

# Природо- пользование

ВЫПУСК 19



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ»

# Природо- пользование

Сборник научных трудов

Основан в 1996 г.

Выпуск 19



МИНСК

Издатель А. Н. Вараксин

2011

## С О Д Е Р Ж А Н И Е

### I. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

<b>Логинов В. Ф., Волчек А. А., Шпока И. Н.</b>	Сравнение пространственно-временных особенностей изменений опасных метеорологических явлений в ха- рактерное и не характерное для них время года . . . . .	5
<b>Какарека С. В., Круковская О. Ю.</b>	Оценка потенциала снижения выбросов твердых частиц . . . . .	22
<b>Какарека С. В., Ашурко Ю. Г.</b>	Особенности поступления формальдегида в атмосфер- ный воздух при производстве и использовании продук- ции деревообработки . . . . .	31
<b>Кадацкая О. В., Санец Е. В., Овчарова Е. П., Пеньковская А. М., Петлицкий Е. Е.</b>	Современное состояние и использование ресурсов поверхностных вод Припятского Полесья . . . . .	37
<b>Лис Л. С., Козловская Т. Н.</b>	Анализ изменения физико-химических показателей водной массы озера Береще при добыче сапропеля . . . . .	48
<b>Матвеев А. В.</b>	О структуре научных исследований по обеспечению рационального использования покровных отложений . . .	54
<b>Курзо Б. В., Гайдукевич О. М., Кляуззе И. В.</b>	Районирование территории Беларуси по вещественно- генетическим типам озерного осадконакопления . . . . .	61
<b>Матвеев А. В.</b>	Сыревая база строительных песков на территории Гродненской области . . . . .	69
<b>Гаврильчик А. П., Мультан С. Т., Макаренко Т. И., Осипов А. В.</b>	Торфяной фонд Республики Беларусь и проблемы его рационального использования . . . . .	75
<b>Ракович В. А.</b>	Аккумуляция углерода естественными болотными эко- системами в зависимости от произрастающей на них растительности . . . . .	82
<b>Бамбалов Н. Н., Смирнова В. В., Решетник А. С., Милевич М. С.</b>	Баланс органического вещества и азота в торфянной почве, используемой в условиях черной и песчано- смешанной культуры . . . . .	91
<b>Струк М. И., Живнач С. Г.</b>	Географические подходы к выделению внешних эколо- гических границ города . . . . .	96
<b>Гусев А. П., Андрушко С. В.</b>	Ландшафтно-экологический анализ антропогенной эво- люции геосистем локального уровня (на примере изме- нений поймы в черте г. Гомеля в XIX–XXI вв.) . . . . .	103
<b>Кухарчик Т. И., Козыренко М. И.</b>	Научно-методические подходы к оценке экологического риска в связи с загрязнением почв ПХБ. Опыт примене- ния в Беларуси . . . . .	108
<b>Унукович А. В., Аношко Я. И.</b>	Торфяно-болотные угодья природоохранного назначе- ния и их экономическая ценность . . . . .	117
<b>Заіка Ю. У.</b>	Аб палеанталагічных калекцыях у Беларусі – гісторыя стварэння, сучасны стан . . . . .	124

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

<b>Бровка Г. П., Романенко И. И.</b>	Установка и методика исследования реологических свойств высоковязкой нефти при повышенном давлении . . . . .	131
<b>Цыганов А. Р., Самсонова А. С., Алещенкова З. М., Томсон А. Э., Сосновская Н. Е., Соколова Т. В., Пехтерева В. С.</b>	Закономерности деградации нефти в торфогенном слое . . . . .	140
<b>Кашинская Т. Я., Гаврильчик А. П., Агейчик И. В.</b>	К вопросу о выборе экологосовместимых технологий освоения торфяных месторождений . . . . .	144
<b>Лиштван И. И., Абрамец А. М., Янута Ю. Г., Монич Г. С., Глухова Н. С., Алейникова В. Н.</b>	Гуминовые препараты как экологобезопасные продукты для охраны окружающей среды . . . . .	151
<b>Макарова Н. Л., Наумова Г. В., Жмакова Н. А., Овчинникова Т. Ф., Соболев А. Ю., Забара Ю. М., Якимович А. В.</b>	Эффективность применения препарата Мальтамин в гибридном семеноводстве капусты белокочанной . . . . .	159
<b>Томсон А. Э., Наумова Г. В., Шурхай С. Ф., Жмакова Н. А., Макарова Н. Л., Овчинникова Т. Ф.</b>	Антиоксидантная активность препаратов из торфа и растительного сырья . . . . .	165
<b>Хрипович А. А., Сосновская Н. Е., Гончарова И. А., Соколова Т. В., Томсон А. Э., Пехтерева В. С., Серова О. О., Мицкевич А. Г.</b>	Влияние модификации торфа поверхностно-активными веществами и биоцидами на фунгитоксичные свойства композиционных материалов . . . . .	170
<b>Смычник Т. П., Бамбалов Н. Н.</b>	Влияние соединений железа на окислительную деструкцию торфа пероксидом водорода . . . . .	176
<b>Марыганова В. В., Бамбалов Н. Н., Шайдак Л. В.</b>	Изменения фракционно-группового состава гуминовых веществ и содержания индолил-3-уксусной кислоты с глубиной залегания торфа . . . . .	180
<b>Бровка А. Г., Лиштван И. И.</b>	Влияние горного давления на коэффициент теплопроводности и фазовый состав воды в горных породах при отрицательных температурах . . . . .	187
<b>Царюк Т. Я., Фалюшина И. П., Шапорева Л. Д., Стригуцкий В. П., Дребенкова И. В.</b>	Композиционный загуститель для консервационных углеводородных смазок . . . . .	196

### **Краткие сообщения**

<b>Фалюшин П. Л.</b>	О механизме распространения очага горения в торфе . . . . .	204
----------------------	---	-----

### **Аналитические обзоры**

<b>Логинов В. Ф., Камышенко Г. А.</b>	Основные результаты выполнения государственной программы ориентированных фундаментальных исследований «Природопользование», 2006–2010 гг. . . . .	207
---------------------------------------	---	-----

### **Хроника**

<b>Лиштван И. И.</b>	Проблемы и перспективы использования торфяных ресурсов в энергетике России . . . . .	217
----------------------	--	-----

УДК 504.(476) (082)

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

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

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

#### РЕДКОЛЛЕГИЯ:

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

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

## I. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 911+551.5(476)

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

### СРАВНЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЙ ОПАСНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ХАРАКТЕРНОЕ И НЕ ХАРАКТЕРНОЕ ДЛЯ НИХ ВРЕМЯ ГОДА

*В работе проведен анализ изменения числа дней с опасными метеорологическими явлениями (ОМЯ) в характерное и в не характерное для них время года. Пространственная изменчивость характеристики ОМЯ Беларуси оценивалась с помощью картирования данных характеристик. Временные ряды количества дней в году с ОМЯ исследовались с помощью стандартных статистических методов (средних значений по метеостанциям, коэффициентов вариации).*

Для опасных метеорологических явлений (ОМЯ) характерен определенный сезонный ход, например дожди ливневые, грозы, шквалы, град наблюдаются, как правило, в теплое время года. Однако иногда ОМЯ отмечаются в не характерные для этих явлений месяцы. Например, грозы в зимний период отмечаются очень редко. Их повторяемость составляет 1–2 дня за 5 лет в январе – феврале и один раз в 10 лет в декабре.

Целью нашей работы является анализ пространственно-временных колебаний ОМЯ на территории Беларуси в современных условиях.

Основными исходными материалами при исследовании пространственно-временной структуры количества ОМЯ Беларуси послужили среднемесячные данные Государственного кадастра по климату Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь Департамента по гидрометеорологии Республиканского гидрометеорологического центра по метеостанциям за период с 1975 по 2008 г.

При исследовании пространственно-временных колебаний количества ОМЯ на территории Беларуси использовались стандартные статистические методы.

Пространственная изменчивость количества ОМЯ оценивалась с помощью картирования.

Для оценки влияния современного потепления на количество дней с ОМЯ исходные данные были разбиты на 2 периода: с 1975 по 1987 г. и с 1988 по 2008 г. Для этих периодов определялись средние значения числа дней в году с ОМЯ и сравнивались их различия с помощью  $t$ -критерия Стьюдента.

Дожди ливневые – осадки, выпадающие из кучево-дождевых облаков [5]. На территории Беларуси они случаются, как правило, в теплое

время года. Иногда могут отмечаться и в холодный период с ноября по февраль.

Пространственное распределение дождей ливневых на территории Беларуси представлено на рис. 1. Как видно из рис. 1, а на наветренной части возвышенностей (Гродненской, Минской, Городокской), а также в западной и центральной частях Полесской низменности количество дней с ливневыми осадками наибольшее. Эти же особенности распространения дождей ливневых характерны и для ноября – февраля. На наветренной части Гродненской возвышенности на западе, северо-западе – в районе Свентянских гряд, на юге – в районе Логишинской равнины и Озаринской низменности, на севере – на территории Городокской возвышенности – дожди ливневые в ноябре – феврале отмечаются чаще, чем в других районах Беларуси (рис. 1, б). Исключение составляет восточная более континентальная и холодная часть территории республики, где в ноябре – феврале дожди ливневые не отмечаются.

Анализ временной изменчивости среднегодового значения числа дней с дождями ливневыми по метеостанциям Беларуси представлен на рис. 2. Из рисунка видно, что увеличивается количество дней с дождями как в течение года, так и в период ноября – февраля. Минимальные значения числа дней с дождями ливневыми отмечаются во второй половине 70-х, 80-х гг. и начале текущего столетия (рис. 2, а). Они совпадают с уменьшением облачности, количества осадков, небольшим понижением температуры в указанные периоды. Среднегодовое число дней с дождями ливневыми возросло с конца 70-х гг. прошлого столетия до настоящего времени на 20–30 %. Подобная ситуация отмечается не только в Беларуси [1, 4].

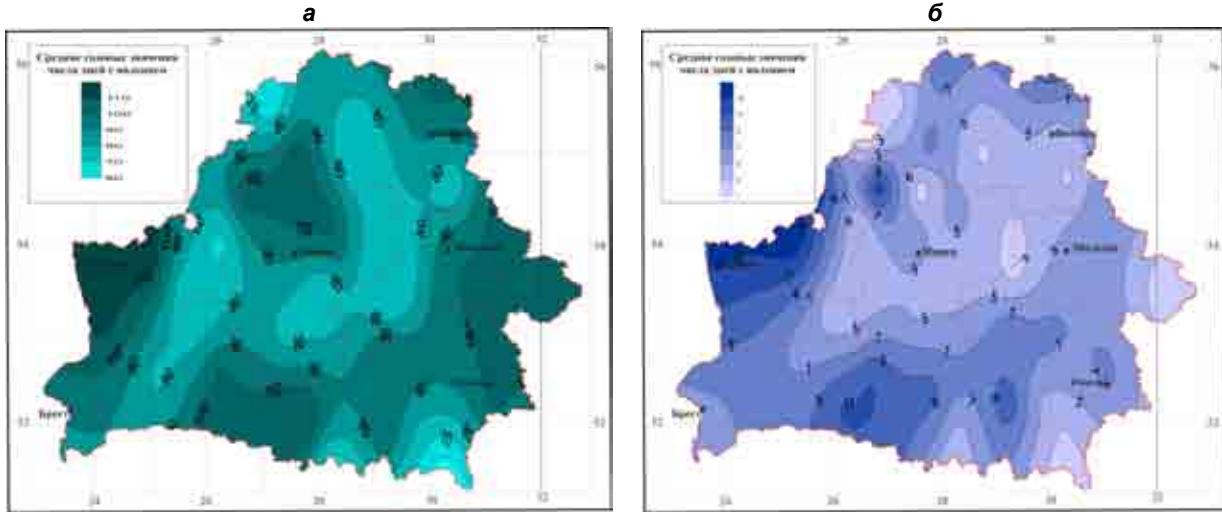


Рис. 1. Число дней с дождями ливневыми на территории Беларуси:  
а – в целом за год; б – за ноябрь – февраль

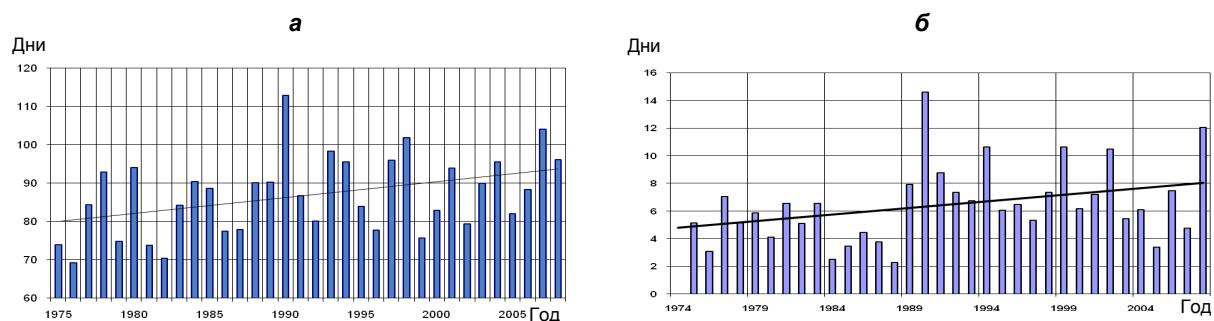


Рис. 2. Количество дней с дождями ливневыми  
на территории Беларуси: а – за год; б – за ноябрь – февраль

Годовой ход числа дней с дождями ливневыми в различные периоды представлен в табл. 1. Среднее количество дней с дождями ливневыми, приходящееся на 1 метеостанцию до 1988 г., как показал анализ, составило 79,5 дня, что статистически значимо различается по сравнению со вторым периодом, где эта величина составила 88,2 дня. Анализ различий числа дней с дождями ливневыми показал, что для большинства метеостанций произошло их существенное увеличение для рассматриваемых периодов (табл. 1). Увеличение количества дней с дождями ливневыми наблюдается практически по всем метеостанциям, особенно значительным оказалось различие числа таких дождей на метеостанциях Новогрудок (75,4 и 105,3), Гродно (84,2 и 110,9), Лида (95,8 и 123,0), Пружаны (72,9 и 108,5), Высокое (100,5 и 119,6 дня соответственно). В тоже время по отдельным метеостанциям (Минск, Сенно, Могилев, Брест, Гомель, Житковичи, Мозырь, Лельчицы) отмечается уменьшение количества дней с дождями ливневыми в среднем на 10 дней или несколько меньше.

Среднее количество дней с дождями ливневыми за ноябрь – февраль в 1975–2008 гг. составляет 6,6 дня. Как показал анализ, в 1975–1987 гг. отмечалось около 4,9 дня с дождями ливневыми, а в период 1988–2008 гг. – 7,6 дня. Практически по всем

станциям зафиксировано увеличение количества дней с такими дождями. Значительное увеличение отмечается на следующих метеостанциях: Езерище (1975–1987 гг. – 8,2 дня, 1988–2008 гг. – 13,5 дня), Вилейка (8,8 и 16,3), Лида (8,3 и 18,6), Гродно (6,8 и 17,6), Ивацевичи (1,3 и 9,3), Жлобин (4,1 и 9,8 дня соответственно). В тоже время по отдельным станциям отмечается уменьшение количества дней с дождями ливневыми (Сенно, Нарочь озерная, Кличев, Брест, Житковичи, Мозырь, Лельчицы).

Увеличение количества дней с дождями ливневыми на западе, в районе Лидской равнины, и на юге, в районе Припятского Полесья, связано с преобладанием западных и юго-западных ветров в холодный период года.

Временная изменчивость числа дней с дождями ливневыми на территории Беларуси достаточно велика и соизмерима с другими метеорологическими и гидрологическими элементами. Она оценивалась средним коэффициентом вариации  $C_v = 0,2$ , который колеблется по территории от  $C_v = 0,14$  (метеостанции Марьина Горка, Волковыск, Могилев) до  $C_v = 0,4$  (метеостанции Березинский заповедник, Барановичи, Ивацевичи), в ноябре – феврале  $C_v = 0,8$ . Он колеблется от  $C_v = 0,3$  по метеостанции Волковыска до  $C_v = 1,3$  – Нарочь (озерная), Костюковичи, Октябрь.

**Таблица 1. Основные статистические параметры числа дней с дождями ливневыми, приходящиеся на одну метеостанцию Беларуси для различных периодов осреднения**

Метеостанция	Период							
	Год				Ноябрь – февраль			
	1975–2008	1975–1987	1988–2008	$C_v$	1975–2008	1975–1987	1988–2008	$C_v$
Верхнедвинск	85,2	<b>72,6</b>	<b>93,0</b>	0,2	8,2	5,3	10,0	0,6
Езерище	109,0	<b>99,7</b>	<b>114,7</b>	0,2	11,5	8,2	13,5	0,6
Полоцк	81,0	<b>69,0</b>	<b>88,4</b>	0,2	5,4	2,8	7,0	0,9
Шарковщина	58,6	<b>51,1</b>	<b>63,3</b>	0,2	2,7	1,1	3,7	1,1
Витебск	90,6	<b>84,4</b>	<b>94,5</b>	0,2	4,9	4,1	5,4	0,7
Лынтупы	77,0	<b>67,4</b>	<b>82,9</b>	0,2	2,4	1,0	3,3	1,1
Докшицы	101,1	93,8	105,6	0,2	8,1	5,9	9,4	0,6
Лепель	61,2	59,1	62,5	0,2	2,5	1,2	3,3	1,3
Сенно	87,8	90,2	86,2	0,2	4,5	5,4	4,0	0,8
Березинский заповедник	56,3	51,8	59,0	0,4	2,0	1,5	2,3	1,2
Орша	68,9	<b>63,3</b>	<b>72,3</b>	0,2	2,5	1,5	3,0	1,1
Вилейка	106,4	<b>95,4</b>	<b>113,1</b>	0,2	13,5	8,8	16,3	0,5
Борисов	94,7	101,4	90,5	0,2	6,1	8,2	4,9	0,8
Воложин	59,4	60,1	58,9	0,2	2,3	1,5	2,8	1,0
Минск	91,2	94,2	89,3	0,2	6,3	5,7	6,7	0,7
Березино	91,1	89,8	91,8	0,2	4,6	3,5	5,3	0,7
Столбцы	65,8	60,8	68,9	0,3	3,4	2,7	3,9	0,7
Марьина Горка	64,7	63,0	65,8	0,2	3,1	3,1	3,1	0,7
Слуцк	73,8	73,7	73,9	0,2	4,8	4,0	5,3	0,6
Ошмяны	108,5	<b>104,1</b>	<b>111,2</b>	0,2	11,1	9,4	12,1	0,5
Лида	112,6	<b>95,8</b>	<b>123,0</b>	0,2	14,7	8,3	18,6	0,5
Гродно	100,7	<b>84,2</b>	<b>110,9</b>	0,2	13,4	6,8	17,6	0,6
Новогрудок	93,9	<b>75,4</b>	<b>105,3</b>	0,3	7,9	4,9	9,7	0,9
Волковыск	106,4	107,3	105,9	0,2	10,2	9,8	10,5	0,3
Горки	100,2	<b>89,5</b>	<b>106,9</b>	0,2	7,1	4,7	8,7	0,7
Могилев	91,9	94,6	90,2	0,2	5,7	5,0	6,2	0,5
Кличев	50,0	<b>47,8</b>	<b>51,3</b>	0,2	2,0	2,5	1,6	1,1
Костюковичи	60,3	<b>55,7</b>	<b>63,1</b>	0,2	1,6	1,0	1,9	1,3
Бобруйск	94,4	<b>84,7</b>	<b>100,4</b>	0,2	8,2	5,3	10,0	0,5
Барановичи	73,9	<b>62,0</b>	<b>81,3</b>	0,4	3,0	0,9	4,3	1,2
Ивацевичи	78,5	<b>64,6</b>	<b>87,1</b>	0,4	6,2	1,3	9,3	0,8
Пружаны	94,9	<b>72,9</b>	<b>108,5</b>	0,2	8,2	2,9	11,5	0,8
Высокое	112,3	<b>100,5</b>	<b>119,6</b>	0,2	14,1	10,2	16,4	0,5
Полесская	99,7	<b>95,1</b>	<b>102,6</b>	0,2	10,9	7,5	13,0	0,5
Брест	84,7	<b>93,9</b>	<b>79,0</b>	0,2	6,5	8,1	5,6	0,6
Пинск	97,6	98,5	97,0	0,2	11,1	10,3	11,5	0,6
Жлобин	93,1	<b>81,1</b>	<b>100,6</b>	0,2	7,6	4,1	9,8	0,7
Октябрь	63,8	<b>55,1</b>	<b>69,2</b>	0,2	1,6	0,8	2,1	1,3
Гомель	96,9	96,7	97,0	0,2	7,7	7,8	7,7	0,6
Василевичи	78,7	<b>71,2</b>	<b>83,4</b>	0,2	5,1	2,9	6,5	1,1
Житковичи	109,9	112,3	108,3	0,2	10,0	11,7	8,9	0,6
Мозырь	99,3	101,2	98,1	0,2	10,5	11,1	10,1	0,5
Лельчицы	57,0	<b>65,5</b>	<b>51,8</b>	0,2	3,9	4,1	3,8	0,9
Брагин	51,8	<b>48,7</b>	<b>53,8</b>	0,2	2,5	1,5	3,0	0,9
<b>Среднее</b>	<b>84,9</b>	<b>79,5</b>	<b>88,2</b>	<b>0,2</b>	<b>6,6</b>	<b>5,0</b>	<b>7,6</b>	<b>0,8</b>

Грозы наблюдаются, в основном, в теплое время года с апреля по сентябрь. В холодный период с октября по март грозы регистрируют очень редко – 1–3 дня в 5–10 лет.

Анализ временной изменчивости среднегодового числа дней с грозами по всем метеостанциям Беларуси показал, что выраженных положительных и отрицательных трендов грозовой

деятельности не отмечается (1975–1987 гг. – 24,1 дня, 1988–2008 гг. – 23,8 дня) (рис. 3, а; табл. 2). Заметны два максимума повторяемости гроз: в середине 80-х и конце 90-х гг. – начале XXI в. Отчетливый минимум в повторяемости гроз приходится на начало 90-х гг. ХХ в. и последний год анализируемого периода.

Из рис. 3, *б* видно, что наибольшее количество гроз в октябре – марте отмечалось во второй половине 70-х гг. и во второй половине 90-х гг. ХХ в.

Коэффициент корреляции среднегодового числа гроз и гроз в холодное время года имеет отрицательный знак, тогда как для ливневых осадков имеется тесная положительная связь событий в холодное время года и среднегодовых значений.

Пространственная структура среднегодового количества гроз представлена на рис. 4. Как видно из рис. 4, *а*, на территории Белорусского Полесья среднее число дней с грозой наибольшее. Их уменьшение с юга на север связано с уменьшением водности облаков, которая убывает в связи с понижением температуры. Наряду с широтными изменениями заметны и долготные

особенности в распределении гроз: полюса малого количества дней с грозой отмечается между  $28^{\circ}$  и  $31^{\circ}$  долготы на севере Беларуси. Второй минимум грозовой активности отмечается в северо-западной части Беларуси (Вилейский, Докшицкий и Ошмянский районы). Число дней с грозой максимально на возвышенностях, особенно в западных и северо-западных районах, а на востоке и юго-востоке в пониженных местах – наименьшее.

В нетипичное для гроз время года особенно много гроз отмечается на юго-востоке страны (Гомельская обл.) и несколько северо-западнее Минска (рис. 4, *б*). В районе Колодищ грозовая деятельность несколько выше, чем в Минске, что вероятно связано с ТВ вышкой и локальной магнитной аномалией.

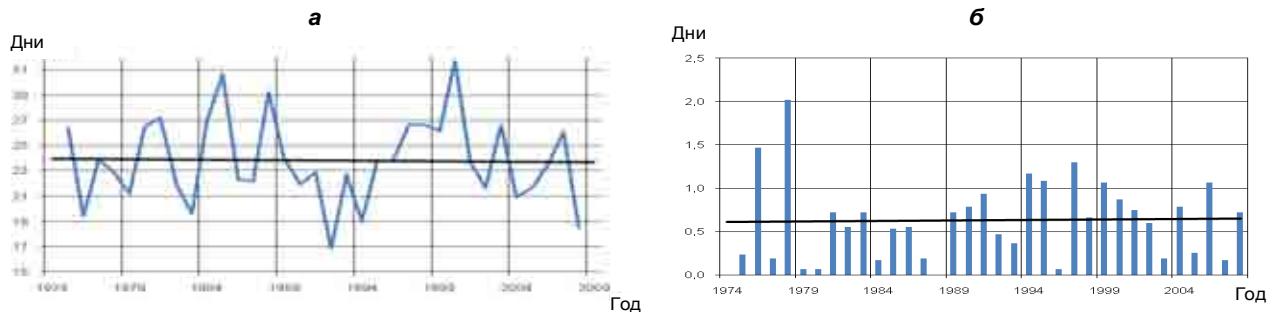


Рис. 3. Число дней с грозами на территории Беларуси: *а* – за год; *б* – за октябрь – март

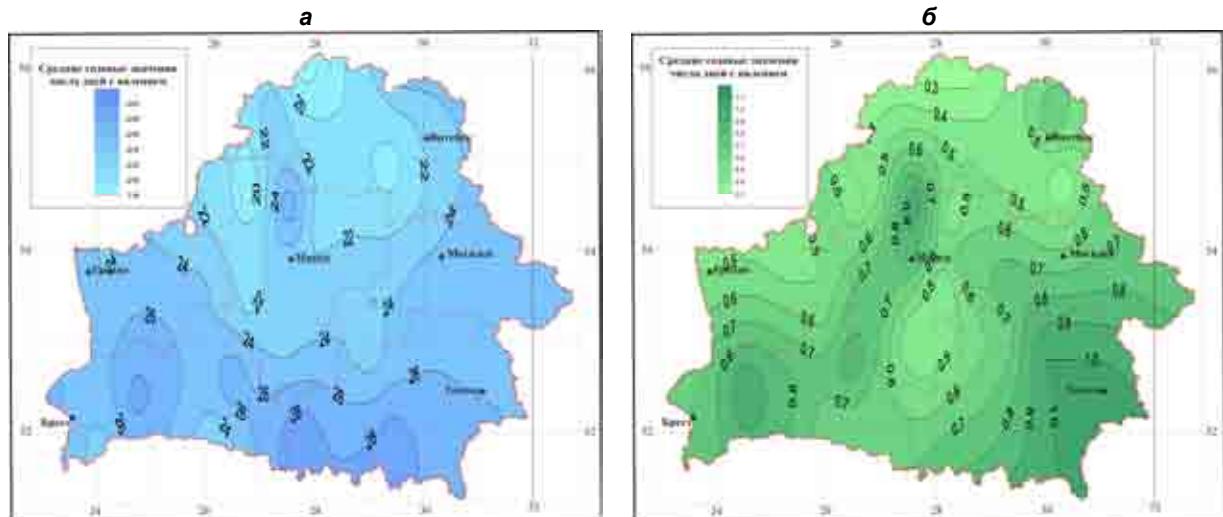


Рис. 4. Число дней с грозами на территории Беларуси: *а* – в целом за год; *б* – за октябрь – март

За период с октября по март по республике регистрируется около 0,6 дня с грозой (табл. 2). Выраженных положительных или отрицательных трендов грозовой деятельности не отмечается. В период с 1975 по 1987 гг. проходило около 0,6 дня, в период 1988–2008 гг. – 0,7 дня.

Временная изменчивость числа дней с грозами на территории Беларуси достаточно велика, она оценивается средним коэффициентом

вариации  $C_v = 1,5$ , который колеблется по территории от 1,1 (метеостанции Витебска, Минска, Октября, Гомеля) до 2,3 (метеостанции Верхнедвинска, Вилейки).

Шквалы могут сопровождаться грозами и градом и наблюдаются преимущественно в теплое время с марта по сентябрь. Однако шквалы могут отмечаться и в холодное время с октября по февраль.

**Таблица 2. Основные статистические параметры числа дней с грозами, приходящиеся на одну метеостанцию Беларуси для различных периодов осреднения**

Метеостанция	Период							
	Год				Октябрь – март			
	1975–2008	1975–1987	1988–2008	$C_v$	1975–2008	1975–1987	1988–2008	$C_v$
Верхнедвинск	16,6	17,0	16,4	0,3	0,2	0,2	0,2	2,3
Езерище	26	25,9	26,0	0,3	0,5	0,5	0,5	1,4
Полоцк	19,9	20,0	19,9	0,2	0,3	0,5	0,2	2,1
Шарковщина	23,3	24,3	22,6	0,2	0,4	0,4	0,3	2,2
Витебск	21,5	21,2	21,7	0,2	0,7	0,5	0,8	1,1
Лынтупы	22,1	20,8	22,8	0,2	0,4	0,4	0,4	2,2
Докшицы	22,5	21,9	22,9	0,3	0,6	0,8	0,4	1,7
Лепель	21,2	21,3	21,1	0,2	0,5	0,7	0,3	1,9
Сенно	18,9	20,1	18,1	0,3	0,4	0,5	0,3	1,8
Березинский заповедник	22,6	20,2	23,8	0,3	0,3	0,2	0,4	1,8
Орша	21,9	23,4	21,0	0,3	0,3	0,3	0,3	1,5
Нарочь, озерная	19,0	23,0	16,6	0,3	0,4	0,5	0,4	1,9
Вилейка	18,6	17,5	19,3	0,3	0,4	0,5	0,3	2,3
Борисов	20	20,2	19,9	0,2	0,4	0,5	0,4	1,8
Воложин	21,1	20,4	21,6	0,2	0,5	0,4	0,6	1,6
Минск	23,2	24,7	22,3	0,2	0,9	0,8	1,0	1,1
Березино	23,6	24,5	23,1	0,2	0,7	0,8	0,7	1,4
Столбцы	21,6	21,5	21,6	0,3	0,8	0,8	0,8	1,2
Марьина Горка	22,5	23,9	21,6	0,2	0,4	0,5	0,4	1,8
Слуцк	23,4	24,5	22,7	0,2	0,4	0,5	0,4	2,0
Ошмяны	21,6	21,2	21,9	0,3	0,6	0,5	0,8	1,4
Лида	23,9	22,5	24,9	0,2	0,4	0,6	0,3	1,6
Гродно	24,0	<b>19,8</b>	<b>26,7</b>	0,3	0,5	0,4	0,6	1,5
Новогрудок	24,6	21,8	26,2	0,3	0,5	0,5	0,6	1,4
Волковыск	26,8	25,2	27,8	0,2	0,7	0,7	0,7	1,2
Горки	24,1	23,4	24,6	0,3	0,6	0,5	0,8	1,3
Могилев	24,1	24,5	23,8	0,2	0,6	0,5	0,7	1,6
Кличев	24,3	25,9	23,3	0,3	0,8	0,5	0,9	1,2
Костюковичи	24,9	26,4	23,9	0,3	0,8	0,7	0,9	1,3
Бобруйск	22,6	22,7	22,5	0,2	0,6	0,5	0,6	1,4
Барановичи	24,2	23,7	24,6	0,2	0,6	0,4	0,7	1,3
Ганцевичи	28	28,2	27,9	0,2	0,9	0,8	0,9	1,3
Ивацевичи	26,2	<b>23,0</b>	<b>28,1</b>	0,3	0,8	0,7	0,9	1,3
Пружаны	28,9	27,4	29,9	0,3	1,0	0,9	1,0	1,2
Высокое	27,7	30,0	26,3	0,2	0,8	1,0	0,7	1,4
Полесская	26,3	<b>29,8</b>	<b>24,1</b>	0,2	0,7	0,5	0,9	1,4
Брест	23,0	<b>27,7</b>	<b>20,0</b>	0,3	0,7	1,1	0,5	1,6
Пинск	21,5	<b>26,1</b>	<b>18,7</b>	0,4	0,6	0,6	0,5	1,2
Жлобин	25,5	26,7	24,7	0,3	1,0	0,8	1,1	1,3
Октябрь	28,0	28,7	27,6	0,2	1,0	0,7	1,2	1,1
Гомель	26,5	26,7	26,4	0,2	1,1	1,0	1,1	1,1
Василевичи	29,1	29,5	28,9	0,2	0,9	0,6	1,0	1,2
Житковичи	29,9	30,3	29,6	0,2	0,6	0,5	0,7	1,6
Мозырь	28,3	27,1	29,0	0,2	0,8	0,6	0,9	1,5
Лельчицы	28,2	28,0	28,4	0,2	0,8	0,7	0,8	1,2
Брагин	28,1	28,0	28,1	0,2	1,0	0,5	1,3	1,5
<b>Среднее</b>	<b>23,9</b>	<b>24,1</b>	<b>23,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>1,5</b>

Анализ временной изменчивости среднегодового числа дней со шквалами по метеостанциям Беларуси показал их изменчивость за 1975–2008 гг. (рис. 5). Минимальные значения числа дней со шквалами отмечались во второй половине 70-х и начале 80-х гг. С середины 90-х гг. ХХ в. наблюдается большее число шквалов (рис. 5, а). Для октября – февраля характер-

на несколько большая повторяемость шквалов в последние годы. В среднем на период современного потепления приходится в 2 раза больше шквалов, чем до 1989 г. (рис. 5, б). В период с 1975 по 1987 г. регистрировалось около 0,01 дня со шквалами, а в 1988–2008 гг. – 0,02 дня (табл. 3).

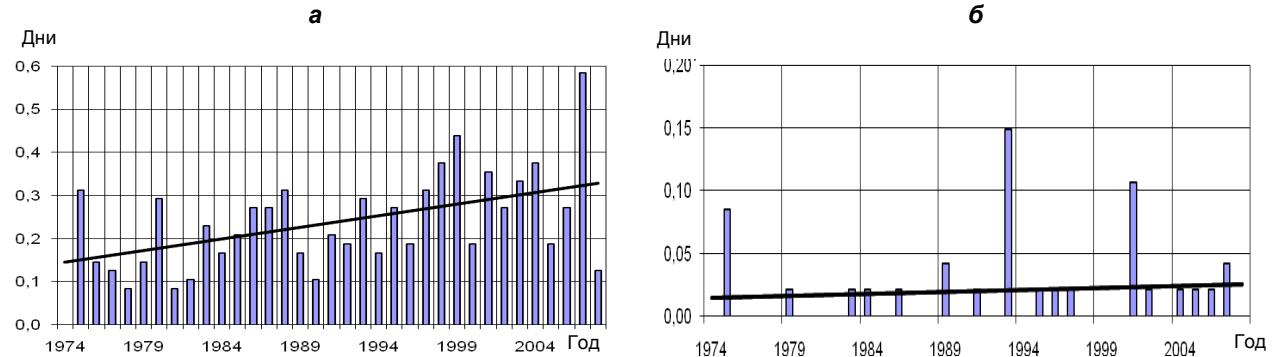


Рис. 5. Число дней со шквалами на территории Беларуси: а – в целом за год; б – за октябрь – март

Таблица 3. Основные статистические параметры числа дней со шквалами, приходящееся на одну метеостанцию Беларуси для различных периодов осреднения

Метеостанция	Период							
	Год				Октябрь – февраль			
	1975–2008	1975–1987	1988–2008	$C_v$	1975–2008	1975–1987	1988–2008	$C_v$
Верхнедвинск	0,5	0,9	0,3	1,6	0,06	0,08	0,05	4
Езерище	1,4	1,1	1,5	0,8	0,18	0,15	0,19	2,6
Полоцк	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0
Шарковщина	0,7	0,9	0,6	1,8	0,00	0,00	0,00	0
Витебск	0,3	0,2	0,4	1,8	0,00	0,00	0,00	0
Лынтупы	0,2	0	0,4	2,3	0,06	0,00	0,10	4
Докшицы	0,9	0,2	1,3	1,4	0,09	0,00	0,14	3,2
Лепель	0,1	0,1	0,1	3,2	0,00	0,00	0,00	0
Сенно	0,1	0	0,1	5,7	0,00	0,00	0,00	0
Березинский заповедник	0,4	0,1	0,6	3,1	0,15	0,08	0,19	4,7
Орша	0,1	0,2	0	4,2	0,03	0,08	0,00	5,7
Нарочь, озерная	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0
Вилейка	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0
Борисов	0,2	0,4	0,1	2,6	0,00	0,00	0,00	0
Воложин	0,1	0,1	0,1	3,2	0,00	0,00	0,00	0
Минск	0,2	0,4	0,1	3,2	0,00	0,00	0,00	0
Березино	0,1	0,1	0,1	3,2	0,00	0,00	0,00	0
Столбцы	0,2	0	0,4	2,5	0,03	0,00	0,05	5,7
Марьина Горка	0,1	0,1	0,1	3,2	0,03	0,00	0,05	5,7
Слуцк	0,4	0,3	0,4	2,3	0,03	0,08	0,00	5,7
Ошмяны	0,2	0,3	0,2	2,1	0,00	0,00	0,00	0
Лида	0,1	0,2	0,1	4,2	0,00	0,00	0,00	0
Гродно	0,1	0	0,2	4,5	0,00	0,00	0,00	0
Новогрудок	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0
Волковыск	0,6	0,3	0,8	1,6	0,09	0,08	0,10	3,2
Горки	0,4	0,1	0,5	2,7	0,03	0,00	0,05	5,7
Могилев	0,1	0,1	0,1	2,7	0,00	0,00	0,00	0
Кличев	0,1	0,1	0,1	4	0,00	0,00	0,00	0
Костюковичи	0,1	0,1	0,1	3,2	0,00	0,00	0,00	0

Окончание табл. 3

Метеостанция	Период							
	Год				Октябрь – февраль			
	1975– 2008	1975– 1987	1988– 2008	$C_v$	1975– 2008	1975– 1987	1988– 2008	$C_v$
Бобруйск	0,8	0,8	0,8	1,4	0,03	0,00	0,05	5,7
Барановичи	0,5	0,4	0,5	1,6	0,03	0,00	0,05	5,7
Ганцевичи	0,2	0,2	0,2	2,3	0,00	0,00	0,00	0
Ивацевичи	0,1	0,1	0,1	4	0,03	0,00	0,05	5,7
Пружаны	0,4	0,5	0,3	1,9	0,03	0,00	0,05	5,7
Высокое	0,2	0	0,3	4	0,00	0,00	0,00	0
Полесская	0,2	0,3	0,1	2,9	0,00	0,00	0,00	0
Брест	0,1	0	0,2	2,7	0,00	0,00	0,00	0
Пинск	0,1	0,2	0,1	4,2	0,00	0,00	0,00	0
Жлобин	0,1	0	0,1	4	0,00	0,00	0,00	0
Октябрь	0,5	0,4	0,6	1,7	0,03	0,08	0,00	5,7
Гомель	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0
Василевичи	0,1	0	0,1	4	0,00	0,00	0,00	0
Житковичи	0,2	0,1	0,2	2,9	0,00	0,00	0,00	0
Мозырь	0,1	0,1	0,1	3,2	0,00	0,00	0,00	0
Лельчицы	0,1	0,2	0,1	3,2	0,00	0,00	0,00	0
Брагин	0,4	0	0,6	2,9	0,03	0,00	0,05	5,7
<b>Среднее</b>	<b>0,25</b>	<b>0,21</b>	<b>0,28</b>	<b>2,58</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>1,80</b>

Пространственное распространение шквалов по территории Беларуси представлено на рис. 6. Выделяют два района: северо-восток Беларуси (Езерище) и северо-запад (Докшицы, Шарковщина, Верхнедвинск).

Активная шквалистая деятельность регистрируется в Предполесском регионе по линии Волковыск – Слуцк – Бобруйск. Именно в этом регионе ранее отмечался либо рост скорости ветра, либо незначительное его падение (рис. 6, а). Как видно из рис. 6, б, выделяется несколько зон: на севере и северо-востоке – Городокская, Витебская возвышенности, на северо-западе – Свентянские гряды, в западной части – Волковысская возвышенность, в центральной части – Новогрудская возвышенность и Копыльская гряда. Генеральные особенности пространственного распределения шквалов в типичные и нетипичные сезоны их формирования сохраняются.

Град выпадает в основном в теплое время года. Очень редко град отмечается с ноября по февраль.

Пространственная структура распространения числа дней с градом представлена на рис. 7. На Минской (345 м), Витебской (295 м), Волковысской (242 м) возвышенностях, на возвышенных участках Полесья (162 м), град выпадает значительно чаще, чем на равнинной территории (рис. 7, а). Для данных районов характерны такие явления, как шквалы и грозы, что говорит об их взаимосвязи. Эта же тенденция отмечалась и в первой половине XX в. [5, 6]. Наибольшая повторяемость дней с градом в ноябре – феврале регистрируется на севере Полоцкой низменности, в западной части – на территории Гродненской и Волковысской возвышен-

ствиям, на Минской возвышенности – в центральной части, на Оршанско-Могилевской равнине – на востоке территории; на юге и юго-востоке – на Люсиновской равнине и Речицкой низменности (рис. 7, б).

Анализ временной изменчивости среднегодового числа дней с градом по всем метеостанциям Беларуси показал их изменчивость за 1975–2008 гг. (табл. 4). Среднее число дней с градом за год на территории Беларуси составляет 0,7 дня и колеблется от 0,1 до 1,9, возрастая от низин к возвышенностям.

Количество дней с градом за ноябрь – февраль практически не изменилось и составляет 0,01 дня. Чаще град за этот период отмечался на следующих метеостанциях: Полоцк, Минск, Березино, Гродно, Волковыск, Могилев, Ганцевичи, Гомель. На севере и в центральной части республики количество дней с градом уменьшилось, на юге – увеличилось. На отдельных метеостанциях количество дней с градом увеличилось, например на метеостанции Ганцевичи в первый исследуемый период град не отмечался, а во второй – около 0,05 дня; на метеостанции Гомель – 1975–1987 гг. – не регистрировалось данное явления, в 1987–2008 гг. – около 0,05 дня. Существенный рост повторяемости дней с градом отмечается также на станциях Витебск, Бобруйск, Жлобин, Октябрь.

Временная изменчивость числа дней с градом за год на территории Беларуси достаточно велика и соизмерима с другими метеорологическими элементами. Она оценивается средним коэффициентом вариации  $C_v = 1,5$ , который колеблется по территории от 0,8 (Минск, Витебск) до 2,7 (метеостанция Слуцк).

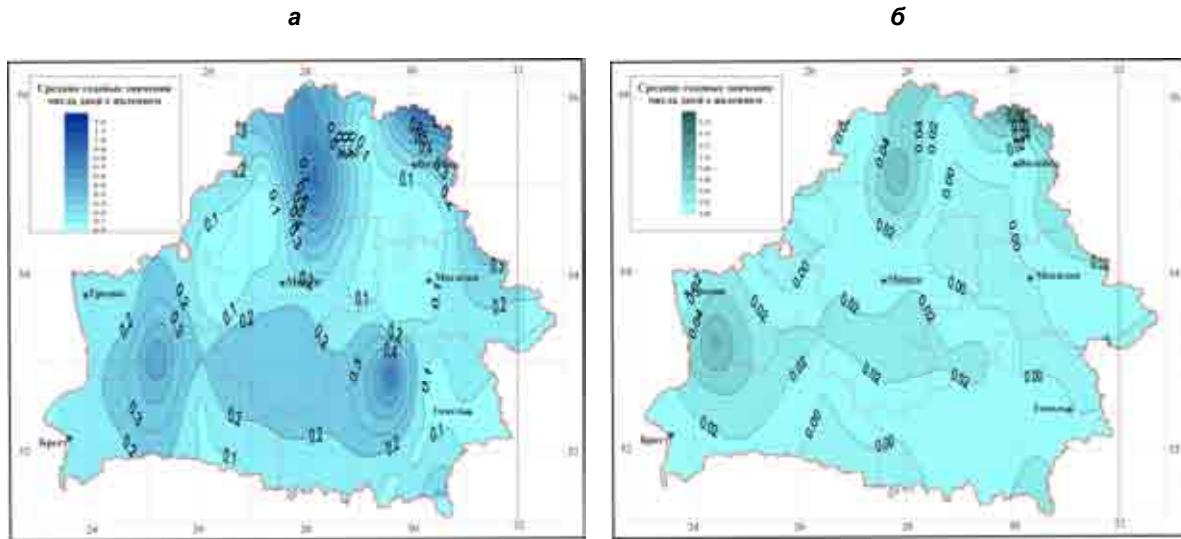


Рис. 6. Число дней со шквалами на территории Беларуси:  
а – в целом за год; б – за октябрь – февраль

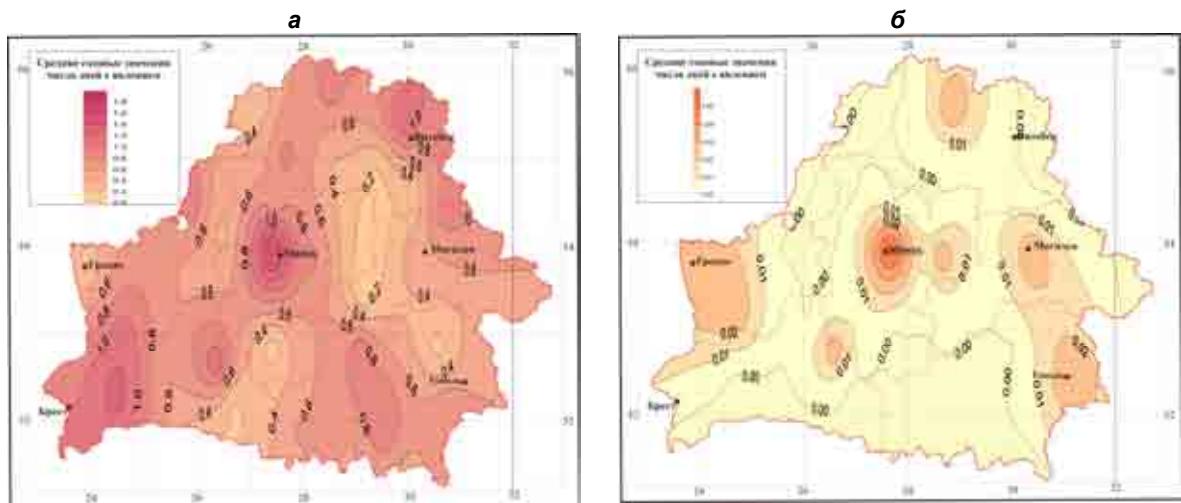


Рис. 7. Число дней с градом на территории Беларуси: а – за год; б – за ноябрь – февраль

Таблица 4. Основные статистические параметры числа дней с градом, приходящиеся на одну метеостанцию Беларуси для различных периодов осреднения

Метеостанция	Период							
	Год				Ноябрь – февраль			
	1975–2008	1975–1987	1988–2008	$C_v$	1975–2008	1975–1987	1988–2008	$C_v$
Верхнедвинск	0,6	0,5	0,6	1,3	0	0	0	0
Езерище	0,9	1,1	0,7	1,2	0	0	0	0
Полоцк	0,9	0,8	1,0	1,1	0,03	0,08	0	5,74
Шарковщина	0,3	0,2	0,3	1,9	0	0	0	0
Витебск	1,2	0,9	1,4	0,8	0	0	0	0
Лынтупы	0,6	0,8	0,6	1,1	0	0	0	0
Лепель	0,4	0,5	0,3	1,3	0	0	0	0
Докшицы	0,9	1,0	0,9	1,3	0	0	0	0
Сенно	0,2	0,1	0,2	2,6	0	0	0	0
Березинский заповедник	1,0	1,1	1,0	1,0	0	0	0	0
Орша	0,2	0,2	0,3	2,0	0	0	0	0
Нарочь, озерная	0,4	0,8	0,1	1,9	0	0	0	0
Вилейка	0,5	0,9	0,3	1,6	0	0	0	0

Окончание табл. 4

Метеостанция	Период							
	Год				Ноябрь – февраль			
	1975–2008	1975–1987	1988–2008	$C_v$	1975–2008	1975–1987	1988–2008	$C_v$
Борисов	0,7	0,6	0,7	1,2	0	0	0	0
Воложин	0,3	0,5	0,1	2,8	0	0	0	0
Минск	1,8	2,4	1,5	0,8	0,06	0,08	0,05	4,0
Березино	0,8	1,2	0,5	1,0	0,03	0,08	0	5,74
Городище	0,4	0,8	0,2	2,1	0	0	0	0
Марьина Горка	0,7	0,9	0,6	1,3	0	0	0	0
Столбцы	0,6	0,6	0,6	1,4	0	0	0	0
Слуцк	0,1	0,1	0,1	2,7	0	0	0	0
Ошмяны	1,0	0,8	1,1	1,3	0	0	0	0
Лида	0,7	0,8	0,6	1,3	0	0	0	0
Гродно	0,3	0,3	0,2	2,1	0,03	0	0,05	5,74
Новогрудок	0,5	0,6	0,5	1,3	0	0	0	0
Волковыск	1,1	1,1	1,1	0,9	0,03	0,08	0	5,74
Горки	0,9	1,7	0,4	1,0	0	0	0	0
Могилев	0,5	0,5	0,5	1,3	0,03	0,08	0	5,74
Славгород	0,4	0,3	0,5	2	0	0	0	0
Костюковичи	0,5	0,6	0,4	1,6	0	0	0	0
Бобруйск	0,9	0,5	1,2	1,1	0	0	0	0
Барановичи	0,8	1,2	0,6	1,2	0	0	0	0
Ганцевичи	1,2	1,0	1,4	0,9	0,03	0	0,05	5,74
Ивацевичи	0,6	0,8	0,6	1,2	0	0	0	0
Пружаны	1,3	1,2	1,4	1,0	0	0	0	0
Высокое	0,6	0,9	0,4	1,4	0	0	0	0
Полесская	0,2	0,2	0,2	2,3	0	0	0	0
Пинск	0,2	0,2	0,2	2,6	0	0	0	0
Брест	1,1	1,3	0,9	0,9	0	0	0	0
Чечерск	0,1	0,2	0,1	2,4	0	0	0	0
Жлобин	0,6	0,3	0,9	1,4	0	0	0	0
Октябрь	0,6	0,2	0,8	1,2	0	0	0	0
Гомель	0,8	0,7	0,9	1,0	0,03	0	0,05	5,74
Василевичи	1,1	1,2	1,0	0,9	0	0	0	0
Житковичи	0,6	1,3	0,2	1,7	0	0	0	0
Мозырь	0,6	0,7	0,5	1,7	0	0	0	0
Лельчицы	0,6	0,8	0,5	1,2	0	0	0	0
Брагин	0,5	0,6	0,4	1,6	0	0	0	0
<b>Среднее</b>	<b>0,69</b>	<b>0,76</b>	<b>0,65</b>	<b>1,47</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,99</b>

Временная изменчивость среднегодового числа дней с градом по всем метеостанциям Беларуси представлена на рис. 8. Из рис. 8, а видны три группировки наибольшего количества дней с градом: первая половина 80-х гг., конец 90-х гг. XX в. – начало XXI в. Число лет, когда число дней с градом не отмечается занимают около 75 % исследуемого года.

Временная изменчивость среднегодового числа дней с градом по метеостанциям Беларуси за ноябрь – февраль представлена на рис. 8, б. В ноябре – феврале град отмечается крайне редко – около 0,01 дня. Град в 1975–2008 гг. регистрируется в 8 годах: 1977 г. – 0,02; 1981 – 0,02; 1982 – 0,08; 1984 – 0,02; 1997 – 0,02; 1998 – 0,04; 2000 – 0,02; 2008 – 0,02 дня с градом.

Туманы на территории Беларуси наблюдаются, как правило, в осенне-зимний период. Однако они могут отмечаться весной и летом.

