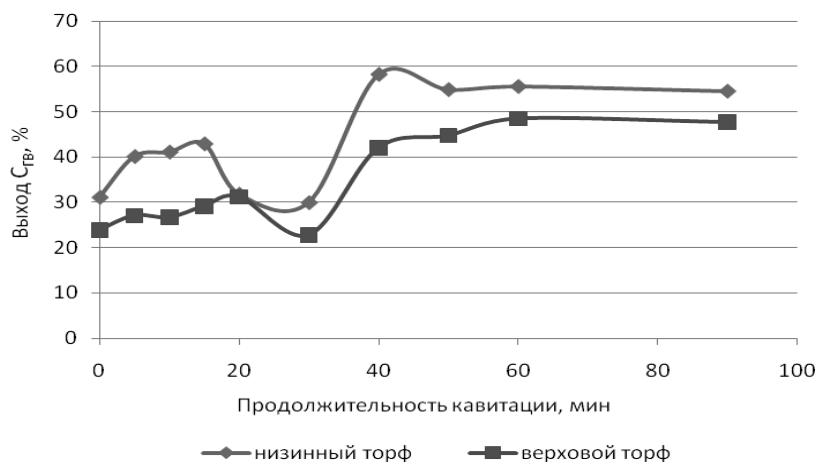


Рис. 2. Динамика выхода ГВ при 96–98 °C в процессе кавитации торфа

Известно, что в щелочной среде при нагревании легко протекает реакция конденсации с образованием высокомолекулярных гуминоподобных продуктов – меланоидинов [9, 10, 14]. В химической технологии торфа эта реакция используется для усиления красящих свойств ГВ [5, 13], для чего процесс экстракции их осуществляют водным аммиаком при температурах 120–160 °C и давлении около 3,0–3,5 атмосфер. В условиях данных экспериментов протеканию реакций конденсации способствовало также предварительное образование реакционно-способных веществ со свободными радикалами в результате разрыва химических связей в молекулах органических соединений торфа при схлопывании кавитационных пузырьков [4].

Образующихся нерастворимых гуминоподобных соединений в процессе кавитации может быть недостаточно для увеличения выхода ГВ в 1,8–2,0 раза. По-видимому, дополнительное количество щелочерастворимых ГВ образуется за счет преобразования нерастворимых в щелочи ГВ негидролизуемого остатка в результате кавитационного окисления. Известно, что в составе негидролизуемого остатка торфа содержатся ГВ,

нерастворимые в щелочи, и предполагается, что это либо промежуточные продукты гумификации с небольшим количеством карбоксильных групп и большими молекулярными массами, либо дегидратированная форма ГК [2, 6, 7, 11, 15]. В результате разрыва химических связей и окисления при гидродинамической кавитации эти формы ГВ приобретают способность растворяться в щелочи [4], и данные процессы отражаются на кривой в виде скачкообразного увеличения выхода ГВ из сырья (рис. 2). Дальнейшая кавитационная обработка торфа (более 50 мин) ведет к снижению выхода ГВ за счет преобладания процессов их деструкции до CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O.

Гидродинамическая кавитация является эффективным методом преобразования ОВ торфа и позволяет увеличить выход щелочерастворимых веществ в 2 раза, а водорастворимых – в 2,9–7,0 раз. Для получения наибольшего выхода ГВ кавитационную обработку торфа следует осуществлять в течение 40–50 мин. Таким образом, гидродинамическая кавитация может быть использована для обоснования новых технологий химической переработки торфа.

### Литература

1. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу / Е. В. Аринушкина. М., 1962.
2. Бамбалов, Н. Н. Состав негидролизуемого остатка торфяных почв / Н. Н. Бамбалов // Почвоведение. 1994. № 8. С. 41–45.
3. Большая советская энциклопедия. М., 1973. Т. 11. С. 321–323.
4. Влияние гидродинамической кавитации на выход гуминовых веществ из торфа / Г. А. Соколов [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларуси. Сер. хім. навук. 2010. № 4. С. 112–117.
5. Гаврильчик, А. П. Превращения торфа при добыче и переработке / А. П. Гаврильчик. Минск. 1992.
6. Ершов, В. Н. Торфяные почвы / В. Н. Ершов. М., 1980.
7. Кононова, М. М. Органическое вещество почв / М. М. Кононова. М., 1963.
8. Костяной, А. Н. Глубокая переработка твердого ископаемого топлива / А. Н. Костяной // Тез. докл. Российской науч. конф. МГУ. 2007. С. 37.
9. Курбатов, И. М. Природа и механизм образования гуминовых кислот торфа / И. М. Курбатов // Гуминовые удобрения, теория и практика их применения. Киев, 1962. Вып. 2. С. 33–43.
10. Кухаренко, Т. А. Исследование гуминовых кислот и негидролизуемых остатков торфов Калининской области / Т. А. Кухаренко // Химическая переработка топлива. М., 1965. С. 79–89.
11. Лебедев, К. К. Взаимосвязь лигнина и гуминовых кислот в низинных торфах / К. К. Лебедев // Генезис твердых горючих ископаемых. М., 1959. С. 31–50.
12. Лиштван, И. И. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Ко роль. Минск, 1975.
13. Лиштван, И. И. Торфяной краситель для мебельной промышленности / И. И. Лиштван, С. С. Маль, С. П. Поваркова // Торфяная промышленность. 1982. № 9. С. 20–23.
14. Несмеянов, А. Н. Начала органической химии / А. Н. Несмеянов, Н.А. Несмеянова. М., 1969. Т. 1.
15. Орлов, Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая характеристика гумификации / Д. С. Орлов. М., 1990.
16. Промтов, М. А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов / М. А. Промтов // Вестн. ТГТУ. 2008. Т. 14, № 4. С. 861–869.
17. Смычник, Т. П. Получение растворимых гумусовых препаратов при щелочном гидролизе торфа / Т. П. Смычник, Н. Н. Бамбалов // Вес. Нац. акад. навук Беларуси. Сер. хім. навук. 1993. № 1. С. 90–94.
18. Соколов, Г. А. Изменение молекулярно-массового распределения гуминовых кислот в процессе гидродинамической кавитации торфяной суспензии / Г. А. Соколов, А. Д. Константинова, В. В. Смирнова // Вес. Нац. акад. навук Беларуси. Сер. хім. навук. 2009. № 3. С. 123–124.
19. Schlenberger, W. / W. Schlenberger, K. Eschrich, E. Hofman // Biochem., Biophys. Acta. 1984, Vol. 43. P. 227–231.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 31.01.2013 г.

**Л. Ю. Цвирко, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов**

### **ДИНАМИКА ВЫХОДА ВОДОРАСТВОРИМЫХ И ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ТОРФА ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ**

Гидродинамическая кавитация является эффективным методом преобразования органического вещества торфа и позволяет увеличить выход щелочерасторимых веществ в 2 раза и водорастворимых в 2,9–7,0 раз, что может быть использовано для обоснования новых технологий химической переработки торфа.

В ходе экспериментов установлено, что для получения наибольшего выхода гуминовых веществ кавитационную обработку торфа следует осуществлять в течение 40–50 мин.

**L. Y. Tsvirko, N. N. Bambalov, G. A. Sokolov**

### **DYNAMICS OF WATER-SOLUBLE AND HUMIC MATTERS OUTCOME FROM PEAT AT HYDRODYNAMIC CAVITATION**

Hydrodynamic cavitation is an effective method of peat organic matter transformation which allows to increase an outcome of alkali-soluble matters 2 times and water-soluble 2,9–7,0 times that may be used to substantiate new technologies of peat chemical processing.

It has been found in the course of the experiment that to obtain maximum of humic matters outcome a peat cavitation processing should be done within 40–50 min.

УДК 547.458.87+547.992.2

**И. И. Лиштван<sup>1</sup>, Г. В. Наумова<sup>1</sup>, Г. В. Пироговская<sup>2</sup>, Н. А. Жмакова<sup>1</sup>,  
Т. Ф. Овчинникова<sup>1</sup>, Н. Л. Макарова<sup>1</sup>, В. И. Сорока<sup>2</sup>**

## **РЕГУЛЯТОР РОСТА РАСТЕНИЙ БУРОГУМИН И АГРОХИМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КАРТОФЕЛЯ**

*Приведены сведения о физико-химических свойствах нового регулятора роста растений из бурого угля Бурогумина, а также результаты его регистрационных агрохимических испытаний при возделывании картофеля. Установлено, что предпосадочное опрыскивание клубней и внекорневая обработка вегетирующих растений картофеля малыми дозами препарата Бурогумин приводит к существенному повышению урожайности картофеля, а также положительно сказывается на его качестве: снижается содержание нитратов в клубнях, повышается их крахмалистость и улучшается товарность.*

Одним из направлений нетопливного использования бурых углей, богатых гуминовыми веществами, является получение на их основе биологически активных препаратов для сельского хозяйства. Важным преимуществом таких препаратов является их природное происхождение, отсутствие токсического действия на организм и окружающую среду, хорошая обеспеченность сырьевой базой, небольшие затраты на организацию производства [2, 3].

В последние годы в связи с намечаемой разработкой буроугольных месторождений Беларуси в Институте природопользования НАН Беларуси (лаборатория экотехнологий) разработаны эффективный способ и технология получения из бурого угля биологически активного пре-

парата для растениеводства Бурогумина с использованием в качестве исходного сырья неогеновых бурых углей [1].

Физико-химическая характеристика препарата Бурогумин представлена в табл. 1, из которой видно, что новый препарат имеет щелочную реакцию среды. В нем присутствует незначительное количество механических примесей. Содержание сухих веществ в нем достигает 12 %. Его органическая масса на 80 % представлена гуминовыми кислотами. Он представляет собой подвижную жидкость, полностью растворимую в воде при различных концентрациях. Специальными исследованиями установлено, что его свойства и химический состав остаются постоянными при длительном хранении.

**Таблица 1. Физико-химическая характеристика препарата Бурогумин**

Препарат	Цвет	Запах	pH	Оптическая плотность*	Содержание сухих веществ (СВ), %	Массовая доля гуминовых кислот, % СВ	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Механические примеси, %
Бурогумин	Темно-коричневый	Щелочи	12,0	0,41	12,0	68,8	1,06	0,1

\* Концентрация 1 мг/10 мл 0,1 н. раствора гидроксида натрия.

Токсиколого-гигиенические исследования препарата, проведенные Республиканским научно-практическим центром гигиены показали, что Бурогумин не представляет потенциальной опасности для живых организмов и относится к IV классу малоопасных веществ. Он не обладает местнораздражающим, кожно-резорбтивным, кумулятивным, сенсибилизирующим, мутагенным и канцерогенным действием.

Агротехническая эффективность применения Бурогумина в качестве регулятора роста была исследована Институтом почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. Препарат Бурогумин в 2009 и 2011 г. прошел регистрационные испыта-

ния на одной из основных сельскохозяйственных культур Беларуси – картофеле.

Закладку деляночных опытов по испытанию Бурогумина в полевых условиях в 2009 г. проводили в СПК им. Суворова Узденского района Минской области на дерново-подзолистой супесчаной почве, развивающейся на супеси рыхлой, подстилаемой с 0,35 м рыхлым песком, при возделывании среднераннего картофеля сорта Бриз. Предшественником картофеля являлась гречиха. Повторность опыта четырехкратная. Общий размер делянки 18 (6 × 3) м<sup>2</sup>. Базовый вариант – регулятор роста растений из торфа Гидрогумат.

Агрохимическая характеристика почвы пахотного горизонта в полевом опыте была следующая: pH в КС1 = 5,39 (среднее по полю), содержание подвижных  $P_2O_5$  – 293 мг/кг и  $K_2O$  – 295 мг/кг почвы, содержание гумуса – 2,69 %.

В сентябре проведен поделяночный учет

урожая картофеля, отобраны растительные образцы основной продукции на определение влажности, сухого вещества, нитратов, крахмала и товарности клубней.

Урожайность картофеля сорта Бриз представлена в табл. 2.

**Таблица 2. Урожайность клубней картофеля сорта Бриз в полевых опытах (СПК им. Суворова Узденского района Минской области), 2009 г.**

Вариант	Урожайность, ц/га	
	при уборке	прибавка относительно варианта 3
Контроль без удобрений	358	–
$N_{90}P_{49}K_{118}$ ст (смесь стандартных удобрений)	471	–
$N_{90}P_{49}K_{118}$ с микроэлементами	501	–
$N_{90}P_{49}K_{118}$ с микроэлементами + некорневая обработка регулятором роста растений Бурогумин (1,5 л/га)	522	21
$N_{90}P_{49}K_{118}$ с микроэлементами + некорневая обработка регулятором роста растений Гидрогумат (1,5 л/га) – базовый вариант	523	22
$HCP_{05}$	20,5	–

Общий уровень урожая в опыте был достаточно высоким – от 358 ц/га на контроле до 471–523 ц/га в опытных вариантах. Некорневые обработки посадок картофеля регуляторами роста растений в условиях влажного вегетационного периода 2009 г. были эффективными, в частности: урожайность картофеля при использовании регулятора роста растений Бурогумина (1,5 л/га) увеличилась достоверно на 21 ц/га, или на 4,2 %, при обработке регулятором роста растений Гидрогумат (1,5 л/га) – на 22 ц/га, или на 4,4%.

Приведенные данные показывают, что эффективность Бурогумина в условиях 2009 г. находилась на уровне регулятора роста растений Гидрогумат.

Проведен анализ качества урожая картофеля. Изучено влияние регуляторов роста растений на качество клубней картофеля: содержание крахмала и нитратов в клубнях картофеля и его товарность (табл.3, 4).

Содержание нитратов в клубнях картофеля изменялось в пределах от 112 до 202 мг/кг. Повышенное содержание нитратов в клубнях наблюдалось при применении стандартных туков (вар. 2) и комплексных удобрений с дополнительными некорневыми подкормками регуляторами роста растений (варианты 3, 4). При этом в варианте с регулятором роста растений из бурого угля Бурогумин снижение содержания нитратов было более значительным, по сравнению с применением регулятора роста растений Гидрогумат – 38 и 13 % соответственно.

В условиях влажного 2009 г. в вариантах с удобрениями товарность клубней картофеля была высокой и находилась в пределах от 82,9 до 84,3 %, при товарности на контрольном варианте без удобрений – 75,8 %. Внесение регуляторов роста повышало товарность клубней до 85,7 %.

**Таблица 3. Содержание нитратов в клубнях картофеля сорта Бриз на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве (СПК им. Суворова Узденского района Минской области), 2009 г.**

Вариант	Нитраты, мг/кг	
	при уборке	снижение к варианту 2
Контроль без удобрений	112	–
$N_{90}P_{49}K_{118}$ ст (смесь стандартных удобрений)	202	–
$N_{90}P_{49}K_{118}$ с микроэлементами + некорневая обработка регулятором роста растений Бурогумин (1,5 л/га)	164	-38
$N_{90}P_{49}K_{118}$ с микроэлементами + некорневая обработка регулятором роста растений Гидрогумат (1,5 л/га) – базовый вариант	189	-13
$HCP_{05}$	28,1	–

**Таблица 4. Влияние регуляторов роста Бурогумин на содержание крахмала и товарность клубней картофеля сорта Бриз (СПК им. Суворова Узденского района Минской области), 2009 г.**

Вариант	Крахмал		Товарность, %	
	%	+, к варианту 3	%	+, к варианту 3
Контроль без удобрений	12,7	—	75,8	—
N <sub>90</sub> P <sub>49</sub> K <sub>118</sub> ст (смесь стандартных удобрений)	12,3	—	82,9	—
N <sub>90</sub> P <sub>49</sub> K <sub>118</sub> с микроэлементами	12,4	—	84,3	—
N <sub>90</sub> P <sub>49</sub> K <sub>118</sub> с микроэлементами + некорневая обработка регулятором роста растений Бурогумин (1,5 л/га)	12,6	0,2	85,7	1,4
N <sub>90</sub> P <sub>49</sub> K <sub>118</sub> с микроэлементами + некорневая обработка регулятором роста растений Гидрогумат (1,5 л/га) – базовый вариант	12,5	0,1	85,5	1,2
HCP <sub>05</sub>	0,29	—	2,32	—

Агрохимические испытания Бурогумина на картофеле были продолжены в 2011 г. Институтом почвоведения и агрохимии в СПК им. Суворова, Узденского района Минской области.

Площадь делянок в полевом опыте – 24 (6 × 4) м<sup>2</sup>, учетная – 15 (5 × 3) м<sup>2</sup>. Повторность – четырехкратная. Площадь опыта 0,5 га. Предшественник – многолетние травы. Расположение делянок – рендомизированное.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы (0–25 см) в опыте с картофелем сорта Бриз: pH в KCl – 5,43–5,94; содержание гумуса – 1,99–2,13%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 227–264 мг/кг почвы; K<sub>2</sub>O – 213–262, Ca – 1146, Mg – 165 мг/кг почвы.

Дополнительно в фермерском хозяйстве «Горизонт» Мостовского района Гродненской области был заложен опыт в производственных условиях по определению эффективности применения Бурогумина на двух сортах картофеля.

Почва дерново-подзолистая рыхлосупесчаная, сорта картофеля Пикассо и Импала.

Площадь опытного поля – 15 га. Повторность для каждого варианта – четырехкратная. Предшественник – яровой рапс. Расположение вариантов – рендомизированное.

Агрохимическая характеристика почвы пахотного слоя (0–25 см) в опыте с картофелем сортов Пикассо и Импала следующая: pH в KCl – 5,8; содержание гумуса – 1,01%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – более 400 мг/кг почвы, K<sub>2</sub>O – 244, Ca – 834, Mg – 138 мг/кг почвы.

В опытах уход за посевами проведен согласно технологическим регламентам их возделывания.

Результаты полевого опыта по изучению агрохимической эффективности использования Бурогумина на картофеле, проведенного в СПК им. Суворова Узденского района, представлены в табл. 5

**Таблица 5. Эффективность применения Бурогумина при возделывании картофеля сорта Бриз в полевых опытах (СПК «Суворова» Узденского района Минской области), 2011 г.**

Вариант	Урожайность клубней (14% влажности), ц/га	Прибавка клубней, ц/га		Содержание нитратов, мг/кг сырого вещества
		к контролю	к фону	
Контроль без удобрений	361	—	—	119
N <sub>120</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub>	457	96	—	187
N <sub>120</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> + Гидрогумат (1,0 л/га по вегетации) – базовый вариант	491	130	34	168
N <sub>120</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> + Бурогумин (1,0 л/га по вегетации)	499	138	42	158
N <sub>120</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> + Бурогумин (1,5 л/га по вегетации)	470	109	13	151
HCP <sub>05</sub>	21,5	—	—	29,0

Урожайность клубней картофеля сорта Бриз в полевом опыте на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве в варианте с применением минеральных удобрений составила 457 ц/га, с дополнительными некорневыми обработками

растений картофеля регулятором роста растений из бурого угля Бурогумин (1,0–1,5 л/га) – 499–470 ц/га, т. е. прибавка клубней по сравнению с вариантом без обработок регуляторами роста растений составила 42–13 ц/га, от обработки

регулятором роста растений Гидрогумат – 34 ц/га. Наиболее эффективным вариантом оказался с внесением регулятора роста растений Бурогумин в дозе 1,0 л/га. Содержание нитратов в клубнях картофеля с участков, обработанных гуминовыми препаратами заметно снижалась со 187 мг/кг в контрольном варианте с применением удобрений до 151–158 мг/кг в варианте с Бурогумином.

Определено влияние обработок биологически активными препаратами на качество клубней картофеля. Внесение регуляторов роста растений положительно сказывалось на увеличении крахмалистости клубней (на 0,50–0,90 %) по сравнению с внесением только минеральных удобрений. Содержание крахмала в зависимости от вариантов опыта изменялось в пределах от

11,3 до 12,2 %. Что касается товарности клубней, то она во всех вариантах опыта была высокой и находилась примерно на одном уровне – 89,3–90,8 %, в контрольном варианте – несколько ниже (88,4 %) (табл. 6).

В опыте, проведенном в производственных условиях в фермерском хозяйстве «Горизонт» Мостовского района Гродненской области, испытывали эффективность регуляторов роста растений на разных сортах картофеля (Пикассо, Импала), где препараты Бурогумин и Гидрогумат включались в инкоррустирующие составы при обработке клубней, и кроме этого ими проводили некорневые обработки вегетирующих растений. Результаты производственных испытаний представлены в табл. 7.

**Таблица 6. Влияние Бурогумина на содержание крахмала и товарность клубней картофеля сорта Бриз (СПК им. Суворова Узденского района Минской области), 2011 г.**

Вариант	Крахмал, %		Товарность, %
	%	+, к варианту 2	
Контроль без удобрений	12,4	–	88,4
N <sub>120</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub>	11,3	–	90,3
N <sub>120</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> + Гидрогумат (1,0 л/га по вегетации) – базовый вариант	11,8	0,5	90,1
N <sub>120</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> + Бурогумин (1,0 л/га по вегетации)	12,2	0,9	89,3
N <sub>120</sub> P <sub>70</sub> K <sub>140</sub> + Бурогумин (1,5 л/га по вегетации)	12,2	0,9	90,8
HCP <sub>05</sub>	0,31	–	2,3

**Таблица 7. Эффективность применения Бурогумина при возделывании картофеля в производственном опыте, 2011 г.**

Вариант	Урожайность клубней (14% влажности), ц/га	Прибавка клубней к базовому, ц/га	Содержание нитратов, мг/кг сырого вещества	Крахмал, %	Товарность, %
<i>Сорт картофеля Пикассо</i>					
N <sub>90</sub> P <sub>64</sub> K <sub>120</sub> с обработкой клубней регулятором роста Гидрогумат (0,2 л/т) – базовый вариант	287	–	97,4	10,10	90,0
N <sub>90</sub> P <sub>64</sub> K <sub>120</sub> с обработкой клубней регулятором роста Бурогумин (0,2 л/т)	323	36	101,0	10,20	94,8
N <sub>90</sub> P <sub>64</sub> K <sub>120</sub> с обработкой клубней регулятором роста Бурогумин (0,2 л/т) + некорневая обработка растений картофеля Бурогумином (1,5 л/га)	338	51	74,0	10,40	95,6
HCP <sub>05</sub>	28,4		6,4	0,51	7,5
<i>Сорт картофеля Импала</i>					
N <sub>90</sub> P <sub>64</sub> K <sub>120</sub> с обработкой клубней регулятором роста Гидрогумат (0,2 л/т) – базовый вариант	461	–	193,0	10,00	97,8
N <sub>90</sub> P <sub>64</sub> K <sub>120</sub> с обработкой клубней регулятором роста Бурогумин (0,2 л/т) + некорневая обработка растений картофеля Бурогумином (1,5 л/га)	552	91	103,0	10,00	97,1
HCP <sub>05</sub>	45,6	–	10,4	0,48	7,8

Установлено, что обработка клубней картофеля сорта Пикассо препаратом Бурогумин (0,2 л/т) обеспечила повышение урожайности клубней на 36 ц/га по сравнению с базовым вариантом, где в составе смеси был регулятор роста Гидрогумат. В варианте с двойной обработкой (клубни и вегетирующие растения картофеля) Бурогумином в дозе 1,5 л/га урожайность увеличилась на 51 ц/га.

Урожайность картофеля сорта Импала была более высокой по сравнению с сортом Пикассо, и составляла 461 ц/га при обработке клубней регулятором роста Гидрогумат (0,2 л/т). При двойной обработке (клубни и вегетирующие растения картофеля) регулятором роста Бурогумин (0,2 л/т) урожайность составила 552 ц/га. Прибавка от обработки клубней и некорневой подкормки препаратом Бурогумин составила 91 ц/га.

Содержание нитратов в клубнях картофеля сорта Пикассо, в вариантах с обработкой только клубней составила 101 мг/кг. Самый низкий показатель по нитратонакоплению (74 мг/кг) в варианте с двойной обработкой Бурогумином. На этом же сорте крахмалистость и товарность клубней также дала лучшие показатели при двойной обработке картофеля Бурогумином.

У сорта Импала товарность и крахмалистость клубней в опытных вариантах не отличались от контроля, а содержание нитратов при двойной обработке Бурогумином снижалось практически в 2 раза (с 193 до 103 мг/кг).

Проведенные исследования агрохимической эффективности биологически активного препарата из бурого угля Бурогумина показали, что его применение приводит к существенному повышению урожая картофеля. Так, в полевом опыте его урожайность увеличивается на 109–138 ц/га по сравнению с контролем (без удобрений) и на 13–42 ц/га по отношению к базовому варианту. При этом применение Бурогумина положительно сказывается на качестве картофеля: снижается содержание в нем нитратов, повышается его крахмалистость, а также товарность клубней.

В производственном опыте подтверждена эффективность Бурогумина при его использовании на картофеле, особенно при сочетании предпосадочной обработки клубней и опрыскивании вегетирующих растений. Прибавка урожая при этом достигает 91 ц/га.

Таким образом, двухлетние испытания агрохимической эффективности нового регулятора роста растений Бурогумин в полевых деляночных опытах, а также в производственных опытах при возделывании различных сортов картофеля установили его положительное влияние, как на урожайность картофеля, так и на качество получаемой продукции. Это явилось основанием для его Государственной регистрации и внесения в Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь.

## Л и т е р а т у р а

1. Новый гуминовый препарат ростстимулирующего действия на основе неогеновых бурых углей Беларуси / И. И. Лиштван [и др.] // Химия твердого топлива. 2011. № 4. С. 13–19.
2. Стимуляторы роста растений из бурого угля / В. В. Роде [и др.] // Гуминовые вещества в биосфере. М., 1993. С. 162–166.
3. Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. Минск, 2009.

<sup>1</sup>Институт природопользования НАН Беларуси,

<sup>2</sup>РУП «Институт почвоведения и агрохимии»

Поступила в редакцию 27.02.2013 г.

**И. И. Лиштван, Г. В. Наумова, Г. В. Пироговская, Н. А. Жмакова,  
Т. Ф. Овечинникова, Н. Л. Макарова, В. И. Сорока**

## **РЕГУЛЯТОР РОСТА РАСТЕНИЙ БУРОГУМИН И АГРОХИМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КАРТОФЕЛЯ**

Разработан регулятор роста растений на основе белорусских бурых углей Бурогумин с высоким содержанием гуминовых кислот (до 80 % от его ОМ). Препарат прошел токсикологогигиеническую проверку и отнесен к малоопасным веществам IV класса. Он не обладает местно-раздражающим, кожно-резорбтивным, кумулятивным, сенсибилизирующими, мутагенным и канцерогенным действием.

Препарат Бурогумин в 2009 и 2011 г. прошел регистрационные испытания на одной из основных сельскохозяйственных культур Беларуси – картофеле. Полевые и производственные испытания проведены Институтом почвоведения и агрохимии НАН Беларуси.

Исследования агрохимической эффективности в полевых опытах СПК «Суворова» Узденского района Минской области показали, что применение биологически активного препарата из бурого угля Бурогумин приводит к существенному повышению урожая картофеля. Так, в полевом опыте его урожайность увеличивается на 109–138 ц/га по сравнению с контролем (без удобрений) и на 13–42 ц/га по отношению к базовому варианту (обработка регулятором роста растений из торфа Гидрогумат).

Содержание нитратов в клубнях картофеля с участков, обработанных гуминовыми препаратами, заметно снижалось – со 187 мг/кг в контрольном варианте с применением удобрений до 151–158 мг/кг в варианте с Бурогумином.