Среднее число дней с туманом за год на территории Беларуси составляет около 40 дней и колеблется от 30 до 75, возрастая от низин к возвышенностям, в результате подъема влажных

воздушных масс по наветренным склонам и их трансформации. Минимальное количество дней с туманами формируется на юго-западе (Брестское Полесье) и на северо-востоке (Полоцкая низменность), колеблется от 30 до 40 дней. Наибольшее количество дней с туманами наблюдается на Ошмянской, Новогрудской и Минской возвышенностях и достигает 60–75 дней (рис. 9, а). Пространственная структура распространения числа дней с туманами, представленная на рис. 9, а, имеет некоторое различие с аналогичной схемой, опубликованной в работе [3], как в части пространственного формирования, так и в изменении количества дней с туманами. До 1970-х гг. XX в. отмечалось от 35 до 100 таких дней. Чаще туманы регистрировались на возвышенной территории центральной части и на северо-востоке республики. На Полоцкой, Нарочано-Вилейской и Неманской низинах, Полесской низменности число дней с туманами в году наименьшее – 35–50, а на Минской и Новогрудской возвышенностях – наибольшее – 65–100 дней. Это обусловлено происходящими в последнее

время климатическими изменениями. Наибольшее количество дней с туманами в мае – августе отмечается в Предполесье и Полесье – Бобруйская, Славгородская, Логиновская и Люсиновская равнины и Слуцко-Оресская низменность,

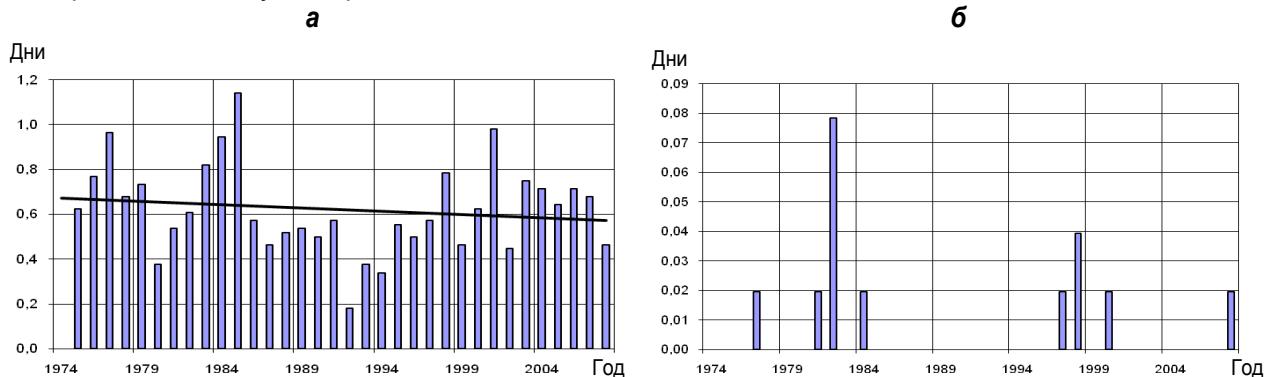


Рис. 8. Число дней с градом на территории Беларуси: а – в целом за год; б – за ноябрь – февраль

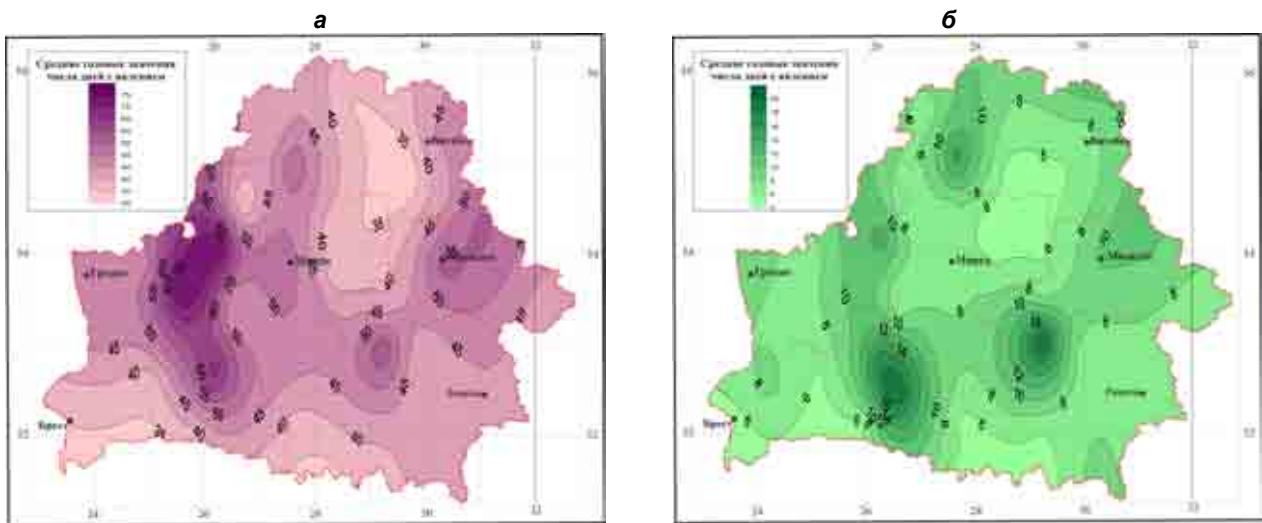


Рис. 9. Число дней с туманами на территории Беларуси: а – в целом за год; б – за май – август

В целом пространственные особенности распределения туманов в не типичные для этого явления месяцы года совпадают со среднегодовыми значениями повторяемости туманов.

Анализ временной изменчивости представлен в табл. 5 и рис. 10. Как показал анализ, среднее количество дней с туманом, приходящееся на 1 метеостанцию до 1988 г. составило 51,3 дня, что статистически значимо различается по сравнению со вторым периодом, для которого данная величина составила 41,7 дня. Анализ различий в числе дней с туманом показал, что произошло их существенное уменьшение. Значительное уменьшение количества дней с туманами наблюдается на метеостанциях Вилейка, Ошмяны, Новогрудок, Могилев, Жлобин.

По республике в мае – августе отмечается только около 9,1 дня с туманами. В последние 20 лет регистрируется незначительное уменьшение количества таких дней: в 1975–1987 гг. –

9,9 дня, а в 1988–2008 гг. – 8,6 дня. Практически на всех метеостанциях регистрируется уменьшение количества дней с туманами, однако выделяется несколько метеостанций, на которых отмечается увеличение повторяемости туманов. Например, на метеостанции Езерище в 1975–1987 гг. зарегистрировано около 9,2 дня, в 1988–2008 гг. – около 14,8 дня; Докшицы – около 12,3 и 17,2; Горки – около 8,3 и 13,4, Ганцевичи – около 11,8 и 21,9; Брагин – около 6,8 и 10,0 дней с туманами соответственно. Следует отметить, что если для всех проанализированных станций число дней с туманами уменьшилось менее чем на 10 единиц, то для крупных городов уменьшение составляет почти на 40 % больше. Это может свидетельствовать о том, что в крупных городах, где располагаются острова тепла, для насыщения воздуха при высокой температуре требуется большое перенасыщение влагой для образования туманов.

**Таблица 5. Основные статистические параметры числа дней с туманами, приходящиеся на одну метеостанцию Беларуси для различных периодов осреднения**

Метеостанция	Период							
	Год				Май - август			
	1975–2008	1975–1987	1988–2008	C <sub>v</sub>	1975–2008	1975–1987	1988–2008	C <sub>v</sub>
Верхнедвинск	44,4	<b>51,6</b>	<b>37,1</b>	0,3	10,2	12,2	9,0	0,4
Езерище	40,7	38,5	42,1	0,3	12,6	9,2	14,8	0,7
Полоцк	35	<b>41,2</b>	<b>31,2</b>	0,3	8,0	10,5	6,4	0,5
Шарковщина	37,1	<b>48,9</b>	<b>29,7</b>	0,4	7,2	10,2	5,4	0,5
Витебск	44	<b>55,1</b>	<b>37,2</b>	0,3	7,2	10,2	5,3	0,5
Лынтупы	54,3	<b>61,7</b>	<b>49,7</b>	0,2	10,4	12,5	9,0	0,4
Лепель	34,8	<b>39,6</b>	<b>31,9</b>	0,4	5,7	6,9	4,9	0,5
Докшицы	53,3	53,5	53,2	0,3	15,4	12,3	17,2	0,6
Сенно	28,9	<b>34,8</b>	<b>25,2</b>	0,3	5,9	7,5	5,0	0,5
Березинский заповедник	37,6	35,2	39,2	0,5	10,6	10,5	10,6	0,5
Орша	42,0	<b>50,7</b>	<b>36,7</b>	0,3	8,6	11,5	6,8	0,6
Вилейка	29,0	<b>42,9</b>	<b>20,4</b>	0,7	5,3	8,0	3,6	0,7
Борисов	37,8	<b>42,8</b>	<b>34,7</b>	0,3	4,9	6,3	4,0	0,5
Воложин	75,3	<b>85,2</b>	<b>69,1</b>	0,3	13,1	17,8	10,2	0,5
Минск	51,9	<b>59,8</b>	<b>47,0</b>	0,3	7,9	8,5	7,5	0,7
Березино	32,3	<b>39,3</b>	<b>28,0</b>	0,3	5,8	5,3	6,0	0,5
Марьина Горка	45,1	<b>53,4</b>	<b>40,0</b>	0,3	7,9	10,1	6,5	0,6
Столбцы	40,1	<b>53</b>	<b>32,1</b>	0,5	5,6	8,1	4,0	0,6
Слуцк	47,6	<b>54,8</b>	<b>43,0</b>	0,3	8,4	10	7,4	0,5
Ошмяны	57,1	<b>71,7</b>	<b>48,1</b>	0,4	10,9	13,5	9,2	0,5
Лида	46,4	<b>55,2</b>	<b>40,9</b>	0,3	7,3	9,4	6,0	0,5
Гродно	46,4	50,8	<b>43,7</b>	0,2	8,9	11,3	7,4	0,5
Новогрудок	74,6	<b>88,6</b>	<b>66</b>	0,3	10,6	14,4	8,2	0,5
Волковыск	47,2	48,7	46,3	0,3	7,6	9,1	6,8	0,5
Горки	57,1	<b>47,0</b>	<b>63,3</b>	0,2	11,4	8,3	13,4	0,5
Могилев	56,9	<b>69,6</b>	<b>49,1</b>	0,3	10,4	12,3	9,1	0,5
Кличев	36,5	<b>47,4</b>	<b>29,8</b>	0,3	6,7	9,2	5,1	0,6
Славгород	42,5	42,0	42,9	0,2	7,3	5,5	8,4	0,8
Костюковичи	39,4	<b>49,2</b>	<b>33,4</b>	0,3	6,8	7,3	6,5	0,5
Бобруйск	56,7	53,8	58,5	0,3	20,7	14,2	24,7	0,6
Барановичи	59,6	<b>66,5</b>	<b>55,3</b>	0,2	10,5	10,7	10,4	0,5
Ганцевичи	64,9	<b>54,9</b>	<b>71,1</b>	0,3	18	11,8	21,9	0,5
Ивацевичи	36,3	40,9	33,5	0,3	5,8	6,5	5,3	0,5
Пружаны	53,1	<b>58,2</b>	<b>50,0</b>	0,2	8,8	9,6	8,3	0,4
Высокое	67,2	<b>60,2</b>	<b>71,6</b>	0,3	23,5	11,2	31	0,6
Полесская	60,4	59,7	60,9	0,6	20,6	22,8	19,3	0,5
Пинск	36,1	<b>46,4</b>	<b>29,7</b>	0,5	5,6	8,6	3,7	0,7
Брест	33,1	<b>42,2</b>	<b>27,5</b>	0,3	4,6	6,2	3,6	0,5
Жлобин	37,3	<b>49,7</b>	<b>29,6</b>	0,4	6,6	9,7	4,7	0,8
Октябрь	39,8	<b>45,6</b>	<b>36,2</b>	0,3	7,5	9,1	6,5	0,4
Гомель	42,1	<b>49,7</b>	<b>37,4</b>	0,3	6,5	9,3	4,8	0,6
Василевичи	39,5	<b>46,1</b>	<b>35,4</b>	0,3	6,8	7,4	6,4	0,5
Житковичи	36	<b>46,2</b>	<b>29,8</b>	0,4	5,6	8,5	3,7	0,7
Мозырь	38,7	<b>47,9</b>	<b>33,0</b>	0,4	5,7	7,9	4,3	0,8
Лельчицы	31,2	<b>38,3</b>	<b>26,8</b>	0,4	5	6,7	3,9	0,7
Брагин	41,6	43	40,7	0,3	8,8	6,8	10	0,6
<b>Среднее</b>	<b>45,4</b>	<b>51,3</b>	<b>41,7</b>	<b>0,3</b>	<b>9,1</b>	<b>9,9</b>	<b>8,6</b>	<b>0,6</b>

Примечание. Выделены статистически различимые величины среднего количества дней с туманом.

В мае – августе отмечается уменьшение количества дней с туманами, как и в целом за год (рис. 10, б). Наибольшая повторяемость туманов приходится на первую половину исследуемого периода. Такое уменьшение количества дней с

туманами может быть связано с потеплением климата в конце 80-х гг. ХХ в.

Гололед чаще всего возникает при южных, юго-западных и западных ветрах, которые преобладают в холодный период на территории Беларуси.

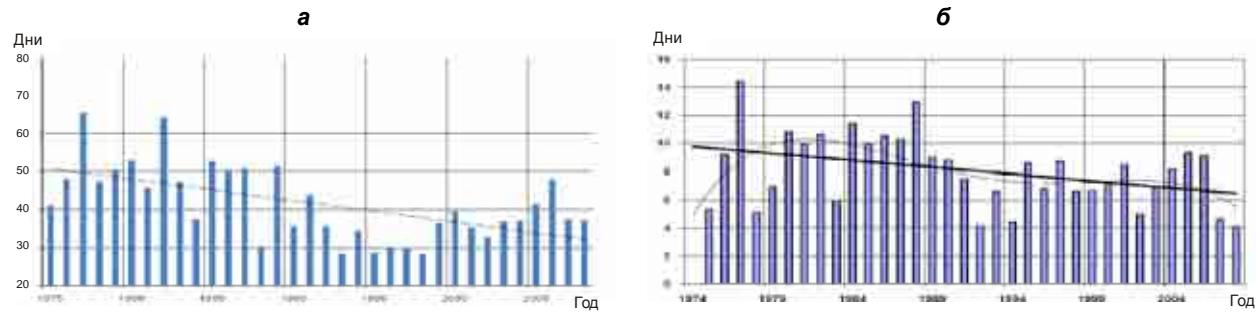


Рис. 10. Число дней с туманами на территории Беларуси: а – в целом за год; б – за май – август

Пространственное распределение гололеда представлено на рис. 11. Чаще всего гололед наблюдается на востоке Гродненской области, в центральной части Минской и на юге Витебской областей. Выделяются также районы в центральной части Могилевской области (рис. 11, а). В период с мая по август гололедные явления регистрируются: на северо-западе – в районе Свентяных гряд, на востоке – на Оршанско-Могилевской равнине, в центральной части – на Минской возвышенности, на западе – на территории Гродненской, Волковысской и Новогрудской возвышенностей, на юге – в районе Прибужской равнины (рис. 11, б). Пространственное распределение числа дней с гололедными явлениями в целом совпадает с распределением для не характерных месяцев и распределением среднегодовых значений.

Как показал анализ, среднее количество дней с гололедом, приходящееся на 1 метеостанцию в году за более чем 30-летний период, составляет 9,4 дня. В период 1975–1987 гг. отмечалось в среднем около 8,5 дня, в период 1988–2008 гг. – 10 дней. Однако в период современного потепления далеко не на всех метеорологических станциях регистрируется рост числа дней с гололедом. Так, на метеорологических станциях Вилейки, Борисова, Воложина, Березино, Новогрудка, Горок, Могилева, Высокого, Бреста, Гомеля, Житковичей и Лельчиц отмечается некоторое уменьшение числа дней с гололедом.

В марте – октябре отмечается около 0,8 дня. Чаще гололедные явления в марте – апреле отмечаются в первый период исследования – 1 день, реже – во второй – 0,06 дня. Таким образом, наибольшая повторяемость гололеда отмечается в среднем 1 раз в 10 лет, а наименьшее количество дней с гололедом отмечается 1 раз в 20 лет за период текущего потепления климата.

Временная изменчивость числа дней с гололедом представлена на рис. 12. Как видно из рис. 12, а наблюдается слабое увеличение количества дней с гололедом (в основном в ноябре и январе), и незначительное уменьшение количества дней с гололедом в не характерное время их формирования, а именно в марте – октябре (рис. 12, б).

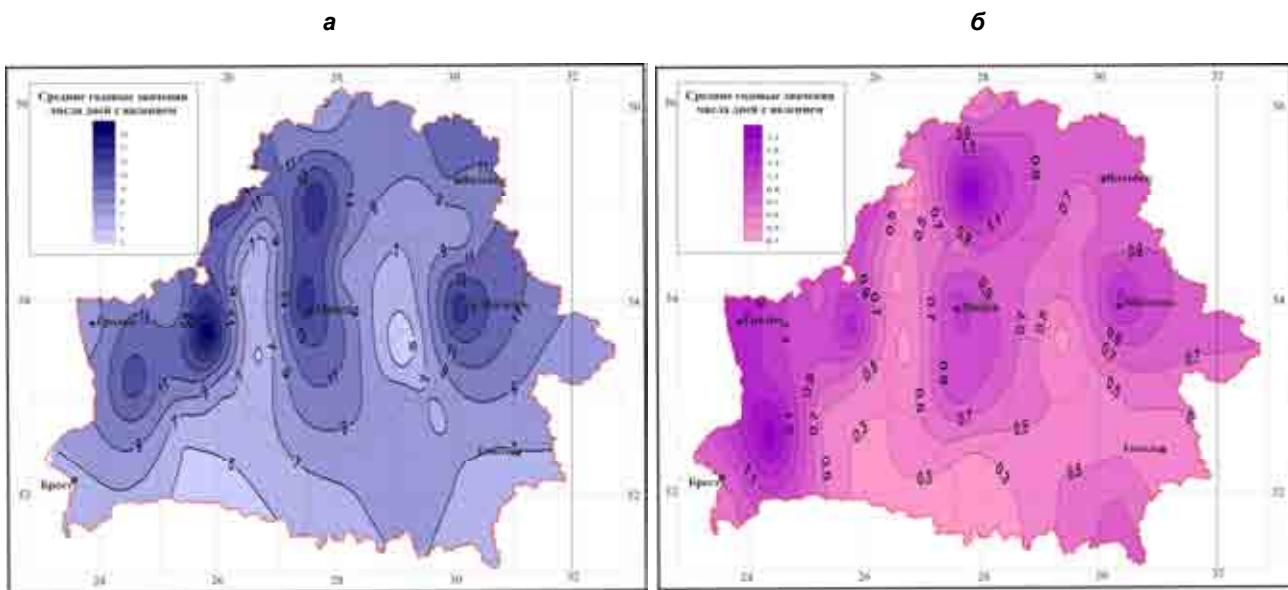
Изморозевые отложения наблюдаются, как правило, в холодное время года. Однако изморозь может наблюдаться как в марте – мае, так и в сентябре – октябре.

Анализ изменчивости числа дней с изморозью за 30-летний период наблюдений показал уменьшение количества дней с изморозью по всей территории республики (рис. 13). Если до 1987 г. отмечалось около 16 дней с изморозью, то в период современного потепления климата оно уменьшилось до 11.

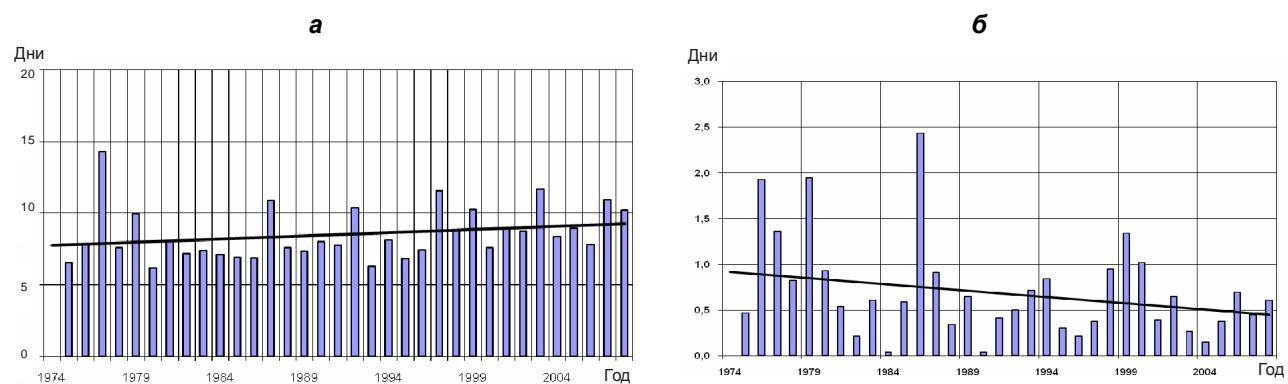
Практически всеми метеостанциями отмечается уменьшение количества дней с изморозевыми отложениями, но есть отдельные станции, которые регистрируют незначительное увеличение количества дней с изморозью в марте – октябре.

Пространственное распределение среднегодового количества дней с изморозью представлено на рис. 14. На северо-востоке в районе Оршанско-Могилевской равнины, Оршанской возвышенности данное явление отмечается чаще всего – около 20 дней в год, реже на юго-востоке (Мозырское и Гомельское Полесье), на западе (Волковысская возвышенность) Гродненской области – около 8–10 дней (рис. 14, а). В период с марта по октябрь районы максимального количества дней с изморозью практически те же, что и при среднегодовом числе дней с изморозью (рис. 14, б).

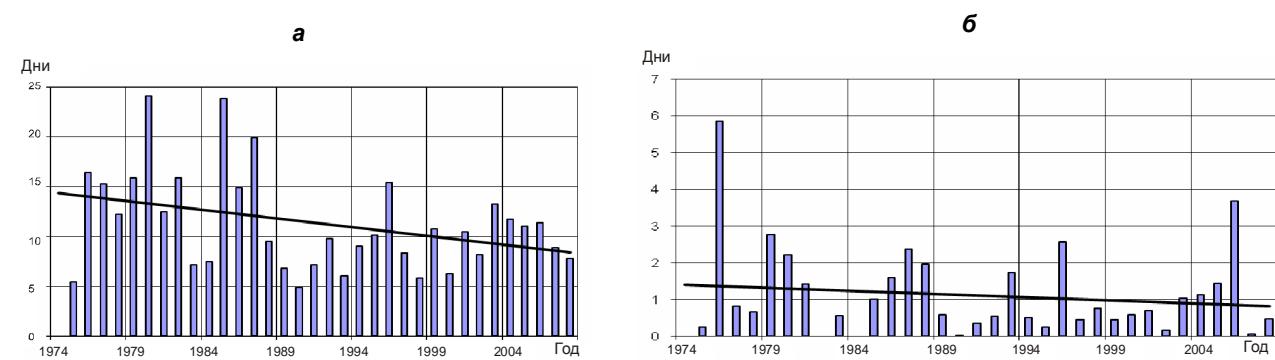
Иней наблюдается, как правило, с сентября по май. Однако иногда он отмечается и летом.



**Рис. 11. Число дней с гололедом на территории Беларуси:**  
**а – в целом за год; б – март – октябрь**



**Рис. 12. Число дней с гололедом на территории Беларуси:**  
**а – в целом за год; б – март – октябрь**



**Рис. 13. Число дней с изморозью на территории Беларуси:**  
**а – в целом за год; б – март – октябрь**

Временные особенности изменения числа дней с инеем представлены на рис. 15. На рис. 15, а изображен временной ход числа дней с инеем. Из рисунка следует, что каких-либо заметных изменений среднегодового количества дней с инеем не просматривается. Минимальное количество дней приходится на высокие зимние температуры в 1984, 1990, 2007 гг., а максимальное – на низкие зимние температуры в 1985–1987, 1996 гг. В то же самое время большое число дней с инеем в 2001–2002 гг. не сопровождалось в Беларуси низкими температурами. Уменьшение дней с инеем в 2007–2008 гг. также отвечает высоким зимним температурам. Выраженных трендов за более чем 30-летний период не наблюдается и летом (рис. 15, б). Однако за исследуемый период отмечается несколько волн увеличения дней с инеем на территории Беларуси: вторая половина 70-х гг., первая половина 80-х гг. ХХ в. и первая половина 2000-х гг.

Анализ среднегодового числа дней с инеем по метеостанциям Беларуси показал пространственно-временную изменчивость за более чем 30-летний период наблюдений. За год по республике в среднем отмечается около 71,6 дня с инеем. За период с 1975 по 1987 г. отмечалось около 71,1 дня с инеем, в период с 1988 по 2008 г. – 72 дня.

За период 1975–2008 гг. с июня по август по республике зарегистрировано около 2,5 дня с инеем. Чаще иней отмечался на метеостанциях Лынтупы, Полесская, Докшицы (6,3, 6,2 и 5,4 дня соответственно). Редко регистрировалася метеостанциями Полесье (Лельчицы – 0,7 дня, Гомель и Мозырь – 1 день соответственно). Количество дней практически не изменялось от одного периода (1975–1987 гг.) до второго (1988–2008 гг.). В то же время незначительное уменьшение числа дней с явлением отмечается отдельными метеостанциями: Витебск, Сенно, Вилейка, Березино, Столбцы, Лида, Гродно, Волковыск, Кличев, Барановичи, Пружаны, Высокое, Полесская, Брест, Октябрь, Брагин.

Пространственное распределение числа дней с инеем представлено на рис. 16. Количество дней с инеем несколько большее в восточной и центральной частях страны, а их максимум приходится на север Витебской области (рис. 16, а). Наибольшее количество дней с инеем в ноябре – феврале встречается в Витебской области: Свентянские и Браславские гряды и центральная

часть, а также в районе Копыльской гряды (север Центрального Полесья) (рис. 16, б).

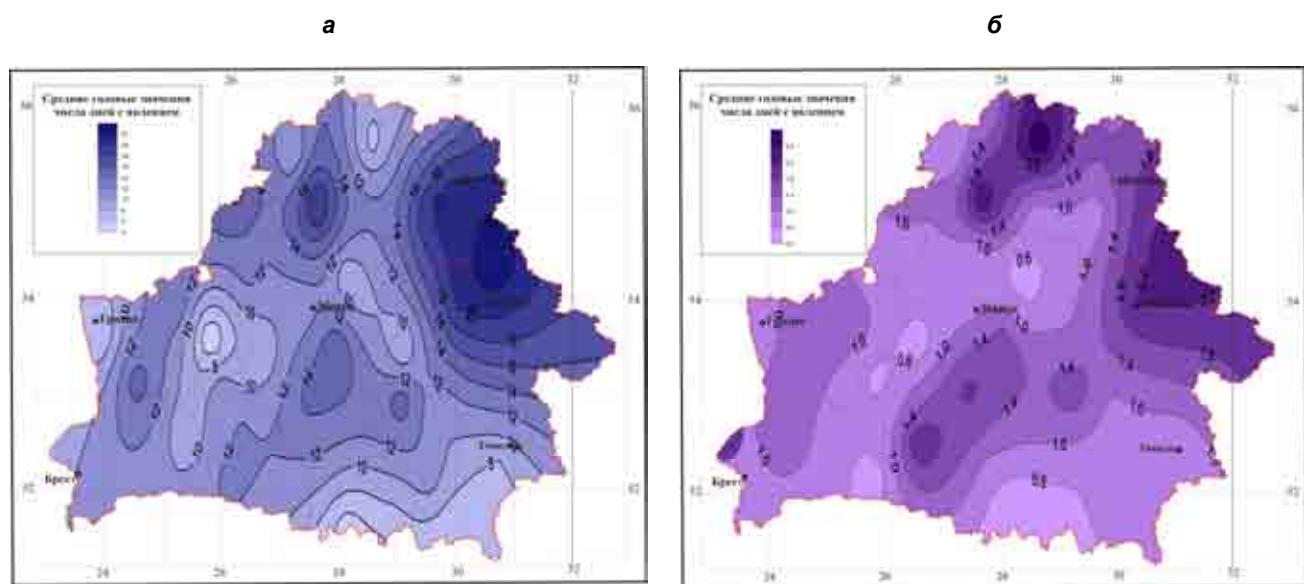
Метели, в основном, отмечаются с декабря по февраль. Однако они могут наблюдаться как весной, так и осенью.

Среднегодовое число дней с метелями – максимальное на северо-востоке и востоке республики, вторичный максимум повторяемости метелей ограничен Новогрудской и Минской возвышенностями, Копыльской грядой и территориально приходится на Новогрудский, Кареличский, Столбцовский и Несвижский районы. Такая же ситуация отмечалась и до 1970-х гг. ХХ в. (рис. 17, а), однако количество дней с метелями в 1975–2008 гг. значительно уменьшилось. На северо-востоке и в районе возвышенностей число дней с метелью – наибольшее и составляет 25–30 дней, на юге – 10–15. Наибольшее число дней с метелями отмечалось на севере (50–60 дней), в центральной части – 35–45 и юге – 20–30 дней.

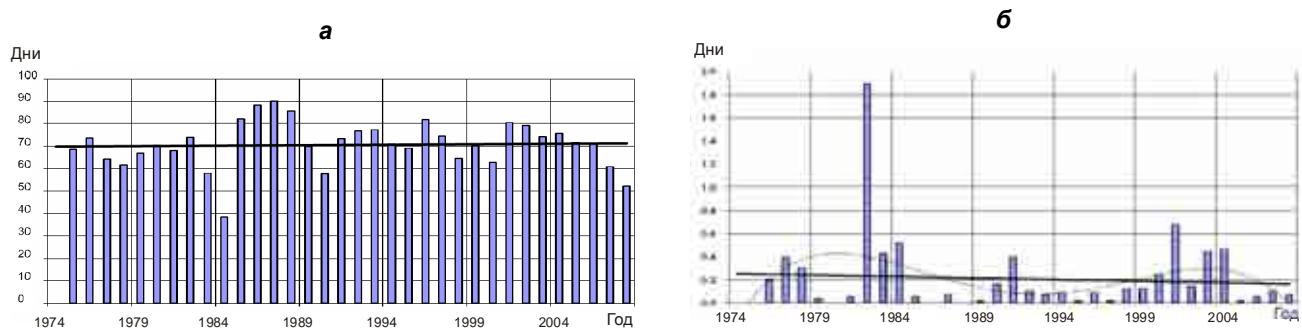
Метели практически ежегодно отмечаются как весной, так и осенью. За 1975–2008 гг. количество дней с метелями значительно уменьшилось (рис. 17, б). Если в 1975–1987 гг. было около 2,8 дней с метелями, то в 1988–2008 гг. – около 1 дня. В период с 1988 по 2008 гг. отмечалось около 0,9 дня. Такое уменьшение количества дней с метелями связано с потеплением климата, начавшимся с конца 80-х гг. ХХ в.

Пространственное распределение метелей представлено на рис. 18. Из рисунка следует, что среднее годовое число дней с метелями – максимально на северо-востоке и востоке республики, вторичный максимум повторяемости ограничен Новогрудской и Минской возвышенностями, Копыльской грядой и территориально приходится на Новогрудский, Кареличский, Столбцовский и Несвижский районы. Такая же ситуация отмечалась и до 1970-х гг. ХХ в. (рис. 18, а), однако количество дней с метелями в 1975–2008 гг. было существенно меньшим. На северо-востоке и в районе возвышенностей число дней с метелью – наибольшее и составляет 25–30 дней, на юге – 10–15. Наибольшее число дней с метелями отмечалось на севере (50–60 дней), в центральной части – 35–45 и юге – 20–30 дней.

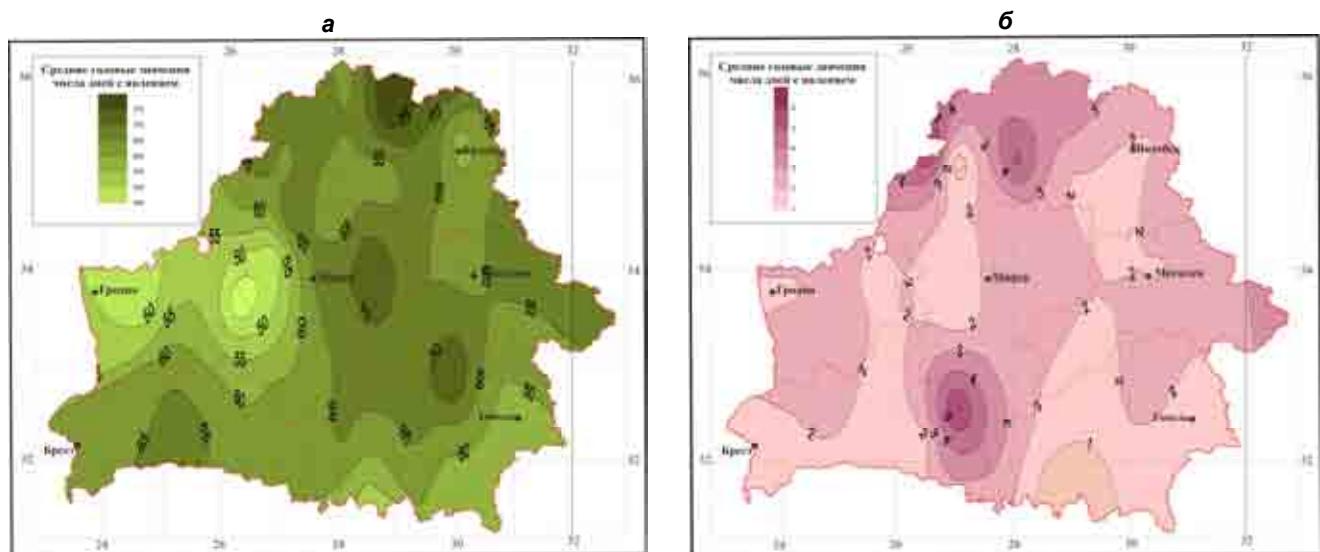
Максимальное число дней с метелями в марте – ноябре наблюдается в северо-восточной части страны (Городокская, Смоленская и Витебская возвышенности), на севере Центрально-Березинской низины, Новогрудской и Копыльской гряды.



**Рис. 14. Число дней с изморозью на территории Беларуси:**  
***а* – в целом за год; *б* – за март – октябрь**



**Рис. 15. Число дней с инеем на территории Беларуси:**  
***а* – в целом за год; *б* – за июнь – август**



**Рис. 16. Число дней с инеем на территории Беларуси:**  
***а* – в целом за год; *б* – за июнь – август**

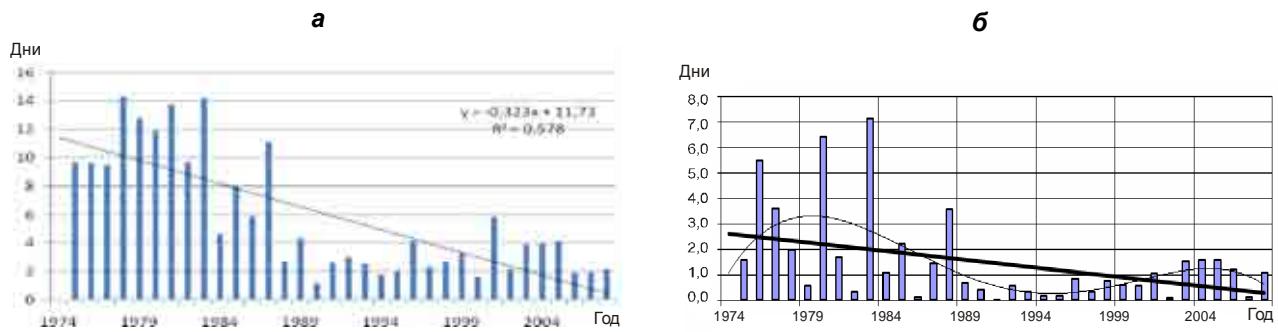


Рис. 17. Число дней с метелями на территории Беларусь:  
а – в целом за год; б – за март – ноябрь

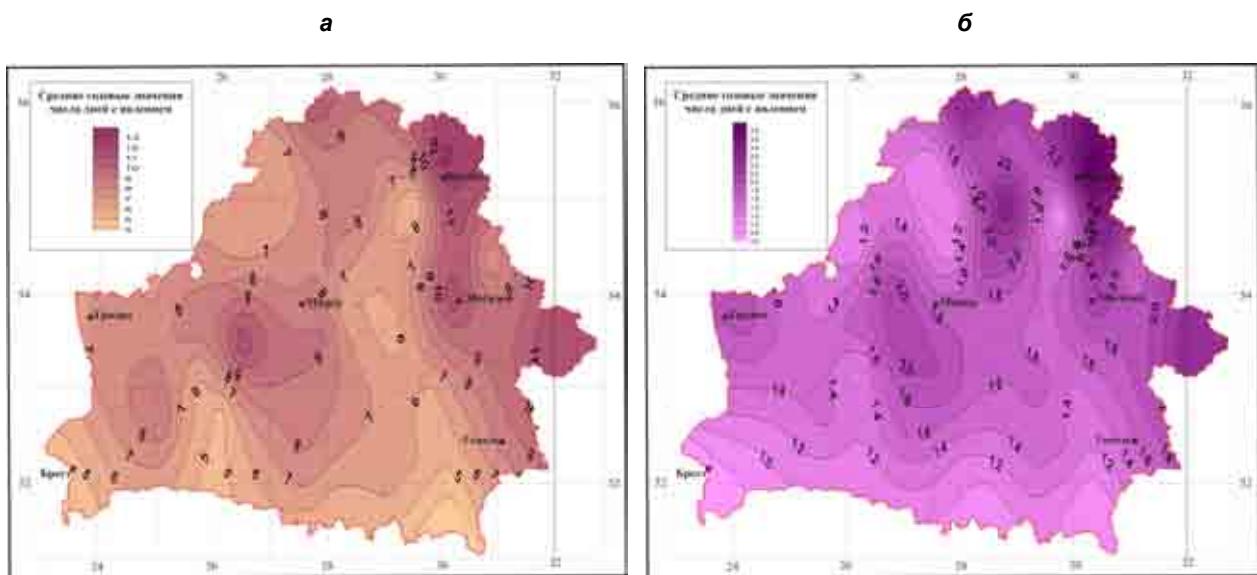


Рис. 18. Число дней с метелями на территории Беларусь:  
а – в целом за год; б – за март – ноябрь

**Заключение.** Выполненные исследования изменения числа дней с ОМЯ на территории Беларусь показали, что статистическая структура количества ОМЯ имеет существенную временную и пространственную изменчивости.

Для исследуемых ОМЯ характерно следующее: 1) рост числа дней со шквалами, дождями ливневыми, заморозками в южной части страны на мелиорированных территориях, засухами, сильной жарой, гололедом; 2) уменьшение числа дней с градом, туманами, изморозевыми отложениями, метелями, сильным морозом, сильными снегопадами; 3) каких-либо заметных положительных или отрицательных трендов не наблюдается по грозам, инею [3].

Количественные изменения ОМЯ в не характерное для них время года показали: 1) уве-

личение количества дней: дождей ливневых, шквалов; 2) уменьшение количества дней: града, туманов, гололеда, изморозевых отложений, инея, метелей; 3) не отмечается выраженных положительных или отрицательных трендов по грозам.

Временные закономерности ОМЯ в не характерное для них время года следующие: в 1975–1989 гг. выше нормы отмечаются: гололедно-изморозевые отложения, метели, туман, в пределах нормы или несколько меньше – дожди ливневые, грозы и инея; в 1990–2004 гг. выше нормы отмечались: грозы, дожди ливневые, инея, с 2004 г. – незначительное уменьшение вышеперечисленных явлений, а в период с 2005 по 2008 гг. наблюдалось уменьшение практически всех ОМЯ.

## Литература

1. **Деркач Д. В.** Исследование изменения и прогноз режима осадков и температуры воздуха в приземном слое атмосферы прибрежной и степной зон Краснодарского края: Автореф. дис. ... канд. физ.-матем. наук. Нальчик, 2008.
2. Климат Беларуси / Под ред. В. Ф. Логинова. Минск, 1996.
3. **Логинов В. Ф.** Опасные метеорологические явления на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока. Минск, 2010.
4. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации: Техническое резюме / Федерал. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Москва, 2008. URL: [http://climate2008.igcse.ru/v2008/pdf/resume\\_teh.pdf](http://climate2008.igcse.ru/v2008/pdf/resume_teh.pdf). Дата обращения: 31.01.2011.
5. **Хромов С. П.** Метеорологический словарь / С. П. Хромов, Л. И. Мамонтова. 3-е изд. перераб. и доп. Л., 1974.
6. **Шкляр А. Х.** Климат Белоруссии и сельское хозяйство. Минск, 1962.
7. **Шкляр А. Х.** Климатические ресурсы Белоруссии и использование их в сельском хозяйстве. Минск, 1973.

**Институт природопользования НАН Беларуси,  
Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси**

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

### **СРАВНЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЙ ОПАСНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ХАРАКТЕРНОЕ И В НЕ ХАРАКТЕРНОЕ ДЛЯ НИХ ВРЕМЯ ГОДА**

Представлены результаты оценки пространственно-временных особенностей изменений опасных метеорологических явлений (ОМЯ) в характерное и не характерное для их формирования время года. Пространственная изменчивость количества ОМЯ оценивалась с помощью методов картирования. Временная изменчивость для большинства ОМЯ аналогична как в характерное, так и не характерное время года (дожди ливневые, грозы, шквалы, туманы, изморозь, метели). Для дождей ливневых, шквалов, гололеда в целом за год характерен рост, а для града, туманов, метелей – падение за период с 1975 по 2008 г. Для отдельных ОМЯ (грозы, изморозь) трендовой составляющей не обнаружено.

Потепление климата в теплое время года в последние два десятилетия привело к росту повторяемости дождей ливневых, шквалистой активности как в характерное, так и в не характерное для их формирования время года. В то же самое время наиболее выраженное потепление климата в холодное время года могло привести к уменьшению числа дней с метелями и изморозью.

Генеральные пространственные особенности ОМЯ в целом сохраняются в характерное и в не характерное для их время года.

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

### **COMPARISON OF EXISTENTIAL FEATURES OF CHANGES OF HAZARDOUS METEOROLOGICAL PHENOMENA IN CHARACTERISTIC AND NOT CHARACTERISTIC FOR THEM SEASON**

*Results of an estimation of existential features of changes of hazardous meteorological phenomena (HMP) in characteristic and not characteristic season for their formation are presented. Spatial variability of HMP quantity was estimated by means of mapping methods. Time variability for majority of HMP is similar as in characteristic and not characteristic season (rains storm, thunder-storms, squalls, fogs, hoarfrost, blizzards). Rains storm, squalls, glaze (as a whole for a year) are characterized with growth, and hailstones, fogs, blizzards – a fall from 1975 to 2008. For separate HMP (thunder-storms, hoarfrost) no trend component has been revealed.*

*Climate warming during warm time last two decades has led to the rise of repeatability of rains storm, squall activity both in characteristic, and not characteristic for their formation season. At the same time the most expressed climate warming in a cold season could lead to the reduction of number of days with blizzards and hoarfrost.*

*In the whole general spatial features of HMP remain in characteristic and not characteristic for their season.*

**С. В. Какарека, О. Ю. Круковская**

## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

*Статья посвящена результатам анализа возможного снижения уровней выбросов твердых частиц от источников на территории Беларуси, полученными с использованием модели GAINS. Описаны алгоритмы модели GAINS, принципы разработки сценария снижения выбросов, состав входной информации. Приведены оценки максимального технически достижимого сокращения выбросов твердых частиц. Выполнена оценка затрат на их снижение и достигаемым в связи с сокращением выбросов снижением воздействия на здоровье человека. Показаны сектора, на которые приходится основной потенциал сокращения выбросов твердых частиц.*

Твердые частицы (ТЧ) (пыль, взвешенные частицы) в атмосферном воздухе рассматриваются в настоящее время как один из основных факторов риска для здоровья населения. В частности, около половины городского населения Европы подвержено воздействию повышенных концентраций ТЧ [5, 6]. Особое внимание уделяется респираторной части твердых частиц – тонкодисперсным частицам с аэродинамическим диаметром менее 10 (ТЧ10) и менее 2,5 (ТЧ2,5) мкм.

По данным Всемирной организации здравоохранения [5], длительное воздействие ТЧ на человека даже в небольших концентрациях повышает смертность, приводит к увеличению случаев бронхита и болезней легких. Установлено также, что чем мельче пылевые частицы, тем дальше они находятся в воздухе в виде аэрозоля и тем легче в процессе дыхания попадают в организм человека. Тонкодисперсные ТЧ с вдыхаемым воздухом проникают в более глубокие отделы дыхательных путей; в качестве порогового размера обычно рассматривается аэродинамический диаметр частиц 10 мкм [11].

Важнейшим международным договором в Европе, регулирующим выбросы основных загрязняющих веществ, является Гетеборгский протокол к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния, подписанный в 1999 г. Он устанавливает основные обязательства стран в отношении закисляющих, эвтрофирующих соединений и предшественников приземного озона.

В настоящее время проводится работа по пересмотру Гетеборгского протокола. Как ожидается, в него будут добавлены обязательства стран в отношении выбросов ТЧ, которые будут включать снижение валовых выбросов пыли в соответствии с установленными ограничениями, установление норм содержания ТЧ в выбросах новых и действующих источников, использование лучших имеющихся технологий и др. При этом разработка нормативных положений в отношении выбросов ТЧ, как на международном, так и на национальных уровнях, должна осуществляться с использованием эффект-ориентированного подхода. В соответствии с данным

подходом, развиваемым в рамках Женевской конвенции, стратегии снижения выбросов должны разрабатываться с учетом экономической эффективности затрат, что предусматривает в том числе достижение максимального экологического эффекта от затрат на снижение выбросов на национальном и региональном уровнях.

Ежегодные выбросы ТЧ в Беларуси составляют около 80 тыс. т, в том числе 35 тыс. т тонкодисперсных частиц (ТЧ10). Основные источники – промышленность (45 %), жилищно-коммунальное хозяйство (15 %) и сельское хозяйство (13 %) [7]. В 2009 г. наибольший вклад в выбросы ТЧ внесли сектора «Сельское хозяйство» (18 %), «Обрабатывающая промышленность» (12 %), «Уборка, хранение и использование навоза» (11 %), «Энергетика общего пользования и производства тепла» (10 %) (рис. 1).

В выбросы ТЧ2,5 вклад жилого сектора составил 22 %, обрабатывающей промышленности – 21 %, энергетики – 19 %, автомобильного транспорта – 15 %, сельского хозяйства/лесного хозяйства/рыболовства – 13 %.

Цель проведенного исследования – определение потенциала сокращения выбросов ТЧ в Беларуси, является важным элементом подготовки воздухоохраных программ, как международных, так и национальных. В частности, на стадии подготовки новой редакции Гетеборгского протокола выполняется детальный анализ всех доступных технологий снижения выбросов, связанных с ними затрат и выбросов в европейском масштабе. Для такого анализа используются модели интегральной оценки, в частности модель GAINS.

Интегральная оценка выбросов позволяет не только определить максимальное сокращение выбросов, но и оценить его стоимость и результивативность для экосистем и здоровья населения. Она позволяет рассчитывать выбросы ТЧ с распределением по фракциям (ТЧ, ТЧ10, ТЧ2,5), по категориям источников, строить прогнозы выбросов для различных сценариев, рассчитывать затраты на воздухоохраные мероприятия, оценивать воздействие на экосистемы и здоровье человека [9, 13].

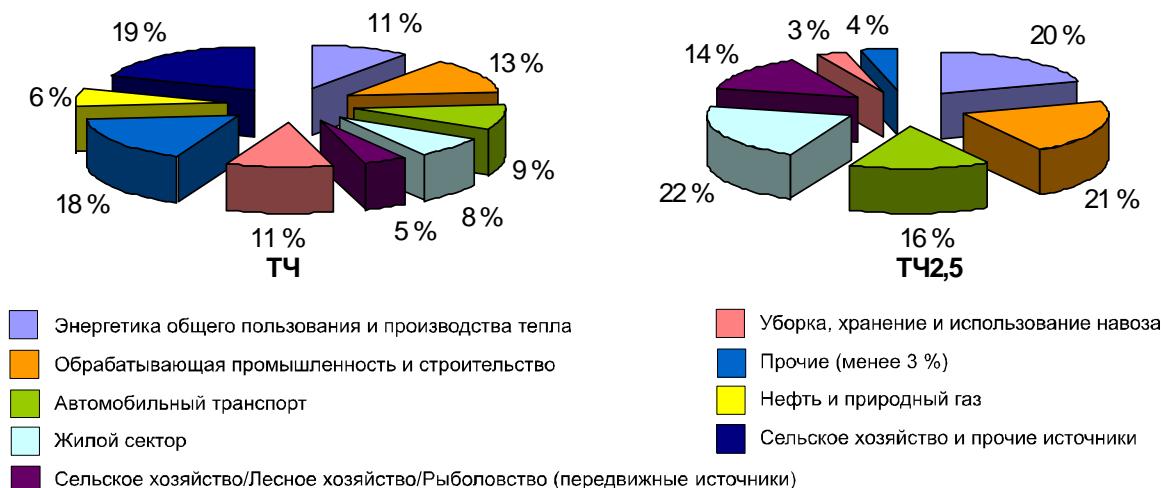


Рис. 1. Структура выбросов ТЧ и ТЧ2,5 в Беларусь в 2009 г.

Модель *GA/NS* была использована нами ранее для оценки выбросов ТЧ и затрат на их снижение [1]. В данной работе она применяется для оценки потенциала снижения выбросов ТЧ путем расчета сценария максимального технически достижимого сокращения выбросов ТЧ (МТДСВ) – одного из базовых сценариев *GA/NS*.

Как показано в [11, 12], в сценарии *GA/NS* обычно выделяют три основных блока параметров:

- прогнозные показатели развития отраслей (источников выбросов) (*pathway*);
- стратегию снижения выбросов в отраслях (*control strategy*);
- вектор выбросов в отраслях (*emission vector*).

В соответствии с методологией модели *GA/NS* для оценки потенциала сокращения выбросов на основании прогнозов социально-экономического развития был сформирован сценарий МТДСВ до 2020 г.

Использованные прогнозные показатели определены в соответствии с профильными программами социально-экономического развития до 2020 г., принятыми в Беларусь и ранее используемыми для прогноза выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [2]. К числу важных особенностей принятых программ относится прогнозируемое существенное увеличение потребления топлива с опережающим ростом использования местных видов топлива, рост объемов производства в основных отраслях промышленности, количества транспортных средств, поголовья скота всех видов.

Сценарий МТДСВ предполагает, что в контрольную стратегию заложена полная (в масштабах отрасли) реализация наиболее эффективных из имеющихся к настоящему времени технических мер по снижению выбросов. Например, оснащение всех источников выбросов твердых веществ в промышленности высокоеффективными

пылеуловителями, использование пылеуловителей в бытовом секторе, переход на транспортные средства классов Евро-5 и выше и т.д. (табл. 1). Очевидно, что не все из имеющихся мер могут быть реализованы даже в отдаленной перспективе, однако оценка их возможного эффекта представляется весьма полезной для выявления порога доступного сокращения выбросов.

В контрольной стратегии ряда секторов с несколькими технологиями равной эффективности, степень применения между ними равномерно распределялась.