Внесение Бурогумина положительно сказалось на увеличении крахмалистости клубней (на 0,5–0,9 %), по сравнению с внесением только минеральных удобрений. Содержание крахмала в зависимости от вариантов опыта изменялось в пределах от 11,3 до 12,2 %. Товарность клубней во всех вариантах опыта была высокой и находилась примерно на одном уровне 89,3–90,8 %, в контрольном варианте – несколько ниже (88,4 %).

Производственный опыт по испытанию эффективности Бурогумина, проведенный в 2011 г. в фермерском хозяйстве «Горизонт» Мостовского района Гродненской области на площади 15 га, подтвердил положительное влияние препарата, как на урожайность, так и на качественные показатели клубней картофеля.

*I. I. Lishtvan, G. V. Naumova, G. V. Pirogovskaya, N. A. Zhmakova,  
T. F. Ovchinnikova, N. L. Makarova, V. I. Soroka*

#### **PLANTS GROWTH REGULATOR BUROGUMIN AND AGROCHEMICAL EFFICIENCY OF ITS APPLICATION IN POTATO CULTIVATION**

*The plants growth regulator on the basis of Belarus brown coals Buroguin with high humic acids content (to 80 % from its OM) is developed. The preparation has passed toxicological-hygienic check and refers to little-hazardous substances of class IV. It is of no local-irritating, skin-rezorbтив, cumulative, sensibilizing, mutagen and cancerogenic action.*

*Preparation Burogumin in 2009 and 2011 has passed registration tests for one of the basic agricultural crops of Belarus – potato. Field and industrial tests were carried out by the Institute of soil science and agrochemistry, NAS of Belarus.*

*Researches of agrochemical efficiency in field tests АІС «Суворов» of Uzdensky District of Minsk area have shown, that application of biologically active preparation from brown coal Burogumin results in essential increase of potato crop . So, in field tests its productivity increases by 109–138 c/hectare in comparison with the checked (without fertilizers) and by 13–42 c/hectare in relation to basic variant (treatment by peat-based plants growth regulator Hydrohumat).*

*The nitrates content in potato tubers from the sites treated by humic preparations, considerably decreased – from 187 mg/kg in a control variant with application of fertilizers to 151–158 mg/kg in a variant with Burogumin.*

*Burogumin introduction has positively affected the tuber starch content increase (by 0,5–0,9 %), in comparison with only mineral fertilizers application. The starch content depending on the test variants changed in limits from 11,3 to 12,2 %. Marketability of tubers in all variants of tests was high and was approximately at one level of 89,3–90,8 %, in a check variant – a bit lower (88,4 %).*

*The industrial test for Buragumin efficiency in 2011 in the farm «Horizon» of Mostovsky area, Grodno District, on the area of 15 hectares, has confirmed a positive influence of the preparation both on productivity and on the quality indicators of potato tubers.*

УДК 547.458.87+547.992.2

Г. В. Наумова<sup>1</sup>, Г. М. Середа<sup>2</sup>, А. Э. Томсон<sup>1</sup>, Н. А. Жмакова<sup>1</sup>,  
Н. Л. Макарова<sup>1</sup>, Т. Ф. Овчинникова<sup>1</sup>

## КОМПЛЕКСНЫЕ ГУМАТСОДЕРЖАЩИЕ ПРЕПАРАТЫ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ФУНГИЦИДНЫХ СВОЙСТВ НА КУЛЬТУРЕ КАРТОФЕЛЯ

Изложены результаты исследований фунгицидных свойств комплексных гуматсодержащих препаратов, полученных на основе продуктов окисления торфа и добавок, усиливающих фунгицидные свойства. В лабораторных и полевых опытах на картофеле показано, что введение в состав гуминового препарата гидроксида аммония, микрозлементов бора, йода повышает эффективность его действия против развития ризоктониоза картофеля.

В природно-климатических условиях республики Беларусь, благоприятных для распространения и развития патогенов, насчитывается до ста видов болезней сельскохозяйственных культур, многие из которых поражают и картофель в процессе его вегетации и хранения.

Как известно, болезни растений возникают под воздействием фитопатогенных организмов (инфекционные болезни) или при неблагоприятных условиях внешней среды (неинфекционные болезни). Они вызывают необратимые нарушения в обмене веществ, приводя к резкому снижению урожая, ухудшению его качества, а иногда и к полной гибели растений.

Картофель – одна из культур сильно поражаемых грибными, бактериальными, вирусными, микоплазменными и нематодными болезнями. Ежегодные мировые потери урожая картофеля от болезней составляют 20–25 % его валового сбора [12].

Среди грибных инфекций повсеместное распространение на картофеле в нашем регионе имеет фитофтороз, развитию которого способствует повышенная влажность воздуха и почвы. Эти же погодные условия вызывают его поражение альтернариозом. В годы повышенной влажности заболеваемость растений картофеля этими видами патогенов может достигать 70 %, а урожайность его снижается на 20–40 % [3, 4].

Повсеместно на посадках картофеля широко распространена такая грибная инфекция, как парша – черная, обыкновенная, порошистая, серебристая, бугорчатая и другие, приносящая существенный урон его урожаю.

Не менее опасны для культуры картофеля различные виды гнилей. В зависимости от погодных условий сезона развиваются мокрые или сухие гнили, среди которых фомоз, фузариоз, бурая гниль, черная ножка, антракноз, кольцевая и водянистая гнили. Отдельные из перечисленных могут иметь бактериальное или грибное происхождение. Клубни картофеля поражаются и смешанными гнилями, включающими комплекс грибов и бактерий. Чаще всего это происходит в пе-

риод их хранения. Поэтому современные интенсивные технологии растениеводства невозможно представить без применения средств защиты растений: адаптогенов, фунгицидов, гербицидов, инсектицидов и других биологически активных препаратов. По мнению специалистов, они обеспечивают сохранность до 40 % выращиваемой сельскохозяйственной продукции [10].

Антropогенная нагрузка на агроценозы и внесение высоких доз минеральных удобрений вызывают необходимость постоянного увеличения объемов применения химических средств защиты растений для предотвращения массового развития патогенов, вредоносных насекомых и сорной растительности. Последствия применения таких химикатов в сельском хозяйстве не предсказуемы, а из экологических угроз, связанных с глобальным загрязнением биосферы, пестициды вышли на первое место [2, 7, 9, 11].

В настоящее время при выборе рационального способа защиты растений предпочтение отдается наряду с экономической и биологической эффективностью экологически безопасным препаратам, а уровнем экологичности считается минимальная норма расхода пестицида на единицу площади. В этой связи разработка мероприятий, способствующих снижению доз внесения пестицидов при выращивании сельскохозяйственных растений, в том числе картофеля, – актуальная задача науки и практики.

Разработка экологобезопасных средств защиты растений представляется важной и актуальной задачей, особенно в условиях Беларуси, значительная часть территории которой загрязнена радионуклидами в результате аварии на ЧАЭС, где запрещено применение большинства химических средств защиты растений в зонах с повышенным радиационным фоном. Одним из путей, позволяющих снизить нагрузку на биоценозы, является создание и применение в агroteхнологии препаратов нового поколения, выполняющих не только регуляторные функции, но и одновременно повышающих иммунитет растений. Препараты такого действия можно получать

на основе природного сырья растительного происхождения – торфа, богатого биологически активными веществами [1, 5, 6, 8].

При решении задач, связанных с экологизацией технологии возделывания картофеля в современных условиях, актуальной является разработка комплексных гуматсодержащих биологически активных препаратов, обогащенных микроэлементами, оказывающими наиболее благоприятное воздействие на его рост, развитие и иммунную систему или другими добавками, усиливающими фунгицидные свойства гуминового препарата.

Предварительными технологическими исследованиями установлена возможность обогащения продуктов окисления торфа фенольными соединениями, содержание которых в них возрастает по сравнению с регулятором роста растений Оксигумат почти в 2 раза (с 1,2 % до 2,3 % на ОМ препарата). Характерно, что низкомолекулярные фенольные соединения в этих продуктах представлены преимущественно фенолкарбоновыми кислотами. Химический состав фенолкарбоновых кислот нового препарата (Оксигумат<sup>+</sup>), полученного путем окисления торфа приведен в табл. 1.

**Таблица 1. Содержание фенолкарбоновых кислот в Оксигумате<sup>+</sup>**

Кислота	Содержание в препарате	
	% от суммы кислот	% от ОМ
Ванилиновая	6,9	0,15
<i>n</i> -оксибензойная	33,8	0,75
<i>m</i> -оксибензойная	2,5	0,05
Сиреневая	8,2	0,18
Кумаровая	36,6	0,81
Феруловая	0,9	0,02
Протокатеховая	0,9	0,02
Салициловая	9,7	0,21
Синаповая	0,5	0,01
Сумма	100,0	2,2

Как видно из приведенных данных, новый препарат Оксигумат<sup>+</sup> содержит широкий спектр фенолкарбоновых кислот, обладающих фунгицидной и бактерицидной активностью.

Наряду с фенольными соединениями препарат включает также комплекс других биологически активных веществ, в том числе гуминовые (46,7 % от ОМ) и карбоновые кислоты (17,7 % от ОМ). Как известно, гуминовые кислоты обладают ростстимулирующим действием, и, кроме того, повышают устойчивость растений в процессе вегетации к неблагоприятным условиям среды и к поражаемости болезнями. Карбоновые кислоты в низких концентрациях проявляют стимулирующие свойства, а в повышенных – ингибируют развитие патогенной микрофлоры.

Таким образом, было научно обосновано и экспериментально подтверждено, что окисление торфа является эффективным методом получения биологически активных препаратов, обогащенных фенольными соединениями.

Наряду с более глубокой химической деструкцией полифенольных соединений торфа, обеспечивающей повышенное содержание свободных фенольных соединений в препарате Оксигумат<sup>+</sup>, представлялось целесообразным ввести в его состав некоторые добавки, которые могут способствовать усилению их защитного действия от патогенов, поражающих растения картофеля в процессе его вегетации и хранения после уборки. В качестве таких добавок использовали йод, борную кислоту и гидроксид аммония.

Фунгицидную активность полученных препаратов изучали в лабораторных условиях на начальной стадии вегетации картофеля ранней спелости сорта Лазурит. Клубни предварительно обрабатывали водными растворами модифицированных препаратов с концентрацией 0,1; 0,2 и 0,3 %, затем их просушивали, инфицировали колониями ризоктониоза и высаживали в вегетационные сосуды на глубину 6–8 см. Температура воздуха в помещении составляла 18–20 °C, влажность – 70–80 %. Оценку пораженности стеблей и корней растений ризоктониозом проводили по пятибалльной шкале после появления полных всходов.

Контролем являлись клубни картофеля, не обработанные препаратами. Стандартом служили клубни, обработанные химическим средством защиты картофеля от грибных болезней Монцерен в рекомендуемой дозе (0,7 кг/т).

Результаты экспериментов приведены в табл. 2. Их анализ показывает, что препараты, включающие добавки йода или борной кислоты, проявляют более высокую фунгицидную активность по сравнению с Оксигуматом<sup>+</sup> и Оксигуматом<sup>+</sup>, обогащенным аммиаком, в опытах с клубнями, зараженными ризоктониозом. Отмечено заметное влияние концентрации препаратов на их фунгицидную активность. При повышении дозы применения новых препаратов, включающих добавки, их эффективность несколько повышается. Так, в случае аммиака показатели развития болезни уменьшаются с 23,2 до 20,7 %, при использовании йода в составе препарата – с 17,8 до 15,1, а при применении борной кислоты – с 19,4 до 18,5 %.

Таким образом, лабораторные исследования показали, что применение комплексных препаратов способствует снижению развития ризоктониоза с 61,3 % в контроле до 15,1–23,2 % в опытных вариантах. Однако наибольший эффект по защите картофеля от ризоктониоза наблюдается при применении химического средства – фунгицида монцерен, при применении которого развитие болезни снижается до 12,4 %.

**Таблица 2. Эффективность применения биологически активных препаратов против ризоктониоза картофеля (*Rhizoctonia solani*) на искусственном инфекционном фоне**

Вариант опыта	Доза препарата, г/кг	Развитие болезни, %
Контроль (без обработки)	–	61,3
Монцерен – стандарт	0,7	12,4
Оксигумат <sup>+</sup>	0,1	32,9
	0,2	30,8
	0,3	29,4
Оксигумат <sup>+</sup> + йод	0,1	17,8
	0,2	15,9
	0,3	15,1
Оксигумат <sup>+</sup> + борная кислота	0,1	19,4
	0,2	19,0
	0,3	18,5
Оксигумат <sup>+</sup> + аммиак	0,1	23,2
	0,3	20,7

**Таблица 3. Биометрические параметры роста растений картофеля при предпосадочной обработке клубней опытными образцами Оксигумата<sup>+</sup> с добавками (мелкоделяночный опыт, 2011 г.)**

Сорт	Высота растений, см				
	Оксигумат <sup>+</sup>	Оксигумат <sup>+</sup> -йод	Оксигумат <sup>+</sup> -бор	Оксигумат <sup>+</sup> -аммиак	Контроль
Архидея	13,3	17,1	12,8	17,7	12,5
Скарб	5,6	5,4	4,4	5,0	4,2
Луговской	8,3	5,2	6,2	7,5	4,8

Примечание. Дата учета – 15 июня.

**Таблица 4. Биометрические параметры развития растений картофеля при предпосадочной обработке клубней опытными образцами Оксигумата<sup>+</sup> с добавками (мелкоделяночный опыт, 2011 г.)**

Сорт	Количество стеблей, шт/куст				
	Оксигумат <sup>+</sup>	Оксигумат <sup>+</sup> -йод	Оксигумат <sup>+</sup> -бор	Оксигумат <sup>+</sup> -аммиак	Контроль
Архидея	7,1	7,4	6,9	6,7	6,4
Скарб	4,7	4,0	3,3	4,1	3,0
Луговской	5,9	4,4	4,7	5,8	3,8

Примечание. Дата учета – 15 июня.

Как видно из приведенных данных, лучшие показатели по высоте растений наблюдались в опытах, где клубни картофеля были обработаны Оксигуматом<sup>+</sup> с добавками. При этом наибольшая высота растений обнаружена у картофеля сорта Архидея, клубни которого обработаны Оксигуматом<sup>+</sup> с водным аммиаком и с йодом. Что касается количества стеблей, то здесь также наблюдалось положительное влияние испытуемых препаратов на рост и развитие всех сортов картофеля по сравнению с контролем.

Значительный интерес представляла оценка защитных свойств новых комплексных препаратов по отношению к ризоктониозу, развиваю-

щимся на подземной части стеблей картофеля при его выращивании. Развитие этой болезни учитывали в первой декаде июля, результаты представлены в табл. 5.

Анализ данных, полученных в результате опытов, показывает, что заболеванием ризоктониоза была охвачена значительная часть растений. Судя по результатам контрольных опытов, в зависимости от сорта картофеля развитие болезни составляло от 13,3 до 28,8 %. При этом наиболее устойчив к ризоктониозу оказался сорт Скарб, где развитие болезни было на самом низком уровне. Обработка клубней картофеля перед посадкой препаратами способствовала замет-

ному снижению развития ризоктониоза. В этом аспекте наиболее эффективным оказалось применение препарата Оксигумат<sup>+</sup>-йод на картофеле сорта Скарб, при котором развитие болезни отсутствовало, а применение препарата Оксигу-

мат<sup>+</sup>-бор позволило снизить развитие ризоктониоза более чем в 5 раз. Обработка клубней препаратом Оксигумат<sup>+</sup>-аммиак оказалась менее эффективной.

**Таблица 5. Развитие ризоктониоза на подземной части стеблей картофеля под влиянием комплексных гуматсодержащих препаратов (мелкоделяночный опыт, 2011 г.)**

Вариант	Развитие ризоктониоза, %				
	Оксигумат <sup>+</sup>	Оксигумат <sup>+</sup> -йод	Оксигумат <sup>+</sup> -бор	Оксигумат <sup>+</sup> -аммиак	Контроль
Архидея	27,6	11,9	8,3	26,6	28,8
Скарб	5,4	0,0	2,5	2,5	13,3
Луговской	12,9	9,0	8,3	13,5	15,6

*Примечание.* Дата учета – 5 июля 2011.

Защитные свойства у препарата Оксигумат<sup>+</sup> без добавок менее выражены, однако при его применении также наблюдается тенденция по снижению развития ризоктониоза у большинства сортов картофеля.

Таким образом, применение опытных образцов препаратов гуминовой природы, вклю-

чающих отдельные добавки, оказывает положительное влияние на сдерживание развития ризоктониоза на подземной части стеблей картофеля, в то время как в случае исходного Оксигумата<sup>+</sup> такая тенденция менее выражена.

## Л и т е р а т у р а

1. **Биологически** активные препараты стимулирующего и фунгицидного действия на основе торфа / Г. В. Наумова [и др.] // Химия твердого топлива. 1995. № 2. С. 82–86.
2. **Интегральные** системы защиты сельскохозяйственных культур от вредителей, болезней и сорняков : рекомендации / под ред. В. Ф. Самерсова. Барановичи, 1998.
3. **Интегрированная** система защиты сельскохозяйственных культур от вредителей, болезней и сорняков / под ред. С. В. Сороки, Минск, 2005.
4. **Кадыров, М. А.** Стратегия экономически целесообразной адаптивной интенсификации системы земледелия в Беларуси / М. А. Кадыров. Минск, 2004.
5. **Комарова, М. С.** Гуминовые препараты как средства защиты овощных культур от болезней / М. С. Комарова, Л. В. Косоногова, Г. В. Наумова // Интегрированная защита растений и охрана природы : Докл. 6-й науч.-произ. конф. Вильнюс, 1989. С. 37–39.
6. **Новые** гуминовые препараты фунгицидного и бактерицидного действия на основе торфа / Г. В. Наумова [и др.] / Тр. 4-й Всерос. конф. Гуминовые вещества в биосфере. М., 2007. С. 497–502.
7. **Подходы** к определению «необходимого минимума» применения химических средств защиты растений в Германии / У. Бурт [и др.] : Сб. тр. Стратегия и тактика защиты растений : Сб. тр. РУП ИЗР НАН Беларуси, 2006. Вып. 30, ч. 1. С. 17–21.
8. **Регулятор** роста с защитными свойствами на основе торфа / Г. В. Наумова [и др.] // Торфяная промышленность. 1990. № 2. С. 22–25.
9. **Скурьят, А. Ф.** Некоторые аспекты применения химического метода защиты растений в сельском хозяйстве Беларуси / А. Ф. Скурьят // Стратегия и тактика защиты растений : Сб. тр. РУП ИЗР НАН Беларуси, 2006. Вып. 30, ч. 1. С. 52–57.
10. **Технология** возделывания продовольственного картофеля в БССР / Л. Е. Загурская [и др.] // Рекомендации. Мин., 1991.
11. **Экологические** вопросы применения пестицидов при защите зерновых культур от вредных организмов / П. М. Кислушкин [и др.] // Стратегия и тактика защиты растений : Сб. тр. РУП ИЗР НАН Беларуси, 2006. Вып. 30. Ч. 1. С. 34–37.
12. **Энциклопедический** справочник по выращиванию, хранению, переработке и использованию картофеля. Минск, 1988.

<sup>1</sup>Институт природопользования НАН Беларуси,

<sup>2</sup>Институт защиты растений НАН Беларуси

**Г. В. Наумова, А. Э. Томсон, Н. А. Жмакова, Н. Л. Макарова, Т. Ф. Овчинникова**

**КОМПЛЕКСНЫЕ ГУМАТСОДЕРЖАЩИЕ ПРЕПАРАТЫ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ  
ФУНГИЦИДНЫХ СВОЙСТВ НА КУЛЬТУРЕ КАРТОФЕЛЯ**

В настоящее время при выборе рационального способа защиты растений предпочтение отдается экологически безопасным препаратам. Одним из путей, позволяющим снизить нагрузку на агроценозы, является создание и применение в растениеводстве эффективных средств защиты растений, получаемых на основе природного сырья растительного происхождения – торфа. В основе защитного действия таких препаратов наряду с бактерицидными и фунгицидными свойствами находится также их способность повышать устойчивость самого растения к воздействию патогенных организмов.

Приведены данные о составе и содержании в препарате Оксигумат<sup>+</sup> широкого спектра биологически активных соединений, обладающих фунгицидной и бактерицидной активностью. Он обогащен фенольными соединениями (2,3 % на ОМ препарата), основная часть которых представлена фенолкарбоновыми кислотами, а также гуминовыми кислотами (46,7 % от ОМ) и низкомолекулярными карбоновыми кислотами (17,7 % от ОМ). Как известно, фенольные соединения и карбоновые кислоты в низких концентрациях способны оказывать стимулирующее действие на рост и развитие организма, а в высоких – ингибируют развитие патогенной микрофлоры. Гуминовые кислоты обладают ростостимулирующим действием и повышают устойчивость растений к поражению инфекциями и неблагоприятным условиям среды.

Наряду с глубокой химической деструкцией полифенольных соединений торфа, обеспечивающей повышенное содержание биологически активных соединений в препарате, исследована эффективность введения в его состав бора, йода и гидроксида аммония с целью повышения фунгицидных свойств препарата.

В лабораторных опытах на клубнях картофеля, зараженных ризоктониозом показано, что продукты окисления торфа, в состав которых введены микроэлементы бор и йод, проявляют более высокую фунгицидную активность, чем исходный Оксигумат<sup>+</sup>. При этом наименьшее развитие болезни отмечено в случае препаратов, содержащих йод и бор, когда развитие болезни на 10,9–15,1 % ниже, чем при применении Оксигумата<sup>+</sup>. Эти же препараты проявили большую активность и в полевом опыте на различных сортах картофеля, оказывая существенное сдерживающее влияние на развитие и распространение ризоктониоза.

**G. V. Naumova, A. E. Thomson, N. A. Zhmakova, N. L. Makarova, T. F. Ovchinnikova**

**COMPLEX HUMAT-CONTAINING PREPARATIONS AND RESEARCH OF THEIR  
FUNGICIDAL PROPERTIES ON POTATO CULTURE**

At present, when choosing rational way of plants protection the preference is given to ecologically safe preparations. One of the ways, allowing to lower loading on agrocoenosis, the creation and application in plant growing of effective means of plants protection produced on the basis of natural raw materials of a phytopathogenesis – peat. The basis of the protective action of such preparations along with bactericidal and fungicidal properties is also ability to raise resistance of the plant to the impact of pathogenic organisms.

Data on the structure and content in the preparation Oxihummat<sup>+</sup> of a wide spectrum of biologically active compounds of fungicidal and bactericidal activity are provided. It is enriched with phenol compounds (2,3 % per preparation OM) a main part of which is presented by phenol-carbonic acids, and also by humic acids (46,7 % from OM) and low-molecular carbonic acids (17,7 % from OM). As we know, phenol connections and carbonic acids in low concentration are capable to have stimulating effect on the growth and organism development, and in high – inhibit the development of pathogenic microflora. Humic acids have a growth-stimulating effect and raise stability of plants to damage by infections and adverse conditions of environment.

Along with deep chemical destruction of peat polyphenolic compounds, providing the raised contents of biologically active compounds in a preparation, efficiency of introduction in its structure of boron, iodine and ammonium hydroxide for the purpose to increase fungicidal properties of a preparation is investigated.

In laboratory tests with tubers of a potato infected by rizoctoniosis it has been shown, that products of oxidation of peat the structure of which contained trace elements boron and iodine, show higher fungicidal activity, than initial Oxihuma<sup>+</sup>. Thus the least development of a disease is noted in case of the preparations containing iodine and boron, when a disease development is by 10,9–15,1 % lower than at application of Oxihummat<sup>+</sup>. The same preparations have shown the greater activity in field tests on various potato sorts, making essential constraining impact on rizoctoniosis evolution and dissemination.

**Н. С. Першай, Ю. Г. Янuta, А. М. Абрамец**

## ОСТАТОК ПОСЛЕ ГИДРОЛИЗА КАУСТОБИОЛИТОВ КАК СЫРЬЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СОРБЕНТОВ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

*Приведены результаты экспериментальных исследований состава функциональных групп и сорбционной активности к ионам тяжелых металлов остатка после гидролиза торфа и бурого угля. Показано, что водорастворимые продукты гидролиза обладают высокой сорбционной активностью по отношению к ионам тяжелых металлов. Модификация остатка после гидролиза позволяет повысить (более чем в 2 раза) его сорбционную емкость.*

Известно большое количество сорбционных материалов ионов тяжелых металлов (ТМ) на основе каустобиолитов. Существенной проблемой, содержащей их использование в практике водоочистки, является вторичное загрязнение сточных вод водорастворимыми компонентами сорбента. Данную проблему можно устраниć двумя способами: дополнительной очисткой вод от примесей, либо использованием сорбента, не содержащего водорастворимые соединения. Второй способ может быть реализован как удалением из сорбента водорастворимых соединений (что приводит к росту стоимости сорбента), так и использованием органической матрицы сорбента их не содержащих. Именно такому требованию к сырью отвечает остаток после гидролиза (ОГ) каустобиолитов. Нерастворимые в водных средах соединения представляют собой остаток после извлечения из каустобиолитов щелочью гуминовых и фульвокислот. ОГ состоит из органических и органоминеральных компонентов, сорбционная емкость которых различна. Согласно [6], содержащиеся в ОГ гуминовые кислоты (ГК) обладают меньшей емкостью поглощения, чем ОГ, а ГК прочно зафиксированы преимущественно на минеральной матрице.

Цель данной работы – исследовать сорбционные свойства ОГ каустобиолитов и обосновать их использование в качестве сырья для получения сорбентов ионов ТМ.

В качестве исходного сырья для получения ОГ использован верховой пущевый торф со степенью разложения 45–50 % и бурый уголь Бриневского месторождения зольностью 28 %. ОГ выделяли из исходного сырья путем обработки каустобиолита раствором гидроксида натрия. Продолжительность гидролиза составила 24 часа при периодическом перемешивании, температура процесса –20 °C, гидромодуль – 40. Гидролитическая кислотность (рН) смеси перед ее разделением составляла ≈12,4. Отделение ОГ от водорастворимых продуктов гидролиза осуществляли на центрифуге ЦВ-01/1 при следующих параметрах: время разделения – 20 мин, частота

вращения ротора – 6000 об<sup>-1</sup>, фактор разделения – 3041 г. Полученный ОГ переводили в Н-форму обработкой 0,05 н HCl. Избыток кислоты удаляли промывкой ОГ дистиллированной водой.

Статическую обменную емкость (СОЕ) ОГ по отношению к ионам ТМ определяли по разности между количеством внесенного ТМ и остаточным его количеством в растворе после процесса сорбции. Концентрацию ТМ в растворе определяли титриметрическим методом [10]. При проведении сорбции ионную силу среды поддерживали на уровне 0,1 н введением в среду раствора NaCl. Общее содержание карбоксильных (–COOH) и гидроксильных (–OH) функциональных групп определяли по методу [8]. Ультразвуковую обработку ОГ проводили на установке с пьезоэлектрическим излучателем ИЛ 100–6/1. Концентрацию водорастворимых компонентов контролировали по оптической плотности (*D*) фугата на КФК-2-УХЛ 4.2 при длине волн 490 нм.

Сорбционные свойства таких каустобиолитов, как торф, бурый уголь по отношению к ТМ, как правило, определяют преимущественно по наличию –COOH и –OH групп [1]. Согласно [7], среднее их содержание в ГК торфа и бурого угля колеблется в пределах: карбоксильные группы 1,5–5,7 мг-экв/г, гидроксильные – 2,1–5,7 мг-экв/г. Результаты определения физико-химических свойств ОГ торфа и бурого угля представлены в табл. 1, данные которой свидетельствуют, что содержание карбоксильных групп в ОГ каустобиолитов находится на нижнем уровне содержания таковых для ГК. Наличие также карбоксильных групп дает основание прогнозировать потенциально их сорбционные свойства. Согласно [1, 7, 9], СОЕ ГК зависит как от pH среды (при сорбции ТМ), так и от сорбируемого катиона. Экспериментально подтверждено, что такая закономерность характерна для ОГ как торфа, так и бурого угля (рис. 1, 2).

В табл. 2 представлены данные СОЕ и коэффициентов распределения (*K<sub>d</sub>*) ТМ ОГ каустобиолитов.

Таблица 1. Физико-химические характеристики ОГ торфа и бурого угля

Образец	Зольность ОГ, %		Количество функциональных групп, мг-экв/г		
	после выделения	в Н-форме	COOH	OH	COOH + OH
ОГ верхового торфа	14,9	0,6	1,5	0,8	2,3
ОГ бурого угля	29,2	18,6	1,0	2,8	3,8

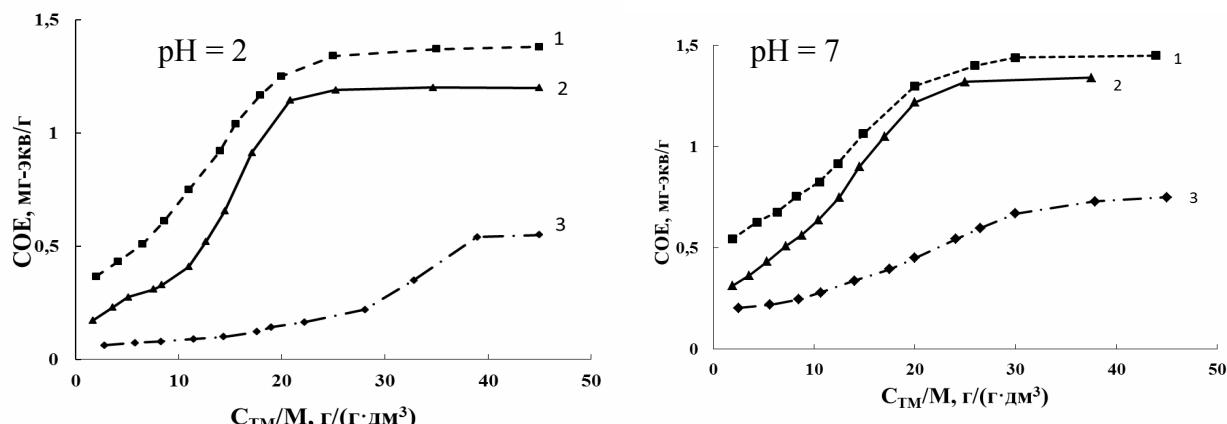
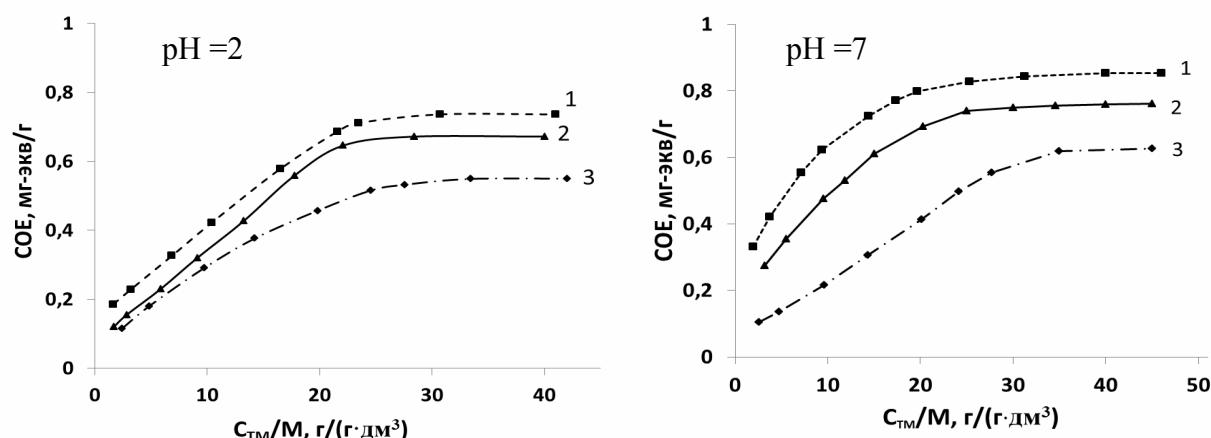
Рис. 1. СОЕ ОГ торфа из моноионных растворов  $\text{CuSO}_4$  (1),  $\text{NiSO}_4$  (2),  $\text{ZnSO}_4$  (3)Рис. 2. СОЕ ОГ бурого угля из моноионных растворов  $\text{CuSO}_4$  (1),  $\text{NiSO}_4$  (2),  $\text{ZnSO}_4$  (3)

Таблица 2. Сорбционные свойства ОГ торфа и бурого угля

Образец	СОЕ, мг-экв/г					
	$K_D$ , см <sup>3</sup> /г					
	$\text{Cu}^{2+}$		$\text{Ni}^{2+}$		$\text{Zn}^{2+}$	
	pH = 2	pH = 7	pH = 2	pH = 7	pH = 2	pH = 7
ОГ верхового торфа	1,38 0,78	1,45 0,89	1,2 0,74	1,34 0,83	0,55 0,22	0,75 0,44
ОГ бурого угля	0,74 0,45	0,85 0,53	0,67 0,42	0,76 0,48	0,55 0,34	0,62 0,36

Из данных рис. 1, 2 и табл. 2 следует, что СОЕ ОГ как торфа, так и бурого угля в кислой и нейтральной среде суммарно не превышает содержание функциональных групп. При этом можно констатировать, что рост СОЕ имеет место

при переходе от кислой в нейтральную среду, что согласно [7], обусловлено изменением степени диссоциации функциональных групп гуминовых веществ.

Исследование ионообменных свойств ОГ каустобиолитов позволило расположить катионы ТМ по СОЕ в следующий ряд:  $\text{Cu}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$ . Данный ряд установлен также в [2, 11] для ГК и их фракций, что свидетельствует об идентичности процессов, протекающих при сорбции ТМ ОГ и ГК.

Как показано в [6], ГВ, выделенные из ОГ и гумина, содержат в своем составе больше кислорода. Полученные данные, как по содержанию функциональных групп, так и по СОЕ ОГ ниже по сравнению с результатами исследований [1–3, 5], что может быть связано со спецификой механизма протекания сорбции ТМ ОГ. Сорбция ТМ ОГ в нейтральной и кислой средах согласуется с механизмом их взаимодействия на межфазной поверхности [3, 7], т. е. в данном процессе участвуют функциональные группы, находящиеся на поверхности ОГ. Повышение сорбционных

свойств ОГ может быть реализовано путем роста его удельной поверхности. С этой целью была проведена обработка ОГ каустобиолитов с использованием ультразвука.

Результаты изменения СОЕ ОГ при ультразвуковой обработке (УЗО) представлены на рис. 3, из которого видно, что воздействие УЗО на ОГ приводит к увеличению сорбционной емкости ОГ торфа в 2,3 раза и ОГ бурого угля в 3 раза по отношению к ионам  $\text{Cu}^{2+}$  в нейтральной среде, что, вероятно, связано с изменением удельной поверхности ОГ. При этом следует отметить, что изменение оптической плотности ( $D$ ) фугата с 0 до 0,023 (табл. 3) соответствует изменению ХПК раствора, согласно проведенным нами исследованиям, на уровне 1,7 мг  $\text{O}_2/\text{dm}^3$ . Таким образом, изменение  $D$  раствора, представленное в табл. 3, в первом приближении можно считать незначительным.

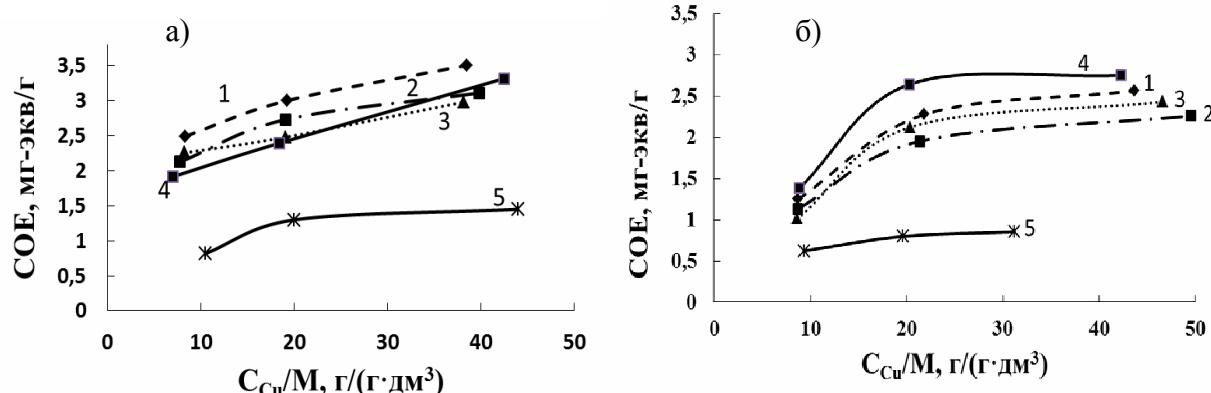


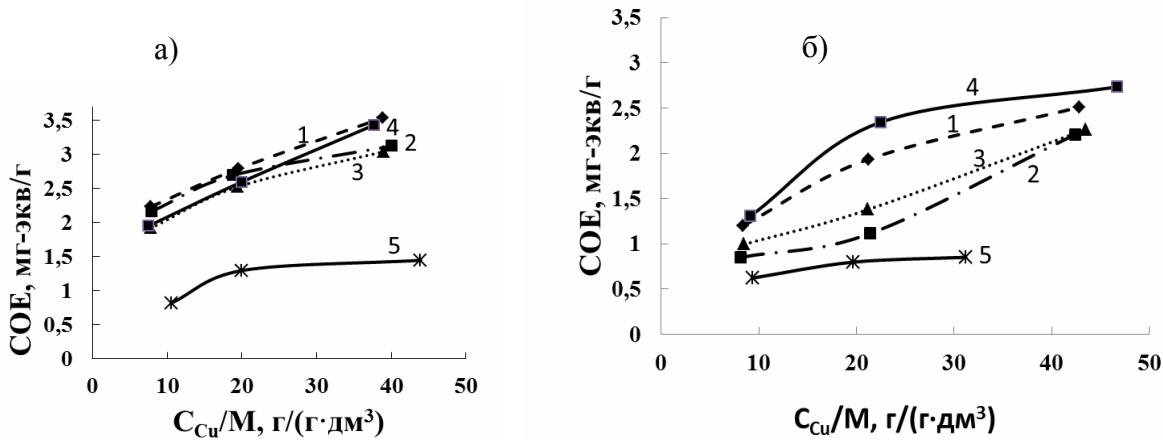
Рис. 3. СОЕ ОГ торфа (а) и бурого угля (б) при  $\text{pH} = 7$  из моноионных растворов  $\text{CuSO}_4$  после УЗО при следующих параметрах обработки: 1 – 1260 Вт, 1 мин; 2 – 1260 Вт, 2 мин; 3 – 630 Вт, 1 мин; 4 – 630 Вт, 2 мин; 5 – без обработки

Таблица 3. Изменение оптической плотности фугата после обработки ОГ ультразвуком

Образец	Мощность обработки, Вт	Время обработки, мин	СОЕ, мг-экв/г	$D_{490}$
ОГ торфа	без обработки		1,45	0,002
	630	1	2,98	0,005
		2	3,31	0,023
	1260	1	3,51	0,050
		2	3,11	0,005
ОГ бурого угля	без обработки		0,85	0
	630	1	2,43	0,020
		2	2,75	0,023
	1260	1	2,56	0
		2	2,25	0,01

Небольшое изменение оптической плотности раствора после УЗО ОГ позволяет сделать вывод об отсутствии процессов, приводящих к образованию низкомолекулярных хромофорных соединений. При этом изменение СОЕ линейно не зависит от подводимой мощности, что свидетельствует о нелинейности процессов деструкции ОГ, протекающих при УЗО.

Увеличение же СОЕ, при том либо ином методе обработки, не всегда является определяющим фактором для обоснования способа модификации ОГ. Одним из важных параметров является стабильность продукции, т. е. продолжительность сохранения ее свойств, вызванных тем или иным воздействием. Результаты динамики изменения СОЕ ОГ после УЗО представлены на рис. 4.



**Рис. 4.** Динамика СОЕ ОГ торфа (а) и бурого угля (б) при  $pH = 7$  из моноионных растворов  $CuSO_4$  через 14 суток после УЗО при следующих параметрах обработки: 1 – 1260 Вт, 1 мин; 2 – 1260 Вт, 2 мин; 3 – 630 Вт, 1 мин; 4 – 630 Вт, 2 мин; 5 – без обработки

Из анализа рис. 3 и 4 видно, что изменение СОЕ ОГ при хранении незначительно.

Таким образом, представленные результаты свидетельствуют, что ОГ каустобиолитов может быть использован в качестве сырья для получения экологобезопасных сорбентов ионов ТМ при очистке сточных вод.

Установлено, что сорбционная активность ОГ торфа и бурого угля увеличивается при переходе от кислой к нейтральной реакции среды и

снижается по отношению к ионам ТМ в ряду  $Cu^{2+} > Ni^{2+} > Zn^{2+}$ . Это позволяет сделать вывод о схожести механизма сорбции ТМ у ОГ и ГК.

Показано, что УЗО ОГ позволяет повысить СОЕ ОГ не менее чем в 2,5 раза. При этом СОЕ зависит не линейно от условий обработки. Обработанный ультразвуком ОГ каустобиолитов сохраняет высокие сорбционные свойства в течение не менее чем 14 суток.

## Литература

1. Белькевич, П. И. Торф и проблема защиты окружающей среды / П. И. Белькевич, Л. Р. Чистова. Минск, 1979.
2. Лиштван, И. И. Взаимодействие гуминовых кислот с ионами металлов и структура металлгуминовых комплексов / И. И. Лиштван [и др.] // Вестн. БГУ. 2012. № 2. С. 12–15.
3. Лиштван, И. И. Гуминовые кислоты. Взаимодействие с ионами металлов, особенности структуры и свойств металлгуминовых комплексов / И. И. Лиштван [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. 2006. Т. 14, № 4. С. 391–397.
4. Лиштван, И. И. Гуминовые кислоты торфа и препараты на их основе / И. И. Лиштван [и др.] // Природопользование. 2004. Вып. 10. С. 114–118.
5. Дударчик, В. М. Очистка хромсодержащих растворов гуминовыми кислотами торфа / В. М. Дударчик, С. И. Коврик, Т. П. Смычник // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. 2002. № 4. С. 94–97.
6. Кононова, М. М. Органическое вещество почвы, его природа, свойства и методы изучения / М. М. Кононова. М., 1963.
7. Лиштван, И. И. Физико-химическая механика гуминовых веществ / И. И. Лиштван, Н. Н. Круглицкий, В. Ю. Третинник. Минск, 1976.
8. Орлов, Д. С. Практикум по химии гумуса / Д. С. Орлов, Л. А. Гришина. М., 1981.
9. Лиштван, И. И. Структура фракций гуминовых кислот торфа / И. И. Лиштван [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. 2005. № 1. С. 108–113.
10. Шарло, Г. Методы аналитической химии. Количественный анализ неорганических соединений / Г. Шарло. М., 1969.
11. Янuta, Ю. Г. Взаимодействие гуминовых кислот с ионами тяжелых металлов и особенности образования металлгуминовых комплексов / Ю. Г. Янuta // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. 2006. № 5. С. 110–113.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 14.03.2013 г.

**Н. С. Першай, Ю. Г. Янута, А. М. Абрамец**

**ОСТАТОК ПОСЛЕ ГИДРОЛИЗА КАУСТОБИОЛИТОВ  
КАК СЫРЬЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СОРБЕНТОВ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ**

---

Приведены результаты экспериментальных исследований состава функциональных групп и сорбционной активности к ионам тяжелых металлов остатка после гидролиза торфа и бурого угля. Установлено, что сорбционная активность остатка после гидролиза торфа и бурого угля увеличивается при переходе от кислой к нейтральной реакции среды и снижается по отношению к ионам тяжелых металлов в ряду  $Cu^{2+} > Ni^{2+} > Zn^{2+}$ . Выявлено, что модификация остатка после гидролиза ультразвуком увеличивает его сорбционную емкость более чем в 2 раза.

**N. S. Pershai, Y. G. Yanuta, A. M. Abramets**

**CAUSTOBIOLITHES HYDROLYSIS REMNANTS  
AS RAW MATERIALS FOR HEAVY METAL IONS SORBENTS PRODUCTION**

---

*Results of experimental researches of the structure of functional groups composition and sorption activity to ions of heavy metals of peat and brown coal hydrolysis are given. It has been found that sorption activity of peat and brown coal hydrolysis increases at the transition from acidic to neutral medium reaction and decreases in relation to heavy metals ions in the series  $Cu^{2+} > Ni^{2+} > Zn^{2+}$ . It has been revealed that the remnant updating after hydrolysis by ultrasound enhances more than twice its sorption capacity.*

УДК 541.182+631.436

А. Р. Цыганов<sup>1</sup>, А. С. Самсонова<sup>2</sup>, А. Э. Томсон<sup>3</sup>, Н. Е. Сосновская<sup>3</sup>, Т. В. Соколова<sup>3</sup>,  
А. А. Хрипович<sup>1</sup>, Ю. Ю. Навоша<sup>3</sup>, В. С. Пехтерева<sup>3</sup>, П. А. Шевченко<sup>3</sup>

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ТОРФА И МИКРООРГАНИЗМОВ-ДЕСТРУКТОРОВ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Предложен способ рекультивации с применением композиционного материала в сочетании с культурой микроорганизмов-деструкторов нефти, который позволяет достичь степени деградации нефти в почве выше 90 % и сформировать устойчивый травяной покров на нефтезагрязненных землях.

Заключительным этапом рекультивации нефтезагрязненных земель является биологический, который включает комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на улучшение агрофизических, агрохимических, биохимических и других свойств почвы.

Биологический этап выполняется после завершения технического этапа и заключается в подготовке почвы, внесении удобрений, подборе многолетних трав и травосмесей, устойчивых к загрязнению, в их посеве, уходе за посевами, который направлен на закрепление поверхностного слоя почвы корневой системой растений, на создание сомкнутого травостоя и предотвращение развития водной и ветровой эрозии почв на нарушенных землях. При проведении данного этапа рекультивации должны быть учтены требования к рекультивации земель по направлениям их использования.

Ранее [4] было показано, что в условиях полевого мелкоделяночного опыта на РУП «Экспериментальная база «Свислочь» НАН Беларусь» за один вегетационный период степень деградации нефти с применением композиционного материала на основе торфа и микроорганизмов-деструкторов составляет 67,8 %, что на 31,4 % выше, чем в фоновой нефтезагрязненной почве.

Целью данной работы явилась оценка эффективности рекультивации нефтезагрязненных земель по фитопродуктивности высеванной травяной растительности и степени деградации загрязнителя во втором вегетационном периоде.

Для фиторекультивации нефтезагрязненных земель используют семена однолетних и многолетних трав, преимущественно злаков, обладающих развитой корневой системой и повышенной устойчивостью к нефтяному загрязнению почвы, такие, как костер безостый, овес, лисохвост, овсяница, канареекник, вейники, тимофеевка, ситники, клевер ползучий, рогоз широколистый. Для повышения вероятности успешного

развития травостоя используются смеси семян не менее 3 видов трав. На суходольных участках в состав семенной смеси обязательно включают клевер ползучий, а на обводненных болотистых – рогоз широколистый. Овсяница, тимофеевка луговая, вейник наземный, некоторые виды ситников, канареекник тростниковидный обладают устойчивостью к засолению почв и образуют травяной покров при содержании ионов хлора до 0,3 % [3].

В начале второго вегетационного периода на опытных делянках была удалена вся сорная растительность, отобраны образцы почвы для оценки степени деградации нефти методом ИК-спектроскопии и учета численности микроорганизмов, внесены элементы минерального питания в виде комплексного удобрения с содержанием NPK 17–17–17 в количестве 10 г/м<sup>2</sup>, что составляет половинную дозу от первичного внесения (21 г/м<sup>2</sup>). Затем на подготовленную поверхность делянок (рис. 1) был произведен высев травяных культур, выбор которых произведен, исходя из местных почвенно-климатических условий. Использована смесь из трех видов – костер безостый, лисохвост и овсяница в равных соотношениях, норма высева смеси составила 9 г/м<sup>2</sup> с учетом всхожести семян.

В течение второго вегетационного сезона проводили мероприятия по уходу за посевами – на начальном этапе удаляли сорную растительность. Через полтора месяца вегетации был произведен первый укос травяной биомассы, после которого была осуществлена подкормка травостоя комплексным удобрением в соответствии с агрономическими рекомендациями при возделывании кормовых культур. В конце вегетационного сезона был произведен второй – окончательный укос биомассы, а также оценена площадь зарастания участков травяной растительностью. Обработку результатов вегетационного опыта проводили по методике [2].



**Рис. 1. Общий вид мелкоделяночного полевого опыта перед посевом травяных культур**

Выход зеленой и сухой биомассы, степень деградации нефти, а также численность микроорганизмов приведены в табл. 1 и 2.

**Таблица 1. Степень деградации нефти и выход биомассы травяных культур в условиях полевого мелкоделяночного опыта**

Вариант опыта	Степень деградации, %	Выход биомассы, $10^{-3}$ кг			
		1-й укос		2-й укос	
		зеленая	сухая	зеленая	сухая
1. Фон – почва	–	$145,0 \pm 5,0$	$55,4 \pm 2,1$	$155,5 \pm 5,0$	$49,5 \pm 1,7$
2. Почва + нефть	55,7	$8,5 \pm 0,7$	$4,6 \pm 0,4$	$13,6 \pm 0,9$	$7,2 \pm 0,8$
3. Почва + нефть + композиционный материал	72,4	$24,2 \pm 1,5$	$12,1 \pm 1,1$	$31,8 \pm 1,8$	$13,2 \pm 0,9$
4. Почва + нефть + культура	80,7	$43,0 \pm 2,0$	$17,2 \pm 1,0$	$53,4 \pm 2,2$	$21,8 \pm 1,1$
5. Почва + нефть + композиционный материал + культура	93,3	$68,0 \pm 2,4$	$25,8 \pm 1,9$	$86,1 \pm 3,2$	$33,4 \pm 1,3$

**Таблица 2. Общая численность микроорганизмов в нефтезагрязненной почве на различных средах в условиях мелкоделяночного полевого опыта**

Вариант опыта	Количество микроорганизмов, КОЕ клеток/г абс. сух. почвы			
	Среда МСА	Среда МПА	Среда Е-8	Среда Чапека
1. Контроль	$5,5 \cdot 10^{10}$	$4,5 \cdot 10^9$	$8,2 \cdot 10^6$	$1,4 \cdot 10^5$
2. Почва + нефть	$6,3 \cdot 10^{11}$	$3,4 \cdot 10^8$	$2,4 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^5$
3. Почва + нефть + композиционный материал	$7,6 \cdot 10^{10}$	$4,1 \cdot 10^8$	$3,6 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^5$
4. Почва + нефть + культура микроорганизмов-деструкторов	$7,9 \cdot 10^{10}$	$4,3 \cdot 10^8$	$2,7 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^5$
5. Почва + нефть + композиционный материал + культура микроорганизмов-деструкторов	$8,1 \cdot 10^{11}$	$3,5 \cdot 10^8$	$2,5 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^5$

Для учета количества микроорганизмов в нефтезагрязненной почве использованы следующие среды:

1. Среда МСА (мясо-суслевый агар) предназначена для учета споровых микроорганизмов. Ее состав и концентрация компонентов (г/л): раствор 1: МПБ (мясо-пептонный бульон) – 50 мл + 450 мл Н<sub>2</sub>O; раствор 2: сусло – 250 мл + 250 мл Н<sub>2</sub>O. Режим стерилизации: 10–30 мин при давлении 0,5 атм. Пастеризация при 80 °C (выживут только споровые).

2. Среда МПА (мясо-пептонный агар) предназначена для учета общего числа микроорганизмов. Ее состав и концентрация компонентов (г/л): раствор 1: МПБ (мясо-пептонный бульон) – 50 мл + 450 мл Н<sub>2</sub>O.

3. Среда Е-8 предназначена для учета углеводородокисляющих микроорганизмов. Ее состав и концентрация компонентов (г/л): NaCl – 0,5; MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O – 0,8; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> – 0,7; (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> – 1,5; гексадекан – 100 мкл; агар-агар – 20; pH 7,3–7,5. Режим стерилизации: 10–30 минут при давлении 0,5 атм.

4. Среда Чапека предназначена для учета

микромицетов. Ее состав и концентрация компонентов (г/л): K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> – 1,0; MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O – 0,5; NaNO<sub>3</sub> – 3,0; KCl – 0,5; FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O – 0,01; сахара – 30,0; агар-агар – 15.

Анализ табл. 2 показывает, что общее число микроорганизмов находится на уровне их численности в контрольном образце. Это свидетельствует о восстановлении микробиоценоза почвы. Количество углеводородокисляющих микроорганизмов в вариантах 2–5 в 30 раз превышает их число в контроле, что можно связать с остаточным содержанием нефти в почве.

Степень токсикации растений и площадь зарастания экспериментальных участков приведены в табл. 3.

Степень токсикации растений рассчитывали по формуле:

$$T = 100 - \frac{m_i}{m_0} \cdot 100,$$

где  $T$  – степень токсикации растений, %;  $m_i$  – масса растений  $i$ -го варианта опыта, кг;  $m_0$  – масса растений фонового варианта опыта, кг.

**Таблица 3. Степень токсикации растений нефтью к фону и площадь зарастания экспериментальных участков в условиях полевого мелкоделяночного опыта**

Вариант опыта	Площадь зарастания, м <sup>2</sup>	Степень токсикации по выходу биомассы, %			
		1-й укос		2-й укос	
		Зеленая	Сухая	Зеленая	Сухая
1. Фон – почва	0,8	—	—	—	—
2. Почва + нефть	0,1	94,1	91,7	91,3	85,5
3. Почва + нефть + композиционный материал	0,3	83,3	78,2	79,5	73,3
4. Почва + нефть + культура	0,5	73,3	69,0	65,7	56,0
5. Почва + нефть + композиционный материал + культура	0,7	53,1	53,4	44,6	32,5

Как следует из приведенных данных, уровень загрязнения почвы в 100 ПДК (ПДК = 50 мг/кг) существенным образом влияет на характер развития растений [5]. Во всех вариантах опыта наблюдается значительное снижение выхода биомассы, причем уменьшение этого параметра наиболее характерно для вариантов, где не вводили добавки, подавляющие миграцию нефти, либо ускоряющие ее распад. В этом случае выход биомассы снизился в 11–17 раз по сравнению с незагрязненной почвой. Хорошо просматривается корреляция между увеличением остаточной концентрации нефти в почве, снижением степени ее деградации и уменьшением выхода биомассы травяных культур.

Прежде всего, необходимо отметить, что внесение торфа с его естественной микрофлорой в определенной степени способствует ускорению разложения нефти в почве до 72,4 % по сравнению 55,7 % в нефтезагрязненной почве. Заметный положительный эффект применения торфа в качестве сорбирующего материала, предотвращающего миграцию нефти, а также как

дополнительного источника питания для растений, наблюдается в увеличении выхода биомассы более чем в 2 раза (рис. 2).

Введение в загрязненную почву микроорганизмов-деструкторов нефти в определенной степени положительно сказывается на процессе развития растений. В этом случае активизация процесса разрушения нефти (степень деградации 80,7 %) приводит к снижению степени угнетения растений, что видно по приросту выхода биомассы в 4–5 раз.