Принято, в частности, что в энергетике и промышленности 100 % установок будут оснащены оборудованием группы высокоэффективных пылеуловителей (рукавными фильтрами, трехпольными электрофильтрами, в соответствии с параметрами технологического процесса); в транспортном секторе предусмотрено достижение стандартов Евро 6 и Евро VI легковыми и грузовыми транспортными средствами, а также 3-я стадия контроля выбросов на грузовиках с искровым зажиганием и мототранспортных средствах.

В сельском хозяйстве повсеместно будут использованы альтернативные способы земледелия (в т.ч. неглубокая вспашка), изменен рацион питания сельскохозяйственных животных, внедрена практика хорошей организации работ, для ферм КРС дополнительно будет осуществляться приготовление силоса, способствующее сокращению выбросов ТЧ.

В коммерческо-бытовом секторе предполагается использование высокоэффективных пылеуловителей (рукавных фильтров) для средних бойлеров (0,05–1 МВт) на угле с автоматической загрузкой и малых бойлеров (менее 0,05 МВт) на древесном топливе и сельскохозяйственных отходах, циклонов для средних бойлеров с ручной загрузкой, а также замена кухонных плит на новые.

**Таблица 1. Контрольная стратегия для сценария максимального технически доступного сокращения выбросов ТЧ для энергетики, промышленности и транспорта (фрагмент)**

Сектор	Кодировка технологии	Технология сокращения выбросов
Производство и переработка топлива: сжигание топлива (исключая сжигание в бойлерах)	IN_HED	Высокоэффективный пылеуловитель
Электростанции	HED	Высокоэффективный пылеуловитель
Бытовой, коммерческий сектор, сельское хозяйство и др.	GHDOM	Хорошая организация хозяйства
Строительство	SPRAY	Разбрызгивание воды в местах строительства
Добыча полезных ископаемых	MINE_GP	Хороший метод организации производственных работ
Промышленные процессы: металлургия, строительные материалы, минеральные удобрения и др.	PR_HED	Высокоэффективный пылеуловитель
Промышленные процессы: производство кирпича	TK_EOF	Туннельная печь с системой снижения выбросов на конце трубы
Промышленные процессы: неорганизованные выбросы	PRF_GP2	Хороший метод организации производственных работ – 2-я стадия
Хранение и обращение: продукция	STH_GP	Хороший метод организации
Отходы: сжигание сельскохозяйственных и бытовых отходов	BAN	Запрет на открытое сжигание
Бензиновые и газобаллонные грузовые автомобили и автобусы	HDSEIII	Стадия 3 контроля выбросов на грузовиках с искровым зажиганием
Дизельные грузовые автомобили и автобусы	HDEUVI	Евро VI: дизельные грузовики с большой грузоподъемностью
Мотоциклы, мопеды и легковые автомобили с двухтактными двигателями	MMO2III	Стадия 3 контроля выбросов
Бензиновые и газобаллонные легковые автомобили и небольшие грузовики	LFEUVI	Евро 6: автомобили с искровым зажиганием, (четырехтактные двигатели)
Дизельные легковые автомобили и небольшие грузовики	MDEUVI	Евро 6: дизельные грузовики с малой грузоподъемностью
Мотоциклы с четырехтактными двигателями	MOT4III	Стадия 3 контроля выбросов на мотоциклах

Для сценария МТДСВ рассчитаны выбросы ТЧ, ТЧ10, ТЧ2,5 и затраты на их снижение по секторам промышленных и сельскохозяйственных производственных источников классификаторов *GA/NS* и *SNAP1*, а также воздействие на здоровье населения, ожидаемое к уровню 2020 г.

Потенциал сокращения выбросов оценивался как максимально достижимое сокращение выбросов к уровню выбросов базового 2005 г. (в %).

Оценка затрат выполнена в абсолютных показателях, приведено увеличение годовых затрат, требуемое для реализации сценария МТДСВ.

$$\Delta E_A = \frac{\sum_x \sum_y \Delta L_{xy}}{P_{total/nat}} = \frac{i}{P_{total/nat}} \cdot \sum_x \sum_y [(\beta \cdot PM_{x,y}) \cdot P_{total/x,y} (\sum_{c=w_0}^{w_1} H_c \cdot P_c)],$$

где  $\Delta L_{xy}$  – изменение продолжительности жизни для населения, проживающего в ячейке  $x$ , у сетки (50×50 км);  $P_{total/nat}$  – население страны (старше 30 лет);  $P_{total/x,y}$  – население старше 30 лет, проживающее в ячейке  $x$ , у сетки (50×50 км);  $P_c$  – население страны возрастной группы  $c$ ;  $i$  – продолжительность временного интервала;  $\beta$  – функциональный параметр;  $PM_{x,y}$  – концентрация

Алгоритмы, используемые *GA/NS* для расчета выбросов ТЧ и затрат на их снижение, описаны ранее [1]. Оценка воздействия на здоровье населения в модели *GA/NS* осуществляется с использованием функций, характеризующих связь между содержанием загрязняющего вещества в атмосферном воздухе и реакцией организма человека. Модель описывает воздействие ТЧ на организм человека через сокращение продолжительности жизни.

Сокращение продолжительности жизни определяется для отдельной страны согласно уравнению

ТЧ2,5 в атмосферном воздухе в ячейке сетки;  $w_0$  – начальный учитываемый возраст (30 лет);  $w_1$  – конечный учитываемый возраст (95 лет).

$$H_c = \int_c^{w_1} l_c(t) \ln l_i ,$$

где  $l_c(t)$  – группа населения в возрасте 30 лет в рассматриваемом году  $t$ .

Концентрация ТЧ в атмосферном воздухе определяется с использованием модели переноса ЕМЕП с разрешением 50×50 км, с выделением превышений уровня ТЧ2,5 во внегородских территориях. В модели используется демографическая статистика Организации Объединенных Наций и параметры риска смертности, которые определены эпидемиологическими исследованиями продолжительности жизни в некоторых странах [10].

В соответствии с методологией расчета затрат по модели *GAINS*, распределение затрат по секторам основано на отнесении всего объема затрат к основному загрязняющему веществу. В результате такого распределения затраты на снижение выбросов для передвижных источников отнесены к затратам на снижение выбросов NOx и не оцениваются при определении затрат на снижение выбросов ТЧ.

Выбросы от коммерческо-бытового сектора («02: Непромышленные установки сжигания») приведены в соответствии с расчетами по сценариям, однако не включены в общую сумму затрат, так как требуется поиск оптимальной контрольной стратегии, позволяющей получить наименьшие возможные выбросы с учетом прогнозируемого потребления топлива в секторе.

Расчет валовых выбросов по модели *GAINS* показал, что при использовании действующих технологий снижения выбросов минимальный уровень выбросов ТЧ в 2020 г. может составить 116 тыс. т.

При максимальном использовании всех доступных технологий снижения выбросов ТЧ можно ожидать их сокращение до уровня 30,3 тыс. т (без учета коммерческо-бытового сектора). Суммарный потенциал сокращения выбросов составит к уровню базового года 34 % (табл. 2). Для большей части источников выбросов при максимальном использовании технологий снижения выбросов может быть достигнуто сокращение выбросов даже с учетом ожидаемого роста объемов производства. Исключение составляет добыча и распределение твердого топлива, где к базовому году внедрены все доступные мероприятия по снижению выбросов ТЧ и к 2020 г. ожидается значительный рост объемов обращения. Выбросы от добычи и обращения с углем включены в сектор *SNAP1* «05: Добыча и распределение ископаемого топлива» и согласно сценарию МТДСВ составят 5 тыс. т в 2020 г., что в 13 раз больше уровня базового года.

**Таблица 2. Прогнозные уровни выбросов ТЧ на территории Беларуси при реализации технически доступных мер по снижению выбросов**

Сектор источников выбросов	Выбросы, согласно сценарию МТДСВ, тыс. т в год	Потенциал сокращения, проценты к уровню базового года
01: Сжигание в энергетической и перерабатывающей промышленности	0,48	98,2
02: Непромышленные установки сжигания	22,8	32,3
03: Сжигание в обрабатывающей промышленности	3,53	84,6
04: Производственные процессы	4,04	89,8
05: Добыча и распределение ископаемого топлива	4,96	-1240,5
07: Автомобильный транспорт	0,57	74,0
08: Другие передвижные источники и механизмы	0,23	94,3
09: Обработка и удаление отходов	1,14	7,3
10: Сельское хозяйство	15,35	19,3
Итого	53,63	64,2
Итого (без непромышленных установок сжигания)	30,3	73,9

При внедрении максимально доступных мер наибольшим потенциалом сокращения выбросов характеризуются энергетика (98,2 %), прочие (внедорожные) передвижные источники (94,3 %) и производственные процессы (89,8 %).

Сокращение выбросов возможно за счет установки высокоэффективных пылеуловителей на электростанциях (98 %), на предприятиях по производству минеральных удобрений (96 %), цемента (44 %), извести (98 %), чугунного литья (93 %).

Модернизация автотранспортного парка в соответствии со стандартами Евро 6 и Евро VI приведет к сокращению выбросов ТЧ на

2,8 тыс. т (на 74 %). Наиболее значительным потенциалом сокращения выбросов ТЧ от передвижных источников характеризуется железнодорожный транспорт – 95 %. Выбросы от этой категории источников могут быть сокращены на 1,0 тыс. т. Также высок потенциал сокращения выбросов для сельскохозяйственной и лесной техники: сокращение составит 94 % (или 2,8 тыс. т в абсолютных величинах).

Предложенная стратегия МТДСВ в коммерческо-бытовом секторе позволит сократить выбросы ТЧ на 10,9 тыс. т. При этом потенциал сокращения выбросов не высок – 32,3 % и может

быть реализован при обновлении печного отопления.

Минимальным потенциалом сокращения выбросов характеризуются процессы обращения с отходами (7,3 %) и сельское хозяйство (19,3 %). В секторе обращения с отходами незначительное снижение выбросов прогнозируется равномерно и обусловлено сокращением численности населения, а также использованием фильтрую-

щих материалов при приготовлении пищи на открытом огне.

**Выбросы тонкодисперсных ТЧ** (ТЧ2,5) с использованием максимального уровня очистки могут быть сокращены до 8,3 тыс. т без учета коммерческо-бытового сектора, что в 4,6 раз ниже уровня базового года. Потенциал сокращения выбросов мелкодисперсных ТЧ составляет 78,5 % (табл. 3).

**Таблица 3. Прогнозные уровни выбросов тонкодисперсных ТЧ (ТЧ2,5) на территории Беларуси при реализации технически доступных мер по снижению выбросов**

Сектор источников выбросов	Выбросы, согласно сценарию МТДСВ, тыс. т в год	Потенциал сокращения, проценты к уровню базового года
01: Сжигание в энергетической и перерабатывающей промышленности	0,33	88,2
02: Непромышленные установки сжигания	17,69	21,1
03: Сжигание в обрабатывающей промышленности	2,93	60,3
04: Производственные процессы	1,7	91,4
05: Добыча и распределение ископаемого топлива	0,29	-1350,0
07: Автомобильный транспорт	0,51	83,4
08: Другие передвижные источники и механизмы	0,21	94,2
09: Обработка и удаление отходов	1,14	7,3
10: Сельское хозяйство	1,22	-54,4
Итого	26,02	57,5
Итого (без непромышленного сжигания)	8,33	78,5

Согласно полученным результатам, основной вклад (без учета непромышленных установок сжигания) в выбросы тонкодисперсных ТЧ при максимально возможных уровнях очистки будут вносить процессы сжигания в обрабатывающей промышленности (35 %) и производственные процессы (20 %).

При учете выбросов от коммерческо-бытового сектора минимальное достижимое количество выбрасываемых тонкодисперсных ТЧ составит 26,0 тыс. т, что в 3,1 раза больше, чем без учета влияния данного сектора.

Полученная величина общего потенциала сокращения выбросов может быть сформирована посредством значительного сокращения выбросов в таких секторах, как «08: Другие передвижные источники и механизмы» (94,2 %), «04: Производственные процессы» (91,4 %), «01: Сжигание в энергетической и перерабатывающей промышленности» (88,2 %). Ожидается рост выбросов тонкодисперсных ТЧ в процессах обращения с углем и в сельском хозяйстве.

Выбросы тонкодисперсных ТЧ2,5 могут быть сокращены при использовании высокоеффективных пылеуловителей при производстве минеральных удобрений (на 93 %), чугунного литья (на 98 %), переработки нефти (на 98 %), от электродуговых печей (на 79 %), при модернизации электростанций (на 88 %).

Производства цемента и извести не обладают высоким потенциалом сокращения тонкодисперсных ТЧ2,5, в отличие от суммарных ТЧ.

Выбросы ТЧ2,5 могут быть сокращены только на 14 % при производстве цемента (0,5 тыс. т). Потенциал сокращения выбросов при производстве стекла также высок (90 %), однако возможное сокращение выбросов составляет 0,3 тыс. т.

В бытовом секторе наибольшее сокращение выбросов ТЧ2,5 в размере 7,4 тыс. т (37,6 %), согласно выбранной контрольной стратегии, достигается при модернизации систем печного отопления.

Выбросы от передвижных источников могут быть сокращены на 2,6 и 3,4 тыс. т для автомобильного транспорта и прочих передвижных источников соответственно. При этом наибольший вклад в сокращение выбросов ТЧ2,5 внесет переход на грузовые транспортные средства с двигателями стандарта Евро VI – 0,52 тыс. т, наибольшим потенциалом характеризуются небольшие (до 3,5 т) грузовые автомобили при замещении в соответствии со стандартом Евро 6 – 88 %.

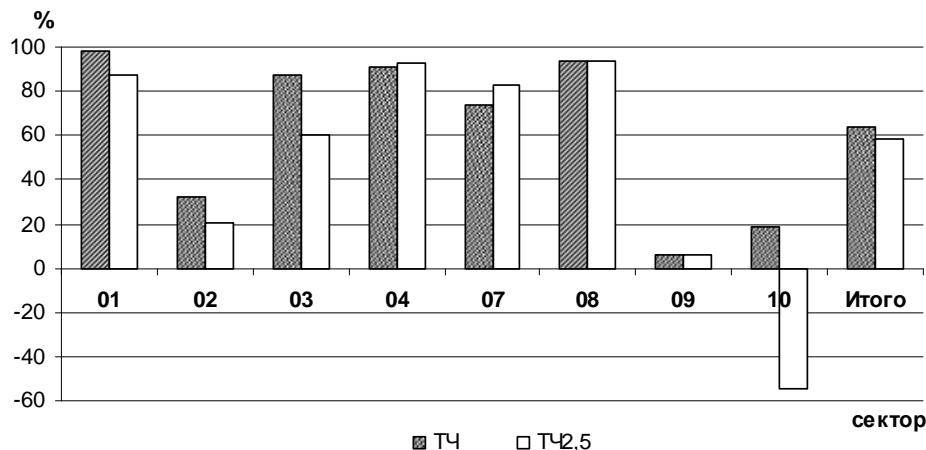
Минимальным потенциалом сокращения ТЧ2,5 (7,3 %) характеризуются процессы обращения с отходами.

Аналогично выбросам суммарных ТЧ, ожидается рост выбросов тонкодисперсных ТЧ от секторов «05: Добыча и распределение ископаемого топлива», а также от сектора «10: Сельское хозяйство», обусловленный прогнозируемым ростом количества используемого угля и производства сельскохозяйственной продукции.

Таким образом, потенциал сокращения выбросов суммарных ТЧ выше аналогичной ве-

личины для тонкодисперсных твердых частиц (рис. 2) как в отдельных секторах, так и валовой. Данное соотношение потенциалов сокращения

вызвано большей эффективностью улавливания крупных частиц с использованием существующих технологий.



**Рис. 2. Потенциал сокращения выбросов ТЧ (суммарных и тонкодисперсных) в отдельных секторах экономики, согласно классификатору SNAP1**

**Затраты**, необходимые для достижения максимального сокращения выбросов ТЧ, прогнозируются на уровне 292,5 млн евро/г. (без учета затрат на коммерческо-бытовой сектор) (табл. 4). Наибольшее количество средств потребуется израсходовать для реализации потенциала сокращения выбросов в сельском хозяйстве (87,0 млн евро) и промышленности (52,6 млн евро). Также

высоки затраты для перехода к использованию транспортных средств стандартов Евро 6 и Евро VI: 95 млн евро. Хотя данная категория затрат предназначена в первую очередь для сокращения выбросов NO<sub>x</sub>, она, как показано выше, способствует значительному сокращению выбросов ТЧ.

**Таблица 4. Затраты, необходимые для реализации сценария МТДСВ, млн евро**

Код SNAP1	Затраты, согласно сценарию МТДСВ в 2020 г.	Прирост затрат, проценты к уровню 2005 г.
01: Сжигание в энергетической и перерабатывающей промышленности	16,4	811,1
02: Непромышленные установки сжигания	1458,8	6913,5
03: Сжигание в обрабатывающей промышленности	25,1	348,2
04: Производственные процессы	52,6	90,6
05: Добыча и распределение ископаемого топлива и геотермальной энергии	16,4	1266,7
07: Автомобильный транспорт	51	400,0
08: Другие передвижные источники и механизмы	44	-
10: Сельское хозяйство	87	5700,0
Итого	1671,0	2332,3
Итого (без непромышленного сжигания)	292,5	510,6

Наибольшее увеличение затрат (в 52 раза) относительно базового года требуется для сокращения выбросов в сельском хозяйстве и формируется в равной степени от модернизации технологий в растениеводстве (22,1 млн евро), свиноводстве (21,1 млн евро), птицеводстве (22,1 млн евро) и разведении КРС (19,8 млн евро).

Основное увеличение затрат на снижение выбросов ТЧ в промышленности необходимо в цементной промышленности (16 млн евро) и на

малых коммерческих предприятиях, производящих различную продукцию (42 млн евро).

Чрезвычайно высокие затраты, требуемые в коммунально-бытовом секторе, обусловлены предусмотренными в контрольной стратегии переоснащением этого сектора новыми отопительными системами.

Увеличение затрат при распределении ископаемого топлива связано с увеличением вы-

бросов, вызванным запланированным ростом использования угля до 2020 г.

**Воздействие на здоровье населения**, выражаемое в сокращении продолжительности жизни вследствие повышенных концентраций ТЧ2,5 в атмосферном воздухе, при максимальном уровне внедрения эффективных технологий пылеулавливания оценивается в размере

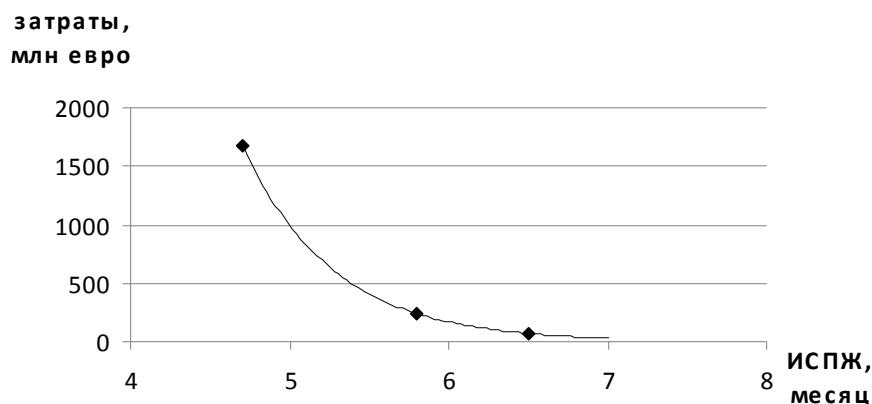
2,43 млн лет для населения Беларуси старше 30 лет и может быть представлено как индивидуальное сокращение продолжительности жизни (ИСПЖ) на 4,7 мес. (табл. 5). В табл. 5 также приведен уровень концентрации ТЧ2,5 и соответствующее сокращение продолжительности жизни, ожидаемые при сохранении текущего уровня технологий в 2020 г.

**Таблица 5. Воздействие на здоровье населения в связи с выбросами ТЧ2,5 при реализации сценария МТДСВ**

Показатель	Базовый год	Сценарий МТДСВ	Потенциал сокращения, %
Средняя концентрация ТЧ2,5	9,047	6,584	27,2
Снижение продолжительности жизни, млн лет	3,333	2,426	
Индивидуальное сокращение продолжительности жизни, мес.	6,5	4,7	

В соответствии со сценарием МТДСВ, потенциал сохранения продолжительности жизни вследствие сокращения средней концентрации ТЧ2,5 составляет 27,2 % к уровню базового года. Путем сопоставления затрат на технологии снижения ТЧ и снижения сокращения продолжительности жизни вследствие их внедрения согласно различным сценариям, сформирована кривая затрат (рис. 3), которая позволяет опре-

делить величину денежных средств, необходимую для снижения сокращения продолжительности жизни на заданную величину. Ограниченнность применения данной кривой состоит в том, что невозможно определить уровень затрат для достижения продолжительности жизни большей, чем прогнозируемая при максимальном использовании наиболее эффективных технологий.



**Рис. 3. Зависимость ИСПЖ от затрат на снижение выбросов ТЧ**

Установленный потенциал сокращения выбросов ТЧ к 2020 г. для Беларуси составляет 64,2 %, в том числе 78,5 % для тонкодисперсных частиц. Данное значение сходно с европейскими оценками, определенными для Беларуси (65,2 %). Однако несмотря на сходный потенциал, достижимые уровни выбросов различаются. Минимальный прогнозируемый уровень выбросов ТЧ2,5, согласно европейским прогнозам, для Беларуси составляет 16 тыс. т, что несколько выше полученного нами значения без учета коммерческо-бытового сектора.

При этом оцененный потенциал сокращения выбросов ТЧ в Беларуси близок к уровню

других европейских стран, в особенности стран, не входящих в ЕС. Для отдельных стран ЕС потенциал сокращения выбросов минимален вследствие уже достигнутого к базовому году значительного сокращения.

Выбросы ТЧ2,5 во всех странах Европы по базовому сценарию прогнозируются на уровне 2,39 млн т. Максимальное технически доступное сокращение (нижний предел выбросов) составляет 0,90 млн т; потери продолжительности жизни – соответственно 4,7 и 2,6 мес. Максимальное технически достижимое сокращение выбросов ТЧ2,5 составляет в среднем 70 %. Оно варьирует в диапазоне от 33 % до 88 %. Потери лет жизни

составляют в среднем 2,4 мес./чел. (от 0,8 мес./чел. в Норвегии до 4,9 мес./чел. в Бельгии), что значительно ниже прогнозируемого уровня согласно сценарию МТДСВ. Различие в ожидаемом сокращении продолжительности жизни может быть обусловлено высоким уровнем выбросов тонкодисперсных ТЧ от бытового сектора, а также использованием контрольной стратегии только для Беларуси, исключая другие страны.

Необходимые дополнительные затраты на максимальное сокращения выбросов в Европе в среднем составляют 278,2 млн евро (от 2,9 млн евро для Мальты до 2372,6 млн евро для России). Данный показатель для Беларуси определен в размере 186,5 млн евро, что ниже, чем по сценарию МТДСВ даже без учета затрат в коммерческо-бытовом секторе.

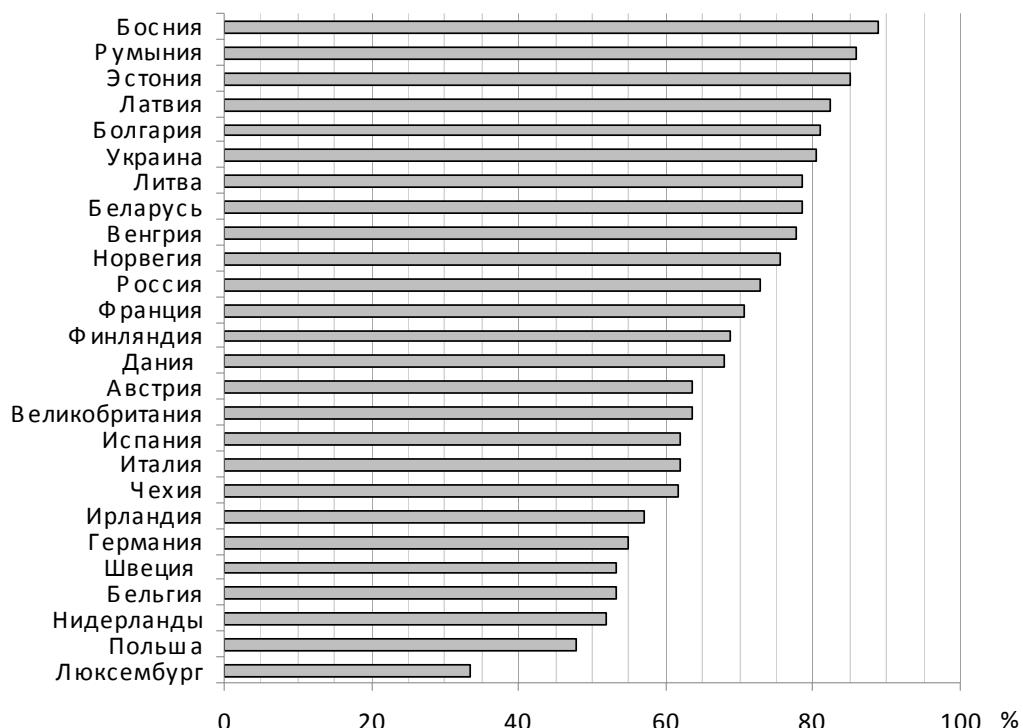


Рис. 4. Потенциал сокращения выбросов тонкодисперсных ТЧ в Европе, %

Таким образом, потенциал сокращения валовых выбросов ТЧ относительно уровня 2005 г. в Беларуси весьма значителен, однако он может быть реализован путем увеличения годовых расходов на снижение выбросов ТЧ до 300 млн евро. В настоящий момент расходы на охрану атмосферного воздуха составляют около 60 млн евро в год.

Наиболее значительное снижение выбросов вследствие улучшения технологий возможно для передвижных источников, которое может иметь место даже в случае значительного увеличения потребления топлива в данном секторе. Значителен также потенциал сокращения выбросов в энергетике и некоторых отраслях промышленности.

Внедрение пылеулавливающих технологий на максимально достижимом уровне позволит снизить сокращение ожидаемой продолжительности жизни вследствие воздействия тонкодисперсных ТЧ на 1,8 мес.

Для получения более точных оценок как выбросов, так и затрат на их снижение и воздействий на здоровье, по другим сценариям требуется повышение точности параметризации входных данных, включая технико-экономические показатели систем снижения выбросов, и уточнение контрольной стратегии для отдельных секторов.

Оценки максимального достижимого уровня сокращения выбросов будут использованы в качестве базовых при разработке других сценариев сокращения выбросов.

## Литература

1. **Какарека С. В.** Источники и уровни выбросов твердых взвешенных частиц на территории Беларуси // Природные ресурсы. 2007. № 2. С. 20–32.
2. **Какарека С. В., Мальчишина А. В.** Прогноз выбросов загрязняющих веществ до 2020 г. на территории Беларуси // Природопользование. Минск, 2009. Вып. 16. С. 23–29.
3. **Какарека С. В.** Трансграничное загрязнение атмосферного воздуха и его регулирование. Минск, 2009.
4. Охрана окружающей среды в Беларусь: Статистический сборник. Министерство статистики и анализа Республики Беларусь. Минск, 2008
5. Протокол к конвенции 1979 г. о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния относительно дальнейшего сокращения выбросов серы. Осло, 1994.
6. Протокол о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном к конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния 1979 года. Гетеборг, 1999.
7. Состояние природной среды Беларусь: Экол. бюл. 2009 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. Минск, 2010 г.
8. Статистический ежегодник. Республика Беларусь. Министерство статистики и анализа Республики Беларусь. Минск, 2008.
9. Directive 2001/81/EC on National Emission Ceilings for Certain Atmospheric Pollutants / European Parliament and the Council. 2001.
10. **Mechler R., Amann M., Schöpp W.** A methodology to estimate changes in statistical life expectancy due to the control of particulate matter air pollution. IR-02-035, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 2002.
11. Modelling Particulate Emissions in Europe. A Framework to Estimate Reduction Potential and Control Costs // Klimont Z., Cofala J., Bertok I., Amann M., Heyes C., Gyarfas F. 2002. IR-02-076.
12. RAINS Review. Documentation of the model approach prepared for the RAINS, 2004. Thematic Strategy on Air Pollution / Commission of the European Communities. Brussels, 2005.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

**C. B. Какарека, O. Ю. Круковская**

## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

Выполнена оценка потенциала сокращения выбросов твердых частиц в Беларуси по отношению к базовому (2005) году. С использованием модели GAINS определен минимальный технически достижимый уровень выбросов суммарных и тонкодисперсных твердых частиц, уровень затрат на реализацию требуемых мероприятий и сокращение продолжительности жизни вследствие повышенной концентрации тонкодисперсных твердых частиц в атмосферном воздухе.

Установлено, что наибольшим потенциалом сокращения выбросов твердых частиц характеризуются передвижные источники, энергетика и отдельные отрасли промышленности.

Оценки максимального достижимого уровня сокращения выбросов будут использованы в качестве базовых при разработке других сценариев сокращения выбросов.

**S. Kakareka, O. Krukowskaya**

## ASSESSMENT OF PARTICULATE MATTER EMISSION REDUCTION POTENTIAL

*The potential assessment of PM emission reduction in Belarus relative to the baseline (2005) year was carried out. Using the GAINS model a maximum technically feasible reduction of PM and PM2.5, the level of abatement costs for the required control technologies and years of life lost due to the increased concentrations of PM2.5 in ambient air were estimated.*

*It has been found that the greatest potential of particulate emission have mobile sources, power plants and some industry processes.*

*The assessment of MTFR level will be used as a basis for other emission reduction scenarios development.*

**С. В. Какарека, Ю. Г. Ашурко**

## ОСОБЕННОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ ФОРМАЛЬДЕГИДА В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОДУКЦИИ ДЕРЕВООБРАБОТКИ

*Статья посвящена анализу поступления формальдегида в атмосферный воздух при изготавлении и использовании продукции деревообработки. Показаны основные источники поступления. Рассмотрены методики расчета выбросов формальдегида при производстве ДСП и фанеры. Проанализированы основные факторы, влияющие на объемы выбросов данного загрязняющего вещества, а также методы снижения выбросов. Указано на необходимость учета выбросов формальдегида из готовых изделий.*

Формальдегид (метаналь) – вероятно канцерогенное для человека вещество [10], относящееся ко 2-му классу опасности. Это соединение является одним из самых распространенных загрязнителей атмосферного воздуха городов Беларуси [8]. В связи с этим выявление источников и оценка поступления формальдегида в окружающую среду – важное условие разработки эффективной стратегии сокращения загрязнения атмосферного воздуха в городах данным поллютантом.

Основными антропогенными источниками формальдегида в атмосфере являются:

- промышленные предприятия, использующие формальдегид и содержащие его материалы в своей деятельности;
- автотранспорт и стационарные топливосжигающие установки;

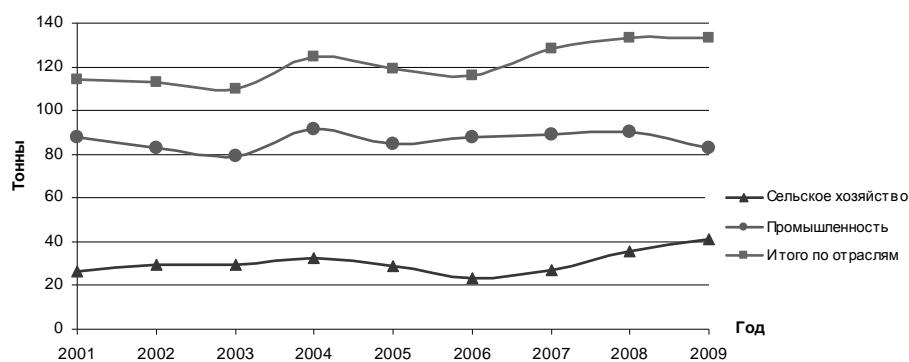
– материалы, содержащие формальдегид (древесные плиты, фенопластики);

– лесные, торфяные и городские пожары, свалки бытовых и промышленных отходов [9].

Формальдегид также возникает в ходе фотокисления многих классов органических веществ в атмосфере и, в частности, углеводородов. Он является сильно реакционноспособным веществом с периодом полувыведения, равным нескольким часам.

Динамика выбросов формальдегида по статистическим данным представлена на рис. 1.

За период с 2001 по 2009 гг. выбросы формальдегида промышленностью существенно не изменились, выбросы от сельского хозяйства несколько возросли. В целом по отраслям имеется тенденция к увеличению выбросов.



**Рис. 1. Динамика выбросов формальдегида от стационарных источником в Беларуси (статистические данные)**

Согласно статистическим данным, в 2009 г. валовые выбросы формальдегида в атмосферный воздух Беларуси составили 133,5 т, в том числе от промышленности – 83 т. Доля машиностроения и металлообработки составила 25 % промышленных выбросов формальдегида, пи-

щевой промышленности – 15 %, лесной деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности – 46 %, причем 97% выбросов формальдегида от данной отрасли приходится на деревообрабатывающую промышленность (рис. 2).

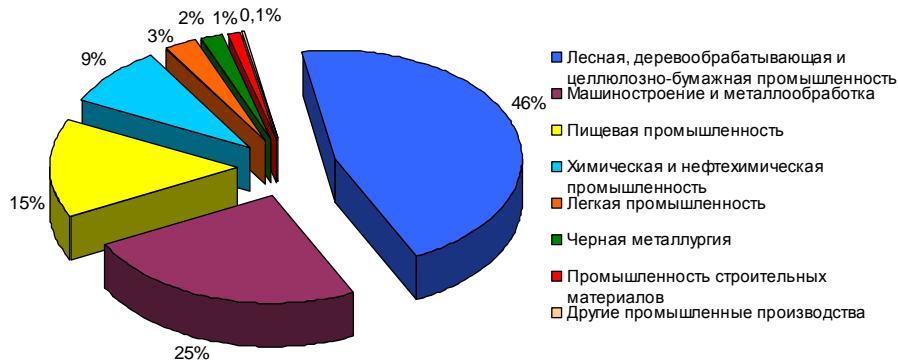


Рис. 2. Выбросы формальдегида от различных отраслей промышленного производства (2009 г.)

Деревообрабатывающая промышленность, таким образом, – важнейший промышленный источник выбросов формальдегида (62,4 % промышленных выбросов формальдегида). В свою очередь, эмиссия формальдегида при производстве продукции деревообработки обусловлена использованием формальдегидсодержащих связующих.

Формальдегид играет важную роль в органическом синтезе и находит применение как химикат во многих отраслях промышленности. В частности, формальдегид является важным компонентом в производстве карбамидо-, меламино-, фенолоформальдегидных смол, которые используются в качестве связующих при производстве древесных материалов (древесностружечных и древесноволокнистых плит, kleеной фанеры).

При изготовлении и дальнейшей эксплуатации древесных материалов на основе вышеупомянутых смол из них выделяется свободный формальдегид. Его количество зависит от технологии изготовления древесных композиционных материалов (породы древесины и содержания коры, типа связующего, количества отвердителя и формальдегидсвязывающих добавок, влажности осмоленных древесных частиц, режима прессования и др.) и от условий эксплуатации (влажности и температуры воздуха, воздухообмена) [1, 7]. Следовательно, для учета выбросов формальдегида и разработки мер по их снижению из древесных материалов необходимо учитывать значительное количество параметров, влияющих на выделение данного загрязняющего вещества из плит.

В то же время действующая методика предлагает для оценки выделения формальдегида упрощенные алгоритмы. Расчет выбросов загрязняющих веществ, образующихся в процессах деревообработки проводится согласно «Временным методическим указаниям по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух предприятиями деревообрабатывающей промышленности» (1992 г.) [2]. Эти ме-

тодические указания позволяют рассчитать масовые (г/с) и валовые (т/г.) выбросы формальдегида в зависимости от используемой смолы. Количество свободного формальдегида (кг/ч, т/г.), поступающее в атмосферу, следует определять по формуле

$$M = \frac{B \cdot \varphi \cdot K_{\phi}}{100},$$

где  $B$  – расход смолы, (кг/ч, т/г.);  $\varphi$  – содержание свободного формальдегида в составе смолы (табл. 2), %;  $K_{\phi}$  – коэффициент поступления свободного формальдегида в воздушную среду, принимается равным 0,4 при производстве ДСП и 0,5 – при производстве фанеры.

В методике указано, что при производстве ДСП в атмосферу поступает 40 % валового количества свободного формальдегида, в том числе:

- от участка размещения главного конвейера – 90 %;
- от участка приготовления связующих – 9 %;
- от склада готовой продукции – 1 %.

При производстве фанеры, согласно методическим указаниям, в атмосферу поступает 50 % валового количества свободного формальдегида, причем от kleевых вальцов – 10 %; от сушилок намазанного шпона и горячих прессов – 75 %; от камер охлаждения – 15 %.

Количество свободного формальдегида (кг/ч), поступающего в атмосферу при использовании смол, содержащих формальдегид, может быть определено по формуле

$$M = B \cdot q \cdot 10^3,$$

где  $B$  – расход смолы, кг/ч;  $q$  – удельное содержание формальдегида на 1 кг расходуемой смолы, г/кг (табл. 1).

**Таблица 1. Удельные выделения загрязняющих веществ, поступающих в воздушный бассейн от процессов склеивания смолами [2]**

Содержание формальдегида в смоле, %	Выделение формальдегида, г/кг смолы
0,3	1,20
0,5	2,00
1,0	4,00
1,2	4,81

**Таблица 2. Массовая доля свободного формальдегида в смолах, используемых при производстве слоистых материалов [2]**

Тип смолы	Массовая доля свободного формальдегида, %
Карбамидоформальдегидные смолы	0,17–1,0
Меламиноформальдегидные смолы	0,5–1,5
Мочевиноформальдегидные смолы	0,7–7,5
Фенолоформальдегидные смолы	0,08–4,0
Мочевиномеламиноформальдегидные смолы	0,3–3,0
Карбамидомеламинформальдегидные смолы	0,2–2,0

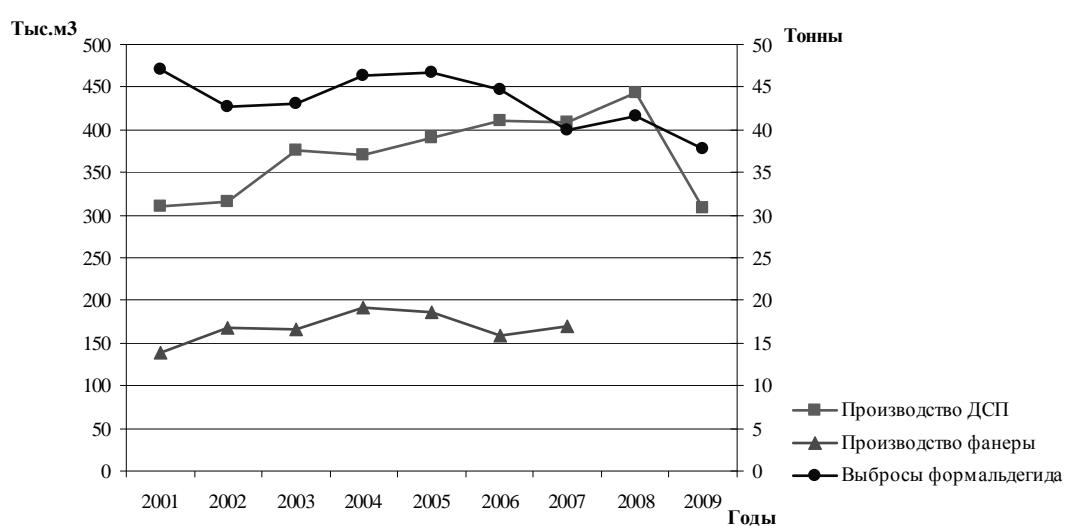
Также для повышения эксплуатационных качеств смолы модифицируют специальными добавками или подвергают некоторым физическим воздействиям.

На деревообрабатывающих предприятиях Беларуси для производства ДСП и фанеры основным видом связующего остается карбамидоформальдегидная смола, при производстве ДВП – фенолоформальдегидная смола. Расход смолы при производстве прессованных древесных материалов составляет 6–18 % от массы стружек. Удельный расход смолы, оцененный для деревообрабатывающих предприятий Беларуси, колеблется в диапазоне 70–91 кг/ усл. м<sup>3</sup> ДСП, в среднем по отрасли в 2008 г. он составил 76,6 кг/ усл. м<sup>3</sup>. За 2008 г. для производства ДСП

израсходовано около 31 тыс т формальдегидных смол, около 20 тыс т – для производства фанеры. Эмиссия формальдегида в окружающую среду при производстве ДСП составляет 50–80 г/ усл. м<sup>3</sup>.

По данным [6], удельный расход смолы по отдельным предприятиям в 1981 г. колебался в пределах от 71 до 104 кг/ усл. м<sup>3</sup>, а в среднем по отрасли составил 79,6 кг/ усл. м<sup>3</sup> ДСП. Таким образом, за 30 лет удельный расход смолы при производстве ДСП практически не изменился.

Годовая динамика производства ДСП и фанеры, а также выбросов формальдегида от деревообрабатывающей промышленности по данным Национального статистического комитета показана на рис. 3.



**Рис. 3. Годовая динамика производства ДСП и фанеры и выбросов формальдегида от деревообрабатывающей промышленности**

За период с 2001 по 2008 годы выбросы формальдегида от деревообрабатывающей промышленности снизились с 47,1 до 37,8 т/г. И с учетом динамики производства можно говорить о том, что удельные выбросы формальдегида также несколько снизились, однако снижение относительно невелико.

В связи с большим вкладом деревообрабатывающей промышленности в выбросы формальдегида и использованием карбамидо-, меламино-, фенолоформальдегидных смол вопросы снижения токсичности древесных плит остаются по-прежнему актуальными. Вместе с экологической опасностью выбросов это свидетельст-

вует о необходимости анализа эффективности мер по снижению выбросов формальдегида от деревообрабатывающей промышленности как на региональном, так и на локальном уровне с учетом международных соглашений.

Согласно исследованиям [12], при производстве прессованных древесных материалов на процессы прессования приходится около 63 % выбросов формальдегида, на распиловку и охлаждение – 26, на формирование ковра – 6 и на шлифовку и обрезку – 5 % выбросов. Концентрация формальдегида в отходящих газах от различных участков составляет 0,04–3,0 мг/м<sup>3</sup> (табл. 3).

**Таблица 3. Уровни выбросов формальдегида при производстве древесных панелей [11]**

Процесс производства	Местоположение отбора проб	Концентрации формальдегида, мг/м <sup>3</sup>
Формирование ковра	Станция формовки	0,043–0,283
Прессование	Выбросы от главного пресса	0,506–2,987
Распиловка и охлаждение	Главный вентилятор	0,171–1,253
Шлифовка и обрезка	Линия шлифовки	0,073–0,210

В то же время на предприятиях Республики Беларусь в качестве источников выбросов формальдегида при производстве прессованных древесных материалов учитываются прессы и kleевые вальцы и практически не учитываются остальные источники. Содержание формальдегида в отходящих газах от процесса прессования составляет в среднем от 0,4 до 14,0 мг/м<sup>3</sup>. Однако выделение формальдегида происходит и после выпуска изделий, и эти выбросы не учитываются.

Проблема выделения формальдегида из прессованных древесных материалов изучается в странах, производящих плиты, более 30 лет. Изучение процессов его выделения описано в ряде работ [9, 10, 11]. Формальдегидные смолы химически нестабильны. Они могут выделять как формальдегид, который не прореагировал и остался в смоле, так и формальдегид, выделившийся при гидролитическом разложении смолы. Однако именно выделение непрореагировавшего формальдегида является ответственным за вы-

сокие начальные уровни выделения. В проведенных лабораторных исследованиях в домах период полувыведения формальдегида в зависимости от вида изделия колебался в пределах от менее чем 1 месяца и до 1 года. В стандартных условиях теста период полувыведения из ДСП с концентрацией свободного формальдегида 0,15 частей на миллион составил в среднем 9 месяцев. Более новые дома в основном имеют более высокие уровни формальдегида. После выделения основной части летучего формальдегида, его уровень внутри помещения существенно снижается. Исследования показали, что уменьшение концентрации формальдегида от 25 до 40 % происходит в первые месяцы. Из-за гидролитического разложения связующего выделение свободного формальдегида из изделий может продолжаться в течение длительного времени.

В зависимости от содержания формальдегида плиты (ДСП) и фанеру изготавливают двух классов эмиссии (табл. 4).

**Таблица 4. Классы эмиссии формальдегида из ДСП и фанеры [3, 4, 5]**

Класс эмиссии формальдегида	Содержание формальдегида, мг на 100 г абсолютно сухой плиты	Содержание формальдегида, мг на 100 г абсолютно сухой массы фанеры	Выделение формальдегида	
			Камерный метод, мг/м <sup>3</sup> воздуха	Газоаналитический метод, мг/м <sup>2</sup> ·ч
E1	Не более 8 включительно	Не более 8 включительно	До 0,124 включительно	До 3,5 включительно
E2	От 8 до 30 включительно	От 8 до 30 включительно	Свыше 0,124	Свыше 3,5 до 8,0 включительно и от 5 до 12 в течение 3 дней после изготовления

В Европе достигнут значительный прогресс в изучении влияния технологических факторов на выделение формальдегида из ДСП и других древесных материалов, разработке различных методов его определения, а также в производстве малотоксичных плит.

Имеющиеся технологии уменьшения содержания и выделения формальдегида применительно к прессованным древесным материалам требуют существенных финансовых затрат, строительства специальных устройств и установок или могут отрицательно влиять на эффективность производства за счет понижения производительности процесса и/или ухудшения качества древесной продукции. Одним из методов снижения выбросов при производстве и эксплуатации древесных плит является использование отделочных материалов, которые способствуют при создании на их основе пленок снижению эмиссии формальдегида из изделия. При использовании плит в строительстве для снижения

их токсичности применяют формальдегидосвывающие краски и эмали. Однако более эффективным является снижение содержание формальдегида при изготовлении прессованных древесных материалов.

Таким образом, проведенный анализ показал, что выбросы формальдегида от процессов деревообработки остаются основным промышленным источником выбросов формальдегида; неучтенные выбросы при производстве прессованных древесных материалов составляют 50–60 % и более. Эти выбросы необходимо учитывать при интерпретации результатов измерений формальдегида в атмосферном воздухе; необходимо совершенствовать методическое обеспечение инвентаризации выбросов формальдегида от данной отрасли. Важным направлением снижения валовых выбросов формальдегида от деревообработки является изготовление прессованных древесных материалов с низким содержанием формальдегида.

## Литература

1. Анохин А. Е. Снижение токсичности мебели. М., 2002.
2. Временные методические указания по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от предприятий деревообрабатывающей промышленности. Петрозаводск, 1992.
3. ГОСТ 10632-2007 Плиты древесно-стружечные. М., 2007.
4. ГОСТ 3916.1-96 Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона лиственных пород. URL: <http://www.complexdoc.ru>.
5. ГОСТ 3916.2-96 Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона хвойных пород / URL: <http://www.complexdoc.ru>.
6. Отлев Н. А., Штейнберг Ц. Б. Справочник по древесностружечным плитам. М., 1983.
7. Роффаэль Э. Выделение формальдегида из древесно-стружечных плит. М., 1991.
8. Состояние природной среды Беларусь: Экол. бюл. 2008 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. Минск, 2009.
9. ATSDR. 1999. Toxicological Profile for Formaldehyde (Final Report). NTIS Accession No. PB99-166654. Atlanta, GA: Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
10. IARC. 1995. Wood Dust and Formaldehyde. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, vol. 262. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer.
11. Groah W. Decay or decrease in formaldehyde concentrations or emissions over time and UF-bonded panel products, 2005.
12. Reduction of formaldehyde exposure in the woodworking. Ref-wood social partner project, 2010.

**Институт природопользования НАН Беларусь**

**C. В. Какарека, Ю. Г. Ашурко**

## **ОСОБЕННОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ ФОРМАЛЬДЕГИДА В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОДУКЦИИ ДЕРЕВООБРАБОТКИ**

Статья посвящена анализу поступления формальдегида в атмосферный воздух при изготовлении и использовании продукции деревообработки. Показаны основные источники поступления данного загрязняющего вещества в атмосферный воздух. Рассмотрены методики расчета выбросов формальдегида при производстве ДСП и фанеры. Проанализированы основные факторы, влияющие на объемы выбросов, указаны методы их снижения.

Показано, что выбросы формальдегида от процессов деревообработки являются основным промышленным источником выбросов формальдегида; в то время по меньшей мере 50–60 % выбро-

сов формальдегида от данного процесса остаются неучтенными. Необходимо совершенствовать инвентаризацию выбросов формальдегида от процессов деревообработки для учета его поступления из готовых изделий. Показано, что основным направлением снижения валовых выбросов формальдегида от деревообработки является изготовление древесной продукции с низкой эмиссией.

**S. V. Kakareka, Yu. G. Ashurko**

**PECULIARITIES OF FORMALDEHYDE INTO ATMOSPHERIC AIR EMISSION FROM MANUFACTURE AND USE OF WOOD PROCESSING PRODUCTION**

---

*The article is devoted to the analysis of formaldehyde emission into the atmospheric air from manufacture and use of wood processing production. The main sources of formaldehyde emission into the atmospheric air are shown. The main techniques to estimate formaldehyde emissions from particleboard and plywood manufacture have been considered. Basic factors that influence volumes of emissions of this pollutant have been analyzed; and methods of emission abatement have also been shown.*

*It has been shown that formaldehyde emissions from wood processing processes are main industrial source of formaldehyde emissions. About 50–60 and more percents of formaldehyde emissions from this process remain unaccounted. It is necessary to improve the inventory of formaldehyde emissions from wood processing to register its emission from complete products. It has been shown that main direction to decrease a gross formaldehyde emissions from wood processing is the manufacture of wood based panels of low emission.*

УДК 504.4.062.2 (476-13)

О. В. Кадацкая, Е. В. Санец, Е. П. Овчарова,  
А. М. Пеньковская, Е. Е. Петлицкий

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕСУРСОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПРИПЯТСКОГО ПОЛЕСЬЯ

*В статье рассматриваются условия формирования, характер распределения, современное состояние и использование ресурсов поверхностных вод на территории Припятского Полесья. Анализируются основные показатели водопользования и отведения сточных вод как для рассматриваемого региона в целом, так и для административных районов, расположенных в его границах. Показаны основные отличительные особенности использования водных ресурсов на уровне районов. Приводятся данные о качестве вод Припяти и ее притоков.*

Припятское Полесье определено в границах трех административных районов Брестской области (Пинский, Столинский и Лунинецкий) и четырех Гомельской (Житковичский, Петриковский, Мозырский и Наровлянский), включенных в Государственную программу социально-экономи-

ческого развития и комплексного использования природных ресурсов Припятского Полесья на 2010–2015 годы. Территория рассматриваемого региона занимает 15 % общей площади бассейна р. Припяти или 35 % его белорусской части, составляя 18,3 тыс. км<sup>2</sup> (рис. 1).



Рис. 1. Гидрографическая сеть Припятского Полесья и пункты мониторинга поверхностных вод

Вышеупомянутая государственная программа предусматривает широкий комплекс мероприятий по росту уровня жизни населения и подъему промышленно-аграрного потенциала региона, ориентированного на вовлечение в хо-

зяйственный оборот местных ресурсов, восстановление мелиоративных систем и повышение эффективности использования осущенных земель [3]. Практически все намеченные мероприятия в той или иной мере связаны с

использованием водных ресурсов. В этой связи оценка их запасов, распределения по территории, состояния и уровня потребления является важным элементом в реализации целей и задач программы.