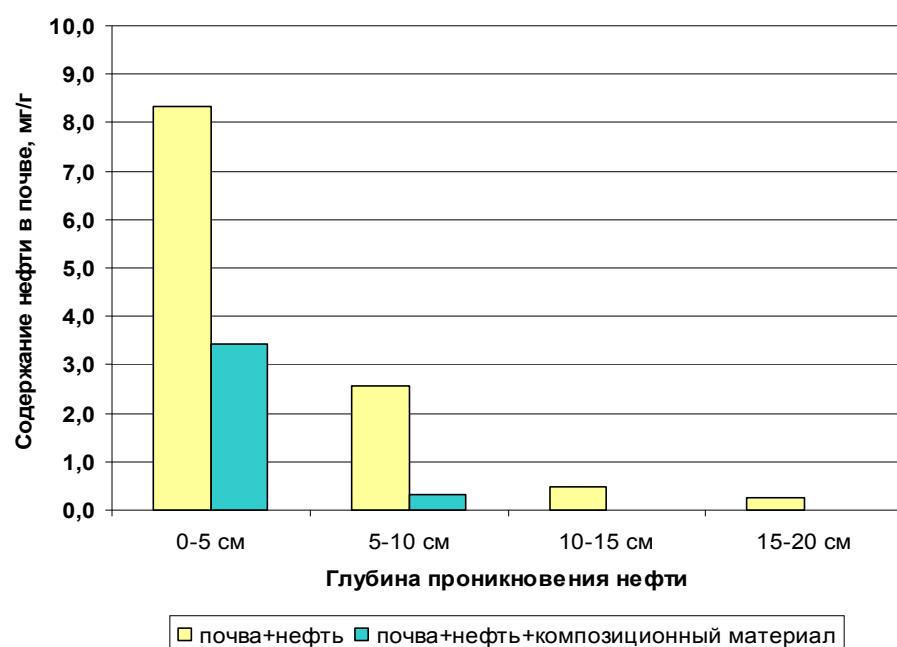
Внесение в почву композиционного материала с использованием культуры микроорганизмов-деструкторов нефти более эффективно оказывает влияние на процессы разложения нефти, чем при использовании отдельных компонентов. В данном случае увеличение степени деградации нефти до 93,3 % приводит к снижению негативного воздействия загрязнителя на процессы развития растений, о чем свидетельствует увеличение выхода биомассы в 6–8 раз по сравнению с нефтезагрязненной почвой (рис. 2).



**Рис. 2. Участки мелкоделяночного полевого опыта перед первым укосом трав:**  
а – почва + нефть; б – почва + нефть + композиционный материал + культура

Для изучения влияния композиционного материала на миграцию нефти в вариантах 2 и 5 были отобраны пробы по глубине почвенного профиля с шагом 5 см. Как следует из рис. 3, в естественных условиях под воздействием осадков нефть проникает на глубину свыше 20 см, использование композиционного материала на

основе торфа предотвращает миграцию нефти в нижние почвенные горизонты (10–20 см). Основная масса нефти задерживается в поверхностном слое (0–5 см), на глубине 10–15 см в варианте с применением композиционного материала нефть не обнаружена.



**Рис. 3. Влияние композиционного материала с микроорганизмами-деструкторами на миграцию нефти по почвенному профилю в условиях полевого мелкоделяночного опыта**

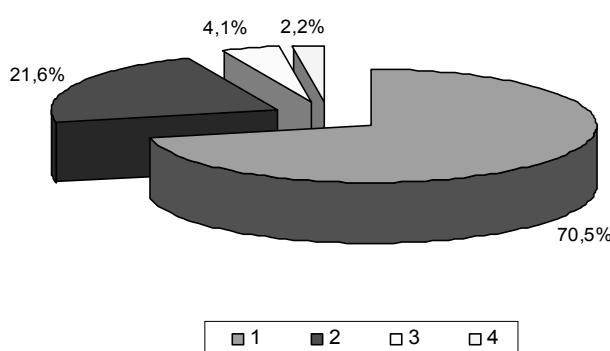
Сравнительный анализ распределения нефти по почвенному профилю (рис. 4, 5) показывает, что поверхностный слой 0–5 см задерживает основную часть нефти – 70,5 % в варианте 2 и 91,4 % в варианте 5. На глубине 5–10 см

содержится 21,6 % нефти в варианте 2 и 8,6 % в варианте 5. В случае применения композиционного материала на глубине 10–15 см нефть не обнаружена, в естественных условиях варианта 2 в этом слое содержится 4,1 %, а в слое 15–

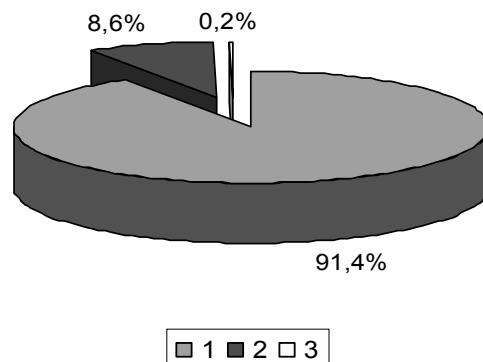
20 см 2,2 % нефти. Суммарное содержание нефти в отобранных на глубину 0–20 см образцах составило 98,4 %, что свидетельствует о дальнейшем проникновении нефти в более глубокие слои почвы.

Предельно допустимая концентрация нефти в почвах сельхозугодий составляет 50 мг/кг (для воздушно-сухой почвы) [5]. Исследование образцов почвы варианта 2, отобранных послой-

но, позволило выявить содержание нефти в количествах, соответствующих 50 ПДК на глубине 5–10 см, 10 ПДК на глубине 10–15 см, 5 ПДК на глубине 15–20 см. На глубину выше 20 см попадает приблизительно 4 ПДК. В варианте 5 с применением композиционного материала на глубине 5–10 см содержится 6,5 ПДК, а в более глубоких слоях почвы нефть не обнаружена.



**Рис. 4. Распределение нефти по глубине в условиях полевого мелкоделяночного опыта без применения композиционного материала и микроорганизмов-деструкторов:**  
1 – 0–5 см; 2 – 5–10 см; 3 – 10–15 см; 4 – 15–20 см



**Рис. 5. Распределение нефти по глубине в условиях полевого мелкоделяночного опыта с применением композиционного материала и микроорганизмов-деструкторов:**  
1 – 0–5 см; 2 – 5–10 см; 3 – 10–15 см

В целом, анализируя полученные экспериментальные данные, можно сделать вывод о наличии корреляционных связей между выходом биомассы и степенью разложения нефти в почве. Можно отметить, что содержание влаги в растениях, выросших на более загрязненных почвах, несколько выше влажности растений на почвах с меньшими уровнями загрязнения, что, на наш взгляд, свидетельствует о включении защитных функций растений в ответ на действие внешнего загрязнителя.

В мировой практике для контроля за восстановлением нефтезагрязненных земель одновременно проводится посев тех же культур по аналогичной технологии на контролльном (незагрязненном) участке на буферной площади между нефтезагрязненным участком и землями, используемыми для хозяйственных целей [1]. Если зарастание на загрязненном участке составляет

не менее 75 % площади земель по сравнению с зарастанием на контролльном участке, то рекультивационные работы считаются законченными. Как следует из данных табл. 3, площадь зарастания травяной растительностью на опытных делянках с применением торфа составила 37,5 %, с применением культуры микроорганизмов-деструкторов нефти – 62,5, а с применением композиционного материала – 87,5 % по сравнению с незагрязненной почвой.

Таким образом показано, что применение композиционного материала в сочетании с микроорганизмами-деструкторами нефти позволяет достичь степени деградации нефти 93,3 % и увеличить выход биомассы растений в 6–8 раз, чем в фоновой нефтезагрязненной почве, а также снизить степень токсикации растений с 91,3 до 44,6 % по зеленой массе, и с 85,5 до 32,5 % по сухой массе.

## Литература

1. Вавер, В. И. Методическое руководство по рекультивации нефтезагрязненных земель в условиях месторождений нефти Западной Сибири / В. И. Вавер. Нижневартовск, 1997.
2. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. М., 1985.
3. Мурыгина, В. П. Очистка водной поверхности и грунтов от нефтяных загрязнений биопрепаратором «Роден» / В. П. Мурыгина, М. У. Аринбасаров, С. В. Калюжный // Экология и промышленность России. 1999. № 8. С. 16–19.

4. Цыганов, А. Р. Новый композиционный материал на основе торфа и микроорганизмов-деструкторов и эффективность его применения для рекультивации нефтезагрязненных земель / А. Р. Цыганов [и др.] // Природопользование. 2012. Вып. 21. С. 288–294.

5. Предельно-допустимые концентрации нефтепродуктов в землях (включая почвы) для различных категорий земель: Постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь, 12 марта 2012 г., № 17/1 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2012. № 82. 5/14143.

<sup>1</sup>Белорусский национальный политехнический университет,

<sup>2</sup>Институт микробиологии НАН Беларуси,

<sup>3</sup>Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 5.03.2013 г.

**A. R. Цыганов, A. S. Самсонова, A. E. Томсон, N. E. Сосновская, T. V. Соколова,  
A. A. Хрипович, Ю. Ю. Навоша, В. С. Пехтерева, П. А. Шевченко**

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА  
НА ОСНОВЕ ТОРФА И МИКРООРГАНИЗМОВ-ДЕСТРУКТОРОВ  
ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ**

С целью оценки эффективности рекультивации нефтезагрязненных земель с применением композиционного материала на основе торфа и микроорганизмов-деструкторов по фитопродуктивности высевянной травяной растительности и степени деградации загрязнителя во втором вегетационном периоде была подобрана и высеяна смесь травяных культур, способных сформировать устойчивый травяной покров в условиях нефтяного загрязнения. Установлено, что применение композиционного материала позволяет достичь увеличения выхода биомассы растений в 6–8 раз по сравнению с нефтезагрязненной почвой. Степень токсикации растений снизилась с 91,3 до 44,6 % по зеленой массе, и с 85,5 до 32,5 % по сухой массе. К концу второго вегетационного сезона степень деградации нефти в варианте опыта с применением композиционного материала в сочетании с микроорганизмами-деструкторами нефти составила 93,3 %, что на 37,6 % выше, чем в фоновой нефтезагрязненной почве.

Площадь зарастания травяной растительностью на опытных делянках с применением торфа составила 37,5 %, с применением культуры микроорганизмов-деструкторов нефти – 62,5, а с применением композиционного материала – 87,5 % по сравнению с незагрязненной почвой, что позволяет сформировать устойчивый травяной покров на нефтезагрязненных землях за один вегетационный сезон.

**A. R. Tsyganov, A. S. Samsonov, A. E. Thomson, N. E. Sosnovskaya, T. V. Sokolova,  
A. A. Khripovich, Y. Y. Navosha, V. S. Pekhtereva, P. A. Shevchenko**

**THE EFFICIENCY OF COMPOSITE MATERIAL  
ON THE BASIS OF PEAT AND MICROORGANISMS-DESTRUCTORS  
TO RE-CULTIVATE OIL POLLUTED LANDS APPICATION**

To assess the efficiency of oil polluted lands re-cultivation with peat- and microorganism-destructors-based composite material application on phyto-efficiency of sown grassy vegetation and pollutant degradation degree in the second vegetative period a mix of grass crops, capable to generate a steady grass cover in the conditions of oil pollution has been chosen and sown. The application of composite material was found to allow and reach 6-8 fold increases in biomass outcome of plants in comparison with oil polluted soil. The plants toxicity degree has decreased from 91, 3 to 44, 6 % by green weight and from 85,5 to 32,5 % by dry weight. By the end of the second vegetative season the degree of oil degradation in a test variant with application of composite material in combination with oil microorganisms-destructors has made 93,3 %, that by 37,6 % is higher than in the background oil polluted soil.

The area of grassy vegetation growing on checked sites with peat application has made 37,5 %, with application of culture of microorganisms-destructors of oil – 62,5 %, and with application of a composite material – 87,5 % in comparison with not polluted soil that allows to form a steady grassy cover on oil polluted lands within one vegetative seas.

Т. Я. Царюк, И. В. Дребенкова, И. П. Фалюшина, Л. Д. Шапорева

## ВЛИЯНИЕ СОСТАВА КОМБИНИРОВАННОЙ ОСНОВЫ АНТИАДГЕЗИОННОЙ СМАЗКИ НА ЕЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА

*Исследованы композиции высоковязких компонентов комбинированной основы смазки – экстракта нефтяного, вакуумного дистиллята и вакуумного газойля, и низковязких – индустриального и рапсового масел. Показано, что физико-химические и эксплуатационные параметры комбинированной основы существенно зависят от химической структуры составляющих ее компонентов.*

Современные смазочные материалы представляют собой сбалансированные композиции поверхностно-активных веществ в маслах, как правило, минерального или растительного происхождения. Анализ патентной литературы показал, что в качестве основы антиадгезионных смазок для формования изделий из бетона применяют минеральные масла различной химической структуры и вязкости – индустриальные, моторные, цилиндровые, солярное, веретенное, трансформаторное, а также отработанные масла. Наряду с ними используют различные фракции разгонки нефти – парафинистый дистиллят вакуумной переработки мазута, депарафинированный компонент дизельного топлива, дизельное топливо, кубовые остатки атмосферной дистилляции гидрогенизата гидрокрекинга и т. п. В последнее время все более широкое применение находят растительные масла (рапсовое, соевое, подсолнечное и др.).

Химический состав основы и ее полярность оказывают значительное влияние на функциональные свойства смазочных материалов. При этом химический состав, диэлектрическая проницаемость, вязкость при различных температурах, электропроводность, температура застывания, поверхностное напряжение, смазывающие и другие физико-химические и функциональные свойства основы играют решающую роль. Большое значение имеет энергия взаимодействия молекул масел, в частности наличие активированного комплекса. Защитные свойства минеральных масел зависят от содержания углеводородов соответствующего строения. В порядке убывания защитных свойств их можно расположить в следующем порядке: ароматические, нафтеновые, парафиновые [8].

Технологичность смазочных материалов в условиях применения, в частности условия проактивации по коммуникациям, распыления через форсунки распылительного устройства, нанесение на формы, определяется вязкостно- и низкотемпературными характеристиками антиадгезионной смазки, которые в значительной мере обусловлены соответствующими свойствами основы. От вязкости материала зависит также толщи-

на образуемой им защитной пленки и, следовательно, омическая составляющая защитного эффекта [3].

В свою очередь, вязкостные и низкотемпературные свойства основы полностью определяются фракционным и химическим составом масел. Установлено, что из всех углеводородов наименьшей вязкостью обладают парафиновые углеводороды, а главными носителями вязкости являются циклические – ароматические, нафтеновые и смешанного строения. На величину вязкости решающее влияние оказывает строение и количество циклической части, а также длина и количество боковых парафиновых цепей [2]. По мере увеличения числа углеродных атомов в молекуле, в особенности числа колец, вязкость углеводородов повышается. Вязкость циклических углеводородов увеличивается также при разветвлении боковых цепей.

Практика создания смазок свидетельствует о том, что в качестве основы часто используют композиции масел, существенно различающихся по вязкостно-температурным характеристикам, например, дистиллятных и остаточных масел. Комбинированная основа, представляющая собой сочетание высоко- и маловязкого компонентов, применяется для того, чтобы сбалансировать смазку по вязкости, толщине пленки, вытесняющей способности. Применение смесей мало- и высоковязких масел позволяет расширить фракционный состав основы. Маловязкое масло обеспечивает вязкостные и низкотемпературные характеристики, но не создает пленку нужной толщины. Высоковязкое масло выполняет функции легкого пленкообразователя и растворителя высокомолекулярных функциональных компонентов.

Цель работы – исследовать зависимость физико-химических и эксплуатационных свойств комбинированной основы антиадгезионной смазки от ее состава.

Объектами исследования служили композиции высоковязких и маловязких компонентов – конечных и промежуточных продуктов масляного производства ОАО «Нафттан» и масложировых предприятий.

Для оценки физико-химических свойств комбинированной основы использованы стандартные методы оценки нефтепродуктов. Вязкость кинематическую определяли по ГОСТ 33 (расхождение между временем истечения двух определений не превышало 0,5 % среднеарифметического), температуру застывания – по ГОСТ 20287 (расхождение между двумя параллельными измерениями не превышало 1 °C), плотность – по ГОСТ 3900 с помощью ареометра (согласно стандарту расхождение между двумя параллельными определениями составляло не более 0,0005 г/см<sup>3</sup> для светлых нефтепродуктов и не более 0,0006 г/см<sup>3</sup> – для темных и непрозрачных продуктов). Способность смазки удерживаться на вертикальной поверхности определяли методом, описанном в СТБ 1707.

Защитные свойства комбинированной основы определяли с помощью методов ускоренных испытаний по ГОСТ 9.054 при воздействии повышенной влажности, температуры и сернистого ангидрида с периодической конденсацией влаги и при постоянном погружении в электролит (искусственную морскую воду). Испытания в условиях воздействия сернистого ангидрида проводили на облегченном режиме при уменьшенной в 10 раз концентрации серы. Критерием оценки служила потеря массы пластины из стали марки 10, которую определяли гравиметрическим методом, при этом отклонения параллельных измерений от среднеарифметического значения составляло не более 5 %.

Для оценки адгезии исследуемых композиций к стальной подложке использовали лабораторный метод, заключающийся в определении поверхностного напряжения и краевого угла смачивания смазки и расчете на основе этих показателей работы адгезии. Поверхностное напряжение определяли сталагметрическим методом, а в качестве стандартной жидкости использовали глицерин. Краевой угол смачивания определяли как угол между касательной, проведенной к капле в точке соприкосновения трех фаз [4].

На основании анализа результатов изучения химической структуры и физико-химических свойств конечных и промежуточных продуктов масляного производства ОАО «Нафтан» [5] и выпускаемых в стране растительных масел, а также с учетом технико-экономических показателей этих продуктов в качестве маловязких компонентов комбинированной основы были выбраны индустримальное масло И-20А и рапсовое масло, имеющие приблизительно одинаковые вязкостно-температурные характеристики, но существенно различающиеся по химической структуре. В качестве высоковязких компонентов разрабатываемой комбинированной основы смазки наиболее приемлемыми представлялись экстракт нефтяной, вакуумный дистиллят марки ВД-2 и вакуумный газойль марки А.

Индустримальное масло общего назначения И-20А представляет собой дистиллятное масло или смесь дистиллятного с остаточным маслом из сернистых и малосернистых нефти селективной очистки. Индустримальное масло И-20А состоит в основном из нафтеновых углеводородов с присоединенными к кольцу длинными боковыми цепями парафинов. При этом содержание парафиновых цепей в нем больше, чем колье (нафтеновых и ароматических) [2].

Рапсовое масло техническое представляет собой смесь триглицеридов (95–97 %) – сложных полных эфиров глицеринов и жирных кислот. Кроме триглицеридов (бесцветных веществ без запаха и вкуса) в его состав входят воски и фосфатиды, а также свободные жирные кислоты, липохромы, токоферолы, витамины и другие вещества, сообщающие маслу окраску, вкус и запах [7].

Экстракт нефтяной ЭФО получают в результате фенольной очистки дистиллятных и остаточных масел фракций третьего и четвертого погонов. Он содержит до 30 % парафино-нафтеновых углеводородов, 65 % ароматических, в том числе моно- – 16, би- – 34, полиароматических – 15, а также до 5 % смол [1].

Вакуумные дистилляты получают при вакуумной дистилляции мазута атмосферно-вакуумной разгонки нефти. Вакуумный дистиллят марки ВД-2 содержит около 7 % парафиновых углеводородов, 38 % парафино-нафтеновых, 51 % ароматических, в том числе моно- – 19, би- – 6, полиароматических – 26, а также до 4 % смол.

Вакуумный газойль производят дистилляцией нефти или продуктов ее переработки при вакуумной перегонке нефти. Вакуумный газойль служит сырьем для каталитического крекинга и гидрокрекинга [6]. Вакуумный газойль марки А содержит около 56 % парафино-нафтеновых углеводородов, 42 % ароматических, в том числе моно- – 17, би- – 14, полиароматических – 11, и до 2 % смол.

Основные физико-химические свойства объектов исследования представлены в табл. 1.

Для установления влияния компонентного состава комбинированной основы на ее функциональные свойства была проведена оценка вязкостных, низкотемпературных, адгезионных и защитных свойств, а также удерживаемости на вертикальной поверхности композиций высоковязких компонентов в минеральном и рапсовом маслах.

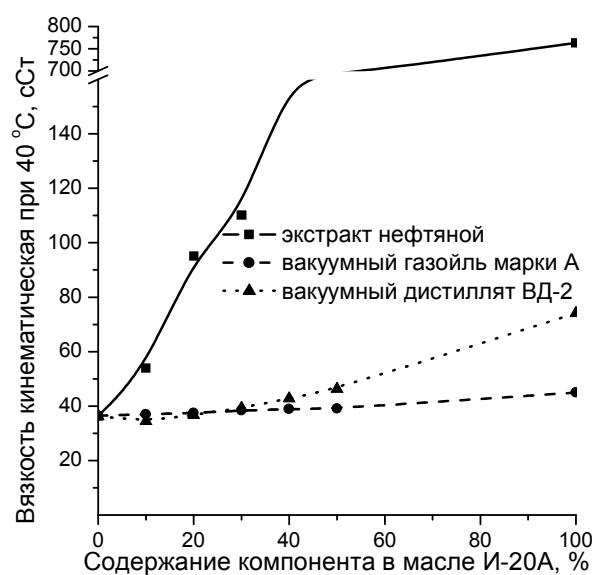
Изучением вязкостных свойств основы установлено (рис. 1), что наибольшей загущающей способностью обладает экстракт нефтяной, при этом вязкость композиций определяется также и химической структурой базового масла. Так, кинематическая вязкость при 40 °C 40 % растворов экстракта нефтяного в минеральном масле составляет

170 сСт, а в рапсовом – 92 сСт, хотя вязкость базовых масел примерно одинакова и находится в пределах 34–36 сСт. Для вакуумного дистиллята ВД-2 и газойля марки А подобная зависимость не зафиксирована. Вязкость этих компонентов при 40 °С, несмотря их мазеобразную консистенцию при комнатной температуре, обусловленную зна-

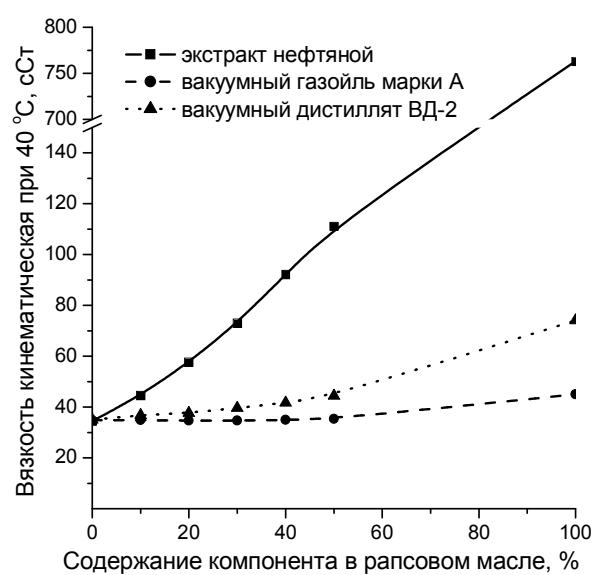
чительным содержанием твердых углеводородов, на порядок ниже, чем у экстракта нефтяного и составляет 74,1 сСт (ВД-2) и 45 сСт (вакуумный газойль). Вязкость растворов вакуумного газойля в минеральном масле на 10 % выше, чем в рапсовом, а вязкость растворов ВД-2 не зависит от типа базового масла.

**Таблица 1. Физико-химические свойства объектов исследования**

Масло	Вязкость кинематическая при 50 °С, сСт	Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	Температура застывания, °С	Температура вспышки, °С
<i>Высоковязкий компонент основы</i>				
Экстракт нефтяной	320,6	978,2	-15	218
Вакуумный дистиллят ВД-2	65,4	977,6	-2	234
Вакуумный газойль марка А	23,1	953,7	0	191
<i>Маловязкий компонент основы</i>				
Масло индустриальное И-20А	19,1	875,3	-21	220
Масло рапсовое техническое	22,5	915,0	< -25	240



а



б

**Рис. 1. Влияние содержания высоковязкого компонента в минеральном (а) и рапсовом (б) маслах на вязкость комбинированной основы**

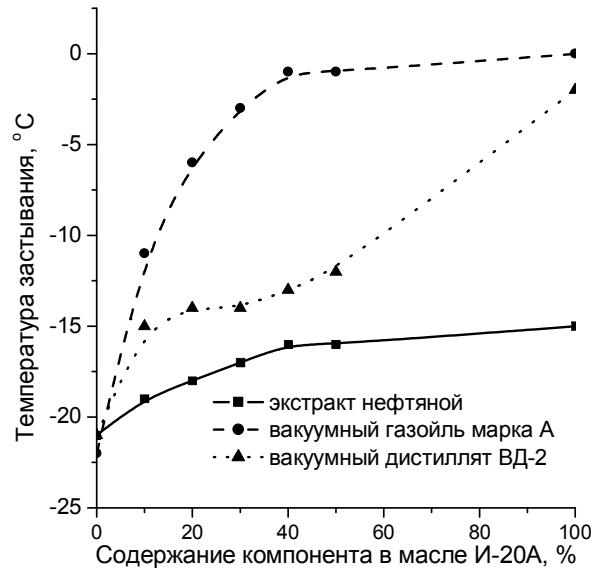
Антиадгезионная смазка должна быть работоспособна в интервале температур окружающей среды, поэтому важным параметром, определяющим ее свойства, является температура застывания. В результате оценки влияния высоковязких компонентов на низкотемпературные параметры минерального масла И-20А показано, что введение нефтяного экстракта незначительно повышает его температуру застывания и позволяет получать смазки, работоспособные в интервале температур окружающей среды. Вакуумный газойль марки А и вакуумный дистиллят ВД-2, несмотря на их близкие значения темпе-

туры застывания, оказывают различное влияние на низкотемпературные свойства масла И-20А. Так, добавление 40 % вакуумного газойля в И-20А повышает температуру застывания основы с -22 °С до -1 °С, а для раствора ВД-2 такой же концентрации этот показатель составляет -13 °С (рис. 2, а).

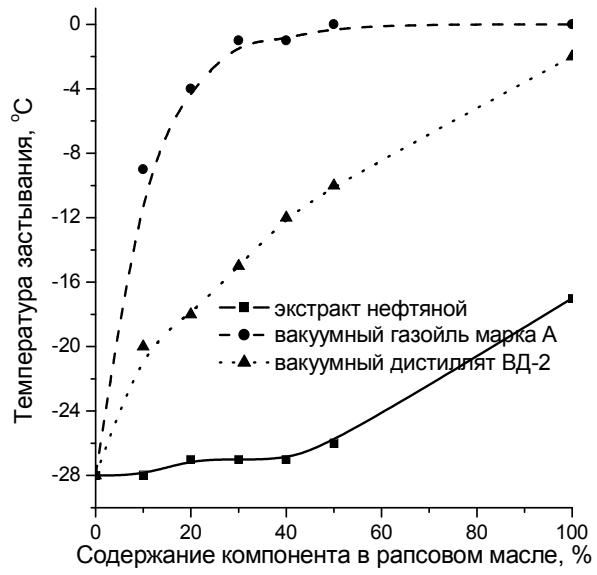
В случае применения в качестве базового компонента основы смазки рапсового масла, выявленные зависимости температуры застывания его композиций от состава носят характер, аналогичный для индустриального масла. Нефтяной экстракт не оказывает отрицательного воздейст-

вия на низкотемпературные параметры базового масла. Вакуумный газойль даже при 10 %-ном содержании повышает температуру застывания

основы от  $-28^{\circ}\text{C}$  до  $-9^{\circ}\text{C}$ , в то время как ВД-2 – только до  $-20^{\circ}\text{C}$  (рис. 2, б).