**Особенности формирования поверхностных водных ресурсов Припятского Полесья.** Основным источником поверхностных водных ресурсов региона является р. Припять с объемом речного стока 13100 млн м<sup>3</sup> в средний по водности год и 7010 млн м<sup>3</sup> в маловодный (95 %-ной обеспеченности). Причем на местный сток, формирующийся в пределах Беларуси, приходится 69 %, и его обеспечивают главным образом левые притоки Припяти – Пина, Ясельда, Бобрик-1, Цна, Лань, Случь, Бобрик-2, Птич, Тремля и Ипа. Правые притоки – Стырь, Горынь, Ствига, Свиновод, Убортъ, Мытва, Словечна и Желонь – которые, как правило, берут начало на территории Украины, являются вместе с верховьем Припяти основой транзитного стока, составляющего 31 % общих ресурсов поверхностных вод.

Гидографической особенностью бассейна Припяти является естественная или искусственная связь рек между собой: по системе мелиоративных каналов Лань связана со Случью, а Случь – с притоками Птичи; между собой связаны Горынь и Ствига, Словечна и Желонь и т. д. Кроме того, наличие плоских водоразделов создает условия для искусственных межбассейновых связей с помощью мелиоративных или судоходных каналов. К таким участкам относятся водоразделы Пины и Мухавца, где проложен Днепровско-Бугский канал, Ясельды и Щары с Огинским каналом.

В настоящее время речная сеть бассейна Припяти в значительной степени преобразована. Наибольшей трансформации подверглись малые реки: спрятлено и углублено около 200 рек и ручьев на участках общей длиной 4 тыс. км, из них около 100 – на всем протяжении, составляющем 2 тыс. км. Общая длина открытой мелиоративной сети составляет 65 тыс. км, что превышает протяженность естественной гидографической сети [7]. Густота речной сети после мелиорации увеличилась в 1,5–2,0, а для отдельных водосборов – в 3,0–5,0 раз и больше.

Для гидрологического режима Припяти в целом характерно длительное половодье и короткая летне-осенняя межень, которая нарушается дождевыми паводками и частыми осенними подъемами уровня воды. В целом на период весеннего половодья приходится до 60 % годового стока, на летне-осеннюю межень – до 24, на зимнюю межень – до 16 %. При этом правые притоки Припяти отличаются несколько большей зарегулированностью стока: на долю их весеннего стока приходится около 56 %, летне-осеннего – 28, а зимнего – 16 %. Для левых притоков эти величи-

ны составляют соответственно 65 %, 22 и 13 % годового стока [4].

Максимальные уровни воды на Припяти обычно наблюдаются в первой половине апреля. В верхнем течении подъем уровня достигает 2 м, в среднем и нижнем – до 5 м, в границах узкой поймы в районе г. Мозыря – до 7 м над самой низкой меженью.

Самые низкие уровни воды отмечаются в сентябре–октябре. Среднегодовой расход Припяти в устье составляет 450 м<sup>3</sup>/с и формируется следующим образом: у Коробов – 119 м<sup>3</sup>/с, у Турова – 264, у Мозыря – 383 м<sup>3</sup>/с. Модуль годового стока рек Полесья составляет в среднем 3,5 л/с/км<sup>2</sup> [1].

Ежегодно формирующиеся на рассматриваемой территории весенние половодья относятся к опасным гидрологическим явлениям. Пик половодья на большинстве рек бассейна проходит на конец марта–начало апреля. На притоках Припяти сроки начала половодья несколько изменяются: на левобережных половодье наступает позже, на правобережных раньше. Однако при затяжной весне возможно почти одновременное вскрытие рек и тогда на Припяти наблюдаются высокие половодья. Подъем уровня воды зависит в первую очередь от водности, а также от строения речной долины или ее отдельных участков. Так, в верховье Припяти в условиях широкой и заболоченной поймы, как правило, наблюдаются распластанные, слабо выраженные половодья, высота которых над предподъемным уровнем составляет в среднем 0,5 м.

Наиболее паводкоопасным районом является территория бассейна Припяти в среднем и нижнем течении реки, что обусловлено сужением поймы до 6–8 км в районе г.п. Турова и до 1,5–2,0 км в районе г. Мозыря, а также резким возрастанием боковой приточности. На этом участке впадают такие крупные притоки, как Горынь, Случь, Убортъ и Птич.

Вторым по значению после половодья опасным гидрологическим явлением являются дождевые паводки. Максимальные расходы паводков формируются, как правило, обложными дождями, так как ливни не охватывают одновременно всю территорию водосбора даже средних рек, не говоря уже о бассейне Припяти в целом.

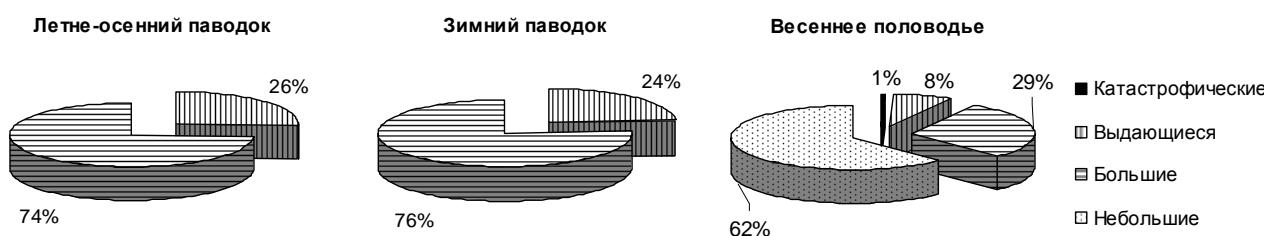
Паводки, в отличие от половодий, возникают нерегулярно и по величине максимального расхода и слою стока, как правило, существенно меньше максимумов половодья. Однако дождевые паводки 1952, 1960, 1974, 1993, 1998 гг. по многим водотокам и створам на самой Припяти превысили половодье и нанесли значительный ущерб народному хозяйству. Необходимо отметить, что даже локальные паводки значительной интенсивности на левобережных или правобережных притоках способны вызывать значительные подъемы уровня в нижнем течении Припяти.

Высота паводков в среднем и нижнем течении реки может достигать 2,0–3,5 м над предподъемным уровнем.

Начиная с 1988 г., участились случаи, когда высший уровень за год наблюдался не в период весеннего половодья, а в период летних и даже зимних паводков. Так, например, на посту р. Припять–г. Мозырь из 118 лет наблюдений отмечено 19 случаев, когда высший годовой уровень был отмечен в период летних и зимних паводков [4].

Согласно данным (рис. 2), летне-осенние и зимние паводки представляют собой не меньшую опасность, чем весенне половодье, поскольку их размеры, как правило, достигают значительных масштабов: 74–76 % паводков относится к категории больших наводнений, 24–26 % – к категории выдающихся.

Сведения о повторяемости половодий и паводков в бассейне р. Припяти за период инструментальных наблюдений, обобщенные по данным [6], представлены в табл. 1.



**Рис. 2. Распределение наводнений в бассейне р. Припяти по категориям интенсивности в различные сезоны года**

**Таблица 1. Повторяемость наводнений в бассейне р. Припяти**

Река – пост	Наблюде-ния, коли-чество лет	Количество наводнений за период наблюдений								Повто-ряе-мость, %	
		По категориям*				По сезонам					
		Ката-stro-phi-chie-skie	Вы-daю-щи-ye-sya	Bol'shi-e	Ne-bo-l'yi-shie	Vesenn-nee po-lovod'ye	Letne-osen-ni-iy pavodok	Zim-ni-iy pavodok	Vse-go		
Припять – Пинск	22	0	2	6	0	2	0	6	8	36	
Припять – Коробы	44	0	3	5	10	14	1	3	18	41	
Припять – Туров	55	0	1	5	6	12	0	0	12	22	
Припять – Черничи	14	0	1	1	1	2	1	0	3	21	
Припять – Петриков	69	0	4	12	17	26	3	4	33	48	
Припять – Мозырь	118	1	3	13	20	37	0	0	37	31	
Пина – Пинск	71	0	1	4	0	5	0	0	5	7	
Ясьельда – Сенин	56	0	4	12	6	10	5	7	22	39	
Горынь – Речица	56	0	1	15	18	23	8	3	34	61	
Уборть – Краснобережье	71	0	3	8	20	25	5	1	31	44	
Птич – Лучицы	96	0	3	7	13	22	0	1	23	24	
Бассейн р. Припяти в целом	–	1	26	88	111	178	23	25	226	–	

\* Катастрофические – обеспеченность максимальных уровней менее 1 %; выдающиеся – 1–2; большие – 2–10; небольшие – 11–20 %.

**Обеспеченность административных районов Припятского Полесья водными ресурсами.** Речной сток, сформированный в пределах белорусской части бассейна Припяти, составляет 5,6 км<sup>3</sup>/год или 16,5 % от всего местного стока страны. При этом непосредственно на районы Припятского Полесья приходится около 2,0 км<sup>3</sup>/год (табл. 2).

Согласно данным табл. 2, водные ресурсы на территории рассматриваемого региона распределены неравномерно. Наиболее значительные ресурсы речного стока характерны для Сто-

линского, Петриковского и Житковичского районов, на которые приходится 51 % общего объема, формирующихся в регионе ресурсов поверхностных вод, величина последних существенно снижается в Наровлянском и Мозырском районах.

Достаточность водных ресурсов, как известно, оценивается с помощью удельного показателя водообеспеченности, который представляет собой отношение объема возобновляемых водных ресурсов (среднегодового речного стока) к количеству населения.

**Таблица 2. Характеристика местных водных ресурсов административных районов Припятского Полесья**

Район	Суммарная длина рек, км	Количество рек	Количество речных истоков	Расчетная густота речной сети, км/км <sup>2</sup>	Расчетная величина местного речного стока		Удельная водообеспеченность населения, тыс. м <sup>3</sup> /чел. в год
					м <sup>3</sup> /с	млн м <sup>3</sup>	
<b>Брестская область</b>							
Лунинецкий	293	9	3	0,47	7,94	250	2,43
Пинский	535	21	11	0,37	9,41	297	1,56
Столинский	471	15	8	0,32	10,00	315	3,18
<b>Гомельская область</b>							
Житковичский	318	14	6	0,37	11,30	356	5,59
Мозырский	293	17	11	0,38	6,66	210	1,59
Наровлянский	356	16	7	0,40	7,10	224	10,87
Петриковский	359	13	5	0,50	10,90	344	6,76
Районы Припятского Полесья в целом	2625	105	51	0,40	63,31	1996	4,57

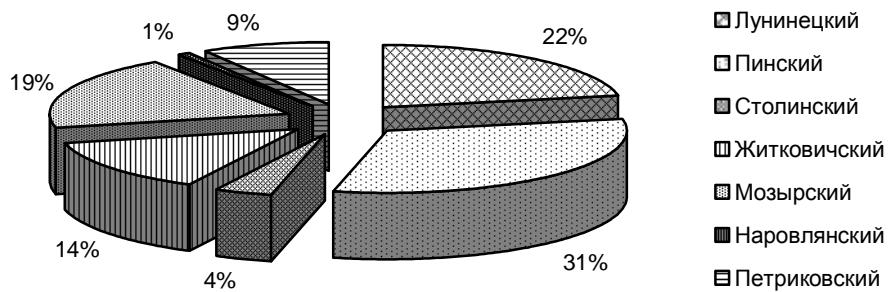
Согласно данным табл. 2, обеспеченность Припятского Полесья водными ресурсами на душу населения, исходя из среднего значения водообеспеченности для региона, оказалась несколько меньше данного показателя для Беларуси в целом (6,1 тыс. м<sup>3</sup>/чел. в год), но несколько больше, рассчитанного для соседней Украины (4,1 тыс. м<sup>3</sup>/чел. в год).

Вместе с тем удельная водообеспеченность населения существенно различается на уровне районов. Среди районов по данному показателю выделяется Наровлянский район, однако такая ситуация здесь обусловлена в первую очередь низкой численностью населения.

Обеспеченность водными ресурсами на душу населения в Житковичском и Петриковском

районах превысила среднюю для региона величину в 1,2–1,5 раза, в то же время в Лунинецком, Пинском, Столинском и Мозырском районах, наоборот, оказалась ниже средней в 1,4–2,9 раза. Причем минимальное значение анализируемого показателя установлено в Пинском и Мозырском районах.

**Использование водных ресурсов.** Из поверхностных водных объектов и подземных источников на территории районов Припятского Полесья в 2009 г. забрано около 140 млн м<sup>3</sup> воды. При этом наиболее существенный забор воды на региональном уровне имел место в Пинском районе, включая г. Пинск (44,5 млн м<sup>3</sup>), и Лунинецком районе, наименьший – в Наровлянском (рис. 3).

**Рис. 3. Забор поверхностных и подземных вод в районах Припятского Полесья в 2009 г.**

В Лунинецком районе повышенный на фоне остальных районов забор воды обусловлен главным образом интенсивным водоотливом из карьера «Микашевичский», на который приходится 85 % забранных в районе природных вод. Следует акцентировать внимание и на тот факт,

что в Пинском районе водозабор для нужд г. Пинска составляет всего 25 % от суммарного количества забранной воды, для Мозырского района характерна обратная ситуация – основной объем воды забирается для нужд г. Мозыря (табл. 3).

Таблица 3. Использование водных ресурсов в районах Припятского Полесья в 2009 г., млн м<sup>3</sup>/год

Административный район, город	Количество отчитывающихся предприятий	Забрано поверхностных и подземных вод	Использовано свежей воды						Отведено сточной воды	
			Всего	в том числе на нужды					всего (включая шахтную и ЗПО)	в реки и озера
				хозяйственно-питьевые	производственные	регулярного орошения	сельскохозяйственного водоснабжения	прудового рыбного хозяйства		
<b>Брестская область</b>										
Лунинецкий	31	30,69	6,95	2,15	1,35	1,37	0,69	1,40	26,71	26,12
Пинский	37	33,43	33,42	1,33	0,24	0,28	1,90	29,67	25,92	25,06
Столинский	34	5,47	5,05	1,18	1,26	0,00	1,07	1,55	2,94	1,38
г. Пинск	23	11,07	9,88	6,99	2,89	0,00	0,00	0,00	11,48	11,46
<b>Гомельская область</b>										
Житковичский	13	19,21	18,1	0,83	0,28	0,00	0,28	16,71	9,43	9,07
Мозырский	11	1,62	1,51	0,39	0,19	0,30	0,63	0,00	0,83	0,00
Наровлянский	3	1,08	0,95	0,63	0,25	0,00	0,07	0,00	0,55	0,00
Петриковский	18	11,96	11,82	1,00	0,22	0,00	0,40	10,20	9,31	8,62
г. Мозырь	16	25,48	21,37	6,56	14,72	0,00	0,00	0,09	17,93	17,89
Районы Припятского Полесья в целом	186	140,01	109,05	21,06	21,40	1,95	5,04	59,62	105,10	99,60

В Припятском Полесье в 2009 г. на различные хозяйствственные нужды использовано 109 млн м<sup>3</sup> воды, из которых основное количество (54 %) пришлось на прудовое рыбное хозяйство.

На производственные и хозяйствственно-питьевые цели израсходовано соответственно 20 и 19 %. Очень незначительное количество воды использовано на орошение (рис. 4).

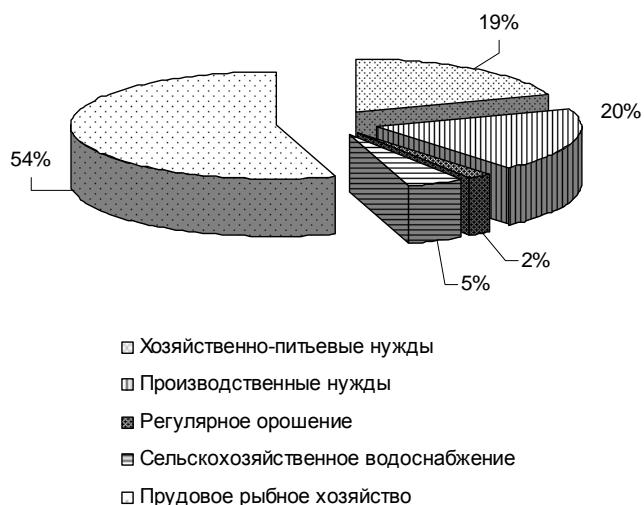


Рис. 4. Использование свежей воды на различные нужды в Припятском Полесье в 2009 г.

Следует подчеркнуть, что в рассматриваемом регионе структура распределения забранной воды среди водопользователей существенно отличается от структуры забранной воды, характерной для страны в целом. В Беларуси наиболее значительная часть водных ресурсов, как правило, идет на удовлетворение хозяйствственно-питьевых нужд, существенно опережая затраты воды на производственные и другие нужды.

По объемам использованной воды выделяются Пинский и Мозырский районы. Причем в Мозырском районе основное количество использованной воды приходится на г. Мозырь, а для района водопотребление весьма незначительно, в Пинском районе, наоборот, потребление воды в районообразующем городе значительно уступает собственно району (табл. 3).

Среди других административных единиц Припятского Полесья достаточно значительные для регионального уровня объемы использованной воды характерны для Житковичского и Петриковского районов.

Структура водопользования в районах и наиболее крупных городах Припятского Полесья отличается определенной спецификой. Так, хозяйственно-питьевое водоснабжение имеет приоритет только в двух районах (Лунинецком и Наровлянском) и г. Пинске. Причем по отношению к общему количеству использованной воды оно составляет 31 % в Лунинецком районе и 66 % – в Наровлянском, достигая в Пинске 71 %. Самое значительное количество воды используется на производственные нужды, естественно, в г. Мозыре (около 70 % суммарного водопотребления). В Пинске на эти нужды расходуется 29 % от суммарного количества использованной воды, в Наровлянском районе – 26, Столинском – 25, Лунинецком – 19 %. Прудовое рыбное хозяйство как основная отрасль в сфере потребления воды выступает в четырех районах, при этом в Житковичском районе количество использованной воды в данной отрасли достигает 92 %, в Пинском – 89, Петриковском – 86, в Столинском – 31 %.

Согласно данным (табл. 3), затраты воды на регулярное орошение характерны только для трех районов Припятского Полесья. Они достигают 20 % общего водопотребления как в Лунинецком, так и в Мозырском районах и менее 1 % – в Пинском. Причем по абсолютной величине в Лунинецком районе на регулярное орошение используется почти в 5 раз больше воды, чем в Мозырском.

Использование воды на сельскохозяйственное водоснабжение в целом невелико. Наибольшие объемы ее расходуются для этих нужд в Пинском и Столинском районах. Однако по отношению к общему водопотреблению в каждом отдельном районе ситуация выглядит несколько иначе: в Мозырском районе на сельскохозяйственное водоснабжение затрачивается 42 %, за ним следуют Столинский (21 %) и Лунинецкий (10 %) районы, на Пинский район приходится 6 %.

**Сброс загрязняющих веществ.** В 2009 г. в рассматриваемом регионе объем отводимых сточных вод составил 105 млн м<sup>3</sup>, 95 % которых сброшено в водные объекты. Основное количество сточных вод (78 %) было сформировано в Пинском (включая г. Пинск), Лунинецком и Мозырском (за счет г. Мозыря) районах, наименьшее – в Наровлянском и Столинском (рис. 5).

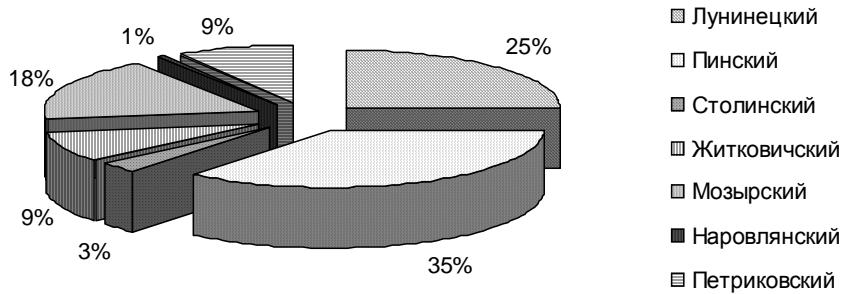


Рис. 5. Отведение сточных вод в районах Припятского Полесья в 2009 г.

В Лунинецком районе значительный объем сточных вод обусловлен отводом подземных вод из карьера «Микашевичи» (24,17 млн м<sup>3</sup>), в Пинском – сбросом сточных вод предприятиями отрасли «Прудовое рыбное хозяйство» (24,95 млн м<sup>3</sup>), последние, как и в первом случае, относятся к категории *нормативно-чистых вод*, в Мозырском – промышленно-коммунальных сточных вод г. Мозыря, которые после очистки оцениваются как *нормативно-очищенные*.

Среди категорий сточных вод, отводимых в водные объекты в пределах Припятского Полесья, в отличие от ситуации, характерной для страны в целом, количественно преобладали нормативно-чистые воды (67,7 млн м<sup>3</sup> или 68 %). Нормативно-очищенные воды составили, соответственно, 32 % от общего количества сточных вод, при этом

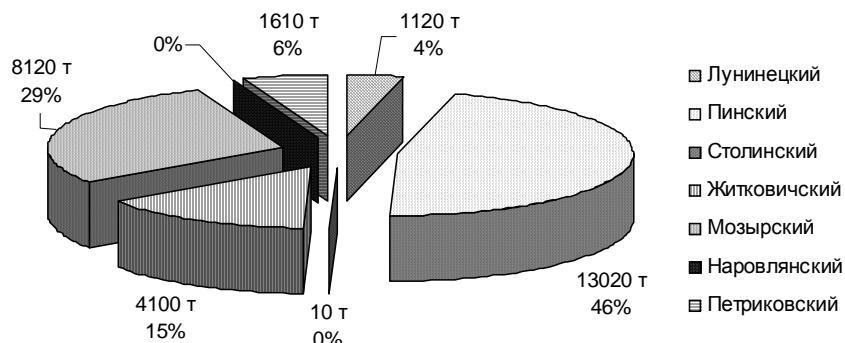
их основной объем пришелся на города Мозырь (17,89 млн м<sup>3</sup>) и Пинск (11,49 млн м<sup>3</sup>).

Несмотря на статус «нормативно-чистых» и «нормативно-очищенных», 74 % отведенных сточных вод содержали в своем составе загрязняющие вещества, что обусловило поступление в реки органических веществ, нефтепродуктов, взвешенных веществ, сульфатов, хлоридов, соединений азота и фосфора, СПАВ и тяжелых металлов (табл. 4).

По массе минеральных веществ (по сухому остатку), сбрасываемых в водные объекты, выделяется Пинский район (включая г. Пинск). Значительные для региона объемы сброса минеральных веществ характерны также для г. Мозыря и Житковичского района, а весьма небольшие – для Лунинецкого и Петриковского районов (рис. 6).

**Таблица 4. Сброс загрязняющих веществ в составе сточных вод в водные объекты на территории районов Припятского Полесья в 2009 г.**

Показатель	Пинский район	г. Пинск	Лунинецкий район	Столинский район	Житковичский район	Петриковский район	г. Мозырь	Припятское Полесье в целом
Объем сточных вод, содержащих загрязняющие вещества, млн м <sup>3</sup>	25,06	11,46	1,95	0,06	9,07	8,62	17,89	74,11
Органические вещества (БПК <sub>5</sub> ), т	0,0	100,0	30,0	0,0	90,0	30,0	70,0	320,0
Нефтепродукты, т	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	10,0
Взвешенные вещества, т	440,0	110,0	30,0	0,0	690,0	80,0	290,0	1640,0
Сухой остаток, т	6540,0	6480,0	1120,0	10,0	4100,0	1610,0	8120,0	27980,0
Сульфаты, т	450,0	450,0	120,0	0,0	170,0	80,0	1390,0	2660,0
Хлориды, т	510,0	1430,0	250,0	0,0	30,0	90,0	1060,0	3370,0
Фосфор фосфатный, т	0,0	40,0	10,0	0,0	0,0	0,0	20,0	70,0
Азот аммонийный, т	10,0	230,0	20,0	0,0	10,0	0,0	30,0	300,0
Азот нитратный, т	10,0	60,0	20,0	0,0	10,0	0,0	110,0	210,0
СПАВ, т	0,02	2,18	0,86	0,00	27,84	0,00	1,97	32,87
Железо, т	0,06	3,21	1,31	0,06	7,59	4,32	7,46	24,01
Медь, т	0,00	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,07	0,16



**Рис. 6. Суммарный объем сброса минеральных веществ в районах Припятского Полесья**

Основное поступление органических веществ в водные объекты региона (81 % их общего количества) обусловлено сточными водами г. Пинска, Житковичского района и г. Мозыря; хлоридов (42 %), фосфора фосфатного (57 %) и азота аммонийного (77 %) – сточными водами г. Пинска; азота нитратного (52 %) – г. Мозыря. По сбросам взвешенных веществ (42 % суммарного объема) выделяется Житковичский район. На этот же район приходится 85 % СПАВ, попавших в водные объекты.

Для Мозыря характерны 100 % сброса нефтепродуктов, а также максимальные сбросы сульфатов (52 %), город выделяется также по сбросам тяжелых металлов и фенолов. Из общей картины выпадает Столинский район: здесь формируется минимальный объем сточных вод, в составе которых в водные объекты поступают

взвешенные вещества и соединения железа (табл. 4).

**Качество поверхностных вод.** Современное гидрохимическое состояние речных вод определяется, как известно, целым рядом природных и антропогенных факторов, в том числе поступлением в реки загрязняющих веществ в составе сточных вод и с поверхностным стоком с водосборной территории. Оценка состояния вод Припяти и ее притоков проведена с использованием данных, полученных на пунктах наблюдения гидрохимического мониторинга (рис. 1). Анализировались среднегодовые концентрации и пределы содержания органических веществ (по БПК<sub>5</sub>), минеральных форм азота (аммонийного, нитритного и нитратного), а также фосфора фосфатного.

Согласно данным [5], содержание органических веществ в воде Припяти существенно ко-

лебалось в течение 2009 г. Наименьшие значения БПК<sub>5</sub> варьировали от 0,92 (1,0 км ниже г. Мозыря) до 2,00 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> (н.п. Б. Диковичи), наибольшие – от 3,20 (н.п. Б. Диковичи) до 5,22 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> (выше г. Пинска), идентифицируя кратковременное загрязнение воды. При этом среднегодовые величины БПК<sub>5</sub> (1,86–2,96 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) оказались ниже ПДК. Следовательно, можно говорить о достаточно благополучном состоянии речных вод в отношении загрязнения органическим веществом.

Анализ среднегодовых концентраций азота аммонийного в воде реки (0,26–0,77 мгN/дм<sup>3</sup>) показал, что «аммонийное» загрязнение наблюдалось на участке Припяти от н.п. Б. Диковичи (0,46 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) до г. Пинска (0,75 мг/дм<sup>3</sup> ниже го-

рода), а также прослеживалось в районе н.п. Довляды (0,40 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>). Изучение годового режима рассматриваемого ингредиента в районе г. Пинска выявило, что содержание азота аммонийного в воде реки ниже города превышало ПДК во все месяцы года, свидетельствуя об устойчивости процесса загрязнения речных вод; выше города загрязнение оказалось несколько менее выраженным (рис. 7).

В воде остальных створов содержание азота аммонийного в годовом разрезе варьировало весьма значительно: наименьшие концентрации были ниже ПДК, наибольшие – выше (табл. 5).

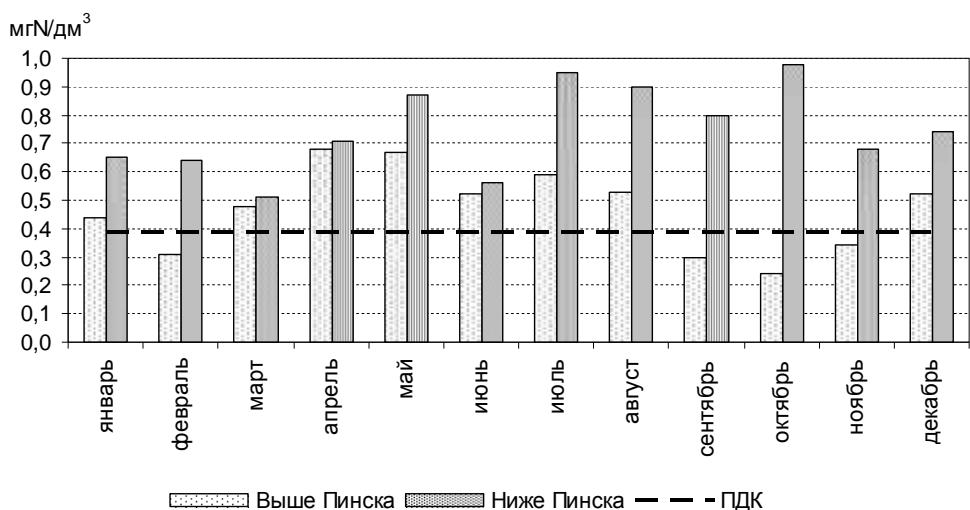


Рис. 7. Внутригодовое распределение содержания азота аммонийного в воде р. Припяти выше и ниже Пинска в 2009 г.

Таблица 5. Пределы содержания биогенных веществ в воде р. Припяти в 2009 г.

Створ	Азот аммонийный, мгN/дм <sup>3</sup>	Азот нитритный, мгN/дм <sup>3</sup>	Азот нитратный, мгN/дм <sup>3</sup>	Фосфор фосфатный, мгP/дм <sup>3</sup>
0,5 км северо-восточнее н.п. Б. Диковичи	0,30–0,47	0,005–0,029	0,22–1,27	0,020–0,080
1,0 км выше Пинска	0,24–0,68	0,005–0,021	0,02–0,80	0,005–0,144
3,5 км ниже Пинска	0,51–0,98	0,005–0,071	0,02–1,04	0,010–0,153
1,0 км выше Мозыря	0,13–0,39	0,005–0,011	0,05–0,68	0,007–0,073
1,0 км ниже Мозыря	0,08–0,40	0,005–0,010	0,06–0,71	0,008–0,080
45,0 км ниже Мозыря	0,12–0,45	0,005–0,009	0,05–0,66	0,008–0,078
2,0 км восточнее н.п. Довляды	0,31–0,61	0,005–0,027	0,14–0,78	0,010–0,071
ПДК	0,39	0,024	9,03	0,066

Повышенное среднегодовое содержание азота нитритного в воде реки (0,030 мгN/дм<sup>3</sup>) обнаружено лишь ниже Пинска. Для этого же участка реки характерна и максимальная разовая концентрация ингредиента, достигшая 3 ПДК. В воде остальных створов установленные в течение года наибольшие концентрации варьировали в пределах 0,009–0,029 мгN/дм<sup>3</sup>.

Судя по данным (табл. 5), концентрации азота нитратного изменялись в течение 2009 г. в широком диапазоне, причем их наибольшие значения оказались несколько выше экологически благоприятной величины (0,5 мгN/дм<sup>3</sup>). При этом среднегодовое содержание азота нитратного оказалось повышенным только у н.п. Б. Диковичи (0,65 мгN/дм<sup>3</sup>) и ниже Пинска (0,62 мгN/дм<sup>3</sup>).

Содержание фосфора фосфатного в воде контролируемого отрезка Припяти в годовом ходе наблюдений изменялось от концентраций, типичных для природного гидрохимического фона, до величин, превышающих ПДК в 1,1–2,3 раза (табл. 5). Загрязнение реки фосфором фосфатным отмечено только ниже Пинска.

Согласно данным мониторинга, качество воды Припяти у н.п. Б. Диковичи (трансграничный участок реки при входе на территорию Беларуси) и н.п. Довляды (трансграничный участок реки при выходе с территории Беларуси) в 2009 г. характеризовалось повышенным содержанием азота аммонийного, которое фиксировалось в 83 % проб, отобранных в створе н.п. Б. Диковичи, и в 42 % проб, отобранных в створе н.п. Довляды.

Количество азота нитритного (1,1–1,2 ПДК) отмечено в воде обоих пунктов.

В результате анализа гидрохимической ситуации, сложившейся на притоках Припяти в пределах рассматриваемого региона в 2009 г., было установлено, что легкоокисляемые органические вещества в абсолютном большинстве отобранных проб воды фиксировались в количествах, не превышающих ПДК. Исключение составили пробы воды из р. Ясельды, для которых среднегодовая величина БПК<sub>5</sub> определялась на уровне 1,5–2,3 ПДК (4,50–6,90 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>).

Повышенное среднегодовое содержание азота аммонийного отмечено для воды рек Цны, Бобрика, Ясельды, Стыги, Львы, Пины, Свиновода, Стыри и Уборти (рис. 8).

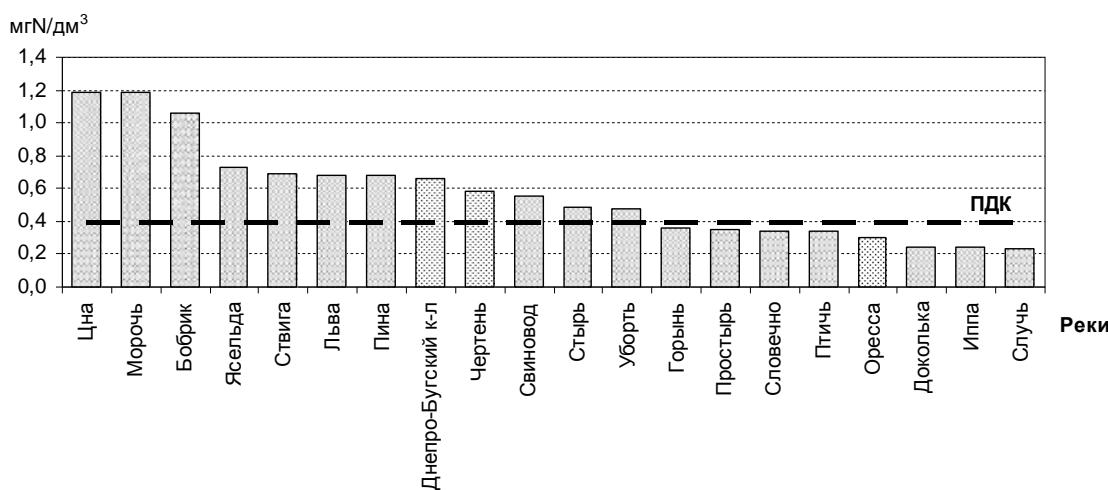


Рис. 8. Среднегодовое содержание азота аммонийного в воде притоков р. Припяти в 2009 г.

Содержание фосфора фосфатного в воде рек Бобрика, Горыни, Цны и Ясельды оказалось избыточным для водных экосистем, о чем свидетельствовали его среднегодовые концентрации (0,073–0,139 мгР/дм<sup>3</sup>), которые превышали ПДК в 1,1–2,1 раза. При этом максимальные концентрации фосфора фосфатного в воде р. Горыни возрастали до 0,211–0,251 мгР/дм<sup>3</sup> (3,2–3,8 ПДК).

Исходя из проведенного анализа загрязнения притоков Припяти органическими веществами, азотом аммонийным и фосфором фосфатным, можно заключить, что наиболее неудовлетворительная гидрохимическая ситуация характерна для рек Ясельды, Бобрика и Горыни.

**Выводы.** Обеспеченность Припятского Полесья водными ресурсами на душу населения вполне удовлетворительная (4,6 тыс. м<sup>3</sup>/чел.), хотя и несколько меньше, чем для Беларуси в целом (6,1 тыс. м<sup>3</sup>/чел.). Вместе с тем показатель водообеспеченности изменяется по районам региона в очень широком диапазоне (1,56–10,87 тыс. м<sup>3</sup>/чел.), причем его наименьшие ве-

личины установлены для Пинского и Мозырского районов.

В рассматриваемом регионе структура распределения забранной воды среди водопользователей существенно отличается от таковой для страны в целом. Основное количество воды используется здесь в прудовом рыбном хозяйстве (около 60 %), а не на хозяйствственно-питьевые нужды – основной затратной статьи в системе водного хозяйства Беларуси. Однако данная ситуация характерна не для всех районов и городов Припятского Полесья: так, хозяйствственно-бытовое водопотребление в Пинске достигает 71 %, а Мозырь выделяется количеством воды, используемой на производственные нужды (70 % суммарного водопотребления).

В регионе основной объем сточных вод (67,7 млн м<sup>3</sup> или 68 %) относится к категории нормативно-чистых, т.е. сбрасываемых в водные объекты без очистки. Большой частью это сточные воды предприятий отрасли «Прудовое рыбное хозяйство» в Пинском районе и подземные воды, откачиваемые из Микашевичского карьера,

в Лунинецком, на совместный отвод которых приходится 72 % общего количества рассматриваемых вод.

Поступление в реки нормативно-очищенных сточных вод обусловлено главным образом основными городами региона – Мозырем и Пинском, где формируется 92 % сточных вод данной категории. Из всего объема сточных вод, отведенных в водные объекты региона, 74 %, содержали повышенные концентрации загрязняющих веществ.

Среди районов Припятского Полесья практически по всем показателям, определяющим состояние и использование водных ресурсов, выделяется Пинский район. В районе забирается и используется самое большое количество природной воды в регионе, поэтому для него характерен наибольший объем отводимых в реки сточных вод.

Речные воды рассматриваемого региона загрязнены преимущественно азотом аммонийным и фосфором фосфатным, на отдельных участках Припяти – азотом нитритным. Наиболее неблагополучная гидрохимическая ситуация отмечена для Припяти ниже г. Пинска. Избыточные концентрации азота аммонийного и фосфора фосфатного обнаружены в воде практически всех притоков Припяти на территории Припятского Полесья.

Загрязнение рек региона фосфором фосфатным с точки зрения их рыбохозяйственного использования имеет достаточно низкий уровень. Однако с экологических позиций можно говорить о существенном нарушении эталонных условий функционирования речных экосистем, прежде всего связанного с реальными предпосылками эвтрофирования водотоков.

### Литература

1. Блакітная кніга Беларусі: энцыклапедыя / Рэдкал. Н. А. Дзісько [i інш.]. Мінск, 1994.
2. **Волчек А. А.** Водные ресурсы Полесья и экологические риски // Европейское Полесье – хозяйственная значимость и экологические риски: Материалы Международного семинара, Пинск, 19–21 июня 2007 г. Минск, 2007. С. 9–17.
3. Государственная программа социально-экономического развития и комплексного использования природных ресурсов Припятского Полесья на 2010–2015 годы, утв. Указом Президента Республики Беларусь 29.03.2010 № 161.
4. Ландшафтные воды в условиях техногенеза / О. В. Кадацкая [и др.]. Минск, 2005.
5. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень 2009 год / Под ред. В. Ф. Логинова. Минск, 2010.
6. Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси: Справ. / Под общ. ред. М. А. Гольберга; Министерство природ. ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Минск, 2002.
7. **Черепанский М. М.** Гидроэкологические проблемы Белорусского Полесья // Природные ресурсы. 1998. № 2. С. 90–97.

**Институт природопользования НАН Беларуси,  
Центральный научно-исследовательский институт  
комплексного использования водных ресурсов**

**О. В. Кадацкая, Е. В. Санец, Е. П. Овчарова,  
А. М. Пеньковская, Е. Е. Петлицкий**

### **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕСУРСОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПРИПЯТСКОГО ПОЛЕСЬЯ**

*Приведены результаты оценки условий формирования, характера распределения, современного состояния и использования ресурсов поверхностных водных Припятского Полесья, терриориально приуроченного к семи административным районам, включенным в Государственную программу социально-экономического развития и комплексного использования природных ресурсов Припятского Полесья на 2010–2015 годы (Пинский, Столинский, Лунинецкий, Житковичский, Петриковский, Мозырский и Наровлянский).*

*Анализируются основные показатели водопользования и отведения сточных вод как для рассматриваемого региона в целом, так и для административных районов, расположенных в его границах. Показаны характерные особенности водопотребления и водоотведения в пределах Припятского*

Полесья как единого образования и на уровне отдельных районов, отличающихся структурой водопользования региона от таковой для Беларуси в целом.

Приводятся данные о качестве поверхностных вод (Припяти и ее притоков), делается вывод о загрязнении речных вод азотом аммонийным и фосфором фосфатным.

**O. Kadatskaya, E. Sanets, E. Aucharova,  
A. Penkovskaya, E. Petlitskiy**

**MODERN STATE AND USE OF SURFACE  
WATER RESOURCES IN THE PRIPYAT POLESIE**

---

*Assessment results of formation conditions, kind of allocation, modern state and use of surface water resources of the Pripyat Polesie have been done. Geographically the Pripyat Polesie occupies the areas of seven administrative districts included in the Government program of socio-economic development and comprehensive use of nature resources of the Pripyat Polesie in 2010–2015 (Pinskiy, Stolinetskiy, Luninetskiy, Zhitkovicyskiy, Petricovskiy, Mosyrskiy and Narovlaynenskiy districts).*

*The main indices of water use and waste disposal are analyzed both for the selected region in whole and as the administrative districts located within the bounds of the region. It is shown that the characteristic peculiarities of water consumption and sewage disposal of the Pripyat Polesie bodily and at the districts level are differ in the water use structure of Belarus in whole.*

*Surface water quality data of the Pripyat and its tributaries have been indicated and the conclusion about river water pollution has been drawn.*

УДК 553. 973

Л. С. Лис, Т. Н. Козловская

## АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДНОЙ МАССЫ ОЗЕРА БЕРЕЩЕ ПРИ ДОБЫЧЕ САПРОПЕЛЯ

*С целью установления зоны изменения качества воды при добыче сапропеля из озера проанализированы автокорреляционные функции и спектральные плотности физико-химических показателей воды различных зон озера. Показано, что характер и отдельные признаки таких характеристик достаточно информативны к факторам техногенного воздействия на воду.*

Использование сапропелей для интенсификации сельскохозяйственного производства ведет к расширению его добычи, что вносит определенную техногенную нагрузку на природные лимнические системы. В начале 1990-х гг. в республике в широких масштабах была организована добыча сапропеля, было построено около 50 объектов с общим годовым объемом добычи более 1,4 млн т. При этом использовался гидромеханизированный способ добычи посредством плавучих земснарядов с гидротранспортом добываемой пульпы по трубам на дренированные поля фильтрации и сушки. Для больших озер, достаточно распространенных на территории республики, именно этот способ добычи в те времена был экономически эффективным [1]. Новые экономические условия, действующие в переходный период, привели к значительному сокращению производства сапропелевой продукции. Однако современные реалии свидетельствуют, что масштабное использование сапропелей будет расширяться [2]. Современное состояние многих озер республики свидетельствует, что они потеряли или теряют свое хозяйственное значение как источники воды и рыбохозяйственных угодий в результате образования значительных объемов сапропелевых накоплений. Анализ состояния крупных озер Беларуси показал, что практически в большинстве из них имеет место заполнение котловины сапропелем в пределах 60–90 % [1]. Состояние озер и водоемов в этом случае является интегральным показателем изменений в системе водосбор–озеро. С этих позиций представляется весьма актуальным оценить динамику и масштабы изменений физико-химических свойств природных вод.

Добыча сапропелей со дна озера, как правило, происходит с участка акватории водоема, где размещается необходимое оборудование и вспомогательные приспособления. Кроме того, на берегу озера подготавливается рабочий участок для размещения и сушки добываемой продукции в процессе технологических операций получения готовой продукции. Необходимо отметить, что извлекаемый из озер сапропель является ценным органическим сырьем для сельскохозяйственного использования.

При добыче сапропелей со дна озера происходит комплекс гидродинамических и физико-химических процессов, основанных на перемешивании и перемещении значительных объемов воды, образовании новых веществ вследствие реакций между содержавшимися в воде ранее консервативными веществами [3–6].

Для отработки методических вопросов в качестве объекта выбрано оз. Береще, в котором организована нерегулярная добыча сапропелей с помощью шнекового заборного устройства [1]. Площадь озера 4,08 км<sup>2</sup>, площадь водосбора 127 км<sup>2</sup>, объем водной массы 3,26 млн м<sup>3</sup>. Мелководное, максимальная глубина 1,3 м, средняя 0,8 м. Озеро оконтуривает заболоченная пойма шириной 25–250 м. По гидрологическому режиму оз. Береще – проточный водоем, на юге впадает р. Кеста, на западе – Березинский канал. Сток происходит по р. Береща на север. Водосбор в значительной степени покрыт лесом. В водном балансе преобладают приток поверхностных вод и осадки на зеркало озера. Расходная часть – сток р. Береща и испарение с водной поверхности.

При анализе характера изменения физико-химических показателей с целью оценки техногенных воздействий на качество воды, а также при решении экологических задач состояния и функционирования лимнических систем наиболее эффективны статистические методы анализа. Основываясь на имеющихся в литературе [7, 8] данных, по аналогичным исследованиям нам удалось сориентироваться и выделить возможные периодические составляющие и наиболее информативные периоды колебаний, а также временные масштабы неоднородностей по исследуемым параметрам воды. Это позволило разработать схему и методику проведения исследований.

На акватории озера были выбраны два участка для обследований: фоновая зона, наиболее удаленная от места производства работ (1,2 км), и техногенная зона (участок работы земснаряда). Была разработана и реализована на местности пространственно-временная схема наблюдений (две взаимно-перпендикулярные ветви по 200 м, точки отсчета через 20 м, временной интервал 6–8 ч).

В качестве основных показателей, характеризующих изменение озерных вод, были приняты следующие: температура ( $t$ ), содержание кислорода ( $O_2$ ), значение кислотности ( $pH$ ) и электрическое сопротивление ( $\rho$ ). Отметим, что значения физико-химических показателей водной массы в данной точке в общем виде – результат сложной суперпозиции целого ряда процессов, среди которых наиболее значимыми являются процессы фотосинтеза и гидродинамические [4, 5, 7]. При преобладании процессов фотосинтеза динамика этих показателей носит квазисинусоидальный характер с периодом, близким к одним суткам. Наличие гидродинамических процессов (компенсационные, сгонно-нагонные явления, внутренние волны, техногенные воздействия) искажают подобный характер кривых, внося в них дополнительные составляющие.

В фоновой зоне, которая характеризуется небольшой глубиной (1–1,5 м) и большим количеством водорослей, измерения проводились в поверхностном слое воды, тогда как в техногенной зоне (глубина воды 1,5–2 м, отсутствуют водоросли) измерения велись как в поверхностном, так и придонном слоях воды. В результате наблюдений получены две выборки данных по указанным показателям, включающие 5-дневные наблюдения, относящиеся к различным погодным условиям. Одна относится к летней, теплой, устойчивой погоде, а вторая – к осенней, неустойчивой, дождливой.

При анализе данных нами использовался подход к контролируемым параметрам как к случайным процессам [10]. Исходя из этого, определялись обобщенные статистические характеристики: автокорреляционные функции (АКФ) –  $R_x$ , спектральные плотности (СП) –  $S_x$ , которые анализировались по направлению и характеру изменений по анализируемым показателям. Причем этот анализ выполнен во временном и пространственном измерениях.

*Временные выборки.* Временные АКФ температуры поверхностного слоя воды для фонового участка имеют выраженный гармонический характер суточного периода (рис. 1, а). Это имеет место для обоих периодов наблюдений (кривые 1 и 2). АКФ температуры в поверхностном слое воды техногенной зоны (кривая 3) существенно отлична от аналогичных для фонового участка наличием значительной экспоненциальной составляющей при сохранении гармонического характера. Техногенная зона, как уже отмечалось, характеризуется отсутствием водорослей на большей части акватории и большей глубиной. Гармоническая составляющая АКФ температуры в этой зоне имеет меньшую амплитуду, что обуславливается, по нашему мнению, влиянием техногенных гидродинамических факторов.

Вид АКФ содержания кислорода (рис. 1, б) для фонового участка имеет несколько деформированный за счет случайных синоптических воздействий гармонический характер суточного периода. На АКФ содержания кислорода техногенной зоны можно выделить тенденцию экспоненциального характера, наложенную на гармонический ход зависимости (кривая 3), что объясняется, по-видимому, возрастанием воздействия процессов перемешивания воды.

На АКФ значений  $pH$  (рис. 1, в) гармонический характер и выявляемые неоднородности фоновой и техногенной поверхностной зонах несколько искажаются (кривые 1 и 2), но АКФ в придонных слоях приобретает явно выраженный экспоненциальный характер (кривая 3) с одной временной неоднородностью в 2 сут. Этот показатель, реагирующий на уровень протекающих физико-химических процессов в водной среде, достаточно чувствителен к перемешиванию водо-сапропелевых масс при добыче.

Анализ характера АКФ по физико-химическим показателям воды различных зон акватории озера показывает, что техногенная зона может быть выделена практически по всем из этих показателей на основании тенденции выявления экспоненциального характера АКФ во времени. При этом наиболее информативно и четко это отмечается по показателю  $pH$ .

*Пространственные выборки.* Характер АКФ температуры в фоновой области (рис. 2, а) различается для двух периодов исследования по масштабам наблюдаемых неоднородностей: в летний устойчивый период погоды они больше (кривая 1) и по периодичности эти однородности приблизительно одинаковы и соответствуют расстоянию 40–60 м. Для техногенной зоны масштаб неоднородностей значительно меньше, а пространственная повторяемость приблизительно такая же, как и для фоновой. По АКФ содержания кислорода (рис. 2, б) наблюдается такая же закономерность по масштабам и периодичности неоднородностей, что отражает влияние на эти показатели погодных условий. В меньшей степени такие различия отразились на АКФ значений  $pH$  и электропроводности. Характер АКФ этих же показателей воды существенно различается для поверхностного и придонного слоев техногенной зоны (рис. 2, в). Для поверхностного слоя заметных отличий по АКФ значений  $pH$  и электропроводности от описанного выше характера других показателей не наблюдается и, напротив, для придонного – отлично значительное уменьшение периодичности неоднородностей до 20–30 м и увеличение их масштаба. Это свидетельствует, что гидродинамические процессы, вызванные работой земснаряда в стационарном режиме в техногенной зоне, не распространяются на поверхностный слой ввиду больших глубин воды.