а



б

Рис. 2. Влияние содержания высоковязкого компонента в минеральном (а) и рапсовом (б) маслах на температуру застывания комбинированной основы

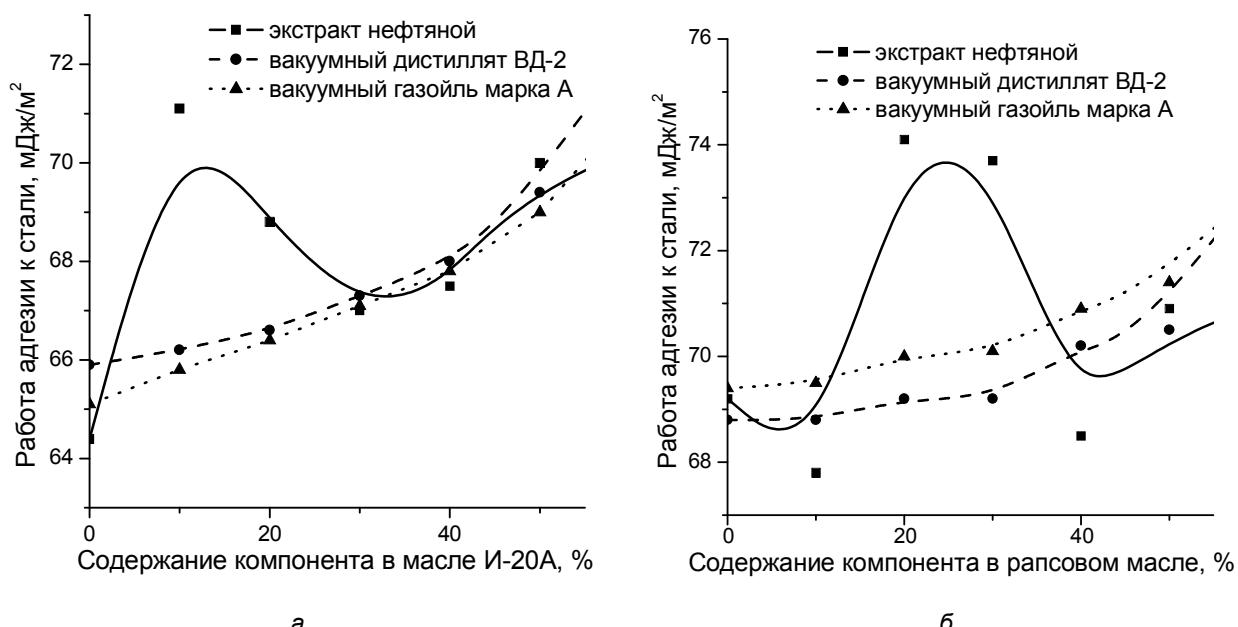
Основным назначением антиадгезионной смазки является обеспечение легкого отделения бетонных изделий от поверхности металлической формы. С целью оценки антиадгезионной способности комбинированной основы была определена работа адгезии исследуемых композиций к стали. Установлено, что эта характеристика у рапсового масла на 10 % выше, чем у минерального. Высоковязкие компоненты комбинированной основы также существенно различаются между собой. Так, для экстракта нефтяного этот показатель составляет  $72,4 \text{ мДж}/\text{м}^2$ , для вакуумного газойля –  $79,4$ , а для вакуумного дистиллята –  $83,2 \text{ мДж}/\text{м}^2$ .

Несмотря на довольно высокие значения адгезии вакуумных дистиллята и газойля, пре-восходящих маловязкие компоненты основы по этому показателю на 20–30 %, их введение в масла не оказывает существенно влияния на работу адгезии композиций. Так, работа адгезии растворов вакуумного дистиллята и вакуумного газойля в минеральном масле возрастает с повышением их концентрации на 5–6 %, а в рапсовом масле это изменение еще меньше и составляет 2–3 %. Для растворов экстракта нефтяного зависимость адгезионных свойств от содержания компонентов носит более сложный характер с максимумами в концентрациях 10 % для компози-

ций на основе индустриального масла и 20–30 % – для рапсового масла (рис. 3).

Одной из важнейших эксплуатационных характеристик антиадгезионной смазки, в значительной мере обусловленной свойствами основы, является способность удерживаться на вертикальных поверхностях, характеризующая сохранение смазки на металлической форме в виде равномерного слоя достаточной толщины, что в первую очередь важно для кассетных установок, достигающих в ряде случаев 2,5–3,0 м в высоту.

В результате оценки способности комбинированной основы удерживаться на вертикальной поверхности установлено, что для всех исследованных композиций характерно высокое значение этого показателя (не ниже 83 %). При использовании в качестве базового компонента минерального масла полную удерживаемость основы на вертикальной поверхности обеспечивают нефтяной экстракт в концентрации не ниже 50 % и ВД-2 при содержании не менее 20 % (табл. 2). Следует отметить, что в рапсовом масле аналогичные значения удерживаемости могут быть достигнуты при более низких концентрациях вязких компонентов: 30 % нефтяного экстракта и 10 % вакуумного дистиллята ВД-2. Вакуумный газойль уступает выше-перечисленным компонентам и в рапсовом, и в индустриальном маслах.



**Рис. 3. Влияние содержания высоковязкого компонента в минеральном (а) и рапсовом (б) маслах на работу адгезии комбинированной основы**

**Таблица 2. Влияние состава основы на ее удерживаемость на вертикальной поверхности**

Содержание высоковязкого компонента в композиции, %	Удерживаемость на вертикальной поверхности, %		
	экстракта нефтяного	вакуумного газойля марки А	вакуумного дистиллята ВД-2
<i>Раствор высоковязкого компонента в минеральном масле И-20 А</i>			
0	76,8	77,5	77,1
10	88,2	83,5	97,9
20	95,1	87,4	100
30	97,6	95,3	100
40	98,0	96,1	100
50	100	96,8	100
100	100	96,9	100
<i>Раствор высоковязкого компонента в рапсовом масле</i>			
0	84,6	84,4	84,9
10	93,2	90,6	99,9
20	95,0	92,4	100
30	100	94,2	100
40	100	96,6	100
50	100	96,9	100
100	100	98,2	100

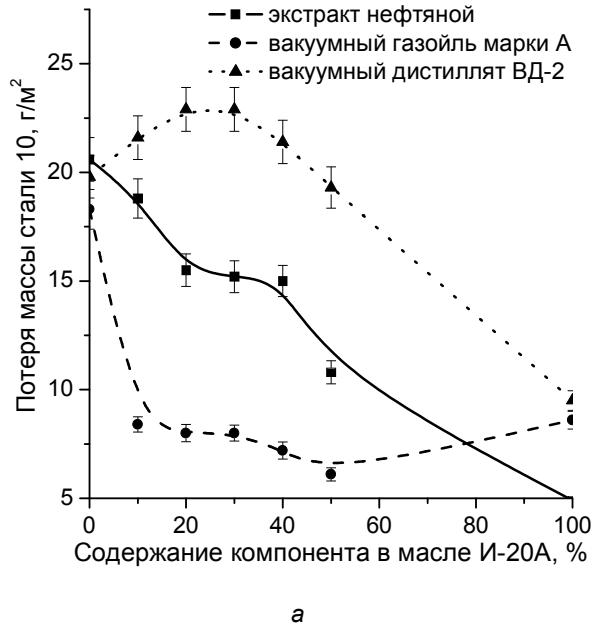
Наряду с выполнением основной, т. е. разделительной, функции антиадгезионные смазки должны обеспечивать защиту металлической формы, постоянно подвергающейся воздействию повышенной температуры, влаги и агрессивных химических веществ, от коррозии. В связи с этим исследовано влияние состава комбинированной основы на ее защитную эффективность. Выполненными исследованиями установлено (рис. 4, 5), что защитные свойства основы зависят от химической структуры входящих в ее состав компо-

нентов и типа коррозионной среды, причем в ряде случаев носят неоднозначный характер.

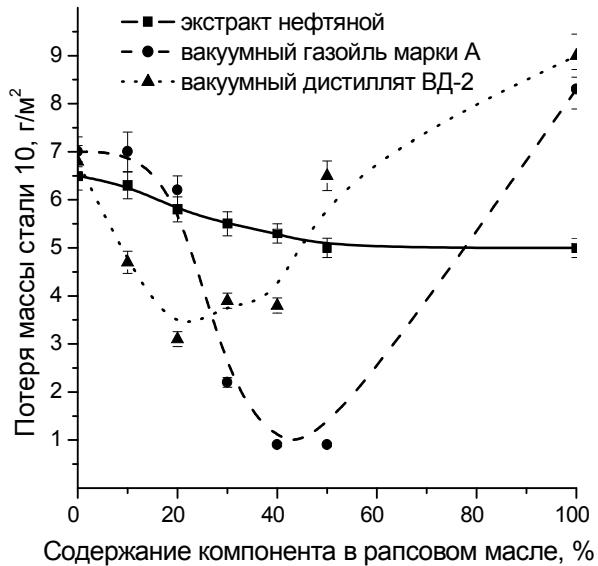
Например, при воздействии сернистого ангидрида зависимости защитных свойств растворов экстракта нефтяного в индустриальном и рапсовом маслах носят линейный характер. Для композиций вакуумного газойля и минерального масла также установлен линейный характер зависимости защитной эффективности, однако в случае использования рапсового масла имеет место синергетическое усиление защитных

свойств композиций в области концентраций газойля 30–50 % (рис. 4). Еще более сложные зависимости зафиксированы для растворов вакуумного дистиллята ВД-2. Так, при его концентрации в И-20А 10–40 % наблюдается некоторое снижение защитной эффективности композиций, в то время как его растворы в рапсовом масле в этом же интервале концентраций характеризуются синергизмом защитных свойств.

При погружении в электролит характер изменения защитных свойств композиций определяется химической структурой базового масла: в общем случае введение высоковязких компонентов в индустриальное масло И-20 А приводит к росту защитной эффективности основы, а в рапсовое масло – к снижению этого показателя (некоторое повышение уровня защитных свойств рапсового масла наблюдается лишь при введении 20–40 % вакуумного дистиллята).

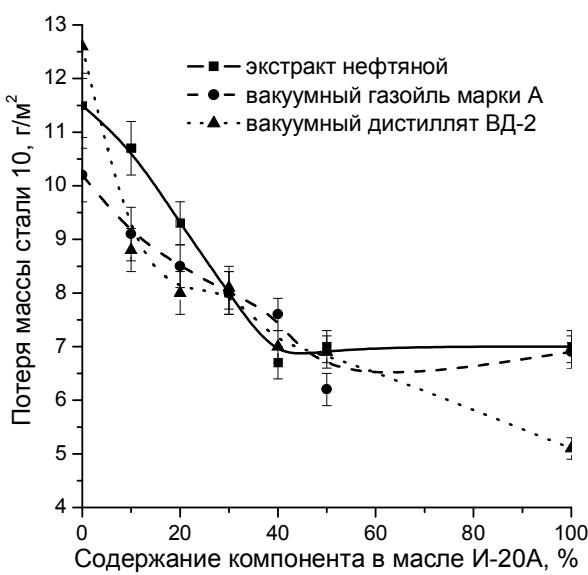


а

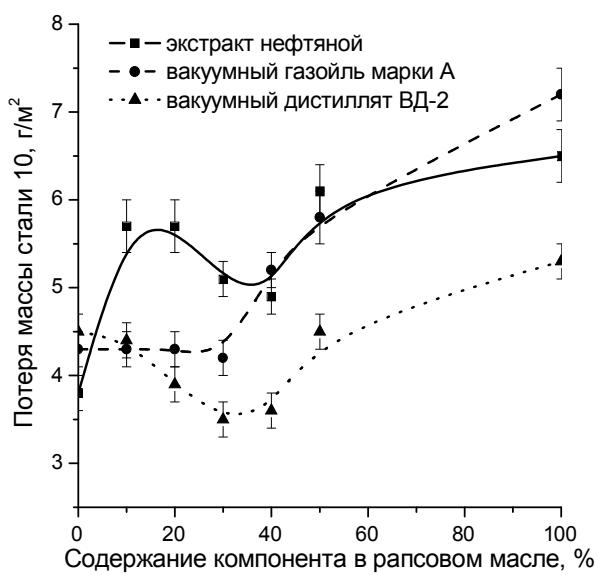


б

Рис. 4. Влияние содержания высоковязкого компонента в минеральном (а) и рапсовом (б) маслах на защитные свойства комбинированной основы при воздействии сернистого ангидрида, 1 цикл



а



б

Рис. 5. Влияние содержания высоковязкого компонента в минеральном (а) и рапсовом (б) маслах на защитные свойства комбинированной основы при погружении в электролит, 6 суток

Таким образом, анализ и обобщение результатов выполненных исследований по изучению влияния состава комбинированной основы смазки на ее физико-химические и эксплуатационные свойства позволяют обосновать выбор компонентов и их оптимальное соотношение.

Полученные результаты были использованы при разработке состава антиадгезионной смазки для формования изделий из бетона с требуемым уровнем эксплуатационных характеристик.

### Литература

1. Ищук, Ю. Л. Состав, структура и свойства пластичных смазок / Ю. Л. Ищук. Киев, 1996.
2. Лосиков, Б. В. Основы применения нефтепродуктов / Б. В. Лосиков, Н. Г. Пучков, Б. А. Энглин. М., 1955.
3. Рабоче-консервационные смазочные материалы / Ю. Н. Шехтер [и др.]. М., 1979.
4. Ребиндер, П. А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия / П. А Ребиндер; под ред. Г. И. Фусса. М., 1978.
5. Ресурсосберегающая технология производства канатных смазок / Т. Я. Царюк [и др.] // Материалы 9-й Междунар. науч.-техн. конф. Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: Гродно, 2012. С. 207–214.
6. Смидович, Е. В. Крекинг нефтяного сырья и переработка углеводородных газов / Е. В. Смидович. М., 1980.
7. Технология переработки жиров / Б. Н. Тютюнников [и др.]. М., 1963.
8. Шехтер, Ю. Н. Маслорастворимые поверхностно-активные вещества / Ю. Н. Шехтер, С. Э. Крейн, Л. Н. Тетерина. М., 1978.

**Институт природопользования НАН Беларусь**

Поступила в редакцию 19.02.2013 г.

**Т. Я. Царюк, И. В. Дребенкова, И. П. Фалюшина, Л. Д. Шапорева**

### **ВЛИЯНИЕ СОСТАВА КОМБИНИРОВАННОЙ ОСНОВЫ АНТИАДГЕЗИОННОЙ СМАЗКИ НА ЕЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА**

Исследованы композиции высоковязких компонентов комбинированной основы антиадгезионной смазки – экстракта нефтяного, вакуумного дистиллята и вакуумного газоilyя, и низковязких – индустриального и рапсового масел. Для установления зависимости функциональных свойств комбинированной основы от ее состава изучено влияние концентрации высоковязких компонентов на вязкостные, низкотемпературные, адгезионные и защитные свойства основы, а также ее удерживаемость на вертикальной поверхности. Установлено, что физико-химические и эксплуатационные параметры комбинированной основы существенно зависят от химической структуры ее составляющих. Выполненные исследования позволяют обосновать выбор компонентов комбинированной основы и их оптимальное соотношение, обеспечивающее получение антиадгезионной смазки для формования изделий из бетона с требуемым уровнем эксплуатационных характеристик.

**T. Y. Tsariuk, I. V. Drebenskova, I. P. Falushina, L. D. Shaporeva**

### **INFLUENCE OF THE STRUCTURE OF THE COMBINED BASIS OF ANTIADHESIVE GREASING ON ITS FUNCTIONAL PROPERTIES**

*Compositions of high-viscous components of the combined basis of antiadhesive greasing – an extract of oil, vacuum distillate and vacuum gasoil, and low-viscous – industrial and rape oils are investigated. To find dependence of functional properties of the combined basis from its structure the concentration influence of high-viscous components on viscosity ability, low-temperature, adhesive and protective properties of a basis, and also it holding ability on a vertical surface is studied. It is found that physical and chemical and operational parameters of the combined basis essentially depend on chemical structure of its components. The executed researches allow substantiate a choice of components of the combined basis and their optimum parity providing reception of antiadhesive greasing for the formation of products from concrete with required level of operational characteristics.*

УДК 665.637.8

**А. О. Шрубок, Е. И. Грушова, И. Т. Жибуль, В. Н. Фарафонтов, А. С. Шариф**

## СМОЛА ПИРОЛИЗА КАК МОДИФИКАТОР НЕФТЯНОГО СЫРЬЯ ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ

*Исследовано влияние тяжелой пиролизной смолы как модификатора нефтяного сырья на процесс получения окисленных битумов. Изучены кинетические зависимости процессов окисления из традиционного и модифицированного сырья, определены основные качественные показатели окисленных битумов. На основе данных о групповом химическом составе и релаксационных характеристиках окисленных битумов установлено, что введение тяжелой смолы пиролиза – побочного продукта химического производства, позволяет получать битумы с более упорядоченной коллоидной структурой по сравнению с битумами, полученными по традиционной технологии.*

Наиболее распространенным методом получения битумных материалов на территории Республики Беларусь является окисление нефтяного сырья, что обусловлено требованиями к погодоустойчивости вяжущих материалов в условиях широких температурных колебаний, варьированием качественных показателей используемого сырья и необходимостью обеспечения большого товарного ассортимента. Однако ухудшение качества и группового состава используемого нефтяного сырья для производства окисленных битумов за счет увеличения глубины переработки нефти приводят к несоответствию физико-химических свойств битумных материалов требованиям существующих стандартов. В связи с этим актуальной задачей при производстве окисленных битумов является создание технологически и экономически обоснованных способов облагораживания нефтяного сырья, используемого в процессе окисления. Согласно [4], применение малых количеств химических веществ, действующих на коллоидные и структурные свойства нефтяных дисперсных систем, позволяет воздействовать как на процесс переработки, так и на физико-химические и эксплуатационные свойства получаемых нефтепродуктов. Кроме того, применение модификатора не требует значительных материальных затрат на приобретение оборудования и обслуживания технологического процесса.

Как известно [5], в нефтеперерабатывающей промышленности образуется значительное количество побочных продуктов, применение которых или экономически нецелесообразно, или не реализовано из-за сложного и непостоянного их состава. К числу последних можно отнести смолы, образующиеся при пиролизе как побочный продукт. Однако тяжелые пиролизные смолы по своему составу характеризуются высокой долей ненасыщенных и ароматических соединений [2], что может оказывать благоприятный эффект на процесс получения окисленного битума.

Ранее нами было установлено [7, 8], что применение в качестве модификатора нефтяного сырья смол пиролиза бурых углей Лельчицкого углепроявления оказывает ингибирующее действие на скорость процесса окисления, но при этом полученные окисленные битумы обладают пониженной динамической вязкостью, более упорядоченной структурной организацией по сравнению с использованием традиционного сырья и относительно высокой стабильностью к термоокислительному старению. Представляло интерес исследовать влияние тяжелой нефтяной смолы пиролиза как модификатора нефтяного сырья на скорость и направление протекания процесса окисления, а также на физико-химические свойства получаемых продуктов – окисленных битумов.

Сырьем процесса окисления служил гудрон производства ОАО «Нафтан» (г. Новополоцк), а в качестве модификатора была использована тяжелая нефтяная смола пиролиза ОАО «Лесохимик» (г. Борисов), физико-химические свойства используемого сырья и модификатора представлены в табл. 1.

Нефтяной гудрон смешивали с тяжелой пиролизной смолой при температуре 60 °C и интенсивном перемешивании. Окисление полученной сырьевой смеси массой  $150 \pm 0,1$  г проводили в лабораторном реакторе периодического действия при температуре 245 °C, расходе воздуха 1400 мл/мин и продолжительности окисления 8 ч с отбором проб через каждые 2 ч.

Для оценки кинетической характеристики процесса окисления и соответствия получаемых продуктов требуемым показателям качества по СТБ EN 1446 определяли температуру размягчения по методу «Кольца и шара» (СТБ EN 1427). Зависимости температуры размягчения окисленных битумов от продолжительности окисления при использовании немодифицированного сырья и сырья, модифицированного тяжелой пиролизной смолой в количестве 0,5–5,5 мас.%, представлены на рис. 1.

Таблица 1. Физико-химические свойства исходных веществ

Показатель	Сырье: нефтяной гудрон	Модификатор: тяжелая смола пиролиза
Относительная плотность, $\rho_{20}^{20}$	1,007	1,3006
Температура н. к., °C	>450	185
Пенетрация при 25 °C, 0,1 мм	>290	—
Температура размягчения, °C	34,3	—
Групповой состав, мас. %:		—
– асфальтены	7,5	
– масла	68,4	
– смолы	24,1	
Фракционный состав, мас. %:		
– н.к.–250°C		48,35
– 250–350°C		8,74
– 350–440°C		8,74
– 440–480°C		19,09
– более 480°C	100	15,08

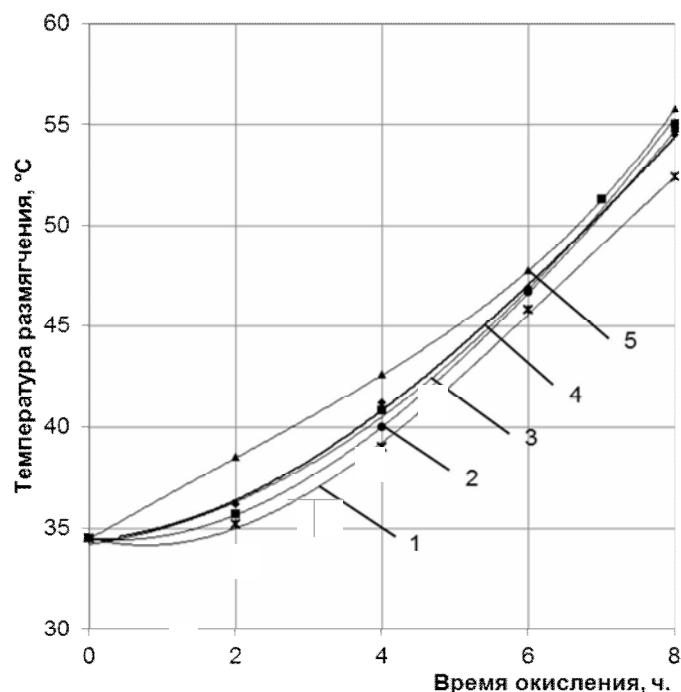


Рис. 1. Зависимость температуры размягчения окисленных битумов от продолжительности окисления:  
1 – окисленный битум из нефтяного гудрона без модификатора; 2, 3, 4, 5 – окисленный битум из нефтяного гудрона, содержащего 0,5, 1,5, 3,0 и 5,4 мас.% модификатора соответственно

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что малое количество тяжелой пиролизной смолы в сырьевой смеси оказывает незначительное каталитическое действие на процесс окисления, которое усиливается при увеличении количества введенного модификатора. Противоположное действие смол пиролиза нефтяного происхождения в сравнении с действием пиролизных смол, полученных из бурых углей [7], может быть обусловлено различиями в групповом и химическом составе исследуемых модификаторов.

Стоит отметить, что при введении тяжелой пиролизной смолы в нефтяной гудрон более

3,0 мас.% наблюдается резкое изменение угла наклона кинетической кривой, что свидетельствует об изменении направлений протекания реакций окисления: полимеризации, поликонденсации и деструкции.

При эксплуатации дорожного полотна, на него оказывают воздействия напряжения сдвига и сжатия, перепады температур, что приводит к постепенному разрушению покрытия. Возможность дорожного полотна сопротивляться действию нагрузок во многом зависит от пластичности и растяжимости используемого вяжущего. В связи с вышеизложенным для полученных окисленных битумов были определены значения пенет-

рации, характеризующей пластичность и твердость материала, и индекса пенетрации, определяющего устойчивость битума к температурным депрессиям. Индекс пенетрации рассчитывали в соответствии с СТБ EN 1446 по формуле:

$$I_p = \frac{20 \cdot t_{RaB} + 500 \cdot \log P - 1952}{t_{RaB} - 50 \cdot \log P + 120},$$

где  $t_{RaB}$  – температура размягчения, °C;  $\log P$  – логарифм пенетрации (по основанию 10) при 25 °C (в единицах 0,1 мм).

**Таблица 2. Пенетрация и индекс пенетрации окисленных битумов**

Сырье, используемое для получения окисленного битума	Пенетрация	Индекс пенетрации
Нефтяной гудрон	76,5	0,484
Нефтяной гудрон, содержащий 0,5 мас.% тяжелой пиролизной смолы	63,4	0,509
Нефтяной гудрон, содержащий 1,5 мас.% тяжелой пиролизной смолы	59,7	0,303
Нефтяной гудрон, содержащий 3,0 мас.% тяжелой пиролизной смолы	54,0	0,272
Нефтяной гудрон, содержащий 5,4 мас.% тяжелой пиролизной смолы	52,0	0,244

Такие битумы можно отнести к битумам типа «золь», которые характеризуются хорошими пластичными и адгезионными показателями, а также высокой гидрофобностью, что приводит к увеличению долговечности дорожных покрытий. По показателям температуры размягчения, пенетрации и индекса пенетрации окисленные битумы, полученные по традиционной технологии, можно отнести к битумам марки 70/100, однако по значениям температуры размягчения они не соответствуют требованиям СТБ EN 1446, в случае же окисленных битумов, полученных из модифицированного тяжелой пиролизной смолой нефтяного гудрона, значения их качественных показателей соответствует требованиям стандарта и битумы могут быть отнесены к битумам марки 50/70.

**Таблица 3. Групповой состав окисленных битумов**

Сырье, используемое для получения окисленного битума	Содержание асфальтенов, мас.%	Содержание мальтенов, мас.%	Массовое соотношение дисперсной фазы к дисперсионной среде
Нефтяной гудрон	22,5	77,5	0,29
Нефтяной гудрон, содержащий 0,5 мас.% тяжелой пиролизной смолы	25,4	74,6	0,34
Нефтяной гудрон, содержащий 1,5 мас.% тяжелой пиролизной смолы	27,9	72,1	0,39
Нефтяной гудрон, содержащий 3,0 мас.% тяжелой пиролизной смолы	25,2	74,8	0,34
Нефтяной гудрон, содержащий 5,4 мас.% тяжелой пиролизной смолы	23,7	76,3	0,31

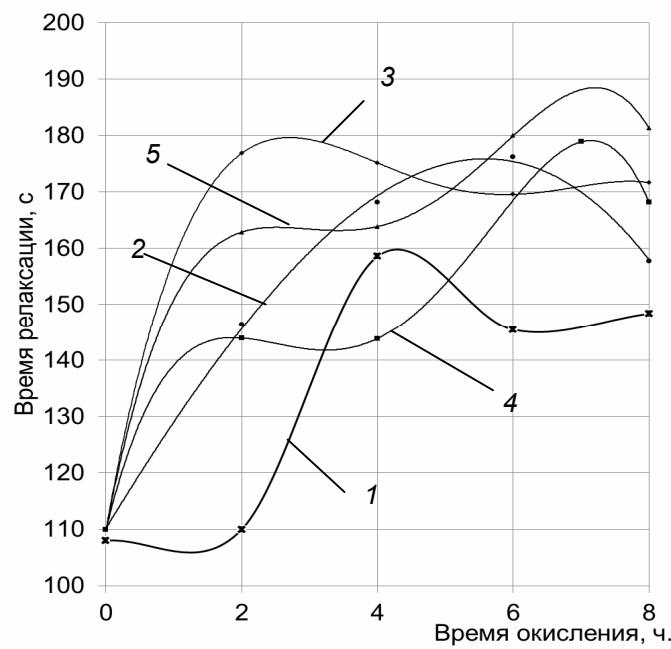
В табл. 2 представлены значения пенетрации и индекса пенетрации полученных окисленных битумов, согласно которым введение нефтяной пиролизной смолы в сырье процесса окисления позволяет получать окисленные битумы с пониженными значениями пенетрации и индекса пенетрации. Это свидетельствует об образовании более твердых битумных материалов с увеличенной тепловой чувствительностью к перепадам температур.

Как известно [3], предопределяющими характеристиками поведения битумного материала в условиях эксплуатации является строение и химические свойства компонентов битума, способность их образовывать структурные элементы и системы этих элементов. Изменение в соотношении асфальтенов и мальтеновых соединений окисленных битумов характеризуют структурированность и возможность образования стабильной коллоидной системы, скорость и направление протекания реакций поликонденсации, полимеризации и деструкции в процессе окисления. В табл. 3 представлены экспериментальные данные по определению группового состава по методу Маркуссона [1] полученных окисленных битумов.

Согласно полученным экспериментальным данным, соотношение дисперсная фаза : дисперсионная среда с увеличением количества введенного модификатора растет до своего максимального значения, соответствующего 1,5 мас.% модификатора в нефтяном гудроне, а затем наблюдается его постепенное снижение. Это свидетельствует о вовлечении асфальтенов тяжелой смолы пиролиза в процесс формирования дисперсной фазы окисленных битумов при малых концентрациях модификатора за счет реакций превращения смол в конденсированные высокомолекулярные углеводороды. При введении в сырье больших концентраций модификатора наблюдается снижение соотношения дисперсная фаза : дисперсионная среда, что вероятно обусловлено возрастающей ролью реакций образования смол по сравнению с реакциями превращения смол в асфальтены.

Известно [6], что в области фазовых переходов второго рода (процессы размягчения–стеклования) и области вязкого течения изменение свойств высоковязких нефтяных дисперсных систем носят релаксационную природу и обусловлены изменением энергий межмолекулярных взаимодействий при изменении состава и

перестройкой надмолекулярной структуры. Оценку коллоидной структуры окисленных битумов, полученных из модифицированного сырья, проводили на основании релаксационных характеристик. Согласно [4, 6], оценка времени структурной релаксации и интервала температур размягчения нефтяной дисперсной системы под влиянием постоянной нагрузки осуществляли на основе стандартного метода определения температуры размягчения битума по методу «Кольца и шара» (СТБ EN 1427). За время структурной релаксации нефтяных дисперсных систем было принято время от начала образования видимого мениска на нижней грани кольца до момента прохождения им определенного расстояния в стандартном приборе для измерения температуры размягчения. Интервал температуры размягчения определяли от температуры образования видимого мениска на нижней грани кольца до температуры, соответствующей моменту падения шарика. Ширину интервала и время структурной релаксации фазового перехода 2-го рода определяли характером межмолекулярных взаимодействий между компонентами битума. На рис. 2 представлена зависимость времени релаксации от продолжительности окисления.



**Рис. 2. Зависимость времени релаксации от продолжительности окисления:**  
1 – окисленный битум из нефтяного гудрона без модификатора; 2, 3, 4, 5 – окисленный битум из нефтяного гудрона, содержащего 0,5, 1,5, 3,0 и 5,4 мас.% модификатора соответственно

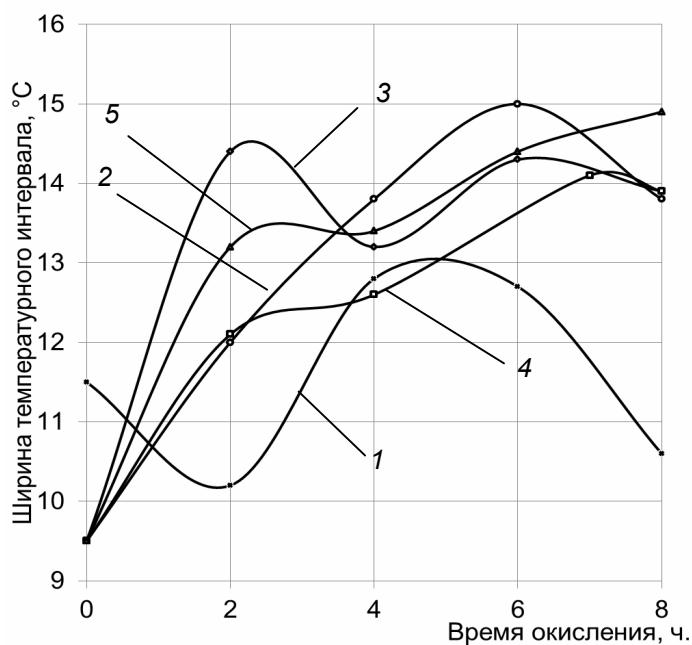
Согласно полученным экспериментальным данным, в случае использования немодифицированного сырья для получения окисленных битумов существует индукционный период (до 2 ч окисления), при котором время структурной релаксации остается неизменным, затем наблюдается постепенный рост времени релаксации, что

свидетельствует об образовании более пластичного состояния. Для битумов, полученных из модифицированного сырья, характерно отсутствие индукционного периода и увеличение пластичности. Зависимости ширины температурного интервала фазового перехода 2-го рода представлены на рис. 3 и носят схожий характер с зави-

симостями времени релаксации от продолжительности окисления.

Ширина температурного интервала для исследуемых систем характеризует величину области пластичного состояния и наряду со временем релаксации может служить критерием сравнительной оценки межмолекулярных взаимодействий в надмолекулярных структурах за счет сил Ван-дер-Ваальса. Так, для окисленного битума из нефтяного гудрона, содержащего 1,5 мас.% модификатора, наблюдается достижение наибольшего пластичного состояния среди исследуемых систем, что говорит о более эффективном взаимодействии между структурными компонентами дисперсной системы. В нефтяных дисперсных системах возможны разнообразные

процессы перестройки молекулярной структуры с энергиями от 30 до 1338 Дж/моль для процессов размягчения – стеклования [3, 4, 6]. Необходимо учитывать, что окисленные битумы относятся к сложным гетерогенным дисперсным системам и характеризуются сложным химическим составом, поэтому процессы перестройки структурных образований в нефтяных битумах также описываются сложными характеристическими зависимостями. Поскольку характер кривой одинаков для всех полученных зависимостей, то можно говорить о схожем механизме протекания процесса окисления во всех исследуемых системах, что не противоречит существующим представлениям о релаксационных зависимостях нефтяных дисперсных систем [6].



**Рис. 3. Зависимость ширины температурного интервала от продолжительности окисления:**  
1 – окисленный битум из нефтяного гудрона без модификатора; 2, 3, 4, 5 – окисленный битум из нефтяного гудрона, содержащего 0,5, 1,5, 3,0 и 5,4 мас.% модификатора соответственно

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что применение тяжелой пиролизной смолы в качестве модификатора нефтяного сырья оказывает каталитическое действие на процесс окисления, а полученные окисленные битумы соответствуют всем требованиям современных стандартов. Данные о групповом химическом составе окисленных битумов

и их релаксационных характеристиках показывают, что при введении 1,5 мас.% модификатора достигается оптимальная коллоидная структура нефтяной дисперсной системы, которая характеризуется стабильностью и устойчивостью против расслоения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (грант № Х12М-051).*

## Литература

1. Исагулянц, В. И. Химия нефти / В. И. Исагулянц, Г. М. Егорова. М., 1965.
2. Лукьянов, П. И. Пиролиз нефтяного сырья / П. И. Лукьянов, А. Г. Басистов. М., 1962.
3. Поконова, Ю. В. Нефтяные битумы / Ю. В. Поконова. СПб, 2005.
4. Сюняев, З. И. Нефтяные дисперсные системы / З. И. Сюняев, Р. З. Сюняев, Р. З. Сафиева. М., 1990.

5. Технология переработки нефти: в 2 ч. / под ред. О. Ф. Глаголевой, В. М. Капустина. М., 2007. Ч. I.
6. Фазовые переходы, реологические и прочностные характеристики нефтеполимерных систем / С. В. Дезорцев [и др.] // Башкирский химический журнал. 2010. Т. 17, № 3. С. 202–205.
7. Шрубок, А. О. Влияние модифицирующей добавки на процесс получения окисленного битума / А. О. Шрубок, Е. И. Грушова // Нефтехимия. 2012. Т. 52, № 5. С. 383–389.
8. Шрубок, А. О. Регулирование термоокислительной стабильности битумов / А. О. Шрубок, Е. И. Грушова, Н. П. Сапронькова // Альтернативные источники сырья и топлива: тез. Докл. III Междунар. науч.-техн. конф. «АИСТ-2011», Минск, 24–26 мая 2011 г., Институт химии новых материалов НАН Беларуси. Минск, 2011. С. 63.

**Белорусский государственный  
технологический университет**

Поступила в редакцию 19.02.2013 г.

**А. О. Шрубок, Е. И. Грушова,  
И. Т. Жибуль, В. Н. Фарафонтов, А. С. Шариф**

**СМОЛА ПИРОЛИЗА КАК МОДИФИКАТОР  
НЕФТЯНОГО СЫРЬЯ ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ**

На основе экспериментальных данных установлено, что использование тяжелой пиролизной смолы в качестве модификатора нефтяного сырья оказывает катализическое действие на процесс окисления. Определены пенетрация и индекс пенетрации окисленных битумов, полученных из модифицированного сырья. Подтверждено, что окисленные битумы из модифицированного сырья соответствуют всем требованиям современных стандартов. Определены релаксационные характеристики окисленных битумов: установлены зависимости времени релаксации и ширины температурного интервала от продолжительности процесса окисления. Показано, что введение 1,5 мас.% модификатора в нефтяное сырье обеспечивает формирование оптимальной коллоидной структуры нефтяной дисперсной системы.

**A. O. Shrubok, E. I. Grushova,  
I. T. Zhibul, V. N. Farafontov, A. S. Sharif**

**PYROLYSIS RESIN AS A MODIFIER OF  
OIL RAW MATERIAL OF THE OXIDATION PROCESS**

*On the based of experimental data it has been found that the use of heavy pyrolysis resin as a modifier of oil raw material has a catalytic effect on the oxidation process. Penetration, penetration index of oxidized bitumen modified with highly carbonaceous additives tar fractions have been determined. It has been confirmed that oxidized bitumen from the modified raw materials conform to all modern standards. The relaxation properties of oxidized bitumen have been determined: dependences of the relaxation time and the width of the temperature range on the duration of oxidation process have been obtained. It has been shown that introduction of 1.5 wt.% of the modifier ensures formation of optimal colloidal structure of the petroleum dispersed system.*

УДК 541.182+631.436

**И. И. Лиштван, А. М. Абрамец, Ю. Г. Янuta, Г. С. Монич,  
Н. С. Першай, В. Н. Алейникова**

## ПЕРЕНОС ВЛАГИ В РЕОЛОГИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СРЕДАХ

*Теоретически и экспериментально исследованы закономерности миграции (переноса) влаги в реологически сложных дисперсных материалах с учетом трансформации их структуры и изменения содержания влаги.*

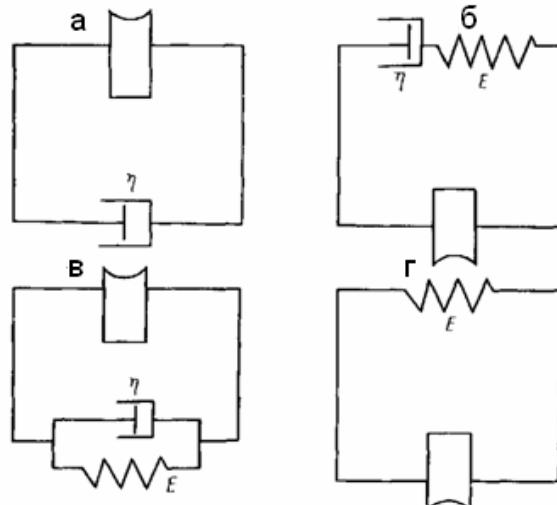
Механизм явлений переноса влаги (массы) в дисперсных средах тесно связан с их свойствами. Большинство процессов массопереноса протекает в реальных условиях в материалах и средах природного происхождения, характеризующихся сложностью структуры, а также макро- и микрогетерогенностью. Особой специфичностью отличается массоперенос в средах, подверженных деформационной перестройке каркаса твердой фазы (в реологических средах), где перенос массы зависит также и от процессов структурообразования. Все отмеченное обуславливает непостоянство и чрезвычайно широкий диапазон варьирования массообменных характеристик природных дисперсных систем и пористых материалов.

Процессы массопереноса в реологических материалах (средах) нельзя рассматривать в отрыве от поверхностных явлений. Наличие поверхности раздела твердое тело – жидкость и жидкость – газ, достигающей значительной величины ( $100 \text{ м}^2/\text{г}$ ), существенно влияет как на механизм, так и на кинетику процессов энерго- и маскообмена: течения жидкостей и газов, диффузию растворенных веществ, перенос тепла и заряда.

Подвижность влаги во влагонасыщенных дисперсных системах определяется помимо внешних факторов (градиенты давления, температуры) их структурой [4, 5, 8, 9, 16, 18, 19], а также электрохимическими явлениями на границе раздела фаз и реологическими свойствами материала [1, 3, 10, 12, 13]. Взаимосвязь между реологическими и массообменными параметрами материала очевидна. Изучение специфики массопереноса в реологических материалах и особенно анализ взаимосвязи массообменных и реологических свойств сопряжены со значительными экспериментальными трудностями. Одним из методов, позволяющих получить количественную оценку решения этих задач, является математическое моделирование.

Для анализа процессов предложены [3] модели массопереноса в реологических материалах. Некоторые наиболее простые (линейные) из них представлены на рис. 1. В принятых моделях развитие деформации во времени и при изменении соотношения фаз происходит под действием капиллярных сил. Каркас влажного

капиллярно-пористого материала находится в поле капиллярных сил, которые можно интерпретировать как внешнее воздействие. В равновесном состоянии упругое противодействие каркаса материала уравновешено капиллярным давлением и одновременно, в состоянии равновесия, определяет его величину. Возрастающее при стоке дисперсионной среды капиллярное давление деформирует каркас материала, стремится уменьшить его объем. И, наоборот, при росте содержания в материале дисперсионной среды величина капиллярного давления снижается, становится меньше противодействия упругих сил каркаса твердой фазы, вследствие чего материал увеличивает свой объем (набухает).



**Рис. 1. Модели массопереноса в реологически сложных капиллярно-пористых системах:**  
а – вязкое состояние; б – вязкоупругое состояние;  
в – упруговязкое состояние; г – упругое тело;  
 $\eta$  – вязкость,  $E$  – модуль упругости

Для изотропных капиллярных реологических систем в двухфазном состоянии связь между объемной деформацией материала и скоростью изменения капиллярного давления в нем может быть представлена в виде

$$\frac{1}{3} \frac{\partial V_i}{\partial \tau V_i} + \frac{\partial P_{ki}}{\partial \tau P_{ki}} = 0, \quad (1)$$

где  $V_i$  – объем тела;  $P_{ki}$  – капиллярное давление;  $\tau$  – время.

В зависимости от соотношения фаз реологические системы могут находиться в разном состоянии. Для выбранных моделей это вязкое состояние (рис. 1, а) с линейной деформацией вязкого элемента, подчиняющейся закону Ньютона

$$\varepsilon'_i = -P_{ki} / \eta_i, \quad (2)$$

где  $\varepsilon'_i$  – скорость относительной деформации материала;  $\eta_i$  – вязкость материала.

**Вязкоупругое состояние** (рис. 1, б), где скорость линейной деформации под действием внешних (капиллярных) сил может быть записана как

$$\varepsilon'_i = -\left( \frac{\partial P_{ki}}{\partial \tau E_i} + \frac{P_{ki}}{\eta_i} \right), \quad (3)$$

где  $E_i$  – модуль упругости материала.

**Упруговязкое состояние** (рис. 1, в). Общее напряжение в этой модели равно сумме напряжений упругого и вязкого элементов и для нашего случая имеет вид

$$P_{ki} = -(\varepsilon_i E_i + \varepsilon'_i \eta_i), \quad (4)$$

где  $\varepsilon_i = \partial V_i / V_i$  – относительная деформация материала.

**Упругое тело** (рис. 1, г). В данной модели связь между силой, вызывающей деформацию (силой капиллярного давления), и величиной деформации определяется выражением:

$$\varepsilon'_i = -\frac{\partial P_{ki}}{\partial \tau E_i}. \quad (5)$$

При  $\eta = \text{const}$ ,  $E = \text{const}$  с учетом уравнения (1) решения (2–5) могут быть представлены соответственно

$$P_{ki} = P_{k0} / \left( 1 - \frac{P_{k0}}{\eta_0} \tau \right), \quad (6)$$

$$P_{ki} = P_{k0} \exp \left[ E_0 \left( \frac{1}{P_{k0}} - \frac{1}{P_{ki}} \right) - \frac{E_0}{\eta_0} \tau \right], \quad (7)$$

$$P_{ki} = P_{k0} / \left[ 1 - \frac{P_{k0}}{E_0} \left( \frac{\tau}{\tau - \eta_0 / E_0} \right) \right], \quad (8)$$

$$P_{ki} = E_0. \quad (9)$$

Согласно соотношениям (6–9), величина капиллярного давления, формирующегося в материалах при массопереносе (изменении соот-

ношения фаз), определяется их реологией. Кроме того, с уменьшением периода релаксационных процессов (характеризуемых параметром  $\tau = \eta / E$  [17]) снижается время установления в материале капиллярного равновесия, а значит и величины потенциала массопереноса.

При условии релаксации напряжений ( $\sigma = \text{const}$ ) и полного смачивания ( $\cos \theta = 1$ ,  $\theta$  – краевой угол смешивания твердой фазы дисперсионной среды) в соответствии с (1) величина потенциала массопереноса (как функция массосодержания материала) может быть представлена в виде [14]

$$P_{mi} = P_{m0} \left( \frac{U_0 - U_c}{U_i - U_c} \right)^{1/3}, \quad (10)$$

где  $P_m$  – потенциал влаги.

На рис. 2 показаны расчетные и экспериментальные зависимости  $P_{mi} (U)$ , из которых следует, что экспериментальные значения  $P_m$  превышают теоретические. Кроме того, чем больше в материале содержится связанной влаги  $U_c$ , тем выше величина  $P_m$ . В торфе, сапропелях велико количество дисперсионной среды с невысокой энергией связи (энтропийно-связанной, иммобилизованной и т. д.). Естественно, что вклад данной категории дисперсионной среды в формирование величины  $P_m$  оказывается при высоком массосодержании материала. Формально это можно представить как увеличение  $U_c$ . Капиллярное равновесие в сапропеле устанавливается сравнительно продолжительное время, по мере чего экспериментальная кривая приближается к теоретической (рис. 2, кривые 4, 5).

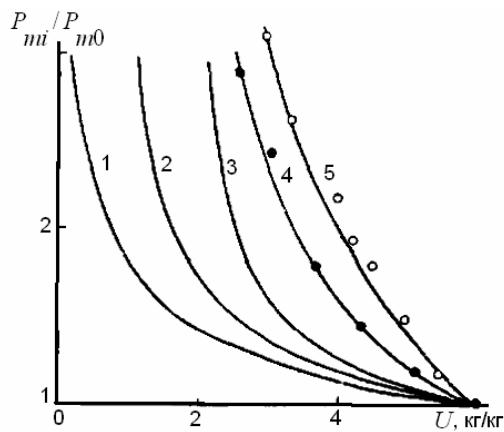


Рис. 2. Расчетные (1–3) и экспериментальные (4, 5) значения  $P_{mi}/P_{m0}$  для реологических материалов:

1–3 – торф; 4, 5 – сапропели (4 –  $\tau = 10$  сут; 5 –  $\tau = 2$  сут), где  $P_m$  – потенциал влаги

Ионогенные группы торфа, главным образом карбоксильные, диссоциируют в воде с от-

щеплением катиона, вследствие чего частицы торфа приобретают отрицательный заряд [6, 11]. Он формируется из дискретных элементарных зарядов как вне, так и внутри ассоциатов торфа [5, 6, 10]. Диффузия молекул воды внутрь частиц торфа вызывает увеличение диэлектрической проницаемости всего ассоциата и повышение степени диссоциации функциональных групп [6]. В свою очередь, рост плотности заряда структурных единиц торфа интенсифицирует связь воды с торфом по механизму ион-дипольного взаимодействия между ионизированными функциональными группами торфа и молекулами воды. В результате содержание связанной воды в материале увеличивается, что особенно четко видно (рис. 3) в случае повышения pH торфяных систем [12] либо при модификации их ПАВ и ВМС [1, 2]. При этом воздействие ПАВ и ВМС проявляется в изменении содержания в материале как  $U_c$ , так и  $P_k$  [1, 13, 7]. В первом случае (с ростом  $U_c$ ) имеет место увеличение значений  $P_m$ , а во втором (при снижении поверхностного напряжения) – уменьшение  $P_k$  (а значит, и  $P_m$ ) [15]. Суммарное проявление двух этих факторов для АПАВ (рис. 3, кривые 1'–3') приводит к росту  $P_m$  при  $1 \text{ кг}/\text{кг} \leq U \leq 5 \text{ кг}/\text{кг}$  и снижению значений потенциала влагопереноса для торфа при  $U > 5 \text{ кг}/\text{кг}$ . Полиакриламид (ПАА), действие которого обеспечивает коагуляцию коллоидных структур торфа, способствует высвобождению иммобилизованной влаги, что влечет снижение значений  $P_m$  при  $U \geq 3,5 \text{ кг}/\text{кг}$  (рис. 3, кривая 3), особенно интенсивное в более высокодисперсных торфяных системах (рис. 3, кривые 3'', 3''').

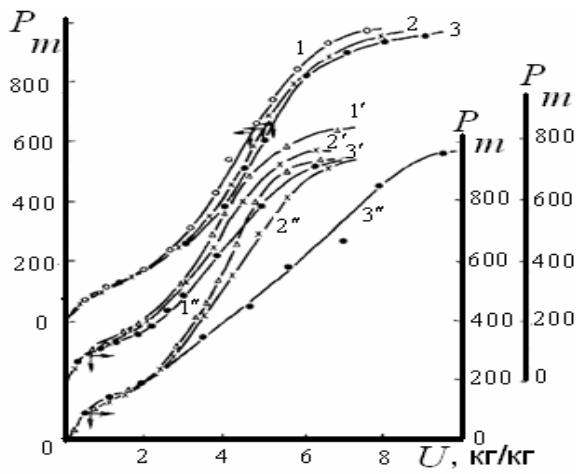


Рис. 3. Влияние сульфонола (1'–3') и ПАА (1''–3'') на величину потенциала влагопереноса торфа:  
1–3 – С = 0; 1'–3' – С = 0,1 %; 1''–3'' – С = 0,05 %; 1–1 –  
 $S_0 = 210 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; 2–2'' – 270; 3–3'' –  $S_0 = 360 \text{ м}^2/\text{кг}$

В соответствии с [14] и уравнениями (1, 10) представляется возможным получить зависимость для расчета удельной влагоемкости  $C_{mi}$  реологических материалов:

$$C_{mi} = \frac{3}{P_{m0}} (U_i - U_c)^{\frac{3}{2}} \sqrt{(U_i - U_c)/(U_0 - U_c)}. \quad (11)$$

Согласно уравнению [11],  $C_m$  не является линейной функцией влагосодержания реологических систем. Следует отметить, что уравнение [11] подобно соотношению, полученному эмпирически [14],

$$U_i = B + C_{mi} P_{mi}. \quad (12)$$

После преобразования выражения (11) к виду (12) имеем

$$U_i = U_c + \frac{1}{3} C_{mi} P_{mi}. \quad (13)$$

Константа  $B$  в уравнении (12) – это в соответствии с (13)  $U_c$ .

Капиллярная проводимость реологических материалов в двухфазном состоянии является функцией их массосодержания. Воспользовавшись законом Пуазеля [14], с учетом соотношений (1, 10) и при условии релаксации напряжений в материале, можно получить зависимость коэффициентов  $\lambda_m$  и  $a_m$  от свойств твердой и жидкой его фаз:

$$\lambda_{mi} = \lambda_{m0} \left[ \frac{(U_0 - U_c) + \rho_B / \gamma}{(U_i - U_c) + \rho_B / \gamma} \right]^{4/3} \left( \frac{U_i - U_c}{U_0 - U_c} \right)^2, \quad (14)$$

$$a_{mi} = a_{m0} \left[ \frac{(U_0 - U_c) + \rho_B / \gamma}{(U_i - U_c) + \rho_B / \gamma} \right]^{4/3} \left( \frac{U_i - U_c}{U_0 - U_c} \right)^2, \quad (15)$$

где  $\lambda_m$ ,  $a_m$  – коэффициенты массопроводности и потенциалопроводности соответственно;  $\gamma$ ,  $\rho_B$  – удельная плотность твердой фазы и дисперсионной среды.

На рис. 4 изображены расчетные кривые (для торфа  $\gamma = 1,5$ ) относительной величины  $a_{mi} / a_{m0}$ , из которых следует, что зависимость  $a_m(U)$  имеет экстремум. При этом величина максимума  $a_m$  с ростом содержания в материале  $U_c$  сдвигается в сторону больших массосодержаний материала, но абсолютные значения  $a_m$  при  $U_i > U_c$  тем выше, чем больше  $U_c$  в материале.

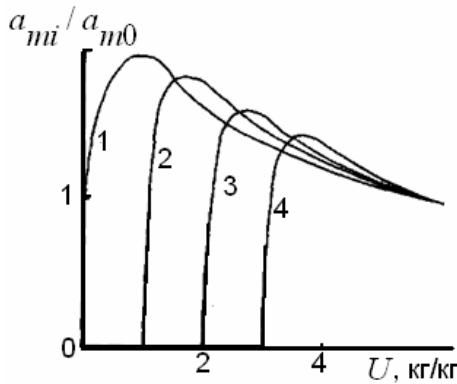


Рис. 4. Расчетные значения коэффициента потенциалопроводности ( $a_m$ ) для торфяных систем:  
1 –  $U_c = 0$ ; 2 – 1 кг/кг; 3 – 2; 4 –  $U_c = 3$  кг/кг

Если провести анализ [14] экспериментальных и теоретических [3] функций  $a_m(U)$  для различных пористых материалов (некоторые наиболее типичные из них представлены в качестве примера на рис. 5), то обнаруживается четкая их зависимость от типа пористого материала. А именно, капиллярно-пористые нереологические материалы, структура которых не претерпевает деформации при изменении соотношения фаз, имеют функции  $a_m(U)$  экспоненциального вида, подобные кривой 1 (рис. 5). Значения  $a_m$  в этих материалах увеличиваются непрерывно с ростом  $U$  и при некоторой величине массосодержания, соответствующей полному насыщению порового пространства, принимают значения  $a_m = \text{const}$ .

Второй вид материалов — типично реологические, т. е. неограниченно набухающие, либо претерпевающие усадку при изменении соотношения жидкой и твердой фаз. К указанным материалам относят высокодисперсные и коллоидные системы, являющиеся в определенной области массосодержаний структурно несвязными.