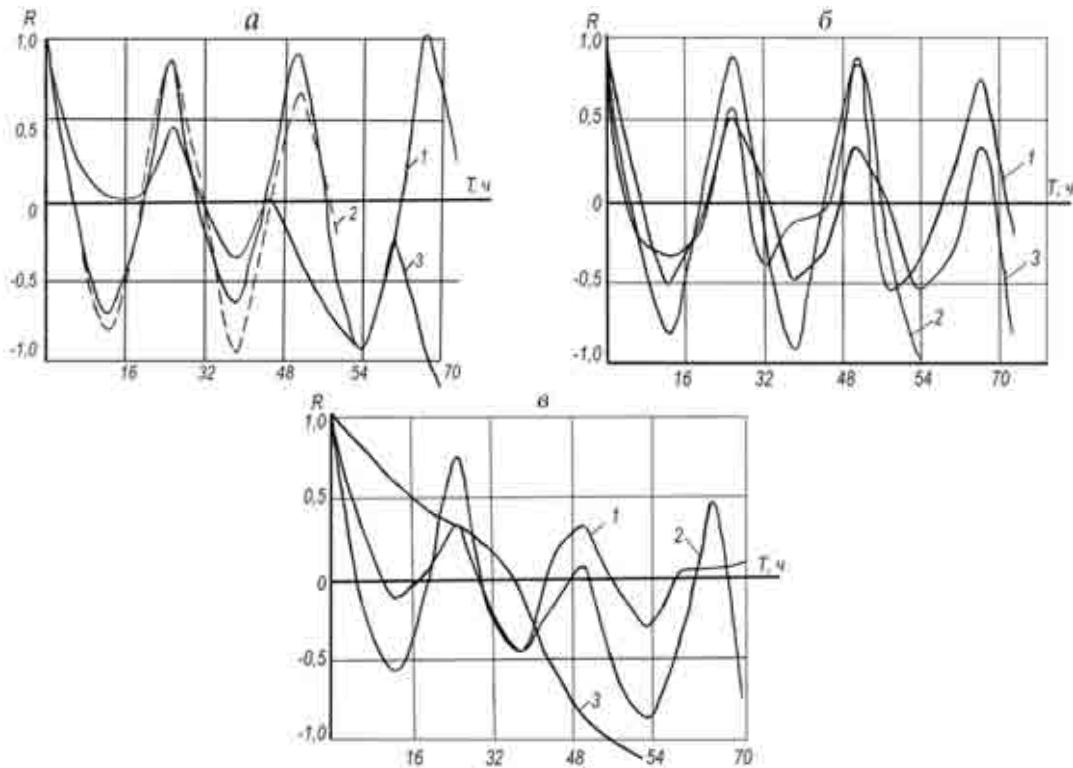


Рис. 1. Временные автокоррелограммы физико-химических параметров воды в различных зонах акватории озера: а – температуры: фоновой (1 – летний, 2 – осенний периоды) и техногенной (3) зон; б – содержания кислорода: фоновой (1 – летний, 2 – осенний периоды) и техногенной (3) зон; в – значения рН: фоновой (1 – летний, 2 – осенний периоды) и техногенной (3) зон

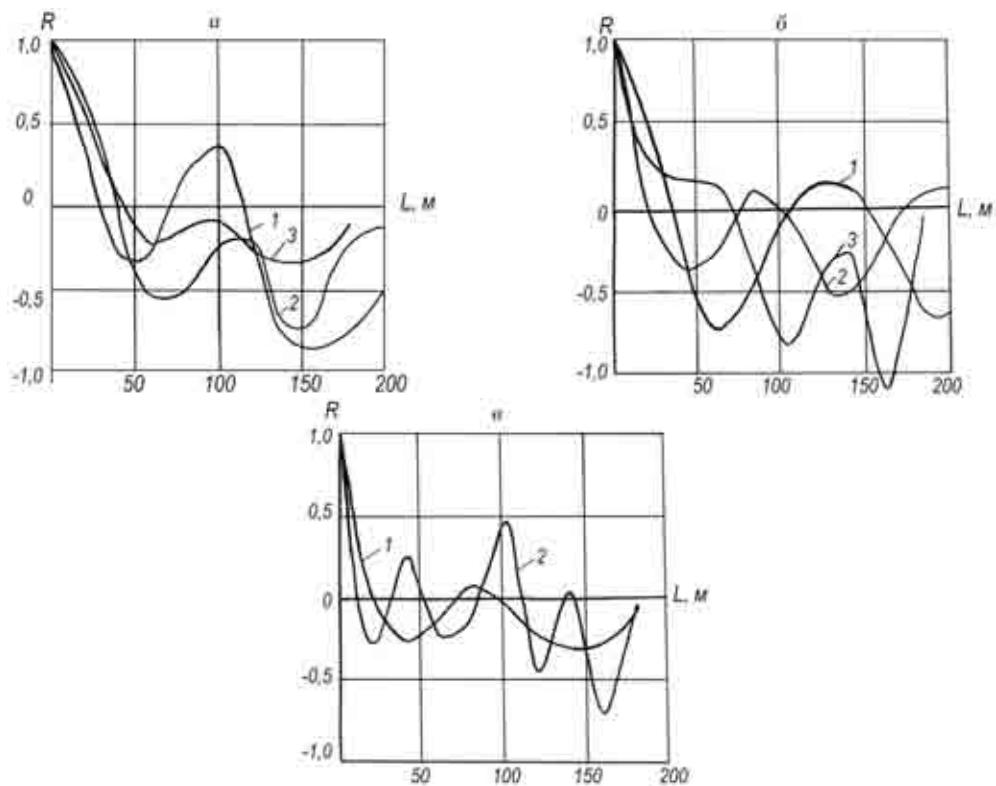


Рис. 2. Пространственные автокоррелограммы физико-химических параметров воды в различных зонах акватории озера: а – температуры: фоновой (1 – летний, 2 – осенний периоды) и техногенной (3) зон; б – содержания кислорода: фоновой (1 – летний, 2 – осенний периоды) и техногенной (3) зон; в – электропроводности: техногенной (1 – поверхностного, 2 – придонного слоев воды) зоны

Выделение техногенной зоны по пространственным АКФ параметров воды возможно по изменению масштабов неоднородности по температуре и содержанию кислорода, но наиболее информативны в этом АКФ всех контролируемых показателей воды придонного слоя.

*Временные спектры.* Спектральные плотности ( $S_x$ ) по температуре воды (рис. 3) показывают, что в фоновой зоне в летнюю устойчивую погоду наблюдается один всплеск естественного характера (кривая 1), в то время как при осенней неустойчивой погоде наблюдался двухвершинный характер (кривая 2), который может быть объяснен возникновением случайного влияния метеофакторов (ветра, дождя). Аналогичный характер  $S_x$  по параметру содержания кислорода (рис. 3, б), причем здесь уже может быть отмечена многовершинность распределения дисперсий.

Спектры электропроводности (рис. 3, в) и pH фоновой зоны в устойчивую летнюю погоду имеют резко выраженный всплеск на низкой частоте, что характерно для процессов с трендом [7]. Это, по-видимому, может быть объяснено вынесением с береговой части в озеро каких-либо минеральных компонентов, доля которых уменьшается с удалением от берега. При неустойчивой погоде этот процесс нарушается, отмечается явно выраженный пик в обоих случаях, соответствующий периоду времени порядка 24 ч.

Для техногенной зоны по этим показателям спектральные плотности имеют многовершинный характер распределения дисперсий, что соответствует наложению естественных и техногенных процессов.

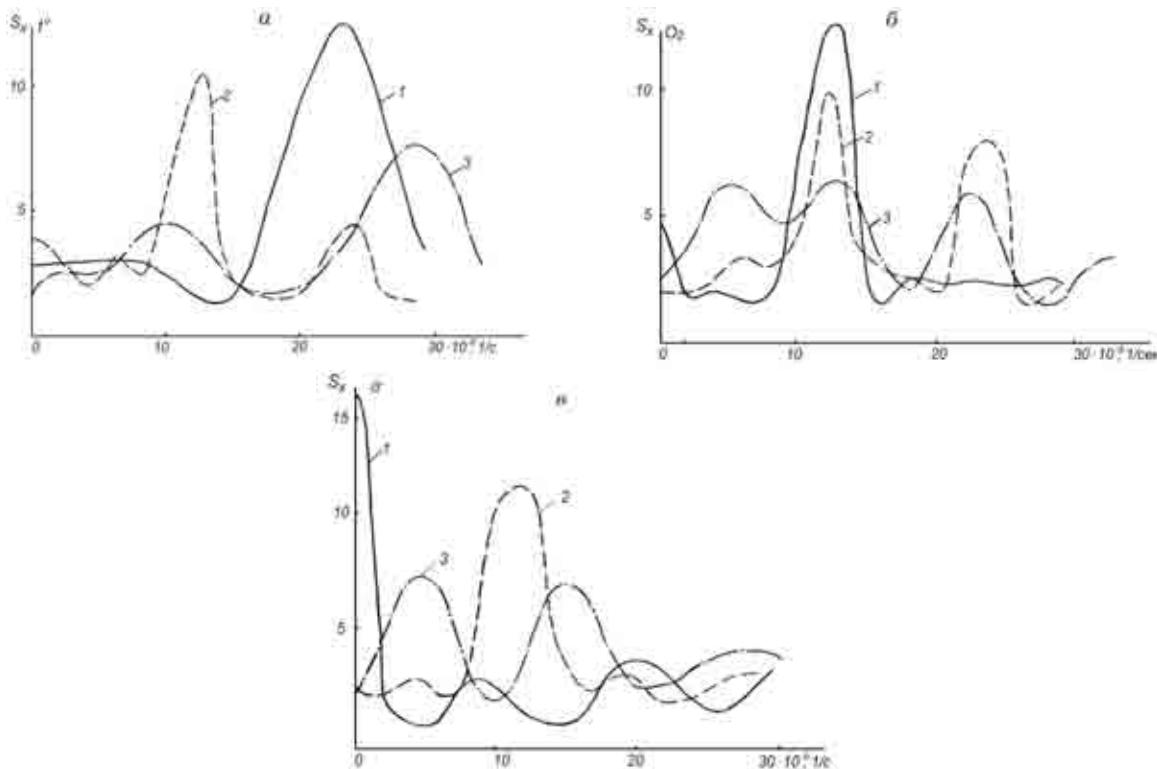
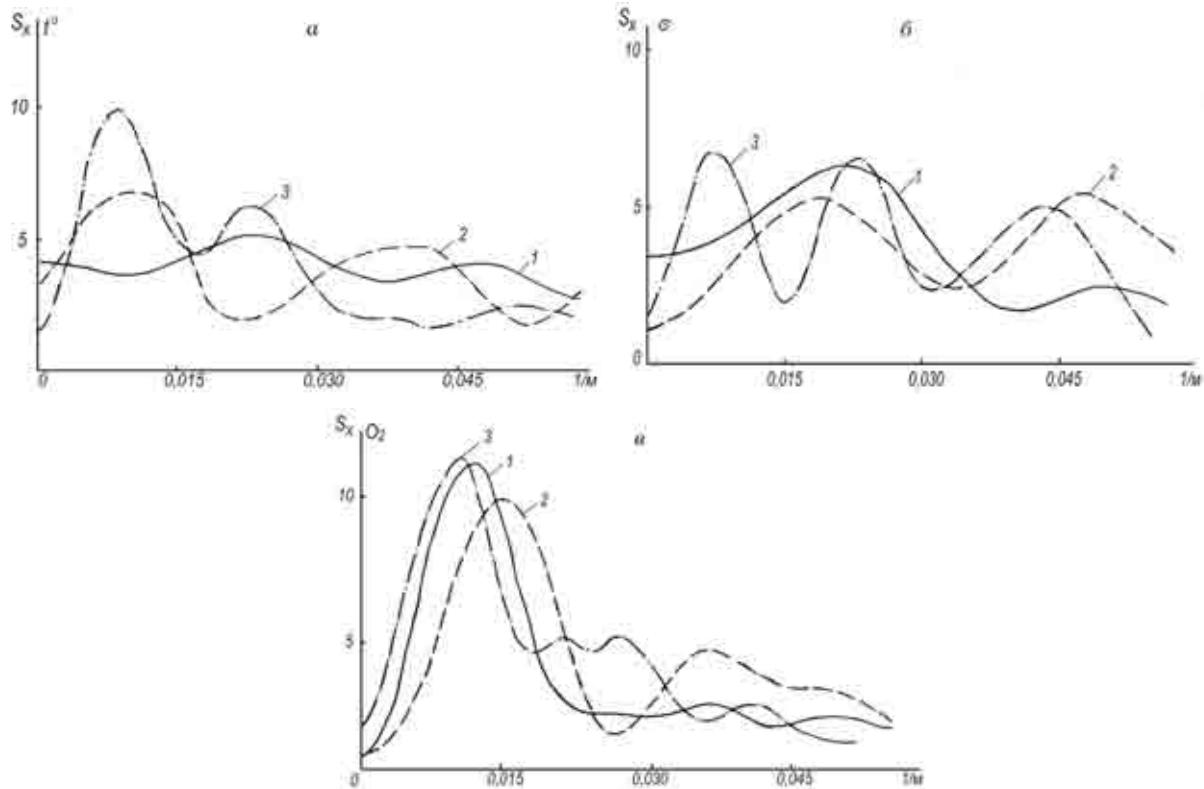


Рис. 3. Временные спектральные плотности физико-химических параметров воды в различных зонах акватории озера: а – температуры: фоновой (1 – летний, 2 – осенний периоды) и техногенной (3) зон; б – содержания кислорода: фоновой (1 – летний, 2 – осенний периоды) и техногенной (3) зон; в – электропроводности: фоновой (1 – летний, 2 – осенний периоды) и техногенной (3) зон

*Пространственные спектры.* Спектральные плотности по температуре для фоновой зоны (рис. 4, а) обнаруживают не резко выраженный колебательный характер, причем для осеннего периода амплитуда колебаний более значительна. Для техногенной зоны наблюдается явный всплеск на низких частотах. Для  $S_x$  содержания кислорода (рис. 4, б) отмечен выраженный

всплеск на низких волновых числах. В техногенной же зоне эти характеристики по обоим параметрам имеют более обозначенный набор всплесков, соответствующих различным расстояниям на местности. Такой же характер на пространстве присущ спектральным плотностям по параметрам электропроводности и значению pH.



**Рис. 4. Пространственные спектральные плотности физико-химических параметров воды в различных зонах акватории озера: а – температуры: фоновой (1 – летний, 2 – осенний периоды) и техногенной (3) зон; б – электропроводности: фоновой (1 – летний, 2 – осенний периоды) и техногенной (3) зон; в – содержания кислорода: фоновой (1 – летний, 2 – осенний периоды) и техногенной (3) зон**

Проведенный анализ данных по контролируемым качественным показателям воды в озере показал, что такие обобщенные статистические характеристики, как автокорреляционные функции и спектральные плотности, являются объективными оценками воздействия метеорологических и техногенных факторов. Причем ввиду различной чувствительности этих характеристик к отмеченным факторам, удается разделить их влияние, выделить отдельные признаки, которые относятся к метеорологическим и техногенным факторам. Это обстоятельство может быть использовано в дальнейшем для характеристики состояния озерных систем на различных стадиях их техногенной трансформации.

Предложенный метод пригоден для установления границ техногенной зоны при добыче сапропелей из озера, т. е. зоны измененных физико-химических характеристик воды за счет работы технологического оборудования. Степень

таких изменений предположительно также может быть определена по некоторым количественным показателям привлеченных статистических характеристик изучаемых рядов данных. Так, по временным автокорреляционным функциям температуры поверхностного слоя воды или значения pH степень их изменения может быть оценена величиной тренда экспоненциальной составляющей за период 70 ч. По пространственным автокорреляционным функциям показателей качества воды к их изменению достаточно чувствителен масштаб (амплитуда) неоднородностей.

По временным спектрам показателей качества воды техногенная зона выделяется наличием многовершинностей распределения дисперсий, а уровень изменений этих показателей может быть связан с частотой появления первого пика. Однако для изучения отмеченных связей необходимо выполнить дополнительные исследования.

#### Литература

1. Лопотко М. З. Сапропели БССР, их добыча и использование. Минск, 1974.
2. Курзо Б. В. Закономерности формирования и проблемы использования сапропеля. Минск, 2005.
3. Власов Б. П. Антропогенная трансформация озер Беларусь: геоэкологическое состояние, изменения и прогноз. Минск, 2004.
4. Курзо Б. В. Экологические аспекты трансформации озер при добыче сапропелем / Б. В. Курзо, З. К. Карташевич, В. М. Самойленко // Прикладная лимнология. 1999. Вып. 2. Минск. С. 103–107.

5. Власов Б. П. Изменение морфологии озерных котловин при добыче сапропеля, как фактор формирования лимнических процессов // Проблемы использования сапропелей в народном хозяйстве. Тез. докл. четвертой Республ. науч. конф. Минск. 29–30 сентября 1992 г. Минск, 1992. С. 7–9.
6. Власов Б. П., Гигевич Г. С., Карташевич З. К. Изменение озерных экосистем в результате добычи сапропеля // Прикладные вопросы лимнологии Беларуси. Минск, 1992. С. 24–30.
7. Тушинский С. Г. Качество природных вод: наблюдение и прогнозирование. Сер. «Охрана природы и воспроизводство природных ресурсов». Т. 18. М., 1987.
8. Аверин Н. А., Гаврилов И. Т., Кромская Т. П., Тушинский С. Г. Исследования динамики некоторых физико-химических показателей эфтрофных водохранилищ с целью обоснования частоты наблюдений и точности измерений в годовом цикле // Гидрохимические материалы. Т. 78. Ленинград, 1981. С. 22–31.
9. Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод. Ленинград, 1987.
10. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. М., 1974.

**Институт природопользования НАН Беларусь**

**Л. С. Лис, Т. Н. Козловская**

### **АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДНОЙ МАССЫ ОЗЕРА БЕРЕЩЕ ПРИ ДОБЫЧЕ САПРОПЕЛЯ**

На основании литературных данных установлено, что при добывчe сапропелей из озер происходят существенные изменения физико-химических свойств озерной воды. С целью установления зон таких изменений проведены исследования на озере Береще, расположенном в Витебской области, на котором была организована системная добывчa сапропеля.

Свойства водной массы характеризовались температурой, содержанием кислорода, показателем кислотности и электрическим сопротивлением в точках специально разбитой сети. На акватории озера были выбраны два участка наблюдений: фоновая зона, удаленная от места производства работ на 1,2 км, и техногенная – участок работы земснаряда, измерения выполнены в два периода: в летнюю устойчивую погоду и осеннюю дождливую.

На основании анализа автокорреляционных функций по временным и пространственным выборкам полученных данных возможность выделения границ зоны техногенного воздействия по появлению экспоненциальной составляющей на фоне гармонического характера.

Анализ спектральных плотностей временных и пространственных выборок полученных данных показал также возможность выделения зоны техногенного воздействия за счет появления многовершинного характера распределения дисперсий.

Полученные результаты показывают также, что как автокорреляционные функции так и спектральные плотности выборок физико-химических показателей воды различных зон имеют отличия при исследованных режимах погоды.

**L. S. Lis, T. N. Kozlovskaya**

### **ANALYSIS OF CHANGE OF PHYSICAL-CHEMICAL INDICES OF WATER MASS OF THE BERESHCHE LAKE DURING LACUSTRINE SAPROPEL EXTRACTION**

*On the basis of reference data it has been found that sapropels extraction from lakes results in essential changes of physical and chemical properties of lake water. For the purpose of finding zones of such changes, researches on the lake Bereshche of Vitebsk area were carried out, on which the systematic extraction of sapropel was organized.*

*Properties of water weight were characterized by temperature, oxygen content, pH and electric resistance in points of specially developed network. Two survey sites were chosen at the lake water area: the background zone 1,2 km off the place of works activity, and a technogenic one – a suction-tube dredge work site; measurements were done within two periods: in summer steady weather and the autumn rainy.*

*On the basis of the analysis of autocorrelation functions by time and spatial selections of the obtained data the possibility to mark borders of zone of technogenic impact on occurrence of exponential component on the background of harmonious character has been shown.*

*The analysis of spectral densities of time and spatial samples of the gained data has also shown a possibility to mark a zone of technogenic influence due to occurrence of multi-vertex character of dispersions distribution.*

*The gained results have also shown that both autocorrelation functions and spectral densities of water physical and chemical indicators samples of various zones have differences of the investigated weather modes.*

**А. В. Матвеев**

## О СТРУКТУРЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОКРОВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

*Научное обеспечение рационального использования покровных отложений должно включать общетеоретические (комплексные) исследования, опирающиеся на составление серии геологических, геохимических, геодинамических, геоморфологических, почвенных и других карт, что позволяет оценить возможности природных комплексов обеспечивать нормальные условия жизнедеятельности населения при минимизации последствий техногенного воздействия на окружающую среду (геопотенциал территории), а также обоснование конкретных направлений природопользования (добыча полезных ископаемых, сельскохозяйственное производство, строительство, рекреация, создание схем охраняемых природных объектов).*

Покровные отложения, залегающие непосредственно под почвенно-растительным слоем, являются той морфолитогенной основой ландшафта, на которой протекает вся хозяйственная деятельность. Эти отложения содержат разнообразные полезные ископаемые, служат материнской породой почв, основанием различных инженерных сооружений. Образуемые ими формы рельефа отличаются удивительным разнообразием, свидетельствуют об особенностях геологической истории нашего региона и в связи с этим представляют несомненный интерес для развития туризма, зон отдыха. К сожалению, далеко не всегда общество в стремлении максимально удовлетворить свои потребности задумывается о необходимости бережного отношения к природе, сохранения ее во всем многообразии для потомков. В результате снижается плодородие почв, уничтожаются уникальные формы рельефа, развиваются крайне неблагоприятные процессы (эррозия, наводнения, заболачивание, опустынивание, уничтожение лесов, загрязнение покровных отложений, поверхностных и подземных вод, формирование техногенных ландшафтов и т. д.), что в конечном итоге приводит к большим материальным потерям и ухудшению экологической обстановки. Для того чтобы снизить неблагоприятные последствия от неизбежного техногенного воздействия на природу, в том числе и на покровные отложения, необходимо разработать комплексное научное обоснование основных направлений рационального природопользования.

В статье предлагаются материалы к такому обоснованию, основанные преимущественно на геологических и геоморфологических данных. Впоследствии эти материалы могут быть дополнены в процессе исследований по почвенному и растительному покровам, инженерно-геологическим свойствам грунтов, подземным водам, технологиям добычи полезных ископаемых и др.

Учитывая результаты ранее выполненных и частично опубликованных исследований [1–3, 5], можно сделать заключение, что научное

обоснование рационального использования покровных отложений должно включать два крупных раздела.

I. Теоретические исследования, направленные на оценку геопотенциала верхней части четвертичной толщи (покровных отложений).

II. Обоснование конкретных направлений рационального использования покровных отложений с целью:

- добычи полезных ископаемых;
- сельскохозяйственного производства;
- строительства инженерных сооружений (промышленных, гражданских и дорожных объектов);
- охраны природных комплексов, рекреации и туризма.

Остановимся на характеристике разделов I и II.

**Теоретические исследования, направленные на оценку геопотенциала верхней части четвертичной толщи**

Эти исследования должны базироваться на разномасштабном (в зависимости от конкретных целей) картографировании, экологических оценках элементов и природной среды в целом (в нашем случае элементов морфолитогенной основы ландшафтов) для выявления их возможностей обеспечивать население всеми необходимыми средствами к существованию, а также на изучении способностей природных систем без ущерба для себя сохранять условия среды обитания, при которых может существовать и развиваться человек как биологический вид и социальный организм (оценка геопотенциала территорий).

Одним из важнейших направлений исследований при оценке геопотенциала должно стать изучение современных геологических процессов, особенно экстремальных (опасных) форм их проявления, которые наносят существенный ущерб экономике государств и ухудшают экологическую ситуацию. Для территории Беларуси экстремальными могут быть проявления плоско-

стной эрозии с интенсивностью более 2 мм/год, овражной эрозии, эрозии селеподобных потоков, половодных и паводковых вод, суффозии, карста, оползней, обвалов, осыпей, просадок, пыльных бурь, сейсмических явлений, высокоградиентных скоростей современных движений земной коры, техногенного перемещения отложений, снижающего устойчивость земной поверхности, рассчитанную по [14], ниже 90 %.

После картирования этих показателей можно приступать к районированию территории по степени эколого-геодинамического риска с выделением 5 градаций: *весьма высокого* риска (не менее 3 видов экстремальных процессов, 1 – с максимальной для региона интенсивностью); *высокого* (2–3 вида процессов, 1 – с высокой интенсивностью); *среднего* (2–3 вида экстремальных процессов со средней для региона интенсивностью), *слабого* (2 вида экстремальных процессов с нижесредней для региона интенсивностью или 1 со средней интенсивностью) и *весьма слабого* риска (1 вид экстремальных процессов с нижесредней для региона интенсивностью).

Следующим этапом работ по оценке геопотенциала должны стать геохимическая характеристика покровных отложений и построение геохимических карт масштаба от 1:500 000 до 1:10 000 и крупнее, в зависимости от целей и размеров изучаемой территории. Для таких построений проводится районирование территорий по типам разреза четвертичной толщи. Для каждого типа (по данным лабораторных определений образцов с глубин 0,1–0,2 м и 0,9–1,0 м и по литературным источникам) определяются характерные группы макро- и микроэлементов, в первую очередь тех, содержания которых превышают кларки. По этим данным строится геохимическая карта покровных отложений. Здесь особое внимание следует уделять оконтуриванию сложных геохимических аномалий. С учетом данных по распространению заболеваемости населения (материалы Министерства здравоохранения Республики Беларусь) выполняется районирование территории по степени эколого-геохимической опасности с выделением 5 градаций площадей: *относительно безопасных* (отсутствуют геохимические аномалии и очаги повышенной заболеваемости), *потенциально опасных* (аномалии отдельных элементов, нормальный фон заболеваемости, который может возрасти при повышении техногенной загрязненности), *умеренно опасных* (геохимические аномалии, максимумы развития отдельных заболеваний), *средней опасности* (сложные геохимические аномалии, максимумы развития нескольких заболеваний), *повышенной опасности* (сложные геохимические аномалии, максимумы распространения комплекса заболеваемости).

Для оценки возможности обеспечения потребностей населения и промышленности в сы-

ре строятся прогнозные карты на различные виды полезных ископаемых. К верхней части четвертичной толщи приурочены минеральные строительные материалы (строительные и силикатные пески, песчано-гравийные смеси, глины, валуны, реже – карбонатное сырье для производства цемента, известки), пресноводные известковые отложения, сапропели разного типа, болотные железные руды, торфовианит, торф. Построение прогнозных карт проводится с использованием материалов полевых работ, каталогов буровых скважин, результатов геологических съемок, а также известных закономерностей строения и состава четвертичных отложений Беларуси [3, 6, 8, 9, 12].

Для рационального использования верхней части четвертичной толщи необходимо также располагать (использовать существующие) геологической и геоморфологической картами, комплексом морфометрических карт (густоты и глубины расчленения рельефа, углов наклона, количества западин, длин склонов), а также детальными картами сельхозугодий, почвенной, типов отложений и их мощностей, которые либо имеются в районах, у сельхозпредприятий, в различных фондах, либо опубликованы, либо должны быть построены заново по общепринятым методикам.

Перечисленный комплект материалов дает полную оценку геопотенциала покровных отложений любой территории. При необходимости можно составить комплексную карту геопотенциала с выделением площадей, неблагоприятных в экологическом отношении, с различной степенью обеспеченности полезными ископаемыми, наиболее рациональных видов севооборотов для сельхозугодий, существующих и рекомендуемых объектов охраны природы, рекреации и т. д.

### **Обоснование конкретных направлений природопользования**

Наиболее существенные нарушения природных комплексов происходят при разведке и добыче полезных ископаемых, сельскохозяйственных работах, строительстве и рекреационной деятельности. Некоторые предложения по научному обеспечению рациональной организации перечисленных видов техногенного воздействия на покровные отложения рассмотрим ниже.

### **Разведка и добыча залежей полезных ископаемых**

Месторождения полезных ископаемых, связанные с верхней частью четвертичной толщи, приурочены к определенным формам рельефа и генетическим типам отложений, что необходимо иметь в виду при обосновании направлений геологоразведочных работ. Их научно обоснованная организация является одним из этапов рационального природопользования. При эксплуатации разведанных месторождений необхо-

димо соблюдать следующие условия: удовлетворение потребностей народного хозяйства, необходимость сохранения части залежей в виде охраняемых природных объектов, учет возможных неблагоприятных экологических последствий разработки месторождений, направление возможной рекультивации нарушенных земель.

Эти положения следует учитывать при освоении любых полезных ископаемых, приуроченных к покровным отложениям. В то же время необходимо подчеркнуть, что рациональные направления поисков месторождений, их использование имеют определенную специфику в зависимости от вида сырья. Так, **песчано-гравийные смеси и строительные пески** позднепоозерско-голоценового времени целесообразно искать преимущественно в долинах рек на участках пересечения ими краевых ледниковых образований, реже – моренных отложений. Например, такие перспективные площади могут быть выделены в бассейнах р. Березины (южнее оз. Палик), р. Вилии (в районе г. Сморгонь, северо-западнее д. Быстрица вблизи границы с Литвой), р. Днепра (в районе гг. Дубровно, Могилев), р. Немана (ниже впадения р. Березины, в районе г. Гродно), р. Припяти (в районе г. Мозыря), р. Сожа (южнее г. Славгорода, в районе г. Чечерска) и т. д. Разработка подобных месторождений в поймах рек не требует последующей рекультивации, а на террасах карьеры должны быть рекультивированы с последующим использованием земель преимущественно под посадки леса или трав.

**Глинистое сырье** в толще позднеледниково-голоценовых отложений занимает небольшие объемы. Основные залежи могут быть выявлены на площади распространения озерно-аллювиальных, лессовидных и аллювиальных отложений. Среди озерно-аллювиальных низин и равнин наиболее глинистые разности отложений тяготеют к бассейну Днепра, к участкам повышенных мощностей этих отложений. Озерно-аллювиальные суглинки также иногда подстилают наиболее мощные толщи лессовидных отложений.

Глинистые разности лессовидных отложений встречаются преимущественно в восточной Беларуси, там, где толща этих отложений превышает 4–5 м. Наконец, глинистые отложения могут слагать верхнюю часть аллювиальных горизонтов в поймах рек бассейна Днепра, но из-за небольшой мощности, обильных включений органики эти образования вряд ли представляют интерес в качестве сырья для производства минеральных строительных материалов. После разработок глинистого сырья необходимы проведение рекультивации и передача земель под посевы леса, луговых трав, возможно также создание небольших прудов.

**Торфоевианит** – комплексное органическое и фосфатное удобрение – чаще всего встречается в восточной и южной частях Беларуси. Собственно вивианит залегает в торфяной массе в виде прослоев, отдельных гнезд, вкраплений в наиболее пониженных местах низинных болот, где имеется обильный приток грунтовых вод. Неглубокое залегание, близость к населенным пунктам позволяют организовать извлечения торfovивианита одновременно с разработкой торфяных месторождений. После измельчения отложения могут вноситься в почву. С точки зрения прогнозной оценки низинных болот на торфовивианит, наибольший интерес представляют площади, которые вписываются в контур распространения фосфоритоносных отложений палеогена. Рекультивация территорий, связанных с добычей фосфоритного сырья, осуществляется также, как и торфяных месторождений, о чем будет сказано ниже.

**Торф** является наиболее распространенным видом сырья, сформировавшимся на последнем этапе геологической истории. Торфяные залежи встречаются повсеместно. Выделяется 39 видов торфа [10], которые образуют 4 типа залежей: низинную, переходную, верховую и смешанную. Торф может использоваться в качестве топлива, как удобрение, химико-технологическое сырье, в бальнеологических, медицинских и природоохранных целях. Верховые торфяники в основном сосредоточены на севере страны, в центральной Беларуси на западе преобладают низинные залежи, в центре – крупные верховые и низинные, на востоке – малые верховые и низинные, в Полесье – крупные низинные. Практически все крупные месторождения, которые не вошли в состав заповедников и заказников, в настоящее время вовлечены в разработку, поэтому создание новых крупных торфопредприятий не предполагается [1]. Реально организовать добычу можно только на малых месторождениях. В связи с ростом цен на энергоносители, очевидно, целесообразно увеличить объемы добываемого торфа для выпуска бытового топлива, хотя этот вид использования сырья и не является наиболее экономически обоснованным [1].

Самые ценные виды торфа (битуминозный, малоразложившийся сфагновый – гидролизный, грязелечебный) не следует использовать для иных целей, кроме изучения и переработки, лечения, часть залежей должна охраняться государством.

Выработанные торфяники рекультивируются и должны передаваться под сельскохозяйственное освоение и лесопосадки. Но не всегда рекультивация является эффективной. Поэтому целесообразно часть отработанных месторождений использовать для повторного заболачивания [1]. Реже – на месте карьеров можно планиро-

вать создание водоемов. Ограничением для подобной рекультивации могут служить значительные экономические затраты, связанные с необходимостью удалять сохраняющийся в разработках слой торфа. Под выработанными торфяниками нередко залегает сапропель, который можно использовать как органическое удобрение или в других целях.

**Сапропель** также является одним из распространенных видов полезных ископаемых, встречающийся повсеместно в котловинах давляющего большинства озер (кроме пойменных), а также нередко залегающий под торфом (примерно в каждом шестом месторождении торфа) [1, 5, 11]. Сапропель по составу подразделяется на органический, кремнеземистый и смешанный. Все разности сапропеля встречаются повсеместно, но в Витебской, Гомельской и Минской областях преобладает кремнеземистый, в Гродненской – карбонатный, в Брестской и Могилевской – органогенный сапропель [5]. Залежи сапропеля используются в качестве органоминеральных удобрений, кормовых добавок, для лечебных целей, при производстве строительных материалов, составлении буровых растворов и др.

Добычу полезных ископаемых целесообразно проводить из озер не глубже 10 м, при мощности слоя не менее 1,5 м, зольности до 70 %, при отсутствии повышенных концентраций тяжелых металлов и радионуклидов [5]. Особую ценность представляют малозольные органогенные отложения, обогащенные микроэлементами, азотом, кальцием, калием и фосфором. Используются сапропели из озер, и залегающие под торфом после его обработки.

Наиболее типичные, а также уникальные по составу месторождения сапропелей должны охраняться государством.

**Пресноводные известковые отложения** на территории Беларуси тяготеют к склонам возвышенностей и гряд, долинам рек, озерам, ложбинам стока и оврагам. Самые крупные из известных залежей встречаются в северо-западной части республики. Много малых залежей выделено в восточной части. Представлено несколько типов отложений – источниковый, озерный и болотный. Источниковые отложения могут быть выявлены на крутых склонах возвышенностей и речных долин; озерные – в береговой зоне водоемов и отмелях, где они постепенно переходят по простианию в известковый сапропель; болотные – к самым глубоким частям низинных торфяников. Рассматриваемые отложения целесообразно использовать для известкования почв, но запасы их невелики. Участки наиболее характерных источниковых залежей следует объявить памятниками природы.

**Болотные железные руды** распространены повсеместно, но особенно широко – на юге

страны. Эти отложения формируются в болотах, озерах, поймах рек, у подножий гряд и т.д. Они образуют неправильные линзы, пластово- и гнездообразные тела. Мощность их до 0,4 м, изредка до 0,9 м. Эти образования могут служить сырьем для изготовления красителей и, возможно, абразивных материалов.

#### **Рациональное использование верхней части четвертичной толщи в сельском хозяйстве**

При планировании эффективного использования земель в сельскохозяйственном производстве необходимо иметь в виду, что в распределении элементов питания, режимов тепла и влаги в условиях Беларуси существуют значительные контрасты, которые определяются в первую очередь пестротой состава отложений и типов почв, пересеченностью рельефа, мелкоконтурностью ландшафтов.

К сожалению, сложившаяся структура землепользования не всегда учитывает эти особенности природных условий региона, что приводит к потерям урожайности [13]. Выполненные расчеты показали: иногда до 20–50% сельхозугодий расположено в неоптимальных условиях [4]. Во избежание этого необходимо провести для территории всего региона (возможно, по отдельным районам) оценку соответствия сложившейся структуры угодий природным условиям. Следует использовать такие показатели, как абсолютная высота местности, глубина и густота расчленения рельефа, углы наклона, интенсивность плоскостного смыва, состав почвообразующих пород, и показатели условий увлажнения. Пять первых характеристик выражаются количественными величинами, поэтому их применение не требует никаких дополнительных преобразований. Для описания вещественного состава и режима увлажнения следует вводить ранжированные переменные соответственно по возрастанию роли глинистого материала и превалирующим почвенным разностям.

Названные семь параметров образуют многомерное пространство, которое можно использовать для решения задачи оценки соответствия структуры угодий природному фону по специально разработанному Г. И. Сачком алгоритму [4]. Задача формулируется в терминах теории классификации, т. е. имея известную классификацию (структуре угодий, совокупность точек, соответствующих контурам угодий), можно осуществить оценку ее ошибочности (неоптимальности) и выполнить переклассификацию (отнесение точек к тому классу, к которому они ближе в смысле некоторого дискриминатора). Для повышения достоверности полученных результатов необходимо проводить полевые работы, так как механический учет результатов обработки материалов на ЭВМ может иногда оказываться нелогичным (из-за качества исходного

фактического материала). Не противоречащие смыслу рекомендации математико-статистического анализа должны использоваться для построения карты рациональной организации сельскохозяйственного использования земель. На вновь составленных схемах можно выделять зоны: а) с ограниченными посевами пропашных, с преобладанием зерновых культур, многолетних трав, лесопосадок, а также земли универсального использования; б) участки, требующие противодействия агротехнических приемов обработки полей; в) мелиорированные земли, нуждающиеся в поддержании дренажной сети в связи с угрозой повторного заболачивания; г) площади, подлежащие осушению, обводнению, рекультивации, благоприятные для сооружения водоемов и др.

Кроме учета соответствия структуры сельхозугодий природному фону, для их рационального использования необходимо также оценивать степень загрязненности территории техногенными выбросами, которые могут либо полностью исключать возможность использования земель, либо требуют определенных агротехнических приемов ведения сельскохозяйственного производства.

#### **Рациональное использование земель при различного вида строительных работ**

При определении участков, благоприятных для строительства особо ответственных объектов, прежде всего необходимо выделить площади распространения вблизи земной поверхности карстующихся пород, активных суффозионных процессов, плавунных грунтов, техногенных просадок, проявления обвалов, оползней, овражной эрозии, крупных погребенных долин [7, 16]. Кроме того, запрещающими факторами для размещения промышленных и жилых комплексов являются зоны разрывных нарушений, участки уже существующих максимальных техногенных нагрузок, поникающих устойчивость земной поверхности ниже 50 % [14].

Важной составляющей научного обеспечения рационального размещения строительных объектов является выделение зон повышенной сейсмической активности, площадей возможного затопления или существенного подтопления. При этом необходимо не только учитывать существующие неблагоприятные условия для строительства, но и прогнозировать возможность их проявления в процессе работ. Как правило, все участки, неблагоприятные или запрещающие строительство жилых и промышленных комплексов, выделяются по картам проявления опасных геологических процессов, эколого-геодинамического риска, геологическим и инженерно-геологическим, которые составляются в разных масштабах.

На территориях, благоприятных или относительно благоприятных для строительства, с

целью придания разнообразия городским и промышленным ландшафтам, снижения затрат и повышения устойчивости сооружений, улучшения экологической обстановки целесообразно выделять участки для озеленения, при необходимости обводнения или осушения, улучшения рельефа, гидросети, рекультивации земель и др.

При дорожном строительстве следует учитывать те же факторы, что и при сооружении жилых и промышленных комплексов, а также особенности морфометрии рельефа, а участки пересечения дорог с зонами разломов нужно отмечать дорожными знаками, предупреждающими водителей о необходимости повышения внимания. Эти же зоны должны специально учитываться при прокладке трубопроводов, так как в их пределах возрастает вероятность аварий.

#### **Охрана природы и рекреация**

Для сохранения уникального своеобразия природы нашей страны на ее территории проводится и должна еще более активизироваться работа по созданию научно обоснованной сети охраняемых природных объектов. Эта работа предусматривается Конституцией Республики Беларусь и целым рядом других законодательных актов, в соответствии с которыми за последние десятилетия количество охраняемых геолого-геоморфологических объектов превысило цифру 500, а их суммарная площадь 3500 км<sup>2</sup> [3]. Однако данные цифры совершенно недостаточны для сохранения всего многообразия природных комплексов. Например, геолого-геоморфологических памятников природы (на 1 тыс. км<sup>2</sup> территории) в странах Балтии, Польше, Германии в 3–5 раз более, чем у нас. Поэтому работы по выделению новых охраняемых геолого-геоморфологических объектов необходимо продолжить. В число охраняемых должны включаться обнажения с типичными (эталонными) отложениями, места опорных стратиграфических скважин, участки находок ископаемых животных и растений, проявлений в земной поверхности тектонических структур, эпицентры исторических землетрясений, типичные формы ледникового рельефа, озерных котловин, фрагменты речных долин, ледниковые валуны, места добычи в прошлом полезных ископаемых, астроблемы, метеориты, истоки крупных рек и т. д. [2].

Живописность природы Беларуси, уникальность ее ледниковых ландшафтов, обилие озер, рек, каналов, наличие значительных запасов разнообразных минеральных вод являются хорошей основой для широкого развития туризма и рекреационной деятельности. Многое в этом направлении сделано, однако потенциал для активизации работы далеко не исчерпан. Следует только постоянно совершенствовать необходимую инфраструктуру (дороги, оборудование пляжей, палаточных городков, строительство отелей, домов отдыха, санаториев, отдельных кот-

теджей и т.д.), выделить экологически безопасные зоны, наиболее интересные природные объекты.

### **Выводы**

1. Техногенное воздействие на покровные отложения приводит к уничтожению уникальных форм рельефа, развитию неблагоприятных геологических процессов, загрязнению территорий, формированию «бедлендов», что в конечном результате вызывает значительные материальные потери и ухудшает экологическую обстановку в регионе.

2. Для минимизации неблагоприятных последствий воздействия на природные комплексы должна быть создана научная концепция их рационального использования. В разработке такой

концепции должны принять участие специалисты различного профиля: геологи, географы, экологи, экономисты, технологи и др.

3. Приведенные в статье материалы в наиболее общей форме показывают, что рациональное использование покровных отложений должно, в первую очередь, опираться на научные оценки геопотенциала территорий, а также включать рациональные направления поисков, разведки и разработки полезных ископаемых, рекультивации нарушенных земель, организацию с детальным учетом природных особенностей территории сельскохозяйственного производства и строительных работ, расширение площадей охраняемых природных территорий и рекреационных зон.

### **Л и т е р а т у р а**

1. Бамбалов Н. Н., Курзо Б. В. Состояние и рациональное использование торфяных и сапропелевых ресурсов // Рациональное природопользование Белорусского Поозерья. Минск, 1993. С. 89–101.
2. Вінакураў В. Ф., Галдзянкоў А. А. Геалагічна спадчына Беларусі і праблемы яе стварэння // Літасфера. 2004. № 2 (21). С. 28–37.
3. Геология Беларуси / Под ред. А. С. Махнача и др. Минск, 2001.
4. Изучение современных рельефообразующих процессов на ледниковых возвышенностях с целью рациональной организации сельскохозяйственных угодий / А.В. Матвеев [и др.] // Расчленение рельефа и продуктивности сельскохозяйственных культур. Вильнюс, 1990. С. 35–38.
5. Курзо Б. В. Сапропель // Полезные ископаемые Беларуси / Под ред. П. З. Хомича и др. Минск, 2002. С. 305–316.
6. Лукашев К. И. Основные генетические типы и фации антропогеновых отложений. Минск, 1955.
7. Матвеев А. В. Влияние современных движений земной коры на экологическую обстановку // Природопользование: экология, экономика, технологии. Минск, 2010. С. 204–206.
8. Матвеев А. В., Нечипоренко Л. А. Геоморфология. Основы геологии Беларуси // Минск, 2004. С. 315–326.
9. Матвеев А.В., Якубовская Т. В. Четвертичная система (квартер) // Основы геологии Беларуси. Минск, 2004. С. 183–201.
10. Пидопличко А. П. Торфяные месторождения Белоруссии. Минск, 1965.
11. Пидопличко А. П. Озерные отложения Белорусской ССР (генезис, стратиграфия и некоторые качественные особенности). Минск, 1975.
12. Полезные ископаемые Беларуси / Редкол.: П. З. Хомич и др. Минск, 2002.
13. Романова Т. А., Яцухно В. М. Ландшафтно-экологическое обоснование рационального землепользования: проблемы и направления решения // Рациональное природопользование в условиях Белоруссии. Л., 1988. С. 24–32.
14. Савчик С. Ф. Антропогенный морфогенез на территории Беларуси: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Минск, 2002.
15. Торф / Н. Н. Бамбалов и др. // Полезные ископаемые Беларуси / Под ред. П. З. Хомича. Минск, 2002. С. 182–194.
16. Modern geomorphological factors of Belarus soil cover transformation / A.K. Karabanov [et al.] // Physical, Chemical and Biological processes in soils. Poznań, 2010. P. 73–84.

**A. V. Matveev**

## **О СТРУКТУРЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОКРОВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**

---

*Техногенное воздействие на покровные отложения нередко приводит к непредусмотренным материальным потерям и ухудшению экологической ситуации в регионе. Для снижения этих неблагоприятных последствий необходимо разработать комплексное научное обоснование основных направлений природопользования. Такое обоснование должно включать два крупных раздела: теоретические исследования геопотенциала покровных отложений (их способности обеспечить нормальные условия жизнедеятельности населения при минимизации неблагоприятных последствий воздействия на окружающую среду); обоснование конкретных направлений рационального использования покровных отложений (добыча полезных ископаемых, сельскохозяйственное производство, строительство различных инженерных сооружений, рекреация).*

*На основании геолого-геоморфологических данных в общей форме рассмотрены предложения по структуре научных исследований по каждому из видов использования покровных отложений, что позволяет более рационально осуществлять это использование.*

**A. V. Matveev**

## **ON THE STRUCTURE OF SCIENTIFIC RESEARCHES TO ENSURE RATIONAL USE OF COVER DEPOSITS**

---

*Technogenic impact on cover deposits quite often leads to unforeseen material losses and deterioration of ecological situation in the region. It is necessary to develop a complex scientific substantiation of the basic directions of nature management to decrease these adverse consequences. Such substantiation should include two large divisions: theoretical researches of a geopotential of cover deposits (their ability to provide normal conditions of live activity of the population at minimization of adverse consequences of influence on the environment); a substantiation of concrete directions of rational use of cover deposits (mining operations, agricultural production, building of various engineer constructions, recreation).*

*On the basis of geology-geo-morphological data, proposals on the structure of scientific researches on each of kinds of use of cover deposits in general form have been regarded that allows more rational realization of this use.*

**Б. В. Курзо, О. М. Гайдукевич, И. В. Кляуззе**

## РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ ПО ВЕЩЕСТВЕННО-ГЕНЕТИЧЕСКИМ ТИПАМ ОЗЕРНОГО ОСАДКОНАКАПЛЕНИЯ

*На территории республики исследованы условия сапропелеобразования, обобщены особенности размещения сапропелевых ресурсов. Проведено районирование Беларуси по вещественно-генетическим типам озерных осадков.*

За последние несколько десятков лет получены данные о составе и свойствах сапропеля как полезного ископаемого. Изменчивость в широком диапазоне вещественного состава сапропеля и горно-геологических условий его залегания требует дифференцированного подхода к поиску и выбору месторождений, перспективных для добычи этого ценного местного вида полезных ископаемых [2, 3]. Комплексная оценка состояния ресурсов сапропеля в Республике Беларусь предполагает выявление и анализ всех имеющихся месторождений в озерах и залегающих под торфяной залежью [5] и позволяет решать задачи научного и прикладного характера.

Значительная неоднородность геологогеоморфологических условий, неравномерное распределение и различное качество сапропелевых ресурсов, влияние техногенеза делают весьма актуальным районирование территории республики по типам озерного осадконакопления для обоснования схем размещения сырьевых баз для различных направлений использования.

При исследовании территориального распределения ресурсов сапропеля учитывали строение залежей от поверхности до минерального ложа как в озерах, так и под торфом. В тех случаях, когда в результате недостаточной изученности химического состава отдельных месторождений выявить стратиграфию невозможно, такие месторождения относили к типу недостаточно разведанных. Это относится в первую очередь к запасам сапропеля на торфяных месторождениях.

На картосхеме при проведении границ районов с однородными по процессам современного осадкообразования условиями принято рациональное плечо перевозки сапропелевого сырья на расстояние 10 км от месторождения.

В озерах Беларусь выделяются несколько разновидностей осадочных отложений [4]. Как правило, в разрезах терригенные отложения сменяются карбонатными и органическими, которые распространены у поверхности залежей. В слабопроточных и сточных заболоченных озерах распространены осадочные толщи, сложенные на 90–100 % органическим сапропелем. В сильно проточных озерах с повышенным поступлением обломочного материала распространены залежи силикатного типа. В озерах, питающихся в основном грунтовыми водами, происходит формирование карбонатных залежей. Особенно широко залежи карбонатного типа распространены на торфяных месторождениях.

Для районирования территории по вещественно-генетическим типам залежей, с учетом их строения разработаны критерии отнесения сапропелевых месторождений к определенному классу (табл. 1). В основу выделения этих классов положен принцип преобладания запасов сапропеля того или иного типа и характер напластования от поверхности к основанию разрезов. Преобладание на территории сапропелевых месторождений определенного класса позволяет выделять районы, различающиеся по источникам осадочного вещества.

**Таблица 1. Критерии дифференциации сапропелевых месторождений по вещественно-генетическим типам осадков [8]**

Класс месторождения	Район осадконакопления	Объем запасов сапропеля по типам, %			
		Органический	Кремнеземистый	Карбонатный	Смешанный
Биогенный	Органический	> 50	≤ 40	≤ 10	≤ 10
Терригенный	Силикатный	≤ 40	> 50	≤ 20	≤ 10
Хемогенный	Карбонатный	≤ 20	≤ 20	> 50	≤ 10
Смешанный (поликомпонентный)	Смешанный	20–40	20–40	20–40	20–40
Смешанный (бикомпонентный)	Органо-силикатный	30–50	30–50	≤ 10	≤ 10
Смешанный (бикомпонентный)	Органо-карбонатный	30–50	≤ 10	30–50	≤ 10
Смешанный (бикомпонентный)	Силикатно-карбонатный	≤ 10	30–50	30–50	≤ 10

На территории Беларуси выделено 60 районов озерного осадконакопления. Каждому району присвоен порядковый номер и название: 1 – Braslavskiy siliyatno-karbonatnyy rayon; 2 – Braslavsko-Miorskii siliyatnyy; 3 – Miorskoo-Sharkovshinskii organicheskii; 4 – Yuzhno-Braslavskiy organo-siliyatnyy; 5 – Luchaiskiy smeshannyy; 6 – Ostrove茨ko-Postavsko-Polo茨ko-Rossosnkiy siliyatnyy; 7 – Smorgonsko-Mядelskoo-Gluboksko-Borisovskiy organo-karbonatnyy; 8 – Svirsko-Narochanskii karbonatnyy; 9 – Smorgonsko-Vileiskiy smeshannyy; 10 – Lepel'skiy organo-karbonatnyy; 11 – Central'no-Ushachskiy organo-siliyatnyy; 12 – Ushachsko-Lukomльskiy siliyatnyy; 13 – Polo茨kiy organicheskii; 14 – Zapadno-Rossosnkiy organo-siliyatnyy; 15 – Verhnedvinskii organo-karbonatnyy; 16 – Osvezhskiy organo-siliyatnyy; 17 – Zapadno-Gorodokskiy siliyatnyy; 18 – Severo-Gorodokskiy organo-siliyatnyy; 19 – Gorodoksko-Vitebsko-Beshenkovichskiy siliyatnyy; 20 – Gorodoksko-Shumilinskoo-Lepel'skoo-Sennenskii organo-siliyatnyy; 21 – Kokovchinskii karbonatnyy; 22 – Mogilevsko-Shklovskiy karbonatnyy; 23 – Tolochinskoo-Kruglyansko-Bыхovskiy organo-karbonatnyy; 24 – Kruпsko-Borisovsko-Belynichskiy organicheskii; 25 – Severo-Krupskiy smeshannyy; 26 – Beresinskoo-Klichevskiy siliyatnyy; 27 – Smolevichskiy organo-karbonatnyy; 28 – Logoyiskiy organo-siliyatnyy; 29 – Zapadno-Molodечnenkskiy karbonatnyy i organo-karbonatnyy rayony; 30 – Zapadno-Oshmyanskii karbonatnyy; 31 – Radunьsko-Lidsko-Novogrudskiy karbonatnyy; 32 – Ozerskoo-Щuchinskii karbonatnyy; 33 – Sapotskino-Gожskiy siliyatno-karbonatnyy; 34 – Berestoviцkiy karbonatnyy; 35 – Droгichino-Baranovichsko-Nesvizhsko-Minskii organo-karbonatnyy; 36 – Brestsko-Pruzhanskii organo-siliyatnyy; 37 – Kamenecko-Jabinkovskiy karbonatnyy; 38 – Malorit'skiy rayon smeshannogo osadkonakopleniya; 39 – Kobrinisko-Pinskii rayon smeshannogo osadkonakopleniya; 40 – Ivanovskiy organo-siliyatnyy; 41 – Pinskii organo-siliyatnyy; 42 – Kle茨ko-Ganzevichskiy organicheskii; 43 – Kopyl'skoo-Soligorskoo-Lubanskii organo-karbonatnyy; 44 – Zhitkovichskiy organicheskii; 45 – Stolinisko-Leльчицkiy siliyatnyy; 46 – Oktyabrьsko-Glusskoo-Lubanskiy organicheskii; 47 – Pухovichsko-Osipovichskiy organo-siliyatnyy; 48 – Rудen'skiy organicheskii; 49 – Dzerzhinskoo-Minskii karbonatnyy; 50 – Bobruisko-Svetlogorskoo-Gomельskiy siliyatnyy; 51 – Mозырьsko-Narovlyanskii siliyatno-karbonatnyy; 52 – Braginskii siliyatnyy; 53 – Loevskiy karbonatnyy; 54 – Dobrushskiy karbonatnyy; 55 – Chcher'skiy

organo-siliyatnyy; 56 – Kormyan'skiy karbonatnyy; 57 – Хотимско-Костюковichskiy organo-siliyatnyy; 58 – Slavgorodsko-Rogachevskiy siliyatno-karbonatnyy; 59 – Bыхovsko-Chausskii organo-karbonatnyy; 60 – Mstislavskiy siliyatno-karbonatnyy.

Районирование территории Беларуси по вещественно-генетическим типам озерного осадконакопления выполнено на карте масштаба 1 : 500 000. На данную карту получено регистрационное свидетельство № 1381001118 от 02.11.2010 о государственной регистрации информационного ресурса. Картосхема территории Республики Беларусь с районированием по вещественно-генетическому типу озерного осадконакопления представлена на рис. 1.

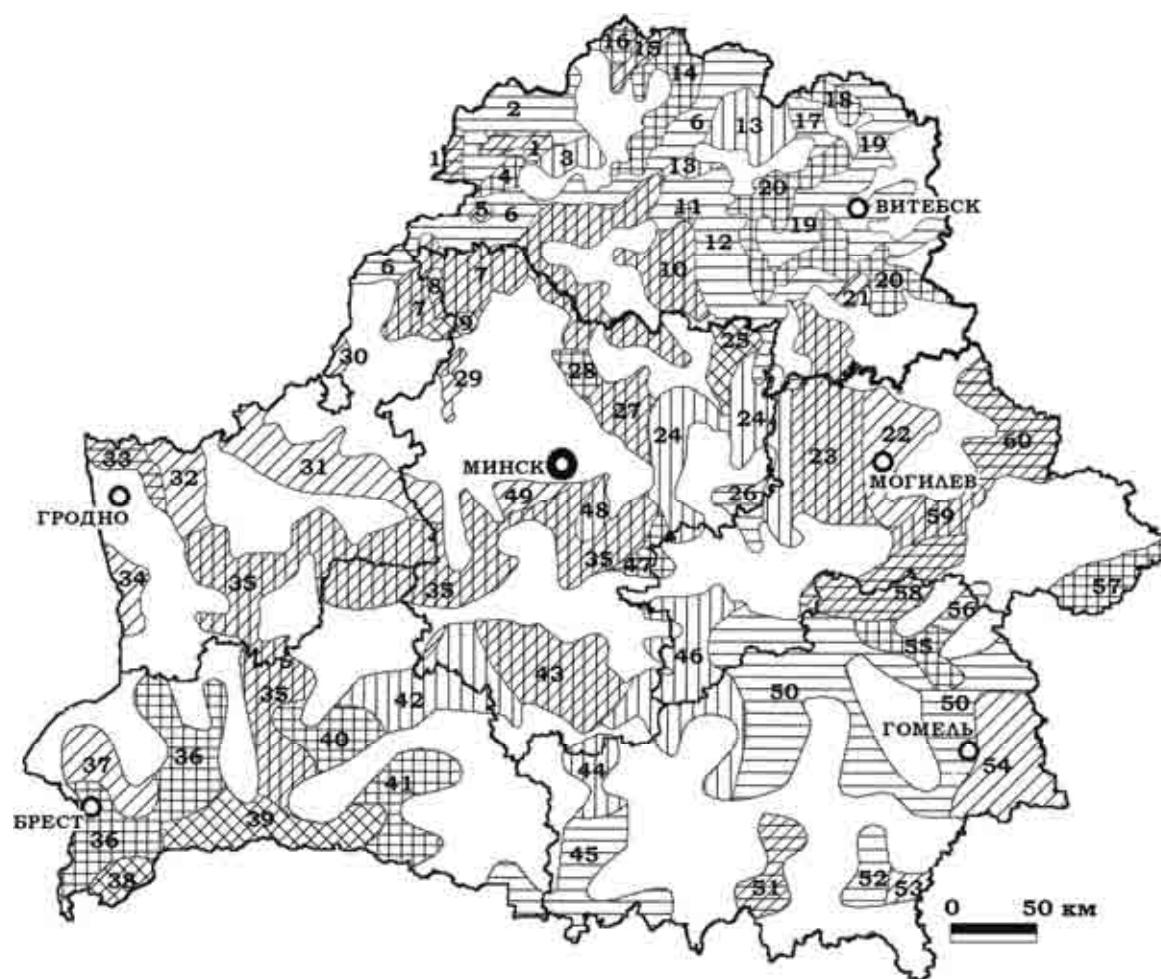
Формирование выделенных районов связано с генезисом рельефа, гидрогеологическими и почвенными условиями и особенностями заболачивания озерных водосборов. В пределах Республики Беларусь количественно преобладают районы органо-силикатного (13 районов) и карбонатного (13) осадконакопления, а также районы силикатного (9) и органо-карбонатного (8).

Ниже рассматриваются вещественно-генетические особенности районирования озерного осадконакопления каждой географической провинции Беларуси. Условно Полесская провинция приурочена к Брестской и Гомельской административным областям, Центральная провинция – к Гродненской, Минской и Могилевской, Поозерская провинция – к Витебской области.

#### Полесье

На территории Полесья отмечается значительное разнообразие вещественного состава сапропеля как в озерах, так и под торфом (табл. 2). В результате районирования здесь выделено 20 районов, из которых 4 – с карбонатным, 4 – с органо-силикатным, 4 – с силикатным, 3 – с органическим, 2 – со смешанным, 2 – с силикатно-карбонатным и 1 – с органо-карбонатным типами осадконакопления.

В озерах западного Полесья преобладают органический и кремнеземистый (силикатный) сапропель при значительных запасах смешанного. В озерах восточного Полесья велики запасы кремнеземистого сапропеля, однако на отдельных территориях – также и органического. Под торфяными залежами в Брестской и Гомельской областях распространен карбонатный и кремнеземистый сапропель. В целом на территории Полесья учет ресурсов сапропеля на торфяных месторождениях позволяет увеличить площадь, обеспеченную запасами сапропелевого сырья, на 22 тыс. км<sup>2</sup>.



Условные обозначения районов осадконакопления:

Органический	Органо-карбонатный
Силикатный	Силикатно-карбонатный
Карбонатный	Органо-силикатный
Смешанный	8 Номер района (наименование указано в тексте)

**Рис. 1. Районирование территории Беларуси по вещественно-генетическим типам озерного осадконакопления (составил Б. В. Курзо, 2010)**

**Таблица 2. Ресурсы и вещественный состав сапропеля в озерах и торфяных месторождениях Полесья**

Область	Сапропель озер					Сапропель торфяных месторождений							
	Количество озер		Разве-данные запасы, млн м <sup>3</sup>	В том числе по типам			Количество торфяных месторождений с сапропелем	Разве-данные запасы, млн м <sup>3</sup>	В том числе по типам				
	всего	исследовано		Крем-незе-мистый	Органический	Карбонатный			Крем-незе-мистый	Органический	Карбо-нат-ный	Не опре-делен-ный	
Брестская	94	53	122,4	27,6	73,8	8,9	12,1	94	123,0	36,9	2,0	77,6	6,0
Гомельская	76	24	87,3	67,3	13,0	3,1	3,9	77	39,1	13,2	3,1	12,5	10,3
Всего	170	77	209,7	94,9	86,8	12,0	16,0	171	162,1	50,1	5,1	90,1	16,3

Примечание: таблица составлена по данным [6].

В Брестской и Гомельской областях участки без ресурсов сапропеля занимают соответственно 13,9 тыс. км<sup>2</sup> и 18,6 тыс. км<sup>2</sup> (43 и 46 % территории).

Характерным для Полесья является также формирование органо-карбонатных отложений. Это особенно ярко проявляется в западной части Полесской низменности на территории Брестской области. Значительное количество объектов с карбонатным и органо-карбонатным типами осадкообразования в западном Полесье объясняется условиями плоского пониженного рельефа низин и интенсивным подземным питанием размещенных здесь озер при восходящем напорном движении подземных вод из окарованных известняков [1, 7].

В Полесской провинции отдельные районы представлены всеми типами сапропеля при увеличенном содержании смешанного. На таких территориях сложно провести границы между районами осадконакопления, и они выделяются как районы со смешанным вещественно-генетическим типом осадков. Районы со смешанным типом осадков размещены на юге Брестской области. Залежи сапропеля представлены здесь преимущественно биохемотерригенным, биотерригенно-хемогенным и терригенно-биохемогенным классами. В местах развития смешанного осадконакопления увеличена доля сапропеля смешанного типа – до 14 % (при средней по Полесью 5 %), а другие типы представлены в приблизительно равных количествах.

В Полесье районы с органическим типом осадкообразования включают территории с месторождениями малозольного сапропеля. Здесь органический сапропель составляет основной фон осадкообразования или залегает в верхней половине большинства разрезов отложений. Территория органического осадконакопления занимает Ганцевичский, восточную часть Ивацевичского и южную часть Ляховичского административных районов в пределах Брестской области, север Житковичского, северо-запад Калинковичского, восток Петриковского и большую часть Октябрьского районов Гомельской области.

Районы с силикатным типом осадкообразования занимают незначительную территорию на юго-востоке Брестской области и широко представлены в Гомельской: на юге Житковичского, западе и юге Лельчицкого административных районов, северо-западе Светлогорского, Хойникского и Жлобинского, юге Рогачевского, юго-востоке Кормянского, севере Гомельского и Ветковского, в центре Речицкого районов.

Районы чистого карбонатонакопления выделены преимущественно по ресурсам сапропеля под торфом на северо-западе Брестской области и востоке Гомельской в пределах Добрушского, на юге Ветковского и Лоевского, юго-востоке Гомельского районов.

Обширные площади органо-силикатного осадкообразования расположены в западных административных районах Брестской области (Брестский район), на севере Малоритского и Кобринского, западе Пружанского и Березовского районов. Вторая по площади территории с органо-силикатными осадками размещается на юге Ивацевичского, востоке Березовского и на большей части Пинского районов. Месторождения, распространенные здесь, имеют мощный слой кремнеземистого сапропеля в основании залежи, который перекрыт сверху менее мощным слоем органического сапропеля. Незначительное распространение данный тип осадконакопления получил в Гомельской области на юго-востоке Рогачевского, северо-востоке Буда-Кошелевского и юго-западе Чечерского районов.

Органо-карбонатный тип осадконакопления распространен только в Брестской области: на севере Барановичского района, северо-западе Ивацевичского, в центре Березовского и северо-востоке Дрогичинского административных районов. Верхний слой залежи здесь представлен органическим сапропелем, который вниз по разрезу сменяется карбонатным. На торфяных месторождениях в пределах органо-карбонатного типа осадкообразования слой органического сапропеля небольшой и, как правило, не превышает 1 м. Типичными месторождениями с данным типом осадконакопления являются детально изученные залежи в озере Колдычевское и торфяном месторождении Корытино Барановичского района [2].

На севере Гомельской области в пределах Рогачевского района, а также на юге (восток Мозырского и Ельского, запад Наровлянского районов) распространен силикатно-карбонатный тип осадконакопления. Озерные месторождения сапропеля, изученные на данной территории, сложены кремнеземистым сапропелем, а под торфом распространен исключительно карбонатный сапропель.

Наибольшие территории в Полесье занимают районы с силикатным и органо-силикатным типом осадконакопления – 32 и 22 % от общей площади территории с извлекаемыми запасами сапропеля соответственно. Первый тип занимает незначительную территорию на юго-востоке Брестской области и широко представлен в Гомельской, второй – повсеместно распространен в Брестской области и на незначительном участке в восточном Полесье.

Незначительные величины по объему осадков и площади распространения имеет силикатно-карбонатный район осадконакопления (соответственно 4,6 млн м<sup>3</sup> и 7 % озерной территории).

Как показывает анализ распределения сапропелевых месторождений Полесья, больше всего их встречается в пределах силикатного и

органо-силикатного районов осадконакопления (табл. 3). Однако средняя площадь месторождений данных районов, как в озерах, так и под торфом, незначительна и составляет 40–140 га. Крупными размерами характеризуются озерные месторождения в районах органического осадконакопления. Большие по площади месторожде-

ния сапропеля под торфом в органо-карбонатных районах. Их средняя площадь составляет 560 и 445 га соответственно. В силикатно-карбонатном и смешанном районах осадконакопления, как в озерах, так и под торфом, площади сапропелевой залежи сравнительно невелики и в среднем составляют 40–60 га.

**Таблица 3. Параметры сапропелевых месторождений Полесья в районах с различным типом осадконакопления**

Район осадконакопления	Количество объектов, озера торфяные месторождения	Средняя		Общая / средняя площадь сапропеля, га		
		глубина воды, м	мощность сапропеля, м	в озерах	под торфяными месторождениями	всего
				в озерах	под торфяными месторождениями	всего
Органический	11 9	1,9	4,05	0,66	6174 560	1210 135 370
Силикатный	12 34	2,3	2,5	1,05	375 30	1670 49 2045 44
Карбонатный	1 15	1,4	4,26	1,25	66 66	2846 190 2912 180
Смешанный	15 14	2,4	3,5	1,0	915 60	656 45 1571 55
Органо-силикатный	18 21	2,7	3,4	1,0	2280 125	2840 135 5120 130
Органо-карбонатный	8 9	1,8	3,6	0,85	485 60	4005 445 4490 265
Силикатно-карбонатный	1 7	4,1	3,4	1,7	46 46	280 40 326 40
Вся территория	66 109	2,3	3,4	1,05	10340 155	13507 125 23848 135

Следует отметить, что в пределах карбонатных районов осадконакопления сапропелевые залежи под торфом имеют повышенную площадь, которая составляет в среднем около 200 га. Это свидетельствует о широком развитии процесса образования карбонатов кальция в осадках древних озер на востоке и западе Полесья, которые впоследствии перекрывались низинным торфом. В озерах, расположенных в районах карбонатного, органо-карбонатного и органического осадконакопления, отмечается незначительные средние глубины воды, повышенная заиленность котловин и большие средние мощности сапропеля. Поэтому большинство имеющихся здесь озер перспективны для добычи сапропеля.

На территории с силикатно-карбонатным осадконакоплением перспективными для добычи являются сапропелевые залежи под торфом. Они имеют большую среднюю мощность сапропеля, составляющую 1,7 м, что гораздо выше, чем средняя мощность сапропеля под торфом на всей территории Полесья (1,05 м). Наименьшую среднюю мощность и незначительные перспективы для разработки имеют залежи сапропеля под торфом в пределах органического района осадконакопления. Поэтому основная роль при

выборе первоочередных объектов для разработки здесь должна принадлежать озерным месторождениям сапропеля.

#### Центральная провинция

На территории Центральной Беларуси отмечается значительное разнообразие вещественного состава сапропеля озер и сапропеля, залегающего под торфом. В озерах западной части преобладает карбонатный тип, в центральной – карбонатный, органический и кремнеземистый сапропель при значительных запасах смешанного. В озерах восточной части преобладает органический и карбонатный сапропель.

В Гродненской области участки без ресурсов сапропеля занимают 12,6 тыс. км<sup>2</sup> или около 50 % территории. В силу сложившихся природных условий месторождения сапропеля отсутствуют в следующих геоморфологических районах: Гродненская возвышенность, Волковысская краевая ледниковая возвышенность, северо-западная часть Коссовской водно-ледниковой равнины, Слонимская ледниковая возвышенность, центральная часть Неманской низменности, западная и восточная часть Лидской моренной равнины, Ошмянские краевые ледниковые гряды.

В Минской области территории без запасов сапропеля занимают 46 % или 18,6 тыс. км<sup>2</sup>. Отсутствуют месторождения сапропеля на Минской краевой ледниковой возвышенности, Кривичской моренной равнине, в центре Центрально-березинской водно-ледниковой равнины, Солигорской морено-водно-ледниковой равнине и Коштыльской ледниковой гряде.

Около 15 тыс. км<sup>2</sup> (51 %) занимают площади, где отсутствуют сапропелепродуктивные озера в Могилевской области. По этому параметру выделяются следующие геоморфологические районы: Бобруйская водно-ледниковая равнина, северная часть Горецко-Мстиславской моренной равнины, центральная и северная часть Могилевской водно-ледниковой равнины, восточная часть Славгородской водно-ледниково-моренной равнины, северо-западная часть Костюковичской моренно-водно-ледниковой равнины.

Анализ природных условий и стратиграфии залежей сапропеля на территории центральных областей республики показывает, что они имеют сложное строение, связанное с резкими и постепенными изменениями климата в голоцене. Наиболее часто на данной территории встречаются варианты строения залежей, когда у поверхности залегают органические сапропели, на глубине сменяющиеся осадками карбонатного типа.

В западной части территории значительное распространение получил чисто карбонатный тип строения залежей. На северо-востоке и северо-западе Минской области встречаются незначительные по площади территории, где озерные осадки представлены всеми типами сапропеля при увеличенном содержании смешанного. Они выделяются как районы со смешанным вещественно-генетическим типом осадков.

В результате районирования в центральной части Беларуси выделено 37 районов осадконакопления, из которых 9 – чистого карбонатонакопления, 8 районов – с органо-карбонатным типом, 4 – органо-силикатным, 5 – органическим, 5 – силикатным, 3 – смешанным и 3 – силикатно-карбонатным типами.

В пределах центральной провинции наиболее представительными районами осадконакопления по площади являются органо-карбонатный (44 % территории с сапропелем), карбонатный (18 %) и органический (16 %). Районы с органо-карбонатным типом осадкообразования распространены на юге Гродненской области, севере, центре и юге Минской, в центре Могилевской. Районы чистого карбонатонакопления выделены на западе, центре и севере Гродненской области и центре Могилевской.

Районы с органическим типом осадкообразования размещаются на северо-востоке и юго-востоке Минской области и западе Могилевской. Территории со смешанным типом осадкообразо-

вания, где сосредоточены наибольшие запасы смешанных сапропелей, а органические и кремнеземистые присутствуют приблизительно в равных объемах, в исследованном регионе ограниченно размещаются на северо-западе и северо-востоке Минской области.

Органо-силикатный, силикатный и силикатно-карбонатный типы осадконакопления встречаются во всех исследованных областях в незначительных количествах и занимают соответственно 7, 6 и 5 % территории с запасами сапропеля.

Наибольшее распространение в центральных областях республики имеют территории с органо-карбонатным типом осадкообразования. Различная результативность процесса осадконакопления в региональном плане и отличия в вещественном составе связаны с природной неоднородностью территории, что необходимо учитывать при определении стратегии освоения сапропелевых ресурсов в пределах крупных территориальных единиц, таких как провинция и область.

### Поозерье

Природные условия, сложившиеся в ледниковое и послеледниковое время на территории Поозерской провинции, благоприятствовали образованию озер. Вместе с тем значительная расчлененность рельефа, преобладание тяжелых по механическому составу почв, малая залесенность некоторых озерных районов оказали существенное влияние на качественный состав сапропеля, среди которого наибольшее распространение получил кремнеземистый зольностью 40–65 %.

Наибольшие площади без сапропелевых месторождений размещаются в низовьях Западной Двины (юго-запад Верхнедвинского и северо-восток Миорского административных районов), в центре Докшицкого района и на севере Шумилинского района. Районы без сапропеля занимают около 4,3 тыс. км<sup>2</sup> или 16 % исследованной территории Поозерья.

Изучение стратиграфии залежей сапропеля на территории Поозерья показывает, что они имеют сложное строение, связанное с изменениями климата и трансформацией физико-географических условий на водосборах. Наиболее часто на изученной территории встречается такое строение залежей, когда на поверхности залегают кремнеземистые, реже органические сапропели. На глубине они сменяются осадками смешанного типа. Частая встречаемость месторождений с подобным строением залежей выявлена в южных и западных районах Поозерья.

На востоке Полоцкого района и на юге Миорского выделены территории с органическим типом осадконакопления, где подавляющее большинство разрезов представлено толщей малозольного сапропеля.

Восточные районы исследованной территории характеризуются преобладанием залежей силикатного типа, которые превалируют также на территории Браславского и Поставского административных районов.

В западной части Витебской области встречаются незначительные по площади территории, где озерные осадки представлены всеми типами сапропеля при увеличенном содержании смешанного. Они выделяются как районы со смешанным вещественно-генетическим типом осадков.

В Поозерье выделено 20 районов осадконакопления, из которых 6 – с органо-силикатным

типов, 5 – силикатным, 4 – с органо-карбонатным; 2 – органическим и по одному – карбонатным, смешанным и силикатно-карбонатным. На территории Поозерья наиболее представительными районами осадконакопления по площади являются силикатный (41 % территории с сапропелем), органо-карбонатный (18 % территории) и органо-силикатный (14 %).

Запасы сапропеля определенного типа, выявленные в Поозерье, хорошо согласуются с выполненным районированием по преобладающим типам осадконакопления. Во всех зонах исследованной территории преобладает силикатный тип осадконакопления (табл. 4).

**Таблица 4. Характеристика ресурсов сапропеля и преобладающие вещественно-генетические типы осадконакопления в северной, южной и центральной зонах Поозерья**

Регион Поозерья	Общий, млн м <sup>3</sup>	Запас разведанного сапропеля				Преобладающие типы осадконакопления
		Органический	Кремнеземистый	Карбонатный	Смешанный	
Северный	362	20	73	7	< 1	Силикатный, органо-силикатный, силикатно-карбонатный
Центральный	450	13	84	2	1	Силикатный, органо-силикатный, органический
Южный	360	21	55	10	14	Силикатный, органо-карбонатный, смешанный, органо-силикатный

На юге Поозерья, где велики запасы карбонатного и смешанного сапропеля, наряду с силикатным осадконакоплением заметное влияние имеет органо-карбонатный и смешанный. В центре эти типы практически отсутствуют и преобладают органо-силикатный и органический. На самом севере ведущая роль в осадконакоплении принадлежит силикатному, органо-силикатному и силикатно-карбонатному вещественно-генетическим типам.

Таким образом, разработаны критерии, в соответствии с которыми выделены классы месторождений с биогенными, терригенными, хемогенными, смешанными поликомпонентными и смешанными бикомпонентными залежами. Преобладание на территории распространения сапропелевых месторождений определенного класса позволяет выделить 60 районов озерного осадконакопления. В пределах Республики Беларусь количественно преобладают органо-силикатные (13) и карбонатные (13), а также силикатные (9) и органо-карбонатные (8) районы

осадконакопления. В Поозерье выделяются районы органо-силикатного и силикатного осадконакопления, в центральных областях республики – органического, органо-карбонатного и карбонатного, в Полесье – органо-силикатного и силикатного.

Различная результативность процесса осадконакопления в региональном плане и отличия в вещественном составе связаны с природной неоднородностью территории, что необходимо учитывать при определении стратегии освоения сапропелевых ресурсов в пределах крупных административно-территориальных единиц, таких, как область и республика.

Полученные материалы по закономерностям формирования вещественного состава сапропеля в зависимости от природной обстановки используются для поиска перспективных для разработки месторождений и обоснования схемы их освоения для различных направлений использования.

#### Л и т е р а т у р а

1. Кудельский А. В., Пашкевич В. И., Ясовеев М. Г. Подземные воды Беларуси. Минск, 1998.
2. Курзо Б. В., Гайдукевич О. М., Кляуззе И. В. Исследование закономерностей пространственно-распределения вещественного состава сапропеля для выбора технологий добычи и направлений использования // Природопользование. Минск, 2007. Вып. 13. С. 190–198.
3. Курзо Б. В. Закономерности формирования и проблемы использования сапропеля. Минск, 2005.
4. Курзо Б. В., Мурашко Н. Ю. Принципы выделения и типизации отдельных стадий озерного осадконакопления // Природопользование. Минск, 1999. Вып. 5. С. 65–69.
5. Курзо Б. В., Пекач Л. П., Чубарева О. П. Вещественный состав и ресурсы сапропеля на торфя-

- ных месторождениях Беларуси // Природопользование. Минск, 2001. Вып. 7. С. 97–102.
6. Курзо Б. В. Сапропель // Полезн. ископ. Беларуси. Минск, 2002. С. 305–316.
  7. Лавров А. П., Корниенко И. М. Особенности активного водообмена в условиях Полесской низменности // Тр. ИГН АН БССР. Минск, 1961. Вып. 3. С. 219–239.
  8. Условия формирования залежей сапропеля и районирование сапропелевых месторождений Беларуси для обоснования стратегии их: отчет о НИР (промежут.) / Ин-т проблем использ. природн. ресурс. и экологии НАН Беларуси; Минск, 2007. 84 с. № ГР 20062950.

### **Институт природопользования НАН Беларуси**

**B. V. Kurzo, O. M. Hajdukiewicz, I. V. Kljauzze**

### **РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ ПО ВЕЩЕСТВЕННО-ГЕНЕТИЧЕСКИМ ТИПАМ ОЗЕРНОГО ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ**

*В пределах Республики Беларусь выявлены особенности распределения сапропелевых ресурсов и выполнено их районирование.*

*В целом количественно преобладают районы органо-силикатного и карбонатного осадконакопления, а также районы силикатного и органо-карбонатного осадконакопления.*

*В Поозерье выделяются районы органо-силикатного и силикатного осадконакопления, в центральных областях республики – органического, органо-карбонатного и карбонатного, в Полесье – органо-силикатного и силикатного.*

*Формирование различных районов по типу озерного осадконакопления связано с генезисом рельефа, гидрогеологическими и почвенными условиями и особенностями заболачивания озерных водосборов.*

**B. V. Kurzo, O. M. Hajdukiewicz, I. V. Kljauzze**

### **ZONING OF THE REPUBLIC OF BELARUS TERRITORY BY SUBSTANCE-GENETIC TYPE OF LACUSTRINE SEDIMENTATION**

*Within Republic of Belarus, peculiarities of the distribution of sapropel resources have been revealed and zoning of sapropel deposits has been carried out.*

*The studied territory quantitatively dominates with areas of organic-silicate and carbonate sedimentation, as well as areas of silica and organic-carbonate sediments accumulation. According to the area, areas of organic-silicate and silicate sedimentation of organic, organic-carbonate and carbonate are singled out in Poozerye in central regions of the republic and organic-silicate and silicate in Polesye. Formation of different parts by the type of lacustrine sedimentation is associated with the genesis of the relief, hydro-geological and soil conditions and characteristics of eutrophication of lake catchments.*

УДК 553.6 (476.6)

**А. В. Матвеев**

## СЫРЬЕВАЯ БАЗА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЕСКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ГРОДНЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

*На основании анкетирования предприятий, использующих минеральные строительные материалы, установлено, что на период 2011–2020 гг. для их нормальной деятельности необходимо 13,3 млн м<sup>3</sup> строительного песка, а разведанные по промышленным категориям (A+B+C<sub>1</sub>) запасы составляют около 15 млн м<sup>3</sup>, причем 95 % этих запасов сосредоточены в 5 районах области. Для оценки перспектив расширения сырьевой базы и ее более равномерного распределения по территории всех административных районов построены прогнозные схемы и выделено свыше 180 прогнозных площадей на строительный песок.*

Эффективное функционирование строительной отрасли во многом зависит от обеспеченности сырьем и минимальных затрат на его перевозку. Одним из распространенных видов такого сырья на территории Гродненской области является строительный песок, т. е. отложения, которые после отсева частиц крупнее 5 мм, имеют модуль крупности более 1,0, содержание собственно песчаных фракций составляет более 90 %, что предусмотрено ГОСТ 8736-67 «Песок для строительных работ» [4]. Примерно этим требованиям соответствуют средне- и крупнозернистые пески (0,25–1,0 мм) и мелкий гравий (1–5 мм), которые могут быть использованы при дорожном строительстве, приготовлении строительных растворов и бетонов.

### **Обеспеченность строительным песком предприятий Гродненской области**

Для оценки обеспеченности строительным песком проведено анкетирование предприятий, перечень которых был составлен на основе сбора материалов в Министерствах статистики и информации, строительства и архитектуры, Институте экономики Министерства экономики и уточнялся в администрациях отдельных районов области. В результате установлены 33 основных предприятия, использующих минеральные строительные материалы. Большинство таких предприятий размещается в Волковысском (7), Гродненском (8) районах и в г. Лиде (4). Потребности данных предприятий в строительном песке на период 2011–2015 гг. и 2016–2020 гг. соответственно составляют 6480 и 6812 тыс. м<sup>3</sup>.

По данным Государственного баланса и обобщающей работы по полезным ископаемым Беларуси [5], разведанные по промышленным категориям (A+B+C<sub>1</sub>) запасы строительных песков на территории Гродненской области оцениваются примерно в 15 млн м<sup>3</sup>. Следовательно, этими ресурсами строительная отрасль обеспечена только на ближайшие 10–12 лет. К тому же необходимо подчеркнуть, что месторождения песков размещены крайне неравномерно. На территории Волковысского, Вороновского, Кореличского, Мостовского и Ошмянского районов сосредоточены 95 % всех разведанных запасов. На площади остальных районов разведанные по промышленным категориям залежи либо отсут-

ствуют, либо невелики по запасам (до 140–540 тыс. м<sup>3</sup>). При этом результаты анкетирования показали, что часть предприятий нуждается в срочном расширении сырьевой базы, так как используемые ими месторождения будут выработаны в ближайшую пятилетку. К числу таких предприятий относятся ДСУ № 18 дорожно-строительного треста № 6 (г. Гродно), ОАО «Строитель» (г. Ошмяны), ДРСУ 208 КУП «Гроднооблдорстрой», ЗАО «Сельдорстрой» (г. Волковыск), на несколько более продолжительный период обеспечены сырьем ДСУ № 28 ДСТ № 6 (г. Ошмяны), завод ЖБК ОАО «Гроднопромстрой», Свислочское РСУ № 209.

Все это свидетельствует о необходимости как общего прироста разведанных запасов строительных песков, так и их более равномерного распределения по территориям административных районов Гродненской области.

### **Перспективы прироста запасов строительного песка**

Геологическое строение четвертичных отложений на территории Гродненской области позволяет выявить новые залежи строительных песков в данном регионе. Общие особенности разреза четвертичной толщи иллюстрирует геологический профиль (рис. 1). Наибольший интерес для поисков новых месторождений песка представляют залегающие с поверхности мощные краевые ледниковые образования (конечные морены), флювиогляциальные, в меньшей степени аллювиальные и другие отложения.

Краевые ледниковые комплексы формируют как крупные возвышенности и гряды (Гродненская, Волковысская, Слонимская, Новогрудская возвышенности и Ошмянские гряды), так и более мелкие по размерам положительные формы рельефа среди моренных и флювиогляциальных равнин. Эти образования встречаются на территории Гродненской области практически повсеместно.

Они построены сложным переслаиванием песчаных и песчано-гравийных слоев. Глубина залегания отложений, представляющих интерес для выявления новых месторождений строительных песков, варьирует от 0 до 7–10 м, иногда возрастает до 15–20 м, а мощности колеблются в основном в интервале 4–10 м (до 30 м).

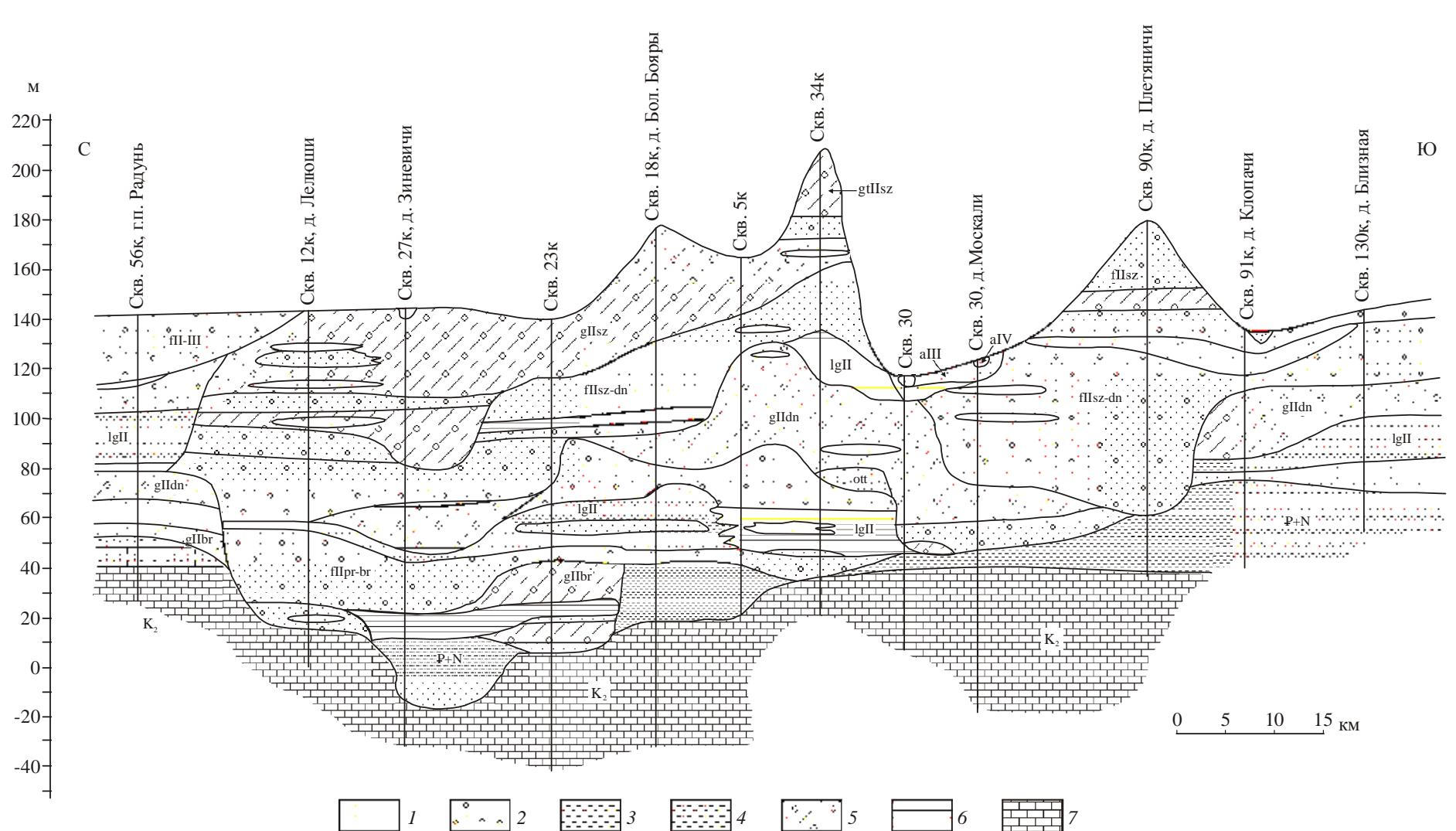


Рис. 1. Геологический профиль по линии г.п. Радунь – д. Близная: 1 – песок разнозернистый; 2 – песок разнозернистый с гравием; 3 – супесь тонкая; 4 – алеврлит; 5 – супесь; суглинок валунные; 6 – глина; 7 – мел

В полосах краевых ледниковых образований в некоторых случаях выделяются такие формы рельефа, как камы, озы, флювиогляциальные дельты (преимущественно на площади Волковысского, Лидского, Свислочского и Щучинского районов), разновидности которых целиком построены средне-крупнозернистыми песками с гравием и галькой, залегающими непосредственно на земной поверхности. Их мощности составляют до 10–12 м. С точки зрения возможностей прироста запасов строительных песков определенный интерес представляют также участки распространения примыкающих с дистальной стороны к конечным моренам флювиогляциальных отложений. На таких участках мощности средне- и крупнозернистых песков с гравием и галькой, песчано-гравийных смесей изменяется от 5 до 20 м (редко возрастает до 35–40 м), а глубины залегания в основном не превышают 10 м, в редких случаях увеличиваются до 16–24 м. Кроме того, проведенный анализ геологического строения региона показал, что залежи строительных песков могут встречаться в долинах рек, пересекающих участки распространения моренных и краевых ледниковых образований. В частности, подобные залежи известны в долинах Немана, Росси, Молчади, Вилии, Зельянки и других, а также в руслах их более мелких притоков (например, Налибовки, Нежатки и др.). Мощность аллювиальных толщ составляет до 5–12 м, а глубины залегания кровли 0–9 м. Нередко аллювий перекрывает близкие по составу флювиогляциальные отложения, что повышает практическую значимость залежей, так как мощности полезного ископаемого могут возрастать до 20–30 м и более.

С учетом приведенных особенностей строения верхней части четвертичной толщи, литературных данных [1–3], разрезов около 300 скважин, пробуренных различными партиями РУП «Белгеология», описаний примерно 100 обнажений была проведена оценка перспектив возможного прироста разведанных запасов строительного песка. Для территории всех административных районов построены прогнозные схемы и выделены свыше 180 прогнозных площадей. В генетическом отношении на этих площадях представлены флювиогляциальные (64 %), конечно-моренные (32 %), аллювиальные (2 %) и озово-камовые отложения (2 %).

Территориальное распределение перспективных площадей для районов с наименьшими разведенными запасами сырья показано на рис. 2, 3. Кроме того, определенный интерес представляют площади в районах, где в настоя-

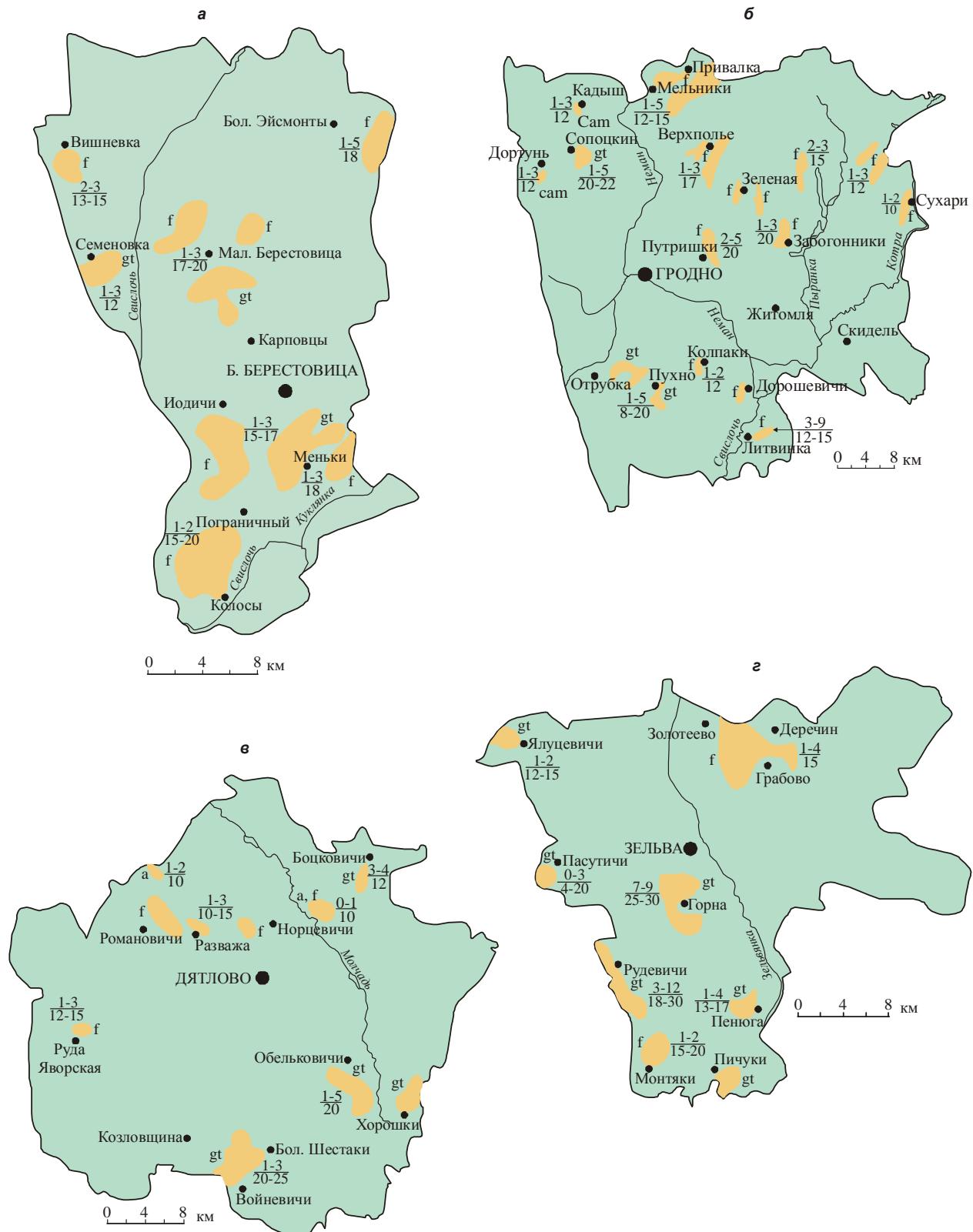
щее время разведано небольшое количество мелких месторождений. В частности, установлено, что в Лидском районе возможно прирастить запасы рассматриваемого вида сырья на участках южнее д. Зосин, западнее д. Новоселки, юго-восточнее д. Ковали, юго-западнее д. Репники, юго-западнее д. Новосады, южнее д. Леваши, западнее д. Огородники, восточнее д. Папировцы, южнее д. Бутилы; в Новогрудском районе – южнее д. Островно, северо-западнее д. Налибоки, западнее д. Новины, юго-восточнее д. Особо, севернее д. Негневичи; в Свислочском районе западнее д. Дречаны, восточнее и южнее д. Ковали, юго-западнее д. Мал. Михалки, южнее и северо-западнее д. Доброволя, запад-северо-западнее д. Тиховоля; в Щучинском районе – юго-восточнее д. Петюлевцы, восточнее д. Первомайская, северо-восточнее д. Бершты, восточнее д. Филипповцы, северо-западнее д. Нов. Двор, западнее и юго-западнее г.п. Острыно, южнее д. Свириды, севернее д. Бол. Можайково.

#### Выводы

- На территории Гродненской области запасы строительных песков, разведанные по промышленным категориям, обеспечивают потребности предприятий только на ближайшие 10–12 лет. Распределение запасов сырья по административным районам достаточно неравномерное.

- Особенности геологического строения верхней части четвертичной толщи, которая на значительных площадях построена средне- и крупнозернистыми песками и песчано-гравийными образованиями, позволяют значительно расширить сырьевую базу минеральных строительных материалов. Интерес для выявления новых залежей представляют в первую очередь флювиогляциальные отложения, краевые ледниковые комплексы, в меньшей степени – аллювиальные аккумуляции.

- С использованием данных буровых работ, проведенных партиями РУП «Белгеология», описаний разрезов карьеров и обнажений и опубликованных литературных источников по территории всех административных районов построены прогнозные схемы и выделены свыше 180 прогнозных площадей, на которых целесообразна постановка геологоразведочных работ. В генетическом отношении выделенные перспективные площади сложены флювиогляциальными (64 %), конечно-моренными (32 %), аллювиальными (2 %) и озово-камовыми отложениями (2 %).



**Рис. 2. Схемы прогнозных площадей на строительные пески на территории Берестовицкого (а), Гродненского (б), Дятловского (в) и Зельвянского (г) районов. Цифры у контуров: наиболее характерные глубины залегания кровли (числитель) и подошвы (знаменатель) слоя; буквенные обозначения (генезис отложений): а – аллювиальный; ф – флювиогляциальный; кам – камовый; гт – краевые ледниковые образования**

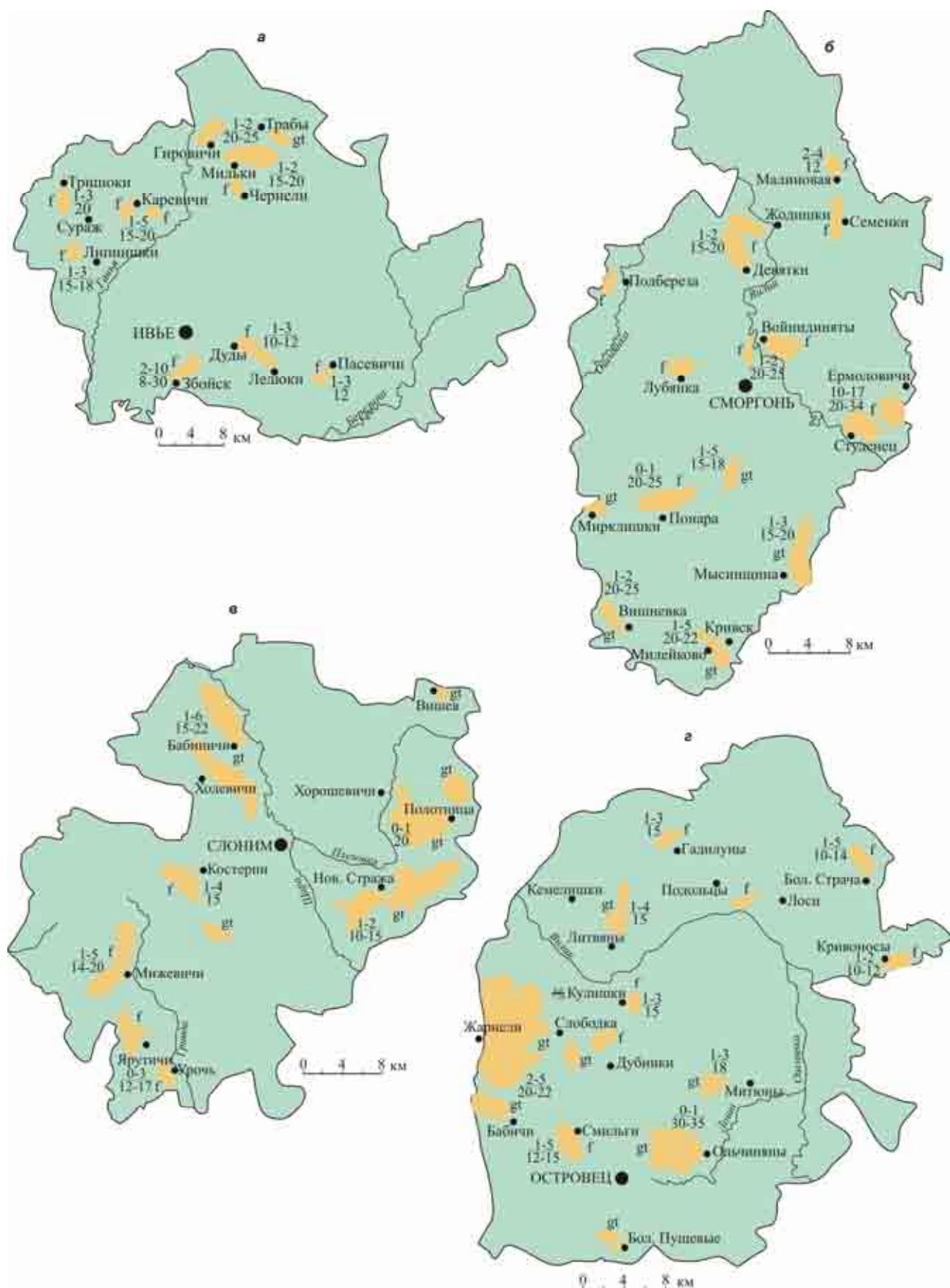


Рис. 3. Схемы прогнозных площадей на строительные пески на территории Ивьевского (а), Сморгонского (б), Слонимского (в) и Островецкого (г) районов. Услов. обозн. см. рис. 2

### Л и т е р а т у р а

1. Велічкевіч Ф. Ю., Гарэцкі Р. Г., Ількевіч Г. І. і інш. Чацвярцічныя адклады. М 1:1 250 000 // Нацыянальны атлас Беларусі. Мінск, 2002. С. 42–43.
2. Матвеев А. В., Павловская И. Э. Гляциоморфологические комплексы Беларуси // Доклады НАН Беларуси. 2001. Т. 45, № 6. С. 115–118.
3. Матвеев А. В., Якубовская Т. В. Четвертичная система (квартер) // Основы геологии Беларуси. 2004. С. 183–201.
4. Ярцев В. И., Высоцкий Э. А., Губин В. Н., Илькевич Г. И., Гуринович А. И. Поиски и разведка месторождений минерального строительного сырья (на примере четвертичных отложений). Минск, 2002.
5. Ярцев В. И., Гуринович А. И., Коротенко И. А. и др. Строительные пески и гравийно-песчаные породы // Полезные ископаемые Беларуси. Минск, 2002. С. 366–395.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

**A. V. Matveev**

### **СЫРЬЕВАЯ БАЗА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЕСКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ГРОДНЕНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Анкетирование предприятий, производящих и использующих залежи минеральных строительных материалов, показало, что потребности в строительном песке на период 2011–2020 гг. оцениваются примерно в 13,3 млн м<sup>3</sup>. Разведанные же по промышленным категориям (A+B+C<sub>1</sub>) и крайне неравномерно размещенные запасы составляют всего около 15 млн м<sup>3</sup>, т. е. данных ресурсов хватит на 10–12 лет. При этом выявлен ряд предприятий, которые уже в ближайшую пятилетку исчерпают разрабатываемые ими месторождения. Для расширения минерально-сырьевой базы строительных песков и ее более равномерного распределения по административным районам с использованием материалов бурения, полевых работ и литературных данных выделено свыше 180 прогнозных площадей. Распространенные в их пределах средне- и крупнозернистые пески с гравием и галькой по генезису относятся к флювиогляциальным (64 %), краевым ледниковым (конечно-моренным) (32 %), аллювиальным (2 %) и озово-камовым (2 %) образованиям.

**A. V. Matveev**

### **RAW-MATERIAL BASE OF BUILDING SAND IN TERRITORY OF THE GRODNO AREA**

*Survey of the enterprises producing and using deposits of mineral building materials, has shown, that requirements for building sand for 2011–2020 are estimated approximately in 13,3 million m<sup>3</sup>. The prospected on industrial categories (A+B+C<sub>1</sub>) and extremely non-uniformly placed stocks make about 15 million m<sup>3</sup>, i. e. these resources will suffice for 10–12 years. So, a number of enterprises which already in the nearest five-year period will exhaust developed by them resources have been revealed. To expand a mineral-raw-material base of building sand and its more uniform distribution on administrative areas with use of bore materials, field works and literature data of more than 180 prognosis areas have been marked. Extended in their limits middle – and coarse-grained sand with gravel and pebble on genesis refer to fluvial-glacial (64 %), edge glacial (final-moraine) (32 %), alluvial (2 %) and ozovo-came (2 %) formations.*

**А. П. Гаврильчик, С. Т. Мультан, Т. И. Макаренко, А. В. Осипов**

## ТОРФЯНОЙ ФОНД РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И ПРОБЛЕМЫ ЕГО РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

*Показаны специфические особенности генезиса и функционирования торфяных месторождений и торфа, устойчивость техногенному воздействию, условия выбора рациональных направлений освоения и потенциальные возможности республики в торфяных ресурсах Беларусь.*

Природные условия на территории Беларуси способствовали развитию болотообразовательных процессов, генезису торфа и торфяных месторождений. Последние имеются практически во всех административных районах. Общее количество торфяных месторождений составляло 9192 единицы, а первоначальные запасы оценивались в 5,7 млрд т [5]. По запасам торфа республика занимала второе место в СССР, и ее называли «Торфяным Донбассом».