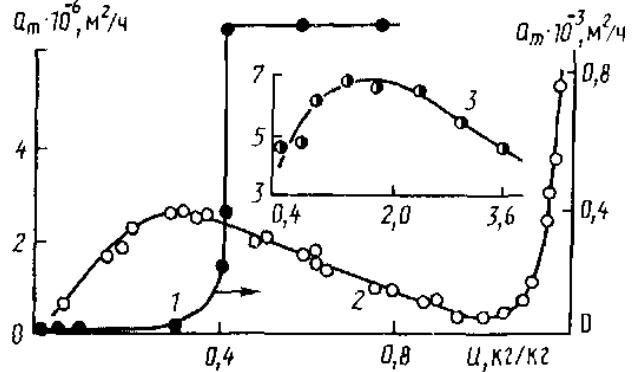


Рис. 5. Экспериментальные значения коэффициента потенциалопроводности ( $\text{м}^2/\text{ч}$ ) при  $T = 293 \text{ K}$ :  
1 – диатомовая плита [14]; 2 – древесина [14];  
3 – торф (рН = 7,3) [12]

Для таких систем зависимость  $a_m(U)$  носит, как правило, экстремальный характер, аналогичный кривой 3 на рис. 5.

Третий вид материалов — реологические, ограниченно набухающие системы, структура которых варьирует лишь в определенном диапазоне массосодержаний. Неограниченному набуханию противодействует внутренняя связность каркаса твердой фазы. Изменение коэффициента потенциалопроводности (рис. 5, кривая 2) для таких материалов представляет собой совокупность зависимостей  $a_m(U)$ , характерных для материалов первых двух типов.

Таким образом, представленные исследования являются научной основой технологических принципов обращения с реологически сложными материалами при их обезвоживании и сушке, а также регулировании структурно-механических свойств продукции на их основе, процессов массопереноса в деформируемых материалах в природных средах.

### Литература

1. Абрамец, А. М. Исследование влияния ПАВ и ВМС на процессы структурообразования и массопереноса в торфяных системах : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. М. Абрамец. Минск, 1980.
2. Абрамец, А. М. Массоперенос в природных дисперсных системах / А. М. Абрамец, И. И. Лиштван, Н. З. Чураев. Минск, 1992.
3. Абрамец, А. М. Массоперенос в реологически сложных дисперсных системах / А. М. Абрамец, И. И. Лиштван, Н. В. Чураев // Тепломассообмен – ММФ : Мин. Междунар. Форум : тез. докл. Минск, 1988. С. 42–44.
4. Антонов, В. Я. Технология полевой сушки торфа / В. Я. Антонов, Л. М. Малков, Н. И. Гамаюнов. М., 1981.
5. Гамаюнов, Н. И. Тепло- и массоперенос в торфяных системах : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Н. И. Гамаюнов. Калинин, 1967.
6. Гамаюнов, Н. И. Физико-химические свойства торфа: ионообменные и электрические свойства торфа / Н. И. Гамаюнов. Калинин, 1974.
7. Давидовский, П. Н. Исследование термовлагопроводности в торфяных системах с помощью радиоактивных изотопов : автореф. дис. ... канд. техн. наук / П. Н. Давидовский. Минск, 1964.
8. Давидовский, П. Н. Тепло- и массоперенос в промерзающих торфяных системах / П. Н. Давидовский, Г. П. Бровка. Минск, 1985.

9. Корчунов, С. С. Процессы переноса и реология в природных дисперсных системах / С. С. Корчунов, И. И. Могильный, Т. П. Чебуркова // Тр. ВНИИТП. 1973. Вып. 33. С. 3–11.
10. 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.
11. Лиштван, И. И. Физические свойства торфа и торфяных залежей / И. И. Лиштван, Е. Т. Базин, В. И. Косов. Минск, 1985.
12. Лиштван, И. И. Исследование миграции ионов и воды при структурообразовании вязкопластичных торфяных систем / И. И. Лиштван, Л. С. Ивашкевич, А. М. Абрамец // Весці АН БССР. Сер. хім. навук. 1983. № 3. С. 29–34.
13. 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 : сб. ст. М., 1989. С. 63–83.
14. Лыков, А. В. Теоретические основы строительной теплофизики / А. В. Лыков. Минск, 1961.
15. Лыков, А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. М., 1968.
16. Лыков, А. В. Тепломассообмен / А. В. Лыков. М., 1978.
17. Нильсен, Л. Механические свойства полимеров и полимерных композиций / Л. Нильсен. М., 1978.
18. Федотов, А. И. Водно-физические свойства торфа / А. И. Федотов. Минск, 1977.
19. 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 14.03.2013 г.

*И. И. Лиштван, А. М. Абрамец, Ю. Г. Янута,  
Г. С. Монич, Н. С. Першай, В. Н. Алейникова*

### **ПЕРЕНОС ВЛАГИ В РЕОЛОГИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СРЕДАХ**

Теоретически и экспериментально исследованы закономерности процессов переноса влаги в реологически сложных дисперсных материалах с учетом трансформации структуры при изменении их влагосодержания. Получены аналитические зависимости данных процессов для материалов, соответствующих состоянию их от вязкого до упругого. Анализ зависимостей выполнен с позиций теории как процессов массопереноса, реологии материалов, так и поверхностных явлений, сопровождающих межфазное взаимодействие. Исследования актуальны для решения задач охраны окружающей среды, оптимизации технологических процессов производства продукции на основе сырья, соответствующего тому или иному состоянию его реологии.

*I. I. Lishtvan, A. M. Abramets, Yu. G. Yanuta,  
G. S. Monich, N. S. Pershai, V. N. Aleynikova*

### **MOISTURE TRANSFER IN RHEOLOGICALLY COMPLEX DISPERSE MEDIA**

The moisture transfer processes regularities in rheologically complex disperse materials regarding structure transformation at their moisture content change have been investigated theoretically and experimentally. Analytical dependences of the mentioned processes for materials corresponding to their condition from viscous to elastic have been obtained. The analysis of dependences has been carried out from theory positions both as mass transfer processes, materials rheology, and the surface phenomena accompanying inter-phase interaction. The researches are actual to solve challenges of environment protection, technological production processes optimization on the basis of raw materials corresponding to this or that condition of its rheology.

УДК 532.64

С. М. Барайшук<sup>1</sup>, А. Г. Бровка<sup>2</sup>, И. В. Дедюля<sup>2</sup>**ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ СМАЧИВАНИЯ НА ГРАНИЦЕ ЛЕД – ВОДА – НЕФТЬ**

*Предложен метод измерения углов смачивания на границе двух несмешивающихся жидкостей и твердой подложкой. Приведены результаты измерений угла смачивания поверхности льда под водой нефтью из месторождений Речицы (Беларусь) и Сургут (Россия).*

Транспортировка нефти и нефтепродуктов осуществляется в значительной степени по трубопроводам, которые проходят зачастую по дну рек и озер. Эксплуатация нефтепроводов связана с возможными разрывами труб в различные поры годы. Если это происходит в зимний период, благодаря значительно меньшей плотности по отношению к воде, нефть подо льдом непосредственно у его поверхности движется по течению реки. Существуют различные методы ее задержки и утилизации. Однако прогноз движения нефтяного пятна требует знания некоторых физических характеристик нефти, в том числе и краевых углов смачивания на границе лед – нефть – вода. Известны традиционные способы измерения краевых углов смачивания [3, 4], в которых капля жидкости наносится на исследуемую поверхность, проецируется на экран, фиксируется как изображение, затем проводится касательная к очертанию капли в точке соприкосновения с поверхностью, и производятся необходимые измерения. Основная погрешность, возникающая во время измерения такими способами, объясняется субъективным подходом оператора при проведении касательной. В работе применен метод автоматического измерения краевого угла смачивания, в разработке которого принимал участие один из авторов [1, 2]. Специально разработанная программа Angle обрабатывает изображение системы капля – подложка – среда таким образом, что каждый из пунктов изображения сопоставляется одной из трех групп (вода, лед, нефть). При работе с этой программой оператор визуально определяет только точку, в которую проецируется линия трехфазного контакта на плоскости. После этого программа Angle автоматически строит прямую, которая определяет положение поверхности исследуемого образца (в данном случае погруженную в воду поверхность льда), касательную к поверхности капли и измеряет между ними угол.

Необходимый для проведения исследований лед готовится в морозильной камере 7 (рис. 1). Для этого в стальной сосуд 4 диаметром 15÷20 см с прочным и ровным дном наливается слой воды высотой 2÷3 см. Процесс замерзания воды сопровождается переохлаждением до  $-4\text{--}6$  °С и затем очень быстрым объемным расширением. В результате лед получается бугристым, неровным, и в нем имеются трещины. Измерение равновесных углов смачивания жидкостью такого льда не представляется возможным. Получить

чистый и без трещин лед для испытаний можно в том случае, если фронт промерзания 2, или граница лед 3 – вода 1 равномерно движется снизу вверх. Для этого боковые стенки сосуда заключаются в теплоизоляционную оболочку 5. Сосуд при этом помещается на массивную с высокой теплопроводностью и теплопроводностью металлическую плиту 6, помещенную в морозильную камеру заблаговременно. В таком случае в воде, контактирующей с дном сосуда, благодаря сильному переохлаждению достаточно быстро возникают первые кристаллы льда. Поскольку в остальном объеме значение температуры воды остается выше температуры замерзания, сразу формируется граница лед – вода (фронт промерзания), которая со временем равномерно движется снизу вверх до полного замерзания воды. После завершения процесса лед извлекают из емкости. Для этого ее на короткий срок помещают в теплую воду и затем переворачивают на 180°. Ледяной диск выпадает на какую-нибудь мягкую поверхность, его упаковывают в полиэтилен и помещают в морозильную камеру для хранения. Таким образом изготавливают лед в количестве, необходимом для проведения экспериментов. Поверхность льда, которая контактировала с поверхностью дна емкости, получается ровной, гладкой и пригодной для измерения углов смачивания.

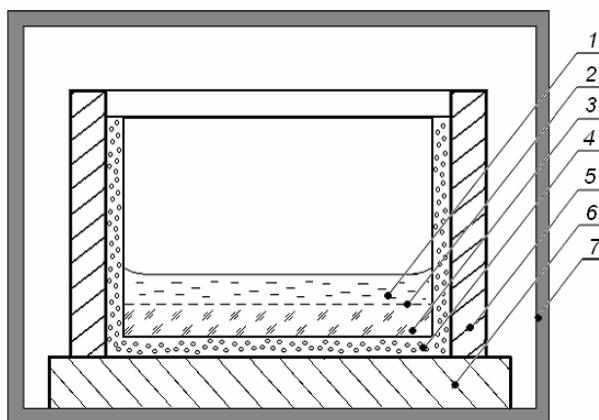
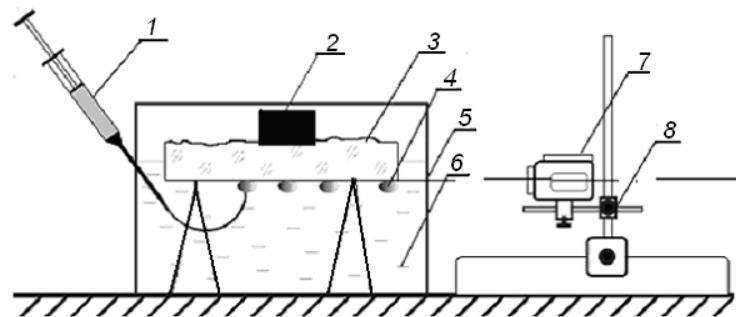


Рис. 1. Установка по подготовке образцов льда для измерения краевого угла смачивания его нефтью:  
1 – вода; 2 – фронт промерзания; 3 – лед;  
4 – стальной сосуд; 5 – теплоизоляция;  
6 – металлическая плита; 7 – морозильная камера

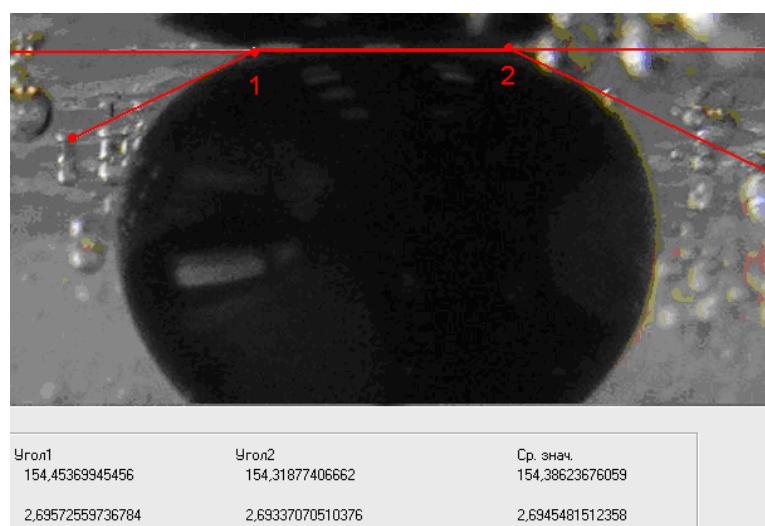
Схема опыта представлена на рис. 2. Лед 3 помещается в заполненный водой 6 стеклянный резервуар 5, имеющий форму параллелепипеда. Воду в резервуаре предварительно охлаждают до температуры близкой к 0 °C. Для этого в воду опускают куски чистого льда произвольной формы, которые постепенно тают и не препятствуют измерениям. Поскольку плотность льда меньше плотности воды, то исследуемая пластина плавает в полуопущенном состоянии. Чтобы дрейф не мешал измерениям, ее укладывают на специальные опоры и придавливают грузом 2. Резервуар устанавливают на поверхности лабораторного стола. С помощью специальным образом выгнутой медицинской иглы и шприца 1 каплю нефти 4 вводят под лед. Под действием силы Архимеда она прижимается к его поверхности. Таким образом, можно посадить несколько капель и затем проводить измерения. Для измерений выбирают одну из капель и фотографируют ее с помощью цифрового фотоаппарата или видеокамеры 7, которые закрепляют на лабораторном штативе 8 с помощью механизма «ласточкин хвост». Этот механизм позволяет плавно перемещать видеокамеру по вертикали и точно совместить оптическую ось объектива с границей раздела лед – вода. Изображение капли в цифровом формате вводят в компьютер для проведения измерений непосредственно углов смачивания.



**Рис. 2. Схема проведения опыта по измерению краевого угла смачивания нефтью льда:**  
1 – шприц; 2 – груз; 3 – лед; 4 – капля нефти; 5 – стеклянный сосуд; 6 – вода;  
7 – цифровой фотоаппарат (видеокамера); 8 – штатив

Равновесный краевой угол смачивания программа Angle измеряет автоматически. Поскольку при работе с программой роль оператора сводится к визуальному определению точки, в которую проецируется линия трехфазного контакта на плоскости, погрешность измерений не превышает 1 % [1]. На рис. 3 представлен внеш-

ний вид отчета программы о результатах измерения краевого угла для капли нефти подо льдом. Искомый угол отсчитывают от поверхности льда через исследуемую жидкость (нефть) до касательной. На рис. 3 угол 1 соответствует левому мениску, а угол 2 – правому.



**Рис. 3. Пример отчета программы Angle о результатах измерения краевого угла для капли нефти подо льдом: 1 – левый мениск; 2 – правый мениск**

## ***К 75-летию академика А.В. Матвеева***

### ***Алексей Васильевич Матвеев***

*академик,  
доктор геолого-минералогических наук,  
профессор, лауреат Государственной премии  
БССР и премии НАН Беларуси,  
главный научный сотрудник  
Института природопользования  
НАН Беларуси*

***С юбилеем Вас!***

23 мая 2013 года исполнилось 75 лет выдающемуся белорусскому геологу, Алексею Васильевичу Матвееву.

После окончания в 1960 г. географического факультета Белгосуниверситета А. В. Матвеев начал свою трудовую деятельность в Белорусском государственном институте по проектированию водного хозяйства (Белгипроводхоз) Министерства мелиорации водного хозяйства БССР, где объектом его исследований стала геология четвертичных отложений. В 1964 г. он поступает в аспирантуру Института геологических наук, в 1966 г. успешно защищает кандидатскую диссертацию по литологии четвертичных отложений. Работая на протяжении десяти лет младшим научным сотрудником, затем ученым секретарем, заведующим сектором Белорусского научно-исследовательского геологоразведочного института Управления геологии при СМ БССР, Алексей Васильевич изучает проблемы ледникового литогенеза, палеогеографии кайнозоя, структурной геоморфологии, неотектоники, прогнозирования полезных ископаемых.

Результаты его исследований стали основой опубликования в 1971 г. монографии «Ледниковые отложения Белоруссии» (1971) и «Геология антропогена Белоруссии» (1973).

Итогом изучения А. В. Матвеевым отложений ледниковой формации, их генезиса, этапов формирования, постседиментационных трансформаций стала защита в 1975 г. в Вильнюсском университете докторской диссертации, основные положения которой были изложены в монографии «Ледниковая формация антропогена Белоруссии» (1976).



Выявленные фундаментальные закономерности формирования четвертичных толщ, Алексей Васильевич применяет для анализа условий формирования современных форм рельефа и его соотношения со структурой основных горизонтов платформенного чехла и поверхности фундамента. Им составлена серия разномасштабных геоморфологических карт по отдельным регионам республики.

За успехи в научной деятельности Алексей Васильевич удостоен высоких наград: медали «За доблестный труд» (1970), Граматы Вярхойнага Савета БССР (1977).

С 1978 г. А. В. Матвеев работает в Институте геохимии и геофизики АН БССР, где в 1980 г. создает лабораторию динамики ландшафтов, переименованную позже в лабораторию современных геологических процессов. В этот период А. В. Матвеев основное внимание уделяет современной геодинамике, экологии, прогнозу месторождений полезных ископаемых. Совместно с коллегами издает монографии: «Неотектоника территории Припятского прогиба» (1980), «Рельеф Белорусского Полесья» (1982), «Неотектоника и полезные ископаемые Белорусского Полесья» (1984), «Рельеф Белоруссии» (1988). Несколько позже публикует собственные воззрения на становление рельефа в книге «История формирования рельефа Белоруссии» (1990).

Кроме этого, значительное внимание А. В. Матвеев уделяет изучению проявления основных типов и классов геологических процессов, исследует линейные и кольцевые структуры, их отражение в физических полях Земли, кристаллическом фундаменте, платформенном чехле и рельфе земной поверхности, показывает влияние на формирование полезных ископаемых, разрабатывает карты рациональной организации территории различных районов Беларуси.

В 1986 г. А. В. Матвеев в составе группы белорусских геологов становится лауреатом Государственной премии БССР в области науки и техники за разработку теоретических основ четвертичной геологии и внедрение их в практику геологоразведочных работ.

С начала 90-х годов прошлого столетия исследования А. В. Матвеева посвящены преимущественно вопросам формирования залежей полезных ископаемых (стройматериалы, алмазы, россыпи тяжелых металлов и др.), прогнозированию их месторождений. Он один из разработчиков и исполнителей задания «Программы ускорения геологоразведочных работ по развитию минерально-сырьевой базы Республики Беларусь на 1993–1995 гг. и до 2000 г.». Результаты исследований А. В. Матвеева способствуют повышению эффективности геологической съемки, обоснованию схем рационального использования земельных ресурсов, инженерной защиты территорий от неблагоприятного проявления современных геологических процессов, выделению памятников природы.

А. В. Матвеев успешно сочетает научные исследования с подготовкой кадров, активно работает с аспирантами и соискателями – 10 его учеников стали кандидатами наук, 2 – защитили докторские диссертации. В этот период он читает ряд специализированных курсов на географическом факультете Белгосуниверситета, создает ряд пособий для студентов-геологов и учащихся средней школы: «Геоморфология и математика», «Хрестоматия по физической географии БССР», «Пра рэльеф Беларусі».

В 1990 г. А. В. Матвееву присвоено ученое звание профессора, в 1991 г. он избирается членом-корреспондентом АН Беларуси.

В 1993–1998 гг. Алексей Васильевич директор Института геологических наук АН Беларуси. Результаты его многогранных научных исследований высоко оценены.

В 1994 г. Алексей Васильевич избран академиком АН Беларуси и Международной академии наук Евразии, в 1995 – членом Нью-Йоркской академии, в 1996–1997 гг. признан человеком года Американским биографическим институтом

и Международным биографическим центром в Кембридже.

В 1998 г. А. В. Матвееву присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Республики Беларусь».

В текущем столетии А. В. Матвеев с приющей ему основательностью изучает экстремальные геологические процессы, причинно-следственные особенности их проявления. Он составляет серию разномасштабных региональных карт проявления таких процессов, внедряет их в производственных организациях.

А. В. Матвеев является руководителем и исполнителем нескольких проектов Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований. В этот период в соавторстве им издаются монографии «Геология Беларуси» (2001), «Линеаменты территории Беларуси» (2001), «Палеогеография кайнозоя Беларуси» (2002), «Основы геологии Беларуси» (2004), в Национальном атласе Беларуси (2002) опубликованы «Геоморфологическая карта», «Карта четвертичных отложений», «Карта современных геологических процессов».

Проводимые Алексеем Васильевичем фундаментальные исследования по ГПОФИ «Недра Беларуси» дополняются прикладными разработками в рамках заданий Государственной программы геологоразведочных работ на 2006–2010 годы и до 2020 года (прогнозирование минеральных строительных материалов), по Государственной научно-технической программе «Ядерно-физические технологии для народного хозяйства Беларуси» на 2006–2010 гг., по договору с РУП «БЕЛНИПИЭНЕРГОПРОМ» Министерства энергетики Республики Беларусь.

В 2009–2012 гг. А. В. Матвеев вместе с коллегами изучает проявление современных физико-геологических процессов и строение четвертичной толщи на территории Краснополянской и Островецкой площадок возможного размещения АЭС.

В наши дни академик А. В. Матвеев признанный лидер белорусской школы геологов-четвертичников. Он плодотворно работает по международным программам, является председателем комиссии по изучению четвертичного периода и геоморфологии, разрабатывает предложения к концепции рационального использования толщи четвертичных отложений. В своих исследованиях А. В. Матвеев рассматривает также геохимический аспект четвертичных отложений, изучает в их составе основные химические элементы и микроэлементы, их распределение по площади, постседиментационные изменения, выделяет геохимические аномалии, что отраже-

но в монографии «Геохимия четвертичных отложений Беларуси» (2013).

Более 10 лет Алексей Васильевич изучает влияние геолого-геофизических аномалий на условия жизни человека и опасные геологические процессы. Он уверен, что это новое направление геологии – медицинское будет востребовано в будущем.

А. В. Матвеев автор около 400 опубликованных работ, в том числе 23 монографий.

А. В. Матвеев является членом редколлегии журналов «Літасфера», «Веснік Брэсцкага ўніверсітэта». Серыя прыродазнаўчых навук», «Вучоныя запіскі Брэсцкага дзяржаўнага

універсітэта імя А. С. Пушкіна. Прывядзеныя навукі», «Природопользование», председателем белорусской комиссии INQUA, председателем секции Ученого совета Института природопользования, членом НТС Департамента по геологии.

А. В. Матвеев – высоко эрудированный ученый с огромным трудолюбием, целеустремленный, организованный. Он отзывчивый и искренний в отношениях с коллегами, всегда готов оказать поддержку и помочь. Коллеги и друзья искренне поздравляют Алексея Васильевича Матвеева с 75-летием и желают ему доброго здоровья, новых творческих достижений в любимом деле, бодрости духа и долголетия.

*Р. Г. Гарецкий, Р. Е. Айзберг, А. К. Карабанов,  
А. В. Кудельский, Л. А. Нечипоренко*

## ***К 80-летию члена-корреспондента Р. Е. Айзберга***



**Роман Ефимович  
Айзберг**

член-корреспондент,  
доктор геолого-минералогических наук,  
профессор, лауреат Государственной премии  
БССР, премии имени академика В. А. Коптюга  
Сибирского отделения РАН и НАН Беларусь,  
главный научный сотрудник  
Института природопользования  
НАН Беларусь

**С юбилеем Вас!**

16 июня 2013 г. исполняется 80 лет Роману  
Ефимовичу Айзбергу.

Роман Ефимович родился в г. Артемовске Донецкой области (Украина). В 1951 г., окончив среднюю школу с золотой медалью, Р. Е. Айзберг поступил в Новочеркасский политехнический институт на геологоразведочный факультет. Этот институт, основанный в начале XX в., был самым крупным ВУЗом юга России с первоклассным уровнем подготовки горных инженеров-геологов.

После окончания института судьба связала Романа Ефимовича с Туркменистаном, где он состоялся как профессиональный геолог и учений. Первые годы работы в Туркменистане (1957–1959 гг.) были посвящены геологической съемке юго-западных отрогов Гиссарского хребта и сопредельной территории Туранской плиты.

Позднее (1959–1964 гг.) Роман Ефимович занимался анализом и обобщением геолого-геофизических материалов опорных, параметрических и картировочных скважин, грави- и сейсморазведки. Результаты исследований приобрели в то время особое научное и практическое значение для поисков газовых и нефтегазовых месторождений в Восточном Туркменистане.

Другим направлением работ Романа Ефимовича стали исследования по региональной тектонике мегантиклинали юго-западного Гиссара и юго-восточной части Туранской плиты, которые явились основой для оценки перспектив нефтегазоносности этого обширного региона. С середины шестидесятых годов здесь были открыты крупные и уникальные газовые и нефтегазовые месторождения.

В 1963 г. Р. Е. Айзберг успешно защитил в ИГиРГИ (Москва) кандидатскую диссертацию, посвященную геологическому строению и перспективам нефтегазоносности юго-восточного Туркменистана.

В 1965 г. после открытия первого в Беларуси Речицкого нефтяного месторождения Р. Е. Айзберг приехал в Беларусь и стал работать старшим научным сотрудником в БелНИГРИ. Так начался белорусский этап его профессиональной деятельности, связанный с изучением тектоники, региональной и нефтяной геологии территории Беларуси и сопредельных регионов Восточно-Европейской платформы.

Р. Е. Айзберг совместно с З. А. Гореликом, А. М. Синичкой и В. Н. Макаревичем во второй половине шестидесятых годов разработали новый подход в изучении тектоники Припятского прогиба, основанный на представлениях о блоковом строении этой структуры. В 1968 г. они опубликовали монографию «Современная структура и история тектонического развития Припятской впадины». Тектоническая схема Припятского прогиба Р. Е. Айзберга, З. А. Горелика, А. М. Синички, В. Н. Макаревича явилась базой для нефтегеологического районирования Припятского прогиба, была положена в основу проектирования нефтепоисковых работ и до сих пор не утратила актуальности.

В 1969–1970 гг. Р. Е. Айзберг совместно с А. С. Махначом опубликовал принципиально важные статьи по проблемам формационного анализа платформенного чехла территории Беларусь. В работах впервые предложено формационное расчленение чехла запада Восточно-Европейской платформы. Впоследствии Р. Е. Айзберг обосновал формационную модель чехла запада Восточно-Европейской платформы, разработал па-

леотектонические модели основных этапов эволюции региона на формационной основе, показал особенности формационного состава дополнительных и плитных комплексов чехла, предложил новые методы составления структурно-формационных карт, отражающих палеотектонические и седиментационные обстановки накопления формационных комплексов к определенным хронологическим рубежам.

В 1971 г. Р. Е. Айзберг совместно с Р. Г. Гарецким и А. М. Синичкой опубликовал статью «Сарматско-Туранский линеамент земной коры», в которой развиты идеи А. П. Карпинского о протяженной системе структур Большого Донбасса, простирающихся до Свентокшишских гор южной Польши. Авторами показано, что линия Карпинского представляет собой трансплатформенную систему разновозрастных структур преимущественно рифтового генезиса, контролируемых глубинными разломами и пересекающую на протяжении более 3000 км Восточно-Европейскую платформу, Туранскую плиту и эпиплатформенный ороген Тянь-Шаня. Впоследствии понятие «Сарматско-Туранский линеамент» стало широко использоваться при региональных тектонических обобщениях.