Следует отметить, что торф и торфяные месторождения являются результатом деятельности болот. Болото продуцирует влаголюбивые фитоценозы, превращает отмершие растения в торф и, накапливая его, создает торфяное месторождение. Последнее, динамически развиваясь, расширяет площадь болота, формируя таким образом специфические торфоболотные комплексы. Первоначально торфяные месторождения использовались не как залежи полезного ископаемого – торфа, а как специфические переувлажненные природно-территориальные комплексы. Они служили охотничими угодьями, являлись местом сбора дикорастущих ягод, грибов, лекарственных растений и т. д.

Следовательно, в этот период человек использовал потенциальную ценность не торфа, а находящихся в естественном состоянии торфяных месторождений. С развитием общества торфяные месторождения стали рассматриваться как кладовые полезного ископаемого – торфа, пригодного для получения тепловой энергии, производства на его основе высокоеффективных органических удобрений и продуктов комплексной переработки, а также как перспективные для сельскохозяйственного использования, но переувлажненные почвы. Причем при организации добычи торфа торфяное месторождение используется в границах промышленной залежи, а при осушении для сельскохозяйственного использования – в границах нулевой залежи. При этом техногенному воздействию подвергается торф, торфяное месторождение и окружающая среда. Выбор направлений использования конкретных торфяных месторождений осуществляется, как правило, на основании анализа экономической целесообразности разработки и пригодности

торфа для намечаемых производств. Возможные последствия разработки, а также способы минимизации данных последствий обычно не учитываются.

Первоначальное, а затем и крупномасштабное освоение торфяных месторождений было связано с добывкой торфа как топлива для удовлетворения потребности теплоэнергетики и быта. В предвоенные и первые пятилетки послевоенного периода торф обеспечивал до 70 % потребности республики в топливе для производства тепловой и электрической энергии [6].

С 60-х гг. прошлого столетия к топливному направлению использования торфяных ресурсов добавилась добыча торфа на нужды сельского хозяйства для получения органических удобрений, увеличения содержания гумуса в почвах и повышения их плодородия.

К 70-м гг. XX в. объем добычи топливного и «сельскохозяйственного» торфа достиг почти 40 млн т в год [12]. В этот же период началась крупномасштабная мелиорация переувлажненных земель.

В республике необходимо было мелиорировать более 3 млн га переувлажненных земель, в число которых входили и торфяные месторождения. Под мелиорацию планировались в первую очередь потенциально плодородные переувлажненные почвы, которые приурочены к торфяным месторождениям низинного типа, т. е. месторождениям, сформировавшимся в условиях богатого водно-минерального питания. В стране более 75 % торфяного фонда представлено торфяными месторождениями низинного типа, которые по качественной характеристике практически всегда пригодны для добычи торфа на топливо и на нужды сельского хозяйства, а после осушения – для использования в качестве высокопродуктивных сельскохозяйственных и лесохозяйственных угодий [5, 14]. Последнее обстоятельство привело к тому, что под сельскохозяйственные угодья различного назначения было осушено около 1 млн га торфяных месторождений преимущественно низинного типа. Выбор объектов для осушения осуществлялся вне зависимости от качественной и количественной характеристики имеющегося на них торфа, без учета функции

месторождений в ландшафтах, а также без анализа наиболее перспективных направлений использования.

Следует подчеркнуть, что при освоении торфяных месторождений под сельскохозяйственные угодья по целевому назначению используется не вся залежь полезного ископаемого – торфа, а лишь ее верхний, торфогеный слой [3]. Ниже расположенный торф – это подстилающая горная порода, которая в условиях естественного состояния торфяных месторождений является сложившимся и стабильным природным образованием. Техногенное воздействие (осушение залежи) переводит торф из стабильного в динамически изменяющееся состояние, при котором в торфе возобновляются и активно развиваются биохимические процессы, сопровождающиеся минерализацией органического вещества торфа и уменьшением его запасов [1].

Кроме этого необходимо отметить, что торф является не только доступным местным топливным ресурсом, основой для приготовления различных грунтов и удобрений, а также почвой, но и уникальным, а для некоторых производств – незаменимым сырьем для получения высокоэффективных материалов при глубокой биохимической и термохимической переработке [2]. Он также может применяться в качестве лечебных грязей [13]. Высокая эффективность комплексного использования торфа доказана, в первую очередь, учеными Республики Беларусь и Российской Федерации. Эти, а не традиционные, направления освоения запасов торфа позволяют максимально полно использовать его потенциальную ценность с получением целого ряда новой наукоемкой продукции. Эффективность такого направления использования торфа более чем на порядок выше традиционного. Но для этих целей пригоден не вообще торф, а определенные его типы и виды. В республике выявлено 38 видов торфа, каждый из которых имеет существенные различия по составу и свойствам [9, 11].

Торф является также потенциально изменяющейся породой. В условиях естественного состояния торфяных месторождений состав и свойства его стабильны, при техногенном воздействии он превращается в изменяющуюся и подвижную систему. Качественная характеристика сырья, получаемого на пригодных для того или иного производства торфяных месторождениях, существенно зависит от технологий добычи торфа, условий его хранения и подготовки для переработки [2].

Необходимо отметить, что торфу и торфяным месторождениям, в отличие от других полезных ископаемых и их залежам присущи свойственные лишь им специфические особенности. Они образуются на земной поверхности в условиях переувлажнения. Торфяные месторождения в естественном состоянии являются динамиче-

ски развивающимися системами, образующими торф, формирующими определенного вида ландшафты, управляющими процессами развития и расширения болот, создающими торфоболотные комплексы и выполняющими ряд других, присущих им функций в природе и обществе. Техногенное воздействие на торфяные месторождения приводит к утрате большинства из перечисленных выше особенностей и в первую очередь к прекращению генезиса торфа и замене динамического развития на угасание (деградацию).

Следует также учитывать, что большинство из выявленных функций в природе и обществе выполняет не вся залежь торфа, а лишь верхний, торфогеный слой. Исключение составляет использование торфа на всю глубину залежи для изучения климатических колебаний на планете за последние 10–12 тыс. лет. Таким образом, как при освоении торфяных месторождений в качестве сельхозугодий, так и при решении природоохранных задач речь идет о целенаправленном использовании потенциальной значимости не всего торфа месторождения, а лишь верхнего торфогенного слоя [4]. Следовательно, глубоко-залежные (более 1,5 м) торфяные месторождения, по качественной и количественной характеристикам торфа пригодные для разработки, надо относить в разрабатываемый фонд. Но при их освоении необходимо применять соответствующие экологосовместимые и ресурсосберегающие технологии разработки и последующего использования выработанных площадей. Эти технологии должны обеспечивать минимальную продолжительность пребывания разрабатываемой площади месторождения в новом, измененном водно-воздушном режиме, обеспечивать максимально полное извлечение торфа, а при последующем использовании выработанной площади предусматривать преимущественно повторное заболачивание и лишь в отдельных случаях планировать организацию сельхозугодий или лесохозяйственную деятельность.

Ложе выработанных торфяных месторождений должно быть рекультивировано для природоохранных и рекреационных целей с соответствующим благоустройством территории. К сожалению, в настоящее время таких технологий нет, и над их разработкой практически никто не работает.

При кажущейся простоте и доступности освоения торфяных ресурсов задача выбора рациональных и эффективных направлений использования торфяных месторождений из-за отмеченных выше специфических особенностей чрезвычайно сложная. Для ее успешного решения необходимы сведения не только качественных и количественных характеристиках торфа и торфяных месторождений, но и об условиях их генезиса, устойчивом функционировании ланд-

шафтной системы, о технологиях использования и разработки, возможных последствиях техногенного воздействия, а также направлений последующего освоения выработанных площадей. При этом следует также учитывать, что при решении вопроса о рациональном и эффективном использовании торфяного фонда, речь идет о торфе как горной породе и полезном ископаемом лишь в случае его добычи; при других направлениях использования торфяного фонда речь идет о торфяных месторождениях. Задача усложняется тем, что торфяные месторождения и торф представляют интерес для добывающей и перерабатывающей отрасли, для сельского и лесного хозяйства, природоведов и экологов, медиков и охотников и т. д., но у торфа нет единого хозяина, который учитывал бы потенциальную ценность этого природного ресурса и контролировал рациональное и эффективное его использование.

Дополнительные трудности при оценке (определении) реально возможных для разработки торфяных ресурсов возникают вследствие имеющихся неточностей формулировок или устаревших понятий по торфяной тематике. Прежде всего, понятий: болото, торфяное месторождение, торф, торфяной фонд, выработанное торфяное месторождение и т. д. Существующие определения «болото», «торфяное болото», «торфяное месторождение» сделали возможным (даже в научной литературе) употребление некорректного определения «мелиорация (улучшение) болот и торфяных месторождений». Торфяной фонд – это все имеющиеся в республике геологические запасы торфа, в том числе запасы на малых и мелкозалежных торфяных месторождениях, на зазоленных и длительно используемых в сельском хозяйстве, а также оставшиеся на выработанных месторождениях или лишь запасы потенциально возможные для добычи? Что значит «выработанное месторождение»? При каких условиях торфяное месторождение можно считать «выработанным», а при каких – «выбывшим из разработки» и его можно оставлять в торфяном фонде? Уточнение этих понятий позволит реально оценить имеющиеся в стране ресурсы торфа и определить возможности их использования.

Первая систематизация торфяного фонда республики на основании разведенности торфяных месторождений обобщена в справочнике «Торфяной фонд Белорусской ССР», изданном в г. Москве в конце 1953 г. Из имевшихся в республике торфяных месторождений разведано 2,2 млн га, в том числе: 19,5 % разведано детально, 41,6 % – рекогносцировочно и 38,9 % – маршрутно. Торфяной фонд промышленного значения на месторождениях с площадью свыше 100 га составил по количеству месторождений – 25,3 %, а по запасам – 93,3 %. В справочнике приведен список всех разведенных торфяных ме-

сторождений, тип залежей, их площадь, запасы торфа, глубины, степень разложения и зольность, место расположения и землепользователи.

В 1978 г. с учетом новых сведений по торфяному фонду разработан кадастровый справочник «Торфяной фонд Белорусской ССР». В этом справочнике приведены геологические запасы торфа в границах промышленной залежи: 0,5 м – для низинного торфа и 0,7 м – для верхового и переходного. Первоначальные геологические запасы приведены на год разведки, оставшиеся – по состоянию на 1 января 1978 г. по всем торфяным месторождениям, включая мелкозалежные, высокозольные, выработанные, находящиеся на охраняемых территориях. В справочнике обобщены сведения по фактическим пользователям торфяных месторождений. Но официального на государственном уровне распределения торфяного фонда по направлениям использования сделано не было. Для наведения порядка в использовании и учета торфяных ресурсов Правительством республики принято решение о проведении ревизии торфяного фонда. Такая работа проводилась под руководством Института торфа АН БССР в 1986–1991 гг. В результате была разработана и передана для одобрения в Совет Министров «Схема рационального использования и охраны торфяных ресурсов Республики Беларусь на период до 2010 года». Совет Министров БССР 27.05.1991 г. № 05-14/1358 при рассмотрении основных пунктов этого документа отметил, что положения «Схемы...», в частности прогноза добычи торфа, не согласуются с программой «Экология». Программой «Экология» предусматривалось к 2000 г. полностью прекратить в республике использование торфа в качестве топлива и удобрений для сельского хозяйства, а в «Схеме...» был представлен прогноз объемов добычи торфа до 2010 г.

В связи с этим поручением от 15 мая 1991 года № 17/70 Совет Министров БССР предложил Госкомэкологии БССР совместно с Госэкономпланом БССР, Академией наук БССР, Минсельхозпродом БССР, Госкомтопгазом БССР и другими заинтересованными учреждениями доработать «Схему...» и внести ее в Совет Министров в двухмесячный срок. «Схема...» была доработана и одобрена Советом Министров БССР (Постановление № 440 от 25 ноября 1991 г.). Учитывая реалии того периода, в разработанной «Схеме...» планирование рационального использования торфа как полезного ископаемого осуществлялось с выделением разрабатываемого и запасного фондов. В земельный, природоохранный и нераспределенный остаток отнесли не торф, а торфяные месторождения как природно-территориальные комплексы, выполняющие специфические функции в природе и обществе, а также являющиеся потенциально

пригодными для создания на них перспективных сельскохозяйственных и лесохозяйственных угодий. В результате такого подхода в разрабатываемый фонд было отнесено лишь около 7 % имевшихся запасов торфа, а в запасной – 2,4 %. В неиспользуемый торфяной фонд отнесли 33,6 % имевшихся запасов (1,49 млрд т) [8].

В настоящее время руководством республики перед наукой и практикой поставлена задача повысить эффективность и объемы использования местных энергоресурсов и тем самым снизить не менее чем на 25 % объемы их импорта. К числу таких ресурсов относится торф.

Возможности торфа довольно хорошо изучены, существуют определенные технологии и оборудование для добычи, а также торфяная отрасль, т.е. в стране имеется основа для увеличения объемов добычи торфа на нужды теплоэнергетики и комплексного использования. Для воплощения в жизнь такой задачи необходима достаточная сырьевая база в виде пригодных для разработки торфяных месторождений. Нужно четко знать, сколько в республике имеется пригодного для разработки торфа, на каких торфяных месторождениях он залегает и к каким фондам относится, в каком состоянии находятся и как используются пригодные для разработки торфяные месторождения, а также возможность и целесообразность их разработки.

Оставшиеся в Беларуси ресурсы торфа оцениваются в 4 млрд т. Запасы подсчитаны на торфяных месторождениях площадью (в границах промышленной залежи) от 1 га и выше. Однако по качественной и количественной характеристикам торфа и торфяных месторождений не все выявленные месторождения могут представлять интерес для добывающей отрасли.

Для топливно-энергетического использования пригоден торф с зольностью ( $A^c$ ) до 23 % и степенью разложения ( $R$ ) более 20 %, для нужд сельского хозяйства и комплексной переработки ограничения степени разложения отсутствуют, а зольность торфа не должна превышать 30 %. Целесообразность разработки торфяных месторождений с такими характеристиками торфа устанавливается по запасам торфа при глубине залежи не менее 1,3 м.

Анализ имеющихся запасов торфа во всех существующих целевых фондах показал, что из выявленных геологических запасов потенциально пригодного для различных направлений комплексного использования торфа в республике имеется 3,55 млрд т, в том числе для топливно-энергетических целей (глубина  $h \geq 1,3$  м, зольность  $A^c \leq 23\%$ , минимальные геологические запасы торфа на месторождении около 50 тыс. т, степень разложения  $R \geq 20\%$ ) – 3,33 млрд т.

Перспективность строительства торфопредприятия для добычи торфа различного направления использования определяется извлече-

маемыми запасами, предельные значения которых зависят от конкретных направлений освоения добытого сырья. Так, для заготовки торфа на бытовые нужды или для сельскохозяйственного потребления пригодными могут быть относительно малые месторождения с геологическими запасами от 50 тыс. т и выше, для мини-ТЭЦ и коммунально-бытовых нужд – более крупные. Строительство торфопредприятий с организацией брикетного завода экономически обосновано при наличии сырьевой базы, способной обеспечить стабильную работу предприятия на протяжении 25–30 лет. Таким требованиям соответствуют месторождения или группа близко расположенных торфяных месторождений с извлекаемыми запасами торфа более 5 млн т. Учитывая, что при фрезерном способе добычи коэффициент использования залежи (КИЗ) торфа составляет примерно 0,6, сырьевая база брикетного завода мощностью 60–80 тыс. т в год должна иметь геологические запасы торфа не менее 8 млн т.

Анализ торфяного фонда (без учета выделенного разрабатываемого) показывает, что в настоящее время в республике имеется 42 торфяных месторождения, пригодных по качественной и количественной характеристикам торфа для организации брикетного производства. Геологические запасы торфа на них оцениваются в 650,6 млн т (табл. 1). Однако практически весь торф принадлежит природоохранному (40,6 %) и земельному (53,5 %) фондам. В неиспользуемом фонде имеется 38,6 млн т (5,9 %), однако эти запасы находятся не на отдельных крупных или близко расположенных более мелких торфяных месторождениях, которые могут рассматриваться в качестве сырьевых баз для строительства брикетных заводов, а на малых нераспределенных остатках месторождений природоохранного и земельного фондов. Таким образом, в неиспользуемом фонде не выявлено перспективных сырьевых баз для строительства новых брикетных заводов.

Следовательно, несмотря на наличие в республике более 650 млн т торфа, пригодного для организации новых брикетных заводов, строительство последних возможно лишь при условии отвода (изъятия) месторождений из природоохранного или земельного фондов. В земельном фонде выявлено 28 и в природоохранном – 14 таких торфяных месторождений. Анализ выбранных месторождений земельного фонда показывает, что это крупные по площади, но относительно мелкозалежные месторождения, более  $\frac{1}{4}$  площади которых имеют глубину торфяной залежи менее 1,5 м (табл. 2) [10, 7].

Длительное использование (более 30 лет) месторождений в земельном фонде привело к уменьшению запасов торфа вследствие потерь от минерализации органического вещества и к

увеличению зольности торфа верхнего слоя залежи из-за внесенных минеральных удобрений и минерализации торфа. Приведенные данные свидетельствуют о том, что лишь в исключительных случаях торфяные месторождения земельного фонда можно рассматривать в качестве перспективных сырьевых баз для строительства новых брикетных заводов.

Торфяные месторождения природоохранного фонда практически все представлены (являются) более компактными глубокозалежными (> 1,8 м) природными образованиями. Их можно рассматривать в качестве перспективных сырь-

евых баз для организации новых брикетных заводов. Но так как они входят в состав охраняемых или особо охраняемых природных территорий решение о разработке может быть принято лишь после вывода их из природоохранного фонда и перевода в разрабатываемый. Но действия по переводу месторождений в ранг разрабатываемых можно проводить лишь после уточнения потенциальной ценности природно-сырьевых ресурсов выбранных месторождений и всестороннего эколого-экономического обоснования целесообразности их разработки.

**Таблица 1. Наличие в целевых фондах торфа, пригодного для строительства брикетных заводов (геологические запасы торфа на одном торфяному месторождении 8 млн т и более)**

Область	Количество торфяных месторождений, шт.	Запасы торфа, млн т	В том числе по целевым фондам*, млн т		
			земельный	природоохранный	неиспользуемый
Брестская	9	125,2	53,3(5)	63,4(4)	8,5
Витебская	7	93,7	12,3(2)	74,4(5)	7,0
Гомельская	8	172,4	100,9(7)	71,5(1)	—
Гродненская	4	53,6	27,7(2)	19,0(2)	6,9
Минская	13	197,0	145,3(11)	35,5(2)	16,2
Могилевская	1	8,7	8,7(1)	—	—
ИТОГО	42	650,6	348,2(28)	263,8(14)	38,6

\*В скобках – количество месторождений, шт.

**Таблица 2. Распределение торфяно-болотных почв по глубине торфяной залежи по данным [10]**

Область	Площадь торфяно-болотных почв, га	Площадь торфяно-болотных почв с различной глубиной торфяной залежи, га/проценты	
		1,0–2,0	> 2
Брестская	236 229	47 505/20	22/0,01
Витебская	69 474	24 948/20	17 766/25,6
Гомельская	180 242	37 267/20,7	3 164/1,8
Гродненская	86 379	45 842/58	4 568/5,3
Минская	230 462	69 647/50,2	19 954/8,6
Могилевская	75 223	24 427/32	5 722/7,6
ИТОГО	878 009	249 636/28	51 196/5,4

Следует особо подчеркнуть, что торфяные месторождения природоохранного фонда не только выполняют специфические свойственные лишь им функции в природе и обществе, но одновременно являются хранилищами стратегического запаса местного энергетического ресурса страны, залегающего на земной поверхности, который в относительно короткий срок может быть освоен в случае возникновения непредвиденных экстремальных ситуаций. Поэтому решение вопроса перевода торфяного месторождения природоохранного фонда в разрабатывающий требует особенно тщательного, глубокого и всестороннего обоснования необходимости и целесообразности таких действий. Но так как торфяные месторождения природоохранного фонда слабо изучены или разведывались в довоенный период, а также в первые пятилетки послевоенного периода и за прошедшее время произошли определенные измене-

ния их качественных и количественных характеристик, необходимо провести доразведку и установить фактическую, а не прогнозную ценность сырьевых ресурсов месторождений.

Одновременно установлено, что в республике имеется 122 месторождения с запасами торфа на них 1326,8 млн т, пригодных для добычи последнего без организации брикетных производств с геологическими запасами в пределах 4–8 млн т (табл. 3). Из этого количества 537,8 млн т (40, 6 %) находятся в природоохранном фонде, 430,2 млн т (32,4 %) – в земельном и 358,9 млн т (27,0 %), – в неиспользуемом. Приведенные данные свидетельствуют об имеющейся возможностях строительства новых торфопредприятий на торфяных месторождениях неиспользуемого фонда. Наибольшие перспективы для этого имеются в Витебской, Брестской и Минской областях.

Кроме того, в республике имеется 259 торфяных месторождений потенциально пригодных для добычи торфа на нужды коммунально-бытовых служб, для комплексной переработки и сельского хозяйства, геологические запасы торфа на которых оцениваются в 500 млн т (табл. 4). Бо-

лее 40 % этого торфа находится в неиспользуемом фонде, и его можно считать перспективным для строительства участков по добыче торфа для удовлетворения потребности в торфяному сырью соответствующих регионов.

**Таблица 3. Наличие в целевых фондах торфа, пригодного для добычи без строительства брикетных заводов (геологические запасы торфа на одном торфяном месторождении составляют 4–8 млн т)**

Область	Количество торфяных месторождений, шт.	Запасы торфа, млн т	В том числе по целевым фондам, млн т		
			земельный	природо-охраный	неисполь-зуемый
Брестская	10	196,3	61,0	40,0	95,3
Витебская	39	366,7	21,7	237,8	107,2
Гомельская	19	289,8	146,4	102,6	40,8
Гродненская	11	176,4	65,3	84,0	27,1
Минская	33	232,2	120,8	42,4	69,0
Могилевская	10	65,4	15,0	31,0	19,4
ИТОГО	122	1326,8	430,2	537,8	358,8

**Таблица 4. Наличие в целевых фондах торфа, пригодного для добычи: на топливо для бытовых нужд, комплексной переработки, нужд сельского хозяйства (геологические запасы торфа ( $Q$ ) на одном месторождении  $1,0 \leq Q < 4,0$  млн т), без учета выделенного разрабатываемого фонда**

Область	Количество торфяных месторождений, шт.	Запасы торфа, млн т	В том числе по целевым фондам, млн т		
			земельный	природо-охраный	неисполь-зуемый
Брестская	31	54,8	35,1	9,2	10,5
Витебская	66	129,8	13,7	9,7	106,4
Гомельская	55	116,2	79,9	1,7	34,6
Гродненская	20	41,8	32,6	3,4	5,8
Минская	69	127,5	79,4	11,3	36,8
Могилевская	18	28,8	11,9	2,2	14,7
ИТОГО	259	498,9	252,6	37,5	208,8

Таким образом, выполненный анализ торфяного фонда показывает, что в республике имеются значительные возможности для развития торфодобывающей и торфоперерабатывающей отрасли. Важнейшей задачей является бережное ресурсосберегающее использование этого местного природного ресурса, но здесь существует ряд нерешенных вопросов, в первую очередь, связанных с разработкой торфяных месторождений и организацией добычи торфа. Учитывая, что торф залегает на земной поверхности, извлечение его из залежи должно быть максимально полным. Однако анализ известных технологий добычи торфа показывает, что из-за сложности конфигурации торфяных месторождений, неоднородности рельефа минерального дна, наличия на отдельных месторождениях под торфом сапропеля, а также в силу ряда других причин КИЗ редко достигает 0,7. В основном он колеблется в пределах 0,5–0,6 (значительная часть торфа при добыче остается в залежи). Задача повышения КИЗ в настоящее время не решается ни наукой, ни практикой. А это не только большой резерв торфяного сырья, но и пробле-

ма пожарной безопасности – осущенные, но не разрабатываемые, неудобные по конфигурации участки торфяных месторождений, торфяная выкидка от строительства магистральных и валовых каналов – потенциально пожароопасные образования. Необходима разработка новой ресурсосберегающей технологии добычи торфа, которая позволяла бы максимально полно извлекать торф из залежи и, тем самым, снижать потребности в новых площадях торфяных месторождений для разработки, а также стабилизировать противопожарную обстановку.

Еще одной задачей экономного использования торфяных ресурсов, требующей безотлагательного решения, является создание технологии подготовки торфяного топлива для прямого сжигания на цементных заводах без брикетирования и последующего дробления брикетов для сжигания. Разработка такой технологии снизит объем добычи торфа на нужды цементной промышленности практически в 2 раза, так как на производство 1 т брикета расходуется 2 т фрезерного торфа, а также исключит энергозатраты на брикетирование и дробление брикетов.

## Л и т е р а т у р а

1. Бамбалов Н. Н. Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения. Минск, 1984.
2. Гаврильчик А. П. Превращения торфа при добыче и переработке. Минск, 1992.
3. Гаврильчик А. П., Мультан С. Т., Навоша Ю. Ю. и др. Концепция целесообразности и возможности перераспределения торфяного фонда по направлениям использования // Природопользование. Минск, 2006. Вып.12. С. 99–103.
4. Гаврильчик А. П., Навоша Ю. Ю., Мультан С. Т., Будник Н. В. Торфяные месторождения и торф // Тр. Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения Олейко Ф. А. Минск, 2009. С. 22–25.
5. Кадастровый справочник «Торфяной фонд Белорусской ССР». Минск, 1978.
6. Костюк Н. С. Белорусская ССР – республика торфа (к 40-летию БССР). Минск, 1958.
7. Лихацевич А. П., Мееровский А. С., Белковский В. И. Состояние и перспективы сельскохозяйственного использования торфяных почв // Природные ресурсы. 1997. № 2. С. 31–40.
8. О схеме рационального использования и охраны торфяных ресурсов Республики Беларусь на период до 2010 года. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 25 ноября 1991 г., № 440.
9. Пидопличко А. П. Торфяные месторождения Белоруссии. Минск, 1961.
10. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь. Практическое пособие. Минск, 2001.
11. Раковский В. Е., Пигулевская Л. В. Химия и генезис торфа. Минск, 1978.
12. Рекомендации по рациональному использованию торфяных месторождений и запасов торфа в Белорусской ССР / Под ред. И. И. Лиштвана, Минск, 1982.
13. Смирнова В. В. Закономерности формирования, ресурсы и качество торфяного сырья Беларуси для получения лечебных грязей: Дис. ... канд. техн. наук. Минск, 1993.
14. Тишкович А. В. Исследование процессов направленного изменения свойств торфа с целью повышения эффективности использования его на удобрения: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Минск, 1979.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

**A. P. Гаврильчик, С. Т. Мультан, Т. И. Макаренко, А. В. Осипов**

### **ТОРФЯНОЙ ФОНД РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И ПРОБЛЕМЫ ЕГО РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

*Уточнены условия генезиса торфа и торфяных месторождений, показаны их специфические особенности, а также роль отдельных элементов торфяной залежи при освоении. Оценено влияние техногенного воздействия на торфяные месторождения и торф.*

Показано, что геологические запасы пригодного для добычи торфа прогнозно оцениваются более чем 3,3 млрд т, но перспективных сырьевых баз для строительства брикетных заводов выявлено только 42, и они находятся в природоохранном и земельном фондах. Эти месторождения не только выполняют функции соответствующих фондов, но и являются стратегическим резервом местного сырьевого ресурса. Переводить эти месторождения в разрабатываемый фонд преждевременно. В неиспользуемом фонде имеется более 550 млн т геологических запасов торфа, пригодного для строительства торфопредприятий различной мощности, но этот фонд слабо изучен и необходима доразведка месторождений.

Для решения проблемы экономного и бережного расходования торфяных ресурсов неотложной задачей является разработка технологии заготовки торфа для прямого сжигания без брикетирования и технологии максимально полного извлечения торфа из торфяного месторождения.

**A. P. Gavrilchik, S. N. Multan, T. I. Makarenko, A.V. Osipov**

### **BELARUS' PEAT FUND AND A CHALLENGE OF ITS RATIONAL USE**

*Conditions of peat and peat deposits genesis were specified, their specific features, and also a role of some elements of a peat deposit in the development were shown. Influence of technogenic impact on peat deposits and peat was assessed.*

It has been shown, that geological stocks of suitable peat for extraction as forecasted are estimated as over 3,3 bln t, but only 42 perspective raw-material bases to build briquette factories were revealed, and they are in nature protection and land funds. These deposits not only carry out functions of corresponding funds, but are also a strategic reserve of local raw resource. In the republic the situation is stable and no need to transform these deposits into the developed fund. There are more than 550 million t of geological stocks of peat in non-used fund, suitable to building peat ventures of various capacity, but this fund is poorly studied and necessary final exploration of deposits is required.

To solve the issue of economical and careful waste of peat resources an urgent problem is working out of technology of preparation of peat for direct burning without briquettes production and technology of complete as possible peat extraction from a peat deposit.

УДК 553.97

В. А. Ракович

## АККУМУЛЯЦИЯ УГЛЕРОДА ЕСТЕСТВЕННЫМИ БОЛОТНЫМИ ЭКОСИСТЕМАМИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ НА НИХ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

*Выполнена количественная оценка ежегодной аккумуляции углерода верховыми и низинными естественными болотами Беларуси, рассчитанная по  $^{14}\text{C}$  и спорово-пыльцевым анализом. Получены данные скорости ежегодного прироста торфяного слоя, ежегодного накопления отложений углерода и балансового стока диоксида углерода из атмосферы в болотные экосистемы в зависимости от произрастающей на торфяной залежи растительности.*

В болотных биогеоценозах годичные биоциклы углерода не замкнуты, так как ежегодно продуцируемое органическое вещество полностью не разлагается и постепенно погребается последующими отложениями. По данным работ [5, 7, 17], в разных регионах Европы ежегодно в торф превращается от 4 до 52 % биомассы, произведенной болотными растениями. Это означает, что не весь углерод, выведенный болотными растениями из атмосферы в процессе фотосинтеза, возвращается обратно в атмосферу. Часть оставшегося углерода в результате неполной минерализации аккумулируется в виде торфа. По данным [11], в Беларуси трансформация фитомассы в торф составила для верховых болот 10,6–29 (среднее 17,8 %), для низинных – 4,2–7,9 (среднее 5,5 %). Следовательно, около 82 % фитомассы верховых болот и около 94 % низинных теряется на минерализацию до  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$  и  $\text{SO}_3$ .

Подобно другим экосистемам, которые содержат значительные объемы углерода в составе биомассы, торфяные болота имеют большое значение как хранилища углерода, главным образом, в составе торфяной залежи. По обобщенным данным [22], в среднем ежегодное поглощение диоксида углерода в пересчете на углерод в разных странах составляет для верховых болот 310 кг/га, низинных – 250 кг/га. Согласно [18], для северных болот ежегодное поглощение диоксида углерода в пересчете на углерод составляет 19–1120 кг/га.

В настоящее время расчета ежегодной аккумуляции углерода для различных видов торфяной залежи в зависимости от произрастающей на них растительности не существует. Хотя эти данные необходимы для ведения отчетности о поглощении диоксида углерода из атмосферы болотными экосистемами, Государственного кадастра парниковых газов, подготовки бизнес-планов, инвестиционных проектов, предложений о реализации проектов совместного осуществления, иных мероприятий по смягчению воздействия на климат и охрану атмосферного

воздуха, предусмотренных законодательством Республики Беларусь.

Цель исследования – получить количественную оценку аккумуляции углерода на естественных верховых и низинных болотах в зависимости от произрастающей на торфяной залежи растительности.

Объектами исследования служили верховые и низинные естественные болота, расположенные в различных частях Беларуси.

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

$$M_C = 10000 \cdot h \cdot \gamma \cdot K_W \cdot K_A \cdot K_C, \quad (1)$$

где 10 000 – перевод с  $\text{m}^2$  в га;  $h$  – ежегодный вертикальный прирост торфяного слоя в субатлантический период, м;  $\gamma$  – плотность торфа в залежи,  $\text{t/m}^3$ , рассчитанная согласно (2), (3);  $K_W$  – коэффициент влаги, где  $W$  – влага торфа, %, определяемая по ГОСТ 11305;  $K_A$  – коэффициент зольности, где  $A$  – зольность торфа, %, определяемая по ГОСТ 11306;  $K_C$  – коэффициент содержания углерода в органическом веществе, где  $C$  – содержание углерода в органическом веществе, %, определяемое по ГОСТ 2408.1.

При отсутствии данных по плотности торфа  $\gamma$ ,  $\text{t/m}^3$ , можно пользоваться зависимостью между плотностью торфа, его влагой и степенью разложения [8].

Для низинного торфа:

$$\gamma = 0,001 \cdot \left( \frac{1400 \cdot R}{100 - W + R} - 4 \cdot R + 60 \right), \quad (2)$$

Для верхового торфа:

$$\gamma = 0,001 \cdot \left( \frac{1700 \cdot R}{100 - W + R} - 5 \cdot R - 90 \right), \quad (3)$$

где 0,001 – перевод с  $\text{kg/m}^3$  в  $\text{t/m}^3$ ;  $W$  – влага торфа, %, определяемая по ГОСТ 11305;  $R$  – степень разложения торфа, %, определяемая по ГОСТ 28245.

Расчет удельного показателя ежегодного балансового стока диоксида углерода из атмосферы в торфяную залежь  $M_{CO_2}$ , т/га) вычислялся по формуле

$$M_{CO_2} = M_C \cdot K_{C-CO_2}, \quad (4)$$

где  $K_{C-CO_2}$  – коэффициент перевода углерода в углекислый газ, около 3,67.

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

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

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

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

Для разделения разрезов залежей торфа по периодам голоцен и определения ежегодного прироста торфяного слоя в субатлантический период, наиболее близкий к современному по климатическим условиям, нами были отобраны образцы с 10 профилей, выполнен спорово-пыльцевой анализ и определен абсолютный возраст образцов в Институте геохимии и геофизики НАН Беларуси, 2 датировки по  $^{14}C$  определены в Институте торфа и болот при университете г. Чаньчунь провинции Цзилинь Китайской Народной Республики (NU 9508, NU 9509). Еще один профиль был заложен и выполнен Г. И. Симаковой. (Мох в пойме р. Нижняя Кривина, Институт геохимии и геофизики НАН Беларуси) [13, 20].

Абсолютные датировки ( $^{14}C$ ) и данные спорово-пыльцевого анализа субатлантического периода голоценена представлены в табл. 1, 2.

**Таблица 1. Вид торфяной залежи, степень разложения, ежегодный прирост торфяного слоя и балансовое накопление углерода в верховых торфяных болотах**

Кадастровый №, название торфяного болота, область и район расположения	Вид торфяной залежи, средняя степень разложения ( $R\%$ )	№ образца, возраст по $^{14}C$ и по относительному возрасту, годы	Прирост торфяного слоя, мм/год	Накопление отложений $C_{org}$ , г/м <sup>2</sup> в год
<b>3. Церковное</b> Верхнедвинского района Витебской области	Магелланикум, $R=17,5$	<b>IGSB 405</b> $1847 \pm 88$	0,57	29,0
<b>1. Освейское</b> Верхнедвинского района Витебской области	Магелланикум, пушицево-сфагновый, $R=18$	<b>IGSB 120</b> $3411 \pm 297$	0,51	25,9
<b>991. Савский Мох</b> Лепельского района Витебской области	Сфагновый, пушицево-сфагновый, $R=10$	<b>NU 9511</b> $3245 \pm 85$	1,22	62,0
<b>991. Савский Мох</b> Лепельского района Витебской области	Сфагновый, пушицево-сфагновый, торфосапропель, $R=12$	<b>NU 9512</b> $6150 \pm 100$	1,05	53,3
<b>993. Домжерицкое</b> Лепельского района Витебской области	Магелланикум, пушицево-сфагновый, $R=8,5$	<b>NU 9508</b> $1025 \pm 75$	1,07	54,4
<b>993. Домжерицкое</b> Лепельского района Витебской области	Магелланикум, пушицево-сфагновый, $R=17$	<b>NU 9509</b> $2305 \pm 80$	0,89	45,2
<b>993. Домжерицкое</b> Лепельского района Витебской области	Магелланикум, пушицево-сфагновый, $R=28$	<b>NU 9510</b> $5655 \pm 95$	0,47	23,9
<b>204. Стречно</b> Мирского и Шарковщинского районов Витебской области	Сфагновый, пушицево-сфагновый, пушицевый, $R=26$	<b>IGSN 818</b> $8400 \pm 240$	0,53	26,9

**Окончание табл. 1**

Кадастровый №, название торфяного болота, область и район расположения	Вид торфяной залежи, средняя степень разложения (R %)	№ образца, возраст по $^{14}\text{C}$ и по относительному возрасту, годы	Прирост торфяного слоя, мм/год	Накопление отложений $\text{C}_{\text{орг}}$ , г/м <sup>2</sup> в год
<b>197. Ельня</b> <i>Мирского района Витебской области</i>	Магелланикум, ангусти-фолиум, пушицево-сфагновый, R = 20	<b>IGSN 1040</b> 4100±80	0,60	30,5
<b>6. Моховое</b> <i>Мядельского района Минской области</i>	Магелланикум, пушицево-сфагновый, пушицевый, осоково-гипновый, гипновый, R = 25	<b>IGSN 1039</b> 10050±130	0,48	24,4
<b>189. Докудовское</b> <i>Лидского района Гродненской области</i>	Сфагновый, пушицево-сфагновый, R = 26	<b>IGSN 1193</b> 840±61	0,60	30,5
<b>135. Щенец</b> <i>Щучинского района Гродненской области</i>	Сфагновый, R = 17,5	<b>IGSN 1329</b> 470±40	0,74	37,6
<b>329. Казине</b> <i>Крупского района Минской области</i>	Сфагновый, пушицево-сфагновый, R = 10	<b>IGSN 1330</b> 160±30	0,94	47,8`
<b>3. Церковное</b> <i>Верхнедвинского района Витебской области</i>	Магелланикум, R = 20	2700 (отн.)	0,50	25,4
<b>1. Освейское</b> <i>Верхнедвинского района Витебской области</i>	Магелланикум, пушицево-сфагновый, R = 19	2700 (отн.)	0,50	25,4
<b>993. Домжерицкое</b> <i>Лепельского района Витебской области</i>	Магелланикум, пушицево-сфагновый, R = 7	2700 (отн.)	1,07	54,4

Примечание. (отн.) – для относительного возраста определенного спорово-пыльцевым анализом брался субатлантический период голоцен, наиболее близкий к современному климату по влажности и средней температуре.

**Таблица 2. Вид торфяной залежи, степень разложения, ежегодный прирост торфяного слоя и балансовое накопление углерода в низинных торфяных болотах**

Кадастровый №, название торфяного болота, область и район расположения	Вид торфяной залежи, средняя степень разложения (R%)	№ образца, возраст по $^{14}\text{C}$ и по относительному возрасту, годы	Прирост торфяного слоя мм/год	Накопление отложений $\text{C}_{\text{орг}}$ , г/м <sup>2</sup> в год
<b>126. Песчанка</b> <i>Березовский и Дрогичинский районы Брестской области</i>	Осоковый, тростниково-осоковый, древесно-тростниковый, тростниковый, R = 32	<b>IGSN 592os</b> 6512±44	0,33	18,3
<b>126. Песчанка</b> (по гуминовым кислотам из торфа)	Осоковый, тростниково-осоковый, древесно-тростниковый, тростниковый, R = 32	<b>IGSN 592gk</b> 6310±35	0,34	18,9
<b>126. Песчанка</b> <i>Березовский и Дрогичинский районы Брестской области</i>	Осоковый, тростниково-осоковый, сапропель, R = 37	<b>IGSN 593os</b> 13600±691	0,28	15,6
<b>126. Песчанка</b> (по гуминовым кислотам из сапропеля)	Осоковый, тростниково-осоковый, сапропель, R = 37	<b>IGSN 593gk</b> 12950±358	0,29	16,1
<b>75. Дикое</b> <i>Пружанский и Свислочский районы Брестской и Гродненской областей</i> (разрез 2)	Осоковый, R = 21	<b>IGSN 712</b> 1060±120	0,33	18,3

## Окончание табл. 2

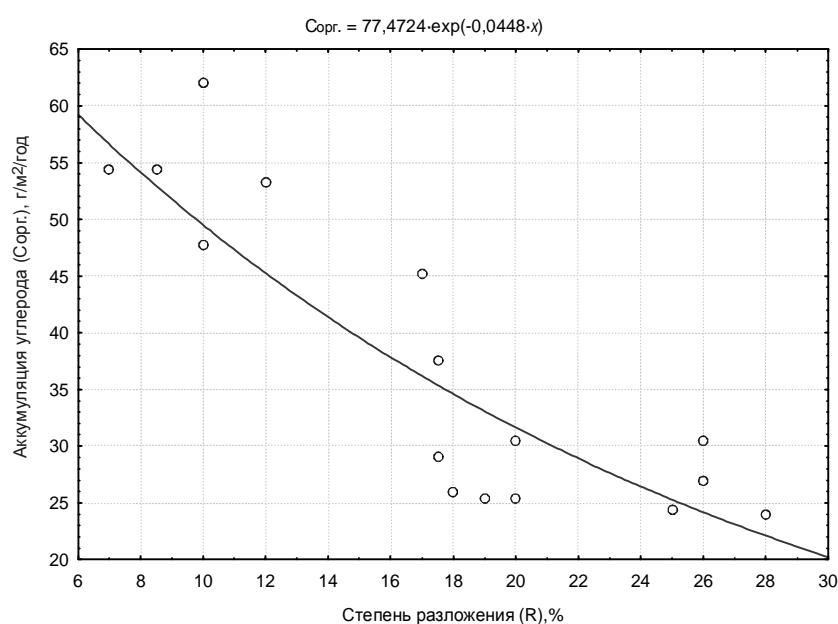
Кадастровый №, название торфяного болота, область и район расположения	Вид торфяной залежи, средняя степень разложения (R%)	№ образца, возраст по $^{14}\text{C}$ и по относительному возрасту, годы	Прирост торфяного слоя мм/год	Накопление отложений $\text{C}_{\text{орг}}$ , г/м <sup>2</sup> /год
<b>75. Дикое</b> (разрез 5)	Терес-торф, осоково-гипновый, $R = 16$	<b>IGSN 713</b> $1110 \pm 110$	0,36	20,0
<b>75. Дикое</b> (разрез 5)	Терес-торф, осоково-гипновый, $R = 29$	<b>IGSN 714</b> $6430 \pm 90$	0,30	16,7
<b>249. Великий Лес</b> <i>Кобринский и Дрогичинский районы Брестской области</i> (разрез 1)	Осоковый, тростниково-осоковый, $R = 34$	<b>IGSN 817</b> $2800 \pm 160$	0,30	16,7
<b>249. Великий Лес</b> (разрез 2)	Тростниково-осоковый, Тростниковый, $R = 33$	<b>IGSN 819</b> $4400 \pm 170$	0,31	17,2
<b>1426. Мх в пойме р. Нижняя Кривина (Кривина) Бешенковичского и Сенненского районов Витебской области</b>	Древесный, $R = 35$	<b>IGSB 251</b> $1588 \pm 180$	0,31	17,2
<b>2. Выдрино</b> <i>Верхнедвинского района Витебской области</i>	Осоковый, тростниково-осоковый, древесно-осоковый, древесный, $R = 28$	<b>IGSN 1038os</b> $5170 \pm 130$	0,36	20,0
<b>2. Выдрино</b> (по гуминовым кислотам из торфа)	Осоковый, тростниково-осоковый, древесно-осоковый, древесный, $R = 28$	<b>IGSN 1038gk</b> $4780 \pm 110$	0,39	21,7
<b>8. Корытино</b> <i>Барановичского района Брестской области</i>	Древесно-осоковый, осоковый, $R = 9$	<b>IGSN 1331</b> $1240 \pm 70$	0,48	26,7
<b>126. Песчанка</b> <i>Березовский и Дрогичинский районы Брестской области</i>	Осоковый, тростниково-осоковый, $R = 14$	2700 (отн.)	0,48	26,7
<b>75. Дикое</b> <i>Пружанский и Свислочский районы Брестской и Гродненской областей</i> (разрез 2)	Осоковый, $R = 25$	2700 (отн.)	0,28	15,6
<b>75. Дикое</b> (разрез 5)	Терес-торф, осоково-гипновый, $R = 24$	2700 (отн.)	0,26	14,5
<b>249. Великий Лес</b> <i>Кобринский и Дрогичинский районы Брестской области</i> (разрез 1)	Осоковый, тростниково-осоковый, $R = 32$	2700 (отн.)	0,29	16,1
<b>249. Великий Лес</b> (разрез 2)	Тростниково-осоковый, Тростниковый, $R = 35$	2700 (отн.)	0,30	16,7
<b>1426. Мх в пойме р. Нижняя Кривина (Кривина) Бешенковичского и Сенненского районов Витебской области</b>	Древесный, $R = 30$	2700 (отн.)	0,37	20,6

Примечание: (отн.) – для относительного возраста определенного спорово-пыльцевым анализом брался субатлантический период голоцен, наиболее близкий к современному климату по влажности и средней температуре.

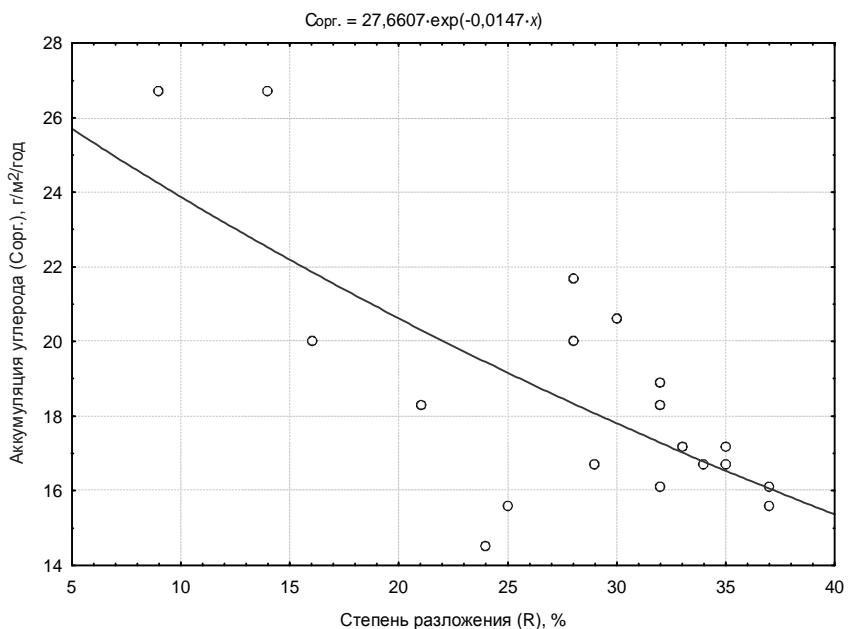
В некоторых разрезах абсолютный возраст был определен по двум компонентам в каждом образце: по гуминовым кислотам и по остатку после удаления гуминовых и гидролизуемых веществ. Как видно из табл. 1 и 2, возраст некоторых образцов торфа и сапропеля, определенный по гуминовой фракции, оказался несколько меньше возраста, определенного по остатку. Это говорит о загрязнении гуминовых веществ древних образцов более молодыми гуминовыми кислотами, мигрирующими из верхних горизонтов торфяной залежи в нижние.

Исходя из табл. 1 и 2, скорость ежегодного прироста торфяного слоя в залежи для верховых болот составила 0,48–1,22 мм в год, для низинных – 0,26–0,48 мм в год. Скорость ежегодного накопления углерода в условиях верховых болот составила 244–620 кг/га в год, низинных – 145–267 кг/га в год.

На рис. 1 и 2 представлены графики зависимости ежегодной аккумуляции углерода в естественных болотах от средней степени разложения торфа.



**Рис. 1. Зависимость ежегодной аккумуляции углерода залежью естественных верховых болот от средней степени разложения торфа**



**Рис. 2. Зависимость ежегодной аккумуляции углерода залежью естественных низинных болот от средней степени разложения торфа**

Как видно из рисунков, ежегодная аккумуляция углерода естественными болотами верхового и низинного типов уменьшается с увеличением степени разложения торфа. Графики (рис. 1, 2) позволяют по степени разложения торфа в верхнем слое залежи получить приблизительную ежегодную аккумуляцию углерода болотами различных типов и видов залежей.

Наша проверка этой зависимости камерно-статистическим методом давала погрешность не более 20 %. Для оценки поглощения  $\text{CO}_2$  древесной группой растительности необходимо дополнительно учитывать величину годичного прироста наземной и подземной частей древостоя.

Авторы [19] сравнили усредненные за шестилетний период данные, полученные при помощи *Eddy covariance*, с данными, полученными методом пересчета с абсолютного возраста (*LORCA*). Они обнаружили, что средние значения углеродного баланса за шестилетний период измерений различались от данных, полученных с помощью абсолютного возраста, на величину выноса углерода в растворенных органическом веществе (*DOC*). Авторы посчитали, что метод пересчета с абсолютного и относительного возрастов не учитывает потерю около 9 % углерода на образование метана и до 37 % – на вынос растворимых органических веществ. Для сравнения этих методов необходимо оценить потери растворенного органического вещества при выносе болотными водами и потери углерода, превращенного анаэробными микроорганизмами в метан.

У авторов [15, 16, 19, 21] потери органического углерода при экспорте растворенного органического вещества с болот составляют от 3,7 до 21 г/м<sup>2</sup> в год.

И. Д. Богдановская-Гиенэф [1] отмечала, что ботанический состав торфа всегда в определенной степени отличается от состава отложивших его фитоценозов. Чем больше степень разложения торфа, тем меньше соответствует его ботанический состав составу образующего торф фитоценоза. Одни группы растений после минерализации исчезают (кустарнички, разнотравье, гипновые мхи), другие, например пушкица, увеличиваются по процентному соотношению остатков, третьи, такие как сфагновые мхи и осоки, в торфе сохраняются постоянно [5].

При разведке торфяных месторождений первичная оценка запасов торфа проводится по техническим характеристикам торфяной залежи: степени разложения, зольности и ботаническому составу торфа. Исследованиями доказано, что между составом ископаемых растений-торфообразователей, вещественным составом и свойствами торфа существует определенная связь. Так, ученые [3], наряду с использованием степени разложения и зольности, предложили геоботанический прием определения теплоты

сгорания и химических элементов золы торфа по ботаническому составу. Другими авторами [7] были установлены количественные зависимости между свойствами торфа с содержанием в ботаническом составе торфа остатков мхов, травянистых и древесных растений. В верховом торфе эти зависимости выражены хорошо и весьма незначительны – в низинном. При изучении взаимосвязи степени разложения с процентным содержанием растительных остатков моховой, травяной и древесных групп торфа с помощью статистических методов получены коэффициенты корреляции, которые варьировали в пределах 0,6–0,8 [9]. Стремление установить количественные зависимости ботанического состава торфа с его свойствами были предприняты [12], однако эта попытка носила лишь описательный характер.