В 1972–1974 гг. коллектив геологов – ученых и производственников – создал Тектоническую карту Беларуси и смежных территорий масштаба 1:500 000 (главный редактор – Р. Г. Гарецкий, зам. главного редактора – Р. Е. Айзберг). В работе обобщен огромный объем геолого-геофизического материала, который накопили геологи Беларуси, Прибалтийских республик и западных областей России.

В 1978 г. Р. Е. Айзберг вместе с группой ученых и геологов-практиков за создание Тектонической карты Белоруссии и монографии «Тектоника Белоруссии» удостоен Государственной премии БССР. В том же году в Московском государственном университете он защитил докторскую диссертацию «Структуры и формации чехла запада Русской плиты и их эволюция».

В 1980–1984 гг. Р. Е. Айзберг работал в составе группы советских геологов в Центральном геологическом институте Министерства геологии ГДР (г. Берлин). После возвращения из Германии он продолжал работать заведующим сектором БелНИГРИ, а в 1990 г. перешел на работу в Академию наук БССР, став главным научным сотрудником Института геологических наук.

В 1989 г. Высшей аттестационной комиссией СССР Р. Е. Айзбергу присвоено ученое звание профессора по специальности «геотектоника».

Со второй половины восьмидесятых годов ведущим направлением в научных исследованиях Р. Е. Айзберга становится изучение проблем геодинамики запада Восточно-Европейской платформы. Р. Е. Айзберг разработал новую геодинамическую модель развития Припятского па-

леорифта (1986 г.), развил ее в дальнейшем в серии публикаций, подготовленных совместно с Т. А. Старчик, и завершившихся в 2013 г. монографией «Синрифтовая геодинамика Припятского прогиба». В конце восьмидесятых годов он опубликовал работы, посвященные палеогеодинамике позднего протерозоя и фанерозоя территории Беларуси и сопредельных регионов, развил теоретические представления о листрической делимости земной коры платформ.

Со второй половины девяностых годов заметное место в исследованиях Р. Е. Айзберга занимают проблемы сейсмотектоники и неогеодинамики. Вместе с коллегами он опубликовал ряд статей, посвященных сейсмотектоническому и неотектоническому районированию запада Восточно-Европейской платформы и Центральной Европы, обоснованию выделения зон возможных очагов землетрясений. Результаты целеустремленных исследований Р. Е. Айзберга по проблемам тектоники и геодинамики западной части Восточно-Европейской платформы изложены в ряде коллективных монографий, в том числе вышедшей под его редакцией фундаментальной монографии «Разломы земной коры Беларуси».

Важнейшая часть научных исследований Р. Е. Айзберга в Беларуси связана с изучением проблем нефтегазоносности. Разработанные при его ведущем участии карты нефтегеологического районирования Припятского палеорифтового бассейна (1968, 1972, 1988), карта нефтегеологического районирования Беларуси (1999) явились основой планирования нефтепоисковых работ в стране. Вместе с коллегами Р. Е. Айзберг разрабатывал различные аспекты тектонических и геофлюидодинамических критериев нефтегазообразования и нефтегазонакопления в Припятском прогибе, разнотипных бассейнах Восточно-Европейской платформы. Он является одним из ведущих авторов фундаментальных монографий, посвященных проблемам нефтегазоносности Беларуси и запада Восточно-Европейской платформы.

Р. Е. Айзберг – активный участник исследований по нескольким крупным международным научным проектам: «Евробридж», «Неогеодинамика депрессии Балтийского моря и сопредельных областей» (проект 346 Международной программы геологической корреляции), «Нефтегазоносность верхнепротерозойских и палеозойских комплексов Беларуси и Сибири» и др.

Научным итогом этих работ, помимо многочисленных статей, явились новая модель строения литосферы территории Беларуси, новая неотектоническая карта Центральной Европы (составлена совместно с Р. Г. Гарецким, Э. А. Левковым, А. К. Карабановым, В. П. Палиенко и геологами Германии, Польши, России, Дании и Литвы), оценка генетических связей не-

отектонических структур с глубинным строением региона, выявление условий нефтегазообразования и нефтегазонакопления в разнотипных платформенных структурах.

Р. Е. Айзберг вместе с группой белорусских и сибирских ученых в 2004 г. удостоен премии имени академика В. А. Коптюга Сибирского отделения РАН и НАН Беларуси за цикл совместных работ «Верхнепротерозойские и палеозойские комплексы Беларуси: геология, нефтегазоносность, освоение ресурсов углеводородов».

Р. Е. Айзберг уделяет большое внимание разработке карт геологического содержания. Его представления о тектонике и нефтегазоносности изученных регионов отражены в содержании многих опубликованных карт: Геологическая карта Туркмении (1962), Тектоническая карта юга СССР (1974); Тектоническая карта Беларуси (1976), Международная тектоническая карта Европы (1981), комплекс структурных и изопахических карт чехла Восточно-Европейской платформы (1973–1986 гг.); карты разломов территории СССР и сопредельных стран (1980); Геодинамическая карта СССР (1990), карты геологического

содержания в Национальном атласе Беларуси (2002), карты структурного районирования Припятского прогиба для решения задач эффективного освоения ресурсов углеводородов (2011) и многих других.

Р. Е. Айзберг – автор и соавтор более 400 опубликованных научных работ, в том числе 26 монографий. Разработал курсы лекций «Геология нефти и газа» и «Учение о геологических формациях», которые читал студентам-геологам Белорусского государственного университета. Под его руководством защищены 1 докторская и 8 кандидатских диссертаций.

Научные заслуги Р. Е. Айзберга отмечены избранием его членом-корреспондентом Национальной академии наук Беларуси (2000 г.).

Увлеченность геологией, большая культура, энциклопедичные знания, доброжелательность, готовность прийти на помощь привлекают многих людей к Р. Е. Айзбергу – одному из лидеров геологической науки Беларуси, пользующемуся широкой известностью и огромным авторитетом как в нашей стране, так и далеко за ее пределами.

***Р. Г. Гарецкий, А. В. Матвеев,  
А. К. Карабанов, А. В. Кудельский***

## ЮБИЛЕЙНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ»

21–23 ноября 2012 г. в Минске на базе Института природопользования НАН Беларусь состоялась Международная научная конференция «Проблемы природопользования: итоги и перспективы», посвященная 80-летию Института природопользования. В работе конференции приняли участие более 90 научных работников из Беларуси, России, Украины и Литвы.

Работа конференции началась с торжественного заседания, посвященного 80-летию Института природопользования НАН Беларусь. С приветствиями к участникам конференции обратились Заместитель Председателя Президиума НАН Беларусь член-корреспондент А. В. Сукало

и Заместитель Министра природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь Г. В. Волчуга. Александр Владимирович поздравил коллектив института с Юбилеем, отметил значительный его вклад в изучение торфа и сапропеля и методов его переработки, в развитие наук о Земле, пожелал успешной работы участникам конференции. Галина Владимировна также поздравила коллектив института с Юбилеем, отметила важную роль института в координации и проведении фундаментальных и прикладных исследований по проблемам природопользования в Беларуси.



**Президиум торжественного заседания.**

**Слева-направо:** Заместитель Председателя Президиума НАН Беларусь член-корреспондент А. В. Сукало; академик И. И. Лиштван, директор Института природопользования НАН Беларусь член-корреспондент А. К. Карабанов, академик В. Ф. Логинов, Заместитель Министра природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь Г. В. Волчуга, начальник управления кадров и кадровой политики Президиума НАН Беларусь Н. Н. Александрова



**В зале заседания**

С докладом об основных направлениях и важнейших результатах научно-исследовательской деятельности Института природопользования НАН Беларуси за последнее десятилетие выступил директор института член-корреспондент А. К. Карабанов. Докладчик детально охарактеризовал эколого-географическое, геолого-динамическое и экотехнологическое направления деятельности института, научные школы, развивающиеся в рамках данных направлений и возглавляемые выдающимися учеными академиками И. И. Лиштваном, Н. Н. Бамбаловым, В.Ф. Логиновым, Р. Г. Гарецким, А. В. Матвеевым, привел важнейшие научные результаты в области фундаментальных и прикладных исследований.

Академик И. И. Лиштван, продолжительное время возглавлявший институт в бытность его Институтом торфа и Институтом проблем использования природных ресурсов и экологии, в своем докладе изложил историю института, направления и результаты исследований в различные этапы его развития. Особое внимание Иван Иванович уделил истории развития исследований торфа и сапропеля, ученым, внесшим значительный вклад в науку о торфе, сопровождая при этом доклад слайд-фильмом с обилием исторических фотографий и документов.



**Академик И. И. Лиштван  
(Институт природопользования НАН Беларусь)**

С приветственными речами и поздравлениями по случаю 80-летия института выступили представители министерств, отделений НАН Беларусь, ВУЗов, академических, научно-исследовательских и проектных институтов, промышленных предприятий, с которыми институт тесно сотрудничает на протяжении длительного времени.

Научная программа конференции началась с пленарного заседания. Заслушано 6 пленарных докладов, посвященных различным аспектам природопользования.



**Директор Института природопользования  
НАН Беларусь член-корреспондент  
А. К. Карабанов принимает поздравления  
с 80-летием Института от Заместителя Министра  
природных ресурсов и охраны окружающей  
среды Республики Беларусь Г. В. Волчуги**

В докладе академика НАН Украины Л. Г. Руденко (Институт географии НАН Украины, г. Киев) «Ноосферный этап развития цивилизации – желаемое и реальность», акцентировано внимание на идеях В. И. Вернадского относительно формирования нового состояния биосфера, существенное влияние на которое оказывает деятельность человека. Рассмотрены негативные последствия взаимодействия общества и природы, которые вызвали ухудшение условий жизни на Земле. Обращено внимание на необходимость проведения экономической политики в разных государствах в соответствии с теорией биотической регуляции и стабилизации природной среды.

История ландшафтного планирования в России и особенности российской методики планирования рассмотрены в докладе д.г.н. Ю. М. Семенова (Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск) «Ландшафтное планирование как инструмент оптимизации природопользования». В докладе особое внимание удалено применению инструментария ландшафтного планирования в решении проблем землеустройства, функционального и водохозяйственного зонирования, создания ООПТ, градостроительного проектирования, экологической экспертизы, оценки воздействия создаваемых хозяйственных

объектов на окружающую среду и адаптации территориального развития к глобальным изменениям природной среды. Показано, как опыт планирования в Прибайкалье использован в других регионах Российской Федерации и странах СНГ.



**Директор Института географии  
НАН Украины академик Л. Г. Руденко**



**Заместитель директора Института географии  
им. В. Б. Сочавы СО РАН (г. Иркутск),  
д-р. геогр. наук, профессор Ю. М. Семенов**

Возможность оценки эффективности гравитационного обезвоживания навала торфяного сырья без учета испарения влаги с его поверхности в зависимости от высоты, критической толщины, интенсивности потока и количества влаги в слое после осадки, представлена в докладе к.т.н. Э. А. Кремчева (Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург) в соавторстве с д.т.н. А. Е. Афанасьевым (Тверской государственный технический университет) «Теоретические подходы к оценке гравитационной составляющей в процессе обезвоживания торфяной залежи нарушенной структуры».

Д.т.н. Г. В. Наумова (Институт природопользования НАН Беларусь) в докладе «Торф –

уникальный источник биологически активных веществ» рассмотрела методы окислительно-гидролитической деструкции торфа, бурых углей, сапропелей, отходов растительного сырья и разработанные на их основе технологии производства регуляторов роста растений, кормовых добавок для животноводства, консерванта влажного зерна.



**Д-р технических наук Г. В. Наумова  
(Институт природопользования НАН Беларусь)**

В докладе академика Н. Н. Бамбалова, к.т.н. В. В. Смирновой и к.т.н В. В. Марыгановой (Институт природопользования НАН Беларусь) «Влияние условий экстракции на выход гуминовых веществ из торфа» представлена сравнительная оценка выхода гуминовых веществ из низинного и верхового торфа при различных условиях экстракции 2 %-ным водным раствором аммиака. Показано, что наибольший выход гуминовых веществ из торфа со степенью разложения 35 % и выше имеет место при температуре экстракции 96–98 °С.



**Академик Н. Н. Бамбалов  
(Институт природопользования НАН Беларусь)**

Результаты изучения стойких органических загрязнителей в Институте природопользования НАН Беларуси рассматривались в докладе Т. И. Кухарчик и С. В. Какарека «Источники поступления стойких органических загрязнителей в окружающую среду: опыт выявления и изучения». Представлены достижения в области изучения источников непреднамеренных выбросов диоксинов/фуранов, ПХБ, ГХБ, ПАУ, выявления и оценки запасов ПХБ, изучения загрязнения почв в местах использования и хранения ПХБ-содержащего оборудования.

Согласно программе конференции, второй день работы включал заседания секций по трем направлениям: экотехнологическому, геоэкологическому и геологическому.

В ходе работы секции «Генезис, структурообразование и переработка твердых горючих ископаемых (торфа, бурых углей, горючих сланцев, сапропеля). Технологии получения новых продуктов и материалов энергетического, сельскохозяйственного и природоохранного назначения» были представлены 13 устных докладов и 3 стеновых.

В докладе Э. Бакшене (Вокеский филиал центра аграрных и лесных наук Литвы, г. Вильнюс), А. Бурба и Д. Даугвилене (Общественный институт экологии, г. Вильнюс, Литва) рассмотрены вопросы использования сапропеля в качестве органического удобрения для улучшения свойств малоплодородных почв. Показано, что спустя 12, 18 и 24 года карбонатный сапропель оказывает длительное положительное влияние на агрохимические свойства почвы и продуктивность растений.

К.т.н. С. Б. Селянина (Институт экологических проблем Севера УрО РАН, г. Архангельск) с соавторами, посвятила свой доклад ресурсному потенциалу торфа, сформированного в условиях Субарктики. Продемонстрировано влияние глубины залегания на групповой состав и свойства групповых компонентов, определяющие наиболее перспективные направления использования торфа.

Особенности распределения углеводородов и кислородоганических соединений в верховых торфах юга Западной Сибири рассмотрены в докладе д.х.н. О. В. Серебренниковой с соавторами (Институт химии нефти СО РАН, г. Томск). Отмечено, что верховые торфа юга Западной Сибири существенно различаются по содержанию битуминозных компонентов, соотношению содержания углеводородов и кислородоганических соединений, составом и количественным содержанием их отдельных представителей.

Результаты исследования направленного изменения свойств сорбентов на основе биополимеров ароматической природы путем модификации их поверхности комплексообразующими реагентами представлены в докладе к.х.н. Н. С. Ларионова с соавторами (Институт экологических проблем Севера Уральского отделения

РАН; Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, г. Архангельск).

Вопросы современного этапа развития бототоведения в Беларуси рассмотрены в докладе к.т.н. В. А. Раковича, к.т.н. Н. И. Тановицкой и к.т.н. В. В. Смирновой.

Д.т.н. Б. В. Курзо, совместно с к.т.н. О. М. Гайдукевичем представили доклад о геохимии сапропелевых отложений, экологических проблемах и экономических показателях при освоении месторождений сапропеля. Авторами предложены критерии оценки степени эвтрофирования и техногенного загрязнения лимнических систем по донным отложениям как объектам контроля. Показано, что освоение сапропелевого месторождения в соответствии с разработанными природоохранными правилами способствует заметному улучшению экологической ситуации в водоеме.

Ряд докладов посвящен созданию новых эффективных средств мелиорирующего действия на основе переработки как природных органических и органоминеральных материалов, так и вторичного сырья. Прогресс и новые подходы в технологиях приготовления и использования органических удобрительно-мелиорирующих материалов и питательных сред представлены в докладе к.с.-х.н. Г. А. Соколова (в соавторстве с к.с.-х.н. О. Г. Красноберской, И. В. Симакиной и Л. Ю. Цвирко). Исследования, приведенные в докладе С. И. Коврик совместно с академиком Н. Н. Бамбаловым, посвящены условиям получения нерастворимых и растворимых медь-цинк-гуминовых соединений.

Сотрудники Центрального ботанического сада НАН Беларуси к.б.н. А. П. Яковлев и чл.-корр. Ж. А. Рупасова совместно с академиком И. И. Лиштваном (Институт природопользования НАН Беларуси) представили результаты исследования влияния макро- и микроудобрений на развитие вегетативной и генеративной сферы растений *V. uliginosum* в опытной культуре на участке торфяной выработки на севере Беларуси.

Ряд докладов по физико-химии бурых углей был представлен молодыми учеными Института природопользования НАН Беларуси. Влияние балластной части и обработка ультразвуком на солестойкость углещелочных суспензий, полученных из углей Житковичского месторождения Беларуси рассмотрены в докладе В.Н. Алениковой. Результаты исследований физико-химический свойств фракций гуминовых веществ бурого угля представлены Н. С. Першай.

В докладе Т. И. Макаренко (соавторы: д.т.н. А. П. Гаврильчик, к.т.н. Л. С. Лис, к.т.н. В. Б. Кунцевич, А. В. Осипов) обоснованы новые задачи по использованию торфяных ресурсов в ближайшем будущем; оценены запасы торфа в связи с выбором новых сырьевых баз для строительства брикетных заводов и обеспечения торфяным топливом планируемых мини-ТЭЦ, электростанций высокой мощности и новых инноваций.

ционных производств по глубокой переработке торфа.

В докладе Д. А. Стрижакова, В. И. Корбута, академика В. Е. Агабекова и А. П. Солнцева (Институт химии новых материалов НАН Беларуси) показана возможность переработки сосновых опилок до ценных химических компонентов, в том числе топливных, в процессе их совместного гидрокрекинга с тяжелым нефтяным остатком (гудроном).

**Секция «Геоэкологические исследования проблем природопользования. Природно-ресурсный потенциал и устойчивое развитие территорий»** включала широкий спектр рассматриваемых вопросов. В ходе работы секции и заслушаны доклады, посвященные вопросам устойчивого развития, оценке антропогенной трансформации современных ландшафтов, ландшафтному планированию, различным аспектам природопользования. Всего сделано 15 устных и 7 стендовых докладов.

На примере Украины и ее регионов д.г.н. С. А. Лисовским совместно с к.г.н. Е. А. Маруняк (Институт географии НАН Украины) рассмотрен процесс глобализации как фактор влияния на возможности устойчивого развития стран и регионов.

Академик Л. Г. Руденко и к.г.н. Е. А. Маруняк (Институт географии НАН Украины) посвятили доклад возможным путям перехода Украины и ее регионов к устойчивому развитию, а также рассмотрели законодательные предпосылки международного и национального уровня в этой сфере. Особое внимание уделено аспектам устойчивого пространственного развития. При этом рассмотрены возможности применения ландшафтного планирования для решения проблем в области устойчивого развития. Представлен опыт работ по ландшафтному планированию, осуществленных впервые в Украине (на территории Черкасской области), а также основные результаты и рекомендации по направлениям внедрения этого инструмента в Украине.

Результаты комплексных географических исследований, выполняемых специалистами Беларуси и Украины в рамках совместного научного проекта «Ландшафтно-планировочная организация трансграничного региона», представлены в докладе к.г.н. Л. Ю. Сорокиной (соавторы: В. П. Палиенко, В. С. Давыдчук – Институт географии НАН Украины, М. И. Струк, В. С. Хомич, Л. А. Кравчук, Е. В. Санец, В. А. Рыжиков – Институт природопользования НАН Беларуси). Исследования направлены на анализ ландшафтных условий природопользования в Белорусском и Украинском Полесье, выявление основных проблем и обоснование оптимизации структуры природопользования в регионе. В докладе представлены особенности природопользования в каждой из стран, формирующиеся при этом антропогенные нагрузки на ландшафты и трансграничные геоэкологические проблемы.

Обозначены основные направления развития природопользования в трансграничном регионе.

Д.г.н. Ю. М. Семеновым (Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, г.Иркутск) представлен доклад о распределении химических элементов в почвах территории Ковыктинского газоконденсатного месторождения.

Классификация и закономерности распространения современных ландшафтов Белорусского Полесья представлены сотрудниками Белорусского государственного университета к.г.н. И. И. Счастной, д.г.н. Г. И. Марцинкевич и А. А. Звозниковым.

В докладе д.г.н. А. Н. Витченко (БГУ, г. Минск) изложены вопросы геоэкологической оценки комфорtnости климата областных городов Беларуси. Моделирование состояния атмосферного воздуха над территорией Беларуси представлено в докладе к.ф.-м.н. Н. С. Метельской, д.ф.-м.н. В.П. Кабашникова, к.ф.-м.н. А. П. Чайковского (Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, г. Минск), Б. Б. Козерук (Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга окружающей среды, г. Минск).

В докладе д.г.н. А. А. Волчека и Д. Н. Дащекевича (Брестский государственный технический университет) приведены результаты анализа изменения гидроэнергетического потенциала рек Беларуси в условиях современного изменения климата. Даны прогнозная оценка изменения гидроэнергетического потенциала рек Беларуси на период до 2020 г.

Результаты туристско-рекреационного зонирования 16 малых рек Витебской области по возможности использования их природного потенциала изложены в докладе к.г.н. Н. С. Шевцовой (Республиканский гидрометеорологический центр, г. Минск).

Разработка геоинформационной системы обеспечения мониторинга подземных вод Гомельского химического завода посвящен доклад к.г.н. О. В. Шершнева и Т. Г. Флерко (Гомельский государственный университет).

В докладе д.с.-х.н. Т. В. Кулаковской (БГЭУ, г. Минск), подготовленном в соавторстве с Т. Миссельбруком и М. Вилкинсоном (Великобритания), рассмотрены теоретические и практические вопросы комплексного использования биоэнергетических культур на сельскохозяйственных землях.

Важным вопросом, обсуждаемым на конференции, был вопрос устойчивого развития городских территорий. В докладе к.г.н. Л. А. Кравчук (Институт природопользования НАН Беларуси) представлен опыт исследований территорий ландшафтно-рекреационного комплекса в городах Беларуси.

Анализ трансформации лесов на территории Беларуси посвящен доклад к.б.н. М. Л. Романовой с соавторами (Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси, г. Минск).

Идентификация биоцентров флоры в Белорусском Полесье и оптимизация региональной системы особо охраняемых природных территорий рассмотрены в докладе Н. В. Михальчука (Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест).

Обзор степени изученности и состояния биологических ресурсов в районе деятельности Белорусской антарктической экспедиции (Восточная Антарктида), как пример возобновляемых природных ресурсов, представлен в совместном докладе к.б.н. Ю. Г. Гигиняка (НПЦ НАН Беларусь по биоресурсам), к.б.н. О. И. Бородина и В. Е. Мямина (БГУ).

В работе секции «Комплексное изучение строения земной коры и мантии (текtonика, геодинамика, региональная геология, стратиграфия и гидрогеология) для поиска полезных ископаемых и рационального использования недр» приняли участие специалисты из различных научных организаций Беларуси, России и Украины. Всего на секции сделано 10 устных докладов и 3 стеновых.

Доклады, представленные на секции, посвящены методам поиска и прогнозирования запасов полезных ископаемых, интенсивности накопления углерода в торфяных месторождениях и этапах осадконакопления в постгляциальное время; в ряде докладов представлен анализ антропогенной эволюции геосистем и районирование территорий по проявлению экзогенных процессов, показано значение компьютерного моделирования процессов переноса и преобразования состояния почв, грунтов и горных пород, а так же морфометрических показателей рельефа.

Секция начала свою работу с доклада об интеграции белорусских специалистов в международное геологическое сообщество. Авторы доклада Г. П. Андрющук, Р. П. Янюк (РУП «Белгосгеоцентр»), Д. В. Барбиков (ОАО «Беларуськалий»), к.г.-м.н. А. М. Гречко и к.г.-м.н. В. Э. Кутырло (ОАО «Белгорхимпром», г. Минск) обратили внимание на то, что белорусские геологи в настоящее время изучают недра не только своей страны, но и активно проводят работы за рубежом – в России, Туркменистане, Иране, Венесуэле и др. В связи с этим особо остро проявилась необходимость соответствия проводимых работ международным стандартам.

В докладе академика А. В. Матвеева и к.г.н. В. П. Зерницкой основное внимание обращено на временные диапазоны формирования различных генетических типов отложений в течение позднеледниково-голоценового времени и общие закономерности их залегания и распространения на территории Беларуси.

Интенсивность накопления углерода в торфяном месторождении Освейское по периодам голоцена представлена в докладе к.т.н. В. А. Раковича и к.г.н. В. П. Зерницкой.

Ряд докладов посвящен вопросам компьютерного моделирования и методическим принципам формирования баз данных в геологии. Так, вопросы компьютерного моделирования процессов переноса, преобразования структуры и напряженно-деформированного состояния почв, грунтов и горных пород рассмотрены в докладе д.т.н. Г. П. Бровки, К. А. Агутина, И. Н. Дорожок, К. В. Пяткевича. Методические принципы формирования базы данных по теплофизическим и прочностно-деформационным характеристикам горных пород для обоснования способов проходки шахтных стволов с использованием искусственного замораживания представлены А. Г. Бровкой, И. И. Романенко и К. В. Пяткевичем (Институт природопользования НАН Беларусь). Особенности компьютерного моделирования морфометрических показателей рельефа Беларусь представлены в докладе к.г.н. Д.М. Курловича (БГУ, г. Минск).

Результаты изучения инженерно-геологических процессов на территории г. Гомеля представлены в докладе к.г.н. А. И. Павловского, Т. А. Мележ и А. А. Мележа (Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины).

Сотрудниками ОАО «Белгорхимпром» (г. Минск) к.г.-м.н. В. П. Самодуровым, к.г.-м.н. А. М. Гречко, к.г.-м.н. В. В. Савченко и к.г.-м.н. В. Э. Кутырло представлен новый методический подход к выделению лиофаций калиевоносных галогенных формаций.

В докладе В. М. Макеева (Институт геологии РАН, г. Москва) с соавторами представлены результаты детальных исследований по новейшей геотектонике Нижнеокского района (Русская плита).

Конференция «Проблемы природопользования: итоги и перспективы» позволила обобщить накопленный в Беларусь и соседних странах опыт в области изучения и решения проблем природопользования и наметить приоритетные направления международного сотрудничества по обсуждаемым проблемам.

Материалы выступлений и докладов опубликованы в следующих изданиях:

Проблемы природопользования: итоги и перспективы: материалы Междунар. научн. конф., г. Минск, 21–23 окт. 2012 г. / Нац. акад. наук Беларусь [и др.]; редкол.: А. К. Карабанов (отв. ред.) [и др.]. – Минск: Минсктиппроект, 2012. – 333 с.

Природопользование. Сб. научн. тр. Вып. 22 / Гл. ред. А. К. Карабанов. – Минск: Минсктиппроект, 2012. – 270 с.

**В. С. Хомич, Н. К. Быкова,  
А. Э. Томсон, С. А. Гапеева, В. П. Зерницкая**

Научное издание  
**ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**

Сборник научных трудов  
Выпуск 23

Редактор *Н. Т. Гавриленко*  
Компьютерная верстка *Н. В. Данькова, Т. Н. Козловская*  
Переводчик *Г. А. Зайчиков*

---

Подписано в печать 20.06.2013. Формат 60x90/8. Бумага офсетная.  
Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. 28,13. Уч.-изд. л. 21,35.  
Тираж 120 экз. Заказ № 1457.

Издатель и полиграфическое исполнение РУП «Минсктиппроект».  
ЛИ № 02330/0549410 от 08.04.2009.  
ЛП № 02330/0494102 от 11.03.2009.  
Ул В. Хоружей, 13/61, 220123, г. Минск.