В работе [6] в результате анализа более 46 тыс. проб торфа с 429 торфяных месторождений получена корреляционная связь между ботаническим составом торфа из болот и их степенью разложения, зольностью, естественной влажностью и др. Сопоставив (табл. 1, 2) полученные по абсолютному и относительному возрасту зависимости поглощения диоксида углерода от степени разложения торфа, была установлена зависимость между ископаемыми растениями-торфообразователями и выводом  $\text{CO}_2$  из атмосферы (табл. 4). В свою очередь, ископаемые растения-торфообразователи образуются при неполном разложении произрастающей на болотах растительности. Эта зависимость может использоваться для учета поглощения различными фитоценозами диоксида углерода на естественных и восстанавливаемых болотах.

Баланс углерода для древесных и древесно-кустарниковых участков естественных болот складывается из аккумуляции углерода в зависимости от произрастающей не древесной растительности (табл. 4) и аккумуляции С в процессе роста биомассы древесного яруса (табл. 3).

Расчет ежегодного поглощения диоксида углерода, т/га, естественным и восстанавливаемым болотом, имеющим древесный или древесно-кустарниковый участки, вычисляется по формуле

$$\text{ПCO}_2 = (\text{Pc}_1 + \text{Pc}_2) \cdot \text{Kco}_2, \quad (5)$$

где  $\text{Pc}_1$  – скорость аккумуляции углерода в зависимости от вида преобладающей не древесной растительности (табл. 4);  $\text{Pc}_2 = \Pi_p \cdot 0,5$  – скорость аккумуляции углерода в продукции древесного яруса;  $\Pi_p$  – продукция древесного яруса (табл. 3); 0,5 – коэффициент содержание углерода в древесине ( $\approx 50\%$ );  $\text{Kco}_2$  – коэффициент перевода углерода в углекислый газ  $\approx 3,67$ .

По обобщенным материалам [2] выполнен расчет поглощения  $\text{CO}_2$  древесным ярусом лесных болот Беларуси (табл. 3).

**Таблица 3. Величины годичной продукции лесных болот Беларуси и вывод CO<sub>2</sub> в пересчете с продукцией древесного яруса**

Формация, субформация	Продукция древесного яруса, г/м <sup>2</sup> в год	Средняя скорость аккумуляции С в пересчете с приростом (продукции), г/м <sup>2</sup> в год	Поглощение CO <sub>2</sub> древесным ярусом в пересчете с приростом (продукции), г/м <sup>2</sup> в год
Сосновые олиготрофные болота	180–560	90–280	330–1030
Сосновые мезотрофные болота			
Сосновые евтрофные болота			
Березовые мезо- и евтрофные	140–400	70–200	260–730
Черноольховые	210–860	110–430	380–1580
Еловые	330–620	170–310	610–1140

Примечание. Для балансовой оценки восстанавливаемых болот применялись наименьшие значения поглощения CO<sub>2</sub> древесным ярусом в пересчете с продукцией.

В табл. 4 представлены коэффициенты средней скорости накопления С и поглощения CO<sub>2</sub> естественными болотами в зависимости от

типа торфяной залежи и вида растительности, полученные при помощи формул или графиков на рис. 1, 2.

**Таблица 4. Коэффициенты средней скорости накопления углерода (C<sub>opr</sub>) и поглощения CO<sub>2</sub> естественным болотом в зависимости от типа торфяной залежи и вида произрастающей растительности**

Вид преобладающей растительности, ассоциации	Степень разложения, %, ископаемых растений-торфообразователей по литературному источнику [6]	Средняя скорость аккумуляции С в торфяной залежи, г/м <sup>2</sup> в год	Средняя скорость поглощения CO <sub>2</sub> , г/м <sup>2</sup> в год
Верховой			
Сфагновые мхи	7,1	58	212,9
Пушица	40,2	21	77,1
Сосновая	54,1	16+(90)	58,7+(330)
Низинный			
Сфагновые мхи	17	22	80,7
Гипновые мхи	22,7	20	73,4
Осоки	29,4	18	66,1
Тростник	34,6	17	62,4
Березовая	44,3	15+(70)	55,1+(260)
Черноольховая	44,3	15+(110)	55,1+(380)

Примечание. Для балансовой оценки средних скоростей аккумуляции С и поглощения CO<sub>2</sub> естественными или восстанавливаемыми лесными болотами брались наименьшие значения из табл. 3. В скобках в 3 столбце значения средней скорости аккумуляции С в пересчете с продукцией древесного яруса и в 4 столбце значения поглощения CO<sub>2</sub> древесным ярусом в пересчете с приростом древесины (табл. 3).

Как видно из табл. 4 для сфагновых мхов верховых болот средняя скорость аккумуляции углерода составляет 58 г/м<sup>2</sup> в год, для пушицы – 21 г/м<sup>2</sup> в год, для сосновой ассоциации – 106 г/м<sup>2</sup> в год (аккумуляция торфяной залежью составляет всего 16 г/м<sup>2</sup> в год, ). Для сфагновых мхов низинных болот средняя скорость аккумуляции углерода составляет 22 г/м<sup>2</sup> в год, гипновых мхов – 20 г/м<sup>2</sup> в год, осок – 18 г/м<sup>2</sup> в год, тростника – 17 г/м<sup>2</sup> в год, древесной ассоциации – 85 г/м<sup>2</sup> в год.

Средняя скорость поглощения диоксида углерода для сфагновых мхов верховых болот составляет 212,9 г/м<sup>2</sup> в год, для пушицы – 77,1 г/м<sup>2</sup> в год, для сосновой ассоциации – 388,7 г/м<sup>2</sup> в год. Для сфагновых мхов низинных болот

средняя скорость аккумуляции углерода составляет 80,7 г/м<sup>2</sup> в год, гипновых мхов – 73,4 г/м<sup>2</sup> в год, осок – 66,1 г/м<sup>2</sup> в год, тростника – 62,4 г/м<sup>2</sup> в год, древесной ассоциации – 315,1 г/м<sup>2</sup> в год.

Коэффициентами средней скорости аккумуляции углерода и средней скорости поглощения диоксида углерода (см. табл. 4) можно пользоваться для прогнозной количественной оценки поглощения диоксида углерода различными фитоценозами естественных и восстанавливаемых болотных экосистем. Для низинных болот в первые 1–15 и верховых – 1–20 лет восстановления, в зависимости от геоморфологии, коэффициенты поглощения CO<sub>2</sub> различными фитоценозами болот могут отличаться.

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено следующее.

1. Скорость ежегодного прироста торфяного слоя в залежи верховых болот составила 0,48–1,22 мм в год, низинных – 0,26–0,48 мм в год.

2. Средняя скорость аккумуляции углерода сфагновых мхов верховых болот составляет 58 г/м<sup>2</sup> в год, пушкицы – 21, сосновой ассоциации – 106 г/м<sup>2</sup> в год.

3. Средняя скорость аккумуляции углерода сфагновых мхов низинных болот – 22 г/м<sup>2</sup> в год, гипновых мхов – 20, осок – 18, тростника – 17, древесной ассоциации – 85 г/м<sup>2</sup> в год.

4. Средняя скорость поглощения CO<sub>2</sub> ассоциаций растительности верховых болот: сфагновая – 212,9 г/м<sup>2</sup> в год, пущицевая – 77,1, сосновая – 388,7 г/м<sup>2</sup> в год.

5. Средняя скорость поглощения CO<sub>2</sub> растительных ассоциаций низинных болот: сфагновая – 80,7 г/м<sup>2</sup> в год, гипновая – 73,4, осоковая – 66,1, тростниковая – 62,4, березовая – 315,1, черноольховая – 435,1 г/м<sup>2</sup> в год.

Для болот Беларуси впервые получены данные по балансовому стоку диоксида углерода из атмосферы в болотные экосистемы в зависимости от произрастающей на торфяной залежи растительности.

### Л и т е р а т у р а

1. Богдановская-Гиенэф И. Д. Принципы генетической классификации торфов // Уч. Зап. Ленингр. ун-та. 1945. № 75. Сер. биол. наук. Вып. 15. С. 81–95.
2. Валетов В. В. Фитомасса и первичная продукция безлесных и лесных болот. Минск, 1992. Ч. 1, 2.
3. Варлыгин П. Д., Брадис Е. М. Приближенное определение теплотворности торфа по данным ботанического состава // Тр. ЦТОС. Т. VI. 1939.
4. Гричук В. П., Заклинская Е. Д. Анализ ископаемой пыльцы спор и его применение в палеогеографии. М., 1948.
5. Козловская Л. С., Медведева В. М., Пьявченко Н. И. Динамика органического вещества в процессе торфообразования. Л., 1978.
6. Король Н. Т., Марков В. Д., Стеклов Н. А. Исследование корреляционных связей между составом ископаемых растений-торфообразователей и свойствами образовавшегося из них торфа // Торфяная промышленность. 1990. № 8. С. 8–14.
7. Лиштван И. И., Король Н. Т. Основные свойства торфа и методы их определения. Минск, 1975.
8. Лиштван И. И., Терентьев А. А., Базин Е. Т., Головач А. А. Физико-химические основы технологии торфяного производства. Минск, 1983.
9. Макаренко Г. Л., Серков А. В. Оценка связи степени разложения с процентным содержанием групп растительных остатков в составе торфяных залежей // Материалы XII науч. конф. КПИ, 1986. С. 57–75.
10. Пыльцевой анализ / Под ред. И. М. Покровской. М., 1950.
11. Ракович В. А. Количественная оценка трансформации фитомассы в торф на болотах различного генезиса // Природопользование. Минск, 2008. Вып. 14. С. 97–103.
12. Раковский В. Е., Пигулевская Л. В. Химия и генезис торфа. М., 1978. С. 232.
13. Симакова Г. И., Павлова И. Д. Особенности палеогеографии территории Кривинского торфяного массива в позднеплейстоценовье и голоцене // Докл. НАН Беларуси. 1999. Т. 43, № 5. С. 98–101.
14. Сладков А. Н. Введение в спорово-пыльцевой анализ. М., 1967.
15. Carroll P., Crill, P. Carbon balance of a temperate poor fen, Global Biogeochemical Cycles, 11, 1997. P. 349–356.
16. Dawson J. C., Billett M. F., Neal C., Hill S. Comparison of particulate, dissolved and gaseous carbon in two contrasting upland streams in the UK, Journal of Hydrology, 257, 2002. P. 226–246.
17. Franzen L. G. Can Earth afford to lose the wetlands in the battle against increasing greenhouse effect? // Proc. the 9-th International Peat Congress. 1992. Vol. 1. P. 1–18.
18. Peatland and climate change. Eds. Maria Strack. International Peat Society. Finland, 2008, 223 p., ISBN 978-952-99401-1-0.
19. Roulet N. T., Lafleur P. M., Richard P. J. H. et al. Contemporary carbon balance and late Holocene carbon accumulation in a northern peatland. Global Change Biology 13: 2007. P. 397–411.
20. Simakova G. Peculiarities of the palaeogeography in the vicinity of the Krivina peat-bog in the Late Glacial and Holocene. Acta Palaeobot. Suppl. 2. 1999. P. 609–614.
21. Waddington J. M., Roulet N. T. Carbon balance of a boreal patterned peatland, Global Change. 2000.
22. Wise use of mires and peatlands – background and principles including a framework for decision-making / Eds. H. Joosten, D. Clarke International Mire Conservation Group and International Peat Society. Finland, 2002. 303 p.

**B. A. Rakovich**

### **АККУМУЛЯЦИЯ УГЛЕРОДА ЕСТЕСТВЕННЫМИ БОЛОТНЫМИ ЭКОСИСТЕМАМИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ НА НИХ РАСТИТЕЛЬНОСТИ**

Выполнена количественная оценка ежегодной аккумуляции углерода верховыми и низинными естественными болотами Беларуси, рассчитанная по  $^{14}\text{C}$  и спорово-пыльцевым анализом.

Впервые для болот Беларуси получены данные по балансовому стоку диоксида углерода из атмосферы в болотные экосистемы в зависимости от произрастающей на торфяной залежи растительности.

Скорость ежегодного прироста торфяного слоя в залежи верховых болот составила 0,48–1,22 мм в год, низинных – 0,26–0,48 мм в год.

Средняя скорость аккумуляции углерода сфагновых мхов верховых болот составляет 58 г/м<sup>2</sup> в год, пушицы – 21, сосновой ассоциации – 106.

Средняя скорость аккумуляции углерода сфагновых мхов низинных болот – 22 г/м<sup>2</sup> в год, гипновых мхов – 20, осок – 18, тростника – 17, древесной ассоциации – 85.

Средняя скорость поглощения  $\text{CO}_2$  ассоциаций растительности верховых болот: сфагновая – 212,9 г/м<sup>2</sup> в год, пушицевая – 77,1, сосновая – 388,7.

Средняя скорость поглощения  $\text{CO}_2$  растительных ассоциаций низинных болот: сфагновая – 80,7 г/м<sup>2</sup> в год, гипновая – 73,4, осоковая – 66,1, тростниковая – 62,4, березовая – 315,1, черноольховая – 435,1.

Этими коэффициентами можно пользоваться для прогнозной количественной оценки поглощения диоксида углерода различными фитоценозами естественных и восстанавливаемых болотных экосистем. Для низинных болот в первые 1–15 и верховых – 1–20 лет восстановления, в зависимости от геоморфологии, коэффициенты поглощения  $\text{CO}_2$  различными болотными фитоценозами могут отличаться.

**V. A. Rakovich**

### **CARBON ACCUMULATION BY NATURAL MIRE ECOSYSTEMS DEPENDING ON GROWING ON THEM VEGETATION**

*The quantitative estimation of annual accumulation of carbon by raised and fen natural bogs of Belarus, calculated on  $^{14}\text{C}$  and the porous-pollen analysis has been carried out.*

*For the first time for bogs of Belarus data on a balance drain of carbon dioxide from atmosphere into mire ecosystems depending on growing vegetation on a peat deposit were obtained.*

*Rate of annual gain of a peat layer in a deposit of raised bogs has made 0,48–1,22 mm a year, fen – 0,26–0,48 mm a year.*

*Average speed of carbon accumulation of sphagnum mosses of raised bogs makes 58 g/m<sup>2</sup> in a year, cotton-grass – 21, pine association – 106.*

*Average speed of carbon accumulation of sphagnum mosses of fens – 22 g/m<sup>2</sup> in a year, by Hypnum mosses – 20, sedges – 18, reed – 17, wood association – 85.*

*Average speed of  $\text{CO}_2$  absorption of associations of vegetation of raised bogs: sphagnum – 212,9 g/m<sup>2</sup> in a year, cotton-grass – 77,1, pine – 388,7.*

*Average speed of  $\text{CO}_2$  absorption of vegetative associations of fens: sphagnum – 80,7 g/m<sup>2</sup> in a year, Hypnum – 73,4, sedge – 66,1, reed – 62,4, birch – 315,1, black alder – 435,1.*

*These factors can be used for future quantitative estimation of carbon dioxide absorption by various mire community of natural and restored marsh ecosystems. For fens in the first 1–15 and raised 1–20 years of restoration, depending on geomorphology, factors of  $\text{CO}_2$  absorption by various mire community may differ.*

УДК 631.41

Н. Н. Бамбалов, В. В. Смирнова, А. С. Решетник, М. С. Милевич

## БАЛАНС ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И АЗОТА В ТОРФЯНОЙ ПОЧВЕ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В УСЛОВИЯХ ЧЕРНОЙ И ПЕСЧАНО-СМЕШАННОЙ КУЛЬТУРЫ

*Представлены результаты балансовых опытов по сравнительному изучению минерализации органического вещества (ОВ) торфяных почв, используемых в условиях черной и песчано-смешанной культуры (ПСК), которые представляют практический интерес в связи с 7–10-кратным уменьшением дефицита баланса ОВ в условиях ПСК осущененных торфяных почв по сравнению с черной культурой и могут применяться для разработки мероприятий по сохранению осущененных торфяных почв Полесья и Предполесья при их сельскохозяйственном использовании.*

Основным способом использования осущененных торфяных почв является черная культура – без покрытия минеральным грунтом. Это традиционное использование осущененных торфяных почв для возделывания сельскохозяйственных культур не только в Беларуси, но и в других странах. Недостатком в данном случае является сравнительно быстрое уменьшение торфяного слоя за счет процессов минерализации, эрозии и дальнейшей гумификации. Согласно прогнозу [4, 11] и научным публикациям [2, 3, 5, 6, 9], ежегодное уменьшение слоя торфа в среднем составляет 0,5–2,0 см в зависимости от мощности торфяной почвы и возделываемых культур. Ежегодные безвозвратные потери ОВ составляют от 1,7–4,0 т/га при возделывании многолетних трав, до 10–12 т/га – при возделывании пропашных культур, а на севооборотных площадях – 6–7 т/га.

Со временем столь значительные потери ОВ обусловливают деградацию торфяных почв, полное разрушение торфяного слоя и выход на дневную поверхность минеральных грунтов, подстилающих торфяной слой.

Для замедления процессов разрушения органогенного слоя осущененных торфяных почв в Германии разработаны приемы покрытия их минеральными грунтами [12], причем наиболее рациональным из них является способ немецкой песчано-смешанной культуры [8, 10, 14]. Суть этого способа состоит в глубокой мелиоративной вспашке маломощной торфяной почвы с созданием на поверхности минерального пахотного слоя из подстилающего торф песка. Такой опыт был заложен на Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства (ПОСМЗиЛ) на почве с мощностью торфяного слоя 60–80 см. Первичная мелиоративная вспашка на глубину 110 см осуществлена в октябре 1979 г., а посев первой культуры – в апреле 1980 г. В результате такой вспашки торфяной слой и подстилающий его песок превратились во множество отдельных

чередующихся слоев толщиной 40–45 см, расположенных в наклонном положении под углом примерно 40°. После вспашки поверхность почвы стала неровной, поэтому осуществлялось выравнивание её дискованием на глубину 15–16 см, и одновременно происходило перемешивание песка и торфа в обрабатываемом слое. Объемное соотношение песка и торфа во вновь созданном обрабатываемом слое было примерно одинаковым, но за счет большой разницы в плотности торфа и песка и недостаточности перемешивания содержание ОВ в таком пахотном слое в первый год колебалось от 0,2 до 7 %. В последующие годы под воздействием механической обработки почвы происходило постепенное выравнивание содержания ОВ. При данной технологии торф, расположенный ниже, оказывается накрытым минеральным пахотным слоем, поэтому его аэрация затруднена, и процессы минерализации замедляются. Вспаханная таким образом опытная территория имела площадь около 7 га, причем она была разделена на два участка, условно названных как «восточный» и «западный».

В 1980–1990 гг. на восточном участке возделывались многолетние травы, а на западном – зерновые и пропашные культуры. Для наблюдения за динамикой ОВ почвы на каждом участке было заложено по 36 опытных делянок размером 30×6 м. На делянках отбирали по три пробы почвы на глубине 0–15 см: одну пробу в центре делянки и две – на расстоянии 3 м от каждого края по срединной линии. Всего отбирали 108 проб на восточном участке и 108 – на западном. В лаборатории пробы просеивали через сито с размером ячеек 1 мм, подсушивали до воздушно-сухого состояния. Из подсушенных проб брали по 50–70 г, растирали в ступке до полного прохождения через сито 0,25 мм. Растирьные пробы почвы сушили при 105 °С, в них определяли углерод ОВ серно-хромовым методом и общий азот по Кильдалю [1]. Для подсчета запасов ОВ и азота дополнительно на 12 опытных делянках определяли плотность почвы ненарушенной структуры, используя для отбора проб кольцо объемом 50 см<sup>3</sup>.

После 1990 г. в связи с прекращением агрономических исследований вся территория была засеяна многолетними травами и использовалась в хозяйственных посевах, а с 2005 г. на ней возделываются зерновые культуры и многолетние травы, и в отличие от предыдущих лет в почву вносится соломенный навоз крупного рогатого скота. Однако такие изменения в использовании не мешают изучению свойств почвы. Опытные участки имеют точную привязку на местности, и независимо от вида возделываемых культур начатые нами в 1980 г. исследования ОВ почвы могут продолжаться в течение неопределенно долгого времени.

Балансовые исследования превращений ОВ осущеных торфяных почв в условиях черной культуры были начаты на ПОСМЗиЛ в 1971 г., а в условиях ПСК – в 1980 г. В эти годы там были созданы стационарные опытные площадки, на которых ведутся систематические наблюдения за динамикой запасов ОВ и азота с частотой измерений 1 раз в 3 – 5 лет. Методика оценки запасов ОВ на участке черной культуры описана в [2], на участке ПСК – в [13].

Для наблюдений за динамикой ОВ во времени на участке черной культуры в 1971 г.

была заложена стационарная площадка № 1. Она имеет точную привязку на местности, позволяющую воспроизводить ее угловые точки с точностью до 10 см. Для измерений глубины торфяного слоя площадка разбивалась на квадраты 5x5 м, на углах и в центре каждого квадрата устанавливался временный колышек. Всего на площадке устанавливали по 41 колышку. Вокруг каждого из них на расстоянии 50 см и рядом с колышком замеряли глубину торфяного слоя специальным зондом с наконечником, не позволяющим заглублять зонд в подстилающий минеральный грунт. Всего на площадке делали по 205 измерений глубины торфяного слоя с точностью до 1 см. Все данные по глубине суммировали и делили на 205. Таким образом были получены знания о средней глубине торфяного слоя на стационарной площадке. Одновременно на расстоянии 1–1,5 м от линий, ограничивающих площадку, закладывали почвенные разрезы, по слойно через каждые 10 см отбирали пробы почвы ненарушенной структуры кольцом объемом 50 см<sup>3</sup>, до минерального грунта. Пробы в бюксах доставлялись в лабораторию, где определяли влажность, массу сухого вещества при 105 °C, остаток после прокаливания при 800 °C и массу ОВ. Результаты исследований представлены в табл. 1.

**Таблица 1. Данные о глубине, содержании и запасах ОВ в торфяной почве на стационарной опытной площадке № 1 в 1971 и 2005 гг.**

Год	Средняя глубина торфяного слоя, см	Средневзвешенная величина содержания ОВ, т/м <sup>3</sup>	Запасы ОВ, т/га
1971	97,0	0,1349	1309
2005	47,2	0,2215	1045

Преимущество продолжительных наблюдений состоит в том, что сравнительный анализ данных, полученных за многолетний период, позволяет избежать ошибок, которые могут возникать при кратковременных исследованиях.

На опытной площадке черной культуры глубина торфяного слоя в начале наблюдений (1971 г.) составляла 97 см, а в 2005 г. – лишь 47,2 см. В среднем за все годы наблюдений здесь ежегодное уменьшение мощности торфяного слоя составило 1,4 см. Вместе с тем произошло уплотнение торфяного слоя, в результате чего содержание ОВ в 1 м<sup>3</sup> торфяного слоя возросло с 0,1349 т/м<sup>3</sup> в 1971 г. до 0,2215 т/м<sup>3</sup> в 2005 г. Общий расход ОВ за это время составил 264 т/га, или по 7,5 т/га в год.

Совершенно по-другому идет расход ОВ на участке ПСК. Данные табл. 2 свидетельствуют, что за 1980–2005 гг. наблюдений процентное содержание углерода и азота в пахотном слое было стабильным и не выходило за пределы погрешностей эксперимента как на восточном, так и

на западном участках. За последние 5 лет в почве возросло содержание углерода и азота в связи с внесением соломенного навоза.

Запасы углерода и азота в пахотном слое (табл. 3 и 4) практически не изменились за 25 лет и имели тенденцию к некоторому увеличению. Так, на восточном участке запасы азота в 1980 г. составляли 2,74 т/га, а в 2005 г. – 2,93 т/га. Разница в 0,2 т/га не выходит за пределы ошибки определения. Систематическое применение навоза в 2005–2010 гг. на восточном участке обусловило увеличение содержания азота в пахотном слое до 0,22 % и его запасов до 4,94 т/га.

Аналогичная ситуация и на западном участке: в 1980 г. запасы азота составляли 3,03 т/га, а в 2005 г. – 3,53 т/га, в то время как запасы углерода ОВ к 2005 г. уменьшились с 54,2 до 47,68 т/га. На данном участке до 2005 г. углеродсодержащие соединения разлагались быстрее азотсодержащих в связи с возделыванием пашниных и зерновых культур.

**Таблица 2. Динамика содержания углерода ОВ в пахотном слое 0–15 см на опытных участках песчано-смешанной культуры ПОСМЗиЛ, %**

Год	Размах колебаний	$X \pm m$	$X \pm m \times t_{0,95}$	$V$	$P$
Восточный участок					
1980	0,67–9,13	2,02±0,15	2,02±0,31	65,5	7,7
1983	0,77–7,18	2,01±0,14	2,01±0,27	59,4	14,0
1985	0,70–5,40	2,17±0,17	2,17±0,34	66,2	8,0
1990	1,09–3,33	1,83±0,09	1,83±0,18	29,3	4,9
1995	0,87–2,89	1,70±0,08	1,70±0,10	26,5	4,7
2005	0,84–6,00	1,91±0,12	1,91±0,25	54,6	12,7
2010	1,0–5,09	2,29±0,10	2,29±0,10	39,5	8,7
Западный участок					
1980	0,61–8,44	2,68±0,20	2,68±0,39	63,7	7,5
1983	1,06–6,56	2,67±0,15	2,67±0,27	47,3	9,0
1985	1,20–5,13	2,72±0,12	2,72±0,24	35,8	4,2
1990	1,32–4,96	2,50±0,13	2,50±0,26	31,2	5,2
1995	1,68–4,69	3,09±0,12	3,09±0,23	22,8	3,9
2005	1,14–5,86	2,36±0,11	2,36±0,21	37,7	8,0
2010	1,17–5,47	2,25±0,10	2,25±0,20	39,6	8,8

**Таблица 3. Динамика содержания общего азота в пахотном слое 0–15 см на опытных участках песчано-смешанной культуры ПОСМЗиЛ, %**

Год	Размах колебаний	$X \pm m$	$X \pm m \times t_{0,95}$	$V$	$P$
Восточный участок					
1980	0,05–0,45	0,12±0,01	0,12±0,02	52,2	6,9
1983	0,01–0,42	0,12±0,01	0,12±0,02	60,6	15,2
1985	0,03–0,38	0,14±0,01	0,14±0,02	61,1	7,2
1990	0,08–0,22	0,13±0,01	0,13±0,02	23,4	3,9
1995	0,06–0,17	0,11±0,01	0,11±0,02	25,5	1,8
2005	0,06–0,27	0,14±0,02	0,14±0,04	42,8	28,3
2010	0,11–0,51	0,24±0,01	0,24±0,02	37,1	8,6
Западный участок					
1980	0,06–0,49	0,15±0,01	0,15±0,02	52,7	6,3
1983	0,06–0,36	0,16±0,01	0,16±0,02	47,5	11,6
1985	0,03–0,34	0,16±0,01	0,16±0,02	41,1	4,9
1990	0,05–0,25	0,11±0,01	0,11±0,02	48,9	8,6
1995	0,05–0,26	0,16±0,01	0,16±0,02	31,3	3,8
2005	0,11–0,27	0,17±0,01	0,17±0,02	29,4	11,6
2010	0,12–0,55	0,22±0,01	0,22±0,02	40,9	9,0

**Таблица 4. Динамика запасов органического углерода, гумуса и азота в пахотном слое 0–15 см на опытном участке песчано-смешанной культуры ПОСМЗиЛ**

Год	Плотность почвы, т/м <sup>3</sup>	Запас С <sub>орг.</sub> , т/га	Запас гумуса, т/га	Запас азота, т/га
Восточный участок				
1980	1,3742±0,0515	41,60±4,20	71,80±7,20	2,74±0,44
1983	1,3857±0,0588	41,80±3,40	72,10±5,90	2,49±0,46
1985	1,3234±0,0391	43,10±1,60	74,30±2,80	2,78±0,45
1990	1,4594±0,0238	40,06±2,64	69,60±4,55	2,84±0,66
1995	1,3570±0,0515	34,60±3,33	59,68±5,74	2,24±0,28
2005	1,4105±0,0262	40,41±2,61	69,71±4,50	2,93±0,35
2010	1,3666±0,0232	47,01±2,06	81,09±3,56	4,94±0,21
Западный участок				
1980	1,3473±0,0236	54,20±4,10	93,40±7,10	3,03±0,42
1983	1,3573±0,0232	54,40±3,10	93,80±5,30	3,25±0,43
1985	1,3553±0,0323	55,30±2,50	95,40±4,30	3,25±0,44
1990	1,3360±0,0199	50,10±3,30	86,30±5,70	2,20±0,52
1995	1,3473±0,0236	60,46±1,90	104,3±3,27	3,13±0,67
2005	1,3470±0,0303	47,68±2,12	82,25±3,66	3,53±0,25
2010	1,3528±0,0265	45,57±2,03	78,61±3,51	4,52±0,21

Подтверждением сказанному выше является многолетняя динамика величины отношения С : N (табл. 5). В 1980 г. это соотношение на участке черной культуры составляло 18,07, на восточном участке ПСК – 17,07 на западном – 18,06.

**Таблица 5. Динамика отношения С : N в пахотном слое 0–15 см на опытных участках песчано-смешанной культуры ПОСМЗиЛ**

Год	Размах колебаний	$X \pm m$	$X \pm m \times t_{0,95}$	$V, \%$	$P, \%$
Восточный участок					
1980	7,26–37,86	17,07±0,57	17,07±1,14	28,2	3,3
1983	14,10–25,38	15,93±0,65	15,93±1,30	31,3	8,0
1985	6,84–39,06	17,21±0,80	17,21±1,57	30,1	4,6
1990	9,25–20,91	14,42±0,52	14,42±1,04	21,6	3,6
1995	9,40–22,73	15,44±0,34	15,44±0,69	26,3	4,7
2005	9,33–17,83	12,50±0,75	12,50±1,64	23,7	12,0
2010	7,22–13,27	9,54±0,13	9,54±0,25	12,0	2,7
Западный участок					
1980	7,00–30,76	18,06±0,58	18,06±1,16	27,9	3,2
1983	8,43–24,64	17,34±0,32	17,34±0,65	15,6	3,6
1985	10,43–37,52	18,55±0,95	18,55±1,90	42,8	5,1
1990	10,40–57,60	28,04±2,50	28,04±5,00	23,4	3,9
1995	10,51–38,42	16,32±1,60	16,32±3,21	14,7	4,3
2005	9,21–14,31	11,93±0,36	11,93±0,78	12,2	6,0
2010	8,0–12,38	10,23±0,13	10,23±0,25	11,0	2,4

Систематическое применение навоза в последние годы привело к дальнейшему обогащению ОВ азотом и еще большему снижению отношения С : N до 9,54 и 10,23 соответственно на восточном и западном участках. На участке черной культуры отношение С : N практически не изменилось, и через 30 лет оно было равно 18,5.

Значительное изменение отношения С : N в пахотном слое торфяной почвы, используемой в условиях ПСК, свидетельствует о том, что синтез органических азотсодержащих веществ преобладает над их разложением, а в условиях черной культуры – наоборот. Эти данные позволяют утверждать, что интенсивность биологических и биохимических превращений ОВ в пахотном слое в условиях ПСК выше, чем в условиях черной культуры. Вместе с тем следует отметить, что доля свежего ОВ, поступающего в почву в условиях ПСК, также выше, чем на черной культуре, и оно подвергается процессам гумификации более интенсивно, чем в условиях черной культуры, благодаря лучшей аэрации и более высокой температуре корнеобитаемого слоя [2, 7–9]. Эти процессы должны неизбежно привести к изменению химического состава ОВ.

Через 25 лет соотношение С : N в почве, используемой в условиях ПСК, существенно уменьшилось и составило на восточном участке – 12,50, на западном – 11,92.

Таким образом, получены новые экспериментальные данные о динамике содержания, запасов ОВ и азота осущеной торфяной почвы ПОСМЗиЛ в течение 35 лет, используемой в условиях черной культуры в стационарном полевом опыте, и в течение 30 лет – в стационарном полевом опыте на торфяной почве, мелиорированной по способу ПСК. В условиях черной культуры за 35 лет потери ОВ почвы составили 264 т, или в среднем по 7,5 т/га в год, а при использовании почвы в условиях ПСК ежегодные потери ОВ не превышают 0,5 т/га. Установлено, что в пахотном слое торфяной почвы, используемой в условиях ПСК, синтез органических азотсодержащих веществ преобладает над их разложением, а в условиях черной культуры – наоборот.

Эти результаты представляют практический интерес в связи с многократным уменьшением дефицита баланса ОВ в условиях ПСК осущенных торфяных почв по сравнению с черной культурой и могут быть использованы для разработки мероприятий по сохранению осущенных торфяных почв Полесья и Предполесья при их сельскохозяйственном использовании.

## Л и т е р а т у р а

1. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М., 1962.
2. Бамбалов Н. Н. Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения. Минск, 1984.
3. Бамбалов Н. Н. Агрогенная эволюция осущенных торфяных почв // Почвоведение. 2005. № 1. С. 29–37.

4. Бамбалов Н. Н., Ракович В. А. Роль болот в биосфере. Минск, 2005.
5. Бамбалов Н. Н., Туруто В. Я. Причины и следствия ускоренной деградации торфяных почв // Белорусское Полесье. 2001. Вып. 1. С. 57–60.
6. Бамбалов Н. Н., Янковская Н. С. Влияние мелиорации и сельскохозяйственного использования торфяных почв на элементный состав органического вещества // Проблемы Полесья. 1989. Вып. 12. С. 149–163.
7. Белковский В. И., Бамбалов Н. Н., Зименко Т. Г. и др. Биологическая активность и минерализация органического вещества пескованных торфяных почв // Изв. АН СССР. Сер. биол. наук. 1986. № 1. С. 58–64.
8. Белковский В. И., Горошко В. М. Плодородие и использование торфяных почв. Минск, 1991.
9. Белковский В. И., Лихачевич А. П., Мееровский А. С. и др. Использование и охрана торфяных комплексов Беларуси и Польши. Минск, 2002.
10. Белковский В. И., Мурашко А. И., Лашкевич И. П. и др. Технология преобразования торфяников в органоминеральные почвы и система сельскохозяйственного их использования. Горки, 1987.
11. Изучение закономерностей трансформации органического вещества болот и торфяных почв на разных стадиях естественной и антропогенной эволюции. Отчет о НИР (заключ.) / Институт природопользования НАН Беларуси; рук. Н. Н. Бамбалов. Минск, 2005. № ГР 2004267.
12. Скоропанов С. Г. Освоение и использование торфяно-болотных почв. Минск, 1961.
13. Bambalov N. Dynamics of organic matter in peat soil under the conditions of sand-mix culture during 15 years // International Agrophysics. 1999. V. 13. P. 269–272.
14. Illner K., Lehrkamp H., Ronde S. Die Bodenformen der Landwirtschaftlich genutzten Niedermooren in DDR und ihre Standorteigenschaften. Berlin. 1980.

### **Институт природопользования НАН Беларуси**

***Н. Н. Бамбалов, В. В. Смирнова, А. С. Решетник, М. С. Милевич***

### ***БАЛАНС ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И АЗОТА В ТОРФЯНОЙ ПОЧВЕ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В УСЛОВИЯХ ЧЕРНОЙ И ПЕСЧАНО-СМЕШАННОЙ КУЛЬТУРЫ***

Получены новые экспериментальные данные о динамике содержания, запасах ОВ и азота осущеной торфяной почвы ПОСМЗИЛ в течение 35 лет, используемой в условиях черной культуры в стационарном полевом опыте, и в течение 30 лет – в стационарном полевом опыте на торфяной почве, мелиорированной по способу ПСК. В условиях черной культуры за 35 лет потери ОВ почвы составили 264 т, или в среднем по 7,5 т/га в год, а при использовании почвы в условиях ПСК ежегодные потери ОВ не превышают 0,5 т/га. Установлено, что в пахотном слое торфяной почвы, используемой в условиях ПСК, синтез органических азотсодержащих веществ преобладает над их разложением, а в условиях черной культуры – наоборот.

Эти результаты представляют практический интерес в связи с многократным уменьшением дефицита баланса ОВ в условиях ПСК осущенных торфяных почв по сравнению с черной культурой и могут быть использованы для разработки мероприятий по сохранению осущенных торфяных почв Полесья и Предполесья при их сельскохозяйственном использовании.

***N. N. Bambalov, V. V. Smirnova, A. S. Reshetnik, M. S. Milevich***

### ***BALANCE OF ORGANIC SUBSTANCE AND NITROGEN IN A PEAT SOIL, USED IN THE CONDITIONS OF BLACK AND SANDY-MIXED CULTURE***

*New experimental data about dynamics of content, OS and nitrogen stocks of the drained peat soil at PTSAL and Forest management for 35 years has been obtained, used in the conditions of black culture in stationary field test, and for 30 years – in stationary field test on the peat soil reclaimed by SMC method. In the conditions of black culture for 35 years the losses of soil OS were 264 t, or 7,5 t/hectares a year on the average, and use of soil in the conditions of SMC annual OS losses do not exceed 0,5 t/hectares. It has been found that in an arable layer of the peat soil used in SMC conditions, the synthesis of organic nitrogen-containing substances prevails over their decomposition, and in the conditions of black culture – on the contrary.*

*These results present practical interest in connection with repeated reduction of the deficiency of OS balance in the conditions of SMC of the drained peat soils in comparison with black culture and can be used to develop actions for preservation of the drained peat soils of Polesye and Pred-Polesye for agricultural use.*

УДК 504.06(1021)

М. И. Струк, С. Г. Живнач

## ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВЫДЕЛЕНИЮ ВНЕШНИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ГРАНИЦ ГОРОДА

*Представлены географические подходы к выделению внешних экологических границ города на основе анализа его связей с окружающими территориями по воздушным, водным, биологическим и техногенным потокам. Определена их специфика и территориальные уровни. Показан пример выделения наиболее значимых внешних экологических границ для г. Минска.*

Город является открытой природно-технической системой, которая имеет внешние экологические связи. Состояние окружающей среды города зависит от экологических условий территорий, связанных с ним воздушными, водными, биологическими и техногенными потоками. В свою очередь, сам он выступает источником воздействий на внешние территории. Кроме того, городу для обеспечения нормального функционирования нужны природные ресурсы (земельные, водные, лесные, ландшафтные и др.), расположенные не только внутри его границ, но и за их пределами.

Наличие отмеченных внешних связей обуславливает необходимость упорядоченного использования указанных внегородских территорий в интересах города. С этой целью вокруг городов устанавливаются зеленые зоны, а для крупных городов также проектируются пригородные зоны [10].

К настоящему времени наработаны определенные планировочные механизмы выделения указанных зон, основанные на анализе хозяйственных связей пригородных территорий с городом и их оздоровительного влияния на его воздушный бассейн [4, 5, 12]. Вместе с тем они должны постоянно совершенствоваться, что обусловлено двумя основными причинами. Во-первых, город растет, увеличивается его площадь и количество проживающего населения, что приводит к последовательному расширению территорий, имеющих с ним экологические связи. Во-вторых, меняются потребности города, в соответствии с которыми возникают новые требования кенным территориям.

Спецификой современного этапа городского развития является его перевод на модель устойчивого развития. Данная модель ориентирована, прежде всего, на повышение качества городской среды; и поскольку в его формировании участвуют территории, расположенные вне города, то и в их пределах также необходимо внедрять режимы природопользования, отвечающие экологическим интересам города.

При определении размеров указанных территорий можно исходить из того, что у города, как и у любого иного объекта, объективно существуют внешние экологические границы. Между

тем вопросы их выделения проработаны недостаточно, что обусловило актуальность выполненного исследования.

Целью в данном случае выступила разработка географических подходов к выделению внешних экологических границ города. Для ее достижения решались задачи по выявлению их особенностей, обоснованию критериев выделения наиболее значимых экологических границ, их определения на примере конкретного города (Минска).

**Особенности внешних экологических границ города.** Для определения экологических границ города следует принимать во внимание двоякий характер его связей с окружающими территориями, когда город выступает и как объект, испытывающий внешние воздействия, и как источник внешних воздействий. В данном случае под экологическими границами города будем понимать границы территории, которая оказывает влияние на состояние окружающей среды города, а также территории, в пределах которой окружающая среда подвергается воздействиям с его стороны.

Экологические границы города формируются его вещественно-энергетическими связями с внешними территориями. Поскольку город располагается в определенном месте биосферы, то он вовлекается в систему присущих ей взаимосвязей, осуществляемых по различным естественным каналам – воздушным, водным, биологическим, а также по техногенному каналу.

В соответствии с каждым из каналов, по которым осуществляются связи города с внешними территориями, формируются его частные экологические границы. При выделении этих границ нужно опираться на определенные географические модели организации пространства. По отношению к воздушному каналу подобного рода моделью выступит роза ветров, водному (поверхностные воды) – водосборный бассейн, биологическому – экологический ареал вида (для города – преимущественно птицы), техногенному – экономические связи города.

Из приведенных моделей только модель водосборного бассейна имеет границы, которые можно обозначить линией. С некоторой долей

условности могут быть оконтурены также границы ареалов городских животных, включая их миграционные пути.

Более сложным является определение экологических границ города по воздушным и техногенным потокам. Использование в первом случае модели розы ветров покажет преимущественные направления, откуда осуществляется поступления в город чистого воздуха и возможных загрязняющих веществ, а также их вынос за его пределы. Однако она, в отличие от, например, модели водосбора, не дает возможности зафиксировать границы территории, из которой и на которую этот перенос осуществляется.

У воздушных потоков вообще не существует границ. Их перемещение носит глобальный характер. Очевидно, и у города подобного рода границы также размыты. Соответственно качество городского воздушного бассейна в определенной мере будет зависеть от регионального и глобального загрязнения атмосферы, и, наоборот, город будет вносить вклад в такое региональное и глобальное загрязнение.

Вместе с тем размытость экологических границ города по воздушному каналу связей во все не означает, что всякое их выделение не имеет смысла. Воздушные потоки относятся к числу основных факторов формирования городской среды, и существуют некоторые внешние по отношению к городу территории, которые способны оказывать наиболее существенное влияние на его атмосферный воздух, а также находиться под влиянием с его стороны. Внешние контуры данных территорий и следует определить как условные экологические границы города по рассматриваемому каналу связей.

Еще выше степень неопределенности в отношении выделения экологических границ города по техногенным потокам. В качестве таких рассматривается перемещение вещества и энергии, осуществляющееся с помощью технических средств. С этими потоками в город поступают природные и энергетические ресурсы, сырье, промышленные и продовольственные товары. В большинстве своем они могут быть произведены в любом месте, так же, как продукция, выпускаемая в городе, способна попасть в любую точку земного пространства.

Установить территории, откуда в город поступает продукция с экологически неблагоприятными или неопределенными свойствами (например, произведенная с использованием генетически модифицированных организмов), по-видимому, можно. Однако вряд ли стоит проводить по этим территориям внешнюю экологическую границу города, поскольку их связь с ним не является жесткофиксированной. Поступление в город необходимой ему продукции не обязательно должно осуществляться именно с указанных территорий. В данном отношении у города име-

ется выбор, получить ее можно и с других мест, где она не является экологически вредной.

Более оправданным представляется определить внешнюю экологическую границу города по техногенным потокам, совпадающей с государственной границей. Именно в пределах государства формируется соответствующая экологическая политика, устанавливаются экологические нормы на производимую или экспортируемую продукцию. От норм и от того, как они соблюдаются, будет зависеть состояние окружающей среды любых находящихся на его территории природных и природно-техногенных объектов, в том числе города. Поэтому граница государства может рассматриваться как своеобразная внешняя экологическая граница города.

Отмеченное выделение внешней экологической границы города имеет конструктивное значение. В нем отражается тот факт, что для улучшения окружающей среды в некоторых случаях необходимо принятие экологически ориентированных мер (законов, стандартов, программ и др.) на уровне государства.

Применительно к техногенным потокам, наряду с границей государства, в качестве внешней экологической границы города целесообразно выделять также пределы территорий, которые представляют особую опасность для городской среды. Источниками такой опасности являются транспортные коммуникации – железнодорожные и автомобильные магистрали, а также газо-, нефте-, и продуктопроводы, по которым перемещаются вредные для окружающей среды вещества. На них могут возникать аварийные ситуации с поступлением этих веществ в окружающую среду.

При установлении внешних границ транспортных коммуникаций, откуда возможно загрязнение окружающей среды города, следует учитывать не только вероятность их поступления на собственно городскую территорию, но и попадания на объекты, обеспечивающие жизнедеятельность города – водозаборы, зоны отдыха. Данные объекты вместе с их водосборными бассейнами, очевидно, также должны быть включены в вышеупомянутые границы.

Общую (интегральную) экологическую границу можно представить как совокупность частных границ. Поскольку вещественно-энергетические связи города по различным каналам будут пространственно неодинаковы, то эти границы территориально не должны совпадать. В большинстве своем они будут носить размытый характер, в силу чего их целесообразно выделять на нескольких территориальных уровнях.

Первый из этих уровней (глобальный) будет охватывать всю биосферу; второй (региональный) – зоны трансграничного переноса связанных с городом воздушных масс, водосборные бассейны крупных рек, пути миграции обитающих

в городе перелетных птиц; *третий* (национальный) – границы государства; *четвертый* (местный) – территорию, оказывающую наиболее сильное влияние на окружающую среду города и подвергающуюся таковому с его стороны.

**Выделение наиболее значимых внешних экологических границ города.** Наличие отмеченных территориальных уровней внешней экологической границы города свидетельствует о том, что, разрабатывая обоснование его экологической оптимизации для устойчивого развития, следует учитывать экологические условия связанных с ним территорий на всех уровнях. Вместе с тем первоочередное внимание, очевидно, должно быть уделено территориям, имеющим с городом наиболее тесные экологические связи. При определении их границ нужно ориентироваться, прежде всего, на связи по воздушным и водным потокам, поскольку именно они в значительной степени формируют экологические условия проживания людей.

Для определения подобного рода границ по воздушному каналу можно воспользоваться уже наработанными и применяемыми в проектировании подходами к установлению зеленых зон городов. К последним относятся земли за пределами городской черты, занятые лесами, лесопарками и озеленительными насаждениями, выполняющими защитные и санитарно-гигиенические функции и являющимися местом отдыха населения [8].

Зеленые зоны городов выделяются на землях государственного лесного фонда, с учетом площадей зон санитарной охраны источников водоснабжения, округов санитарной охраны курортов, защитных полос вдоль железных и автомобильных дорог, а также запретных полос леса, защищающих нерестилища ценных промысловых рыб, особо ценных лесных массивов, противоэрозионных лесов, лесоплодовых насаждений и лесоохраннопромысловых зон [7]. При определении их размеров используются нормативные удельные показатели обеспеченности ими городских жителей.

Указанные показатели рассчитываются в гектарах на 1000 человек и являются различными в зависимости от природной зоны, где размещается город, его величины и лесистости прилегающей к нему территории. Чем больше город и выше лесистость пригородной территории, тем выше численное значение показателя. Например, в зоне смешанных лесов, к которой относится Беларусь, для городов с населением в диапазоне 500 тыс. – 1 млн и лесистостью пригородной территории свыше 25 % он составляет 200 га/1000 чел.; для городов с населением до 12 тыс. чел. – 55 га/1000 чел. Допускается увеличение или уменьшение размеров зеленых зон в зависимости от конкретных санитарных и климатических условий, но не более чем на 15 %.

Зеленые зоны предписывается делить по целевому назначению на две части: лесопарковую и лесохозяйственную. Лесопарковая часть выделяется из лесов с эстетически ценными ландшафтами. Обычно она образует внутренний пояс зеленой зоны.

Для крупнейших городов с населением свыше 1 млн чел. зеленые зоны рекомендуется устанавливать по отдельным проектам. При определении их размеров учитываются общие для всех городов критерии. Кроме того, принимается во внимание также баланс кислорода. На территории самого города этот баланс отрицательный [5]. Соответственно кислород поступает в его пределы извне с воздушными потоками. Окружающие город территории, которые компенсируют потраченный им кислород, включаются в его зеленую зону.

В продуцировании кислорода, потребляемого городом, очевидно, принимают участие не только прилегающие к нему, но и более удаленные территории. Вместе с тем можно полагать, что роль первых более значима, в силу их пространственной близости к городу. Подобным образом будет изменяться и значимость размещения источников загрязнения атмосферного воздуха. Чем ближе они находятся к городу, тем большую опасность загрязнения его воздушного бассейна представляют. Поскольку по обоим отмеченным факторам формирования качества атмосферного воздуха города (поступление кислорода и загрязняющих веществ) более значимой является прилегающая к городу территория, которая образует зеленую зону города, то ее и можно рассматривать в качестве внешней экологической границы по воздушному каналу.

Для крупных городов зеленые зоны устанавливаются в радиусе нескольких десятков километров от них. В среднем расход кислорода миллионным городом может быть восполнен за счет его регенерации открытыми пространствами на площади 15–20 тыс. км<sup>2</sup> [5]. Такая площадь означает, что радиус необходимой для этого территории, окружающей город, должен составить 70–80 км.

Примерно в указанных размерах была определена зеленая зона г. Минска в 1976 г., когда численность населения города превысила 1 млн чел. Ее радиус составил 50–80 км. Для отдельных городов с населением несколько миллионов человек (Москва, Санкт-Петербург, Киев) в состав зеленых зон включались все лесные площади их административных областей [2].

Наиболее значимые внешние экологические границы города по водному каналу нужно выделять с учетом размеров основной реки, на которой он стоит, а также принимать во внимание наличие, размещение и использование в его интересах иных водных объектов, которые размещаются в пригородной и зеленой зонах. У го-

родов, расположенных на крупных реках, выше лежащий водосборный бассейн может распространяться на очень большую площадь и захватывать территории в других странах. В этом случае их внешние экологические границы будут относиться к региональному уровню.

Вместе с тем вряд ли следует рассматривать всю территорию указанных водосборных бассейнов как особо значимую для города. Реки обладают разбавляющей способностью, и чем они крупнее, тем она выше. Кроме того, в них идут процессы самоочищения, вследствие чего загрязняющие вещества, которые попадают в реки на большом удалении от города, ниже по течению могут быть нейтрализованы. Поэтому внутри водосборной границы регионального уровня целесообразно выделить границу местного уровня, которая охватывала бы наиболее существенную для города часть водосборного бассейна.

В качестве ориентира для установления размеров указанной части водосборного бассейна основной реки выше города можно использовать границы его зеленой зоны или построенного на данной реке водохранилища. В данном случае к особо значимой для экологического состояния городских вод территории будет отнесена территория, расположенная на относительно небольшом удалении от города. Поступление в реку загрязняющих веществ именно с ее пределов представит наибольшую угрозу загрязнения речного участка в городской черте.

Для удаленных от города частей рек важно учитывать их водный режим и связанную с ним опасность наводнений и иных неблагоприятных явлений, а также наличие на их водосборных территориях крупных объектов, содержащих загрязняющие вещества, которые способны при аварийной ситуации достичь пределов расположенного ниже по течению города.

Ниже города экологические границы города по водному каналу распространяются на ту часть реки, в которой будет фиксироваться его загрязняющее влияние, а наиболее значимые границы – на ее участок, где это влияние будет особенно ощутимым. Критерием такого влияния можно принять, например, превышение ПДК или качественные изменения речной экосистемы.

Для остальных (помимо основной реки) водоемов зеленой зоны, которые используются для водоснабжения города и отдыха городского населения, экологическими границами следует принять границы их водосборных бассейнов. Эти границы совместно с границами местного уровня по основной реке составят общие наиболее значимые внешние экологические границы города по водному каналу связей.

Для городов, которые расположены на относительно небольших реках, в состав подобного

рода границ следует включать их водосборные бассейны не частично, а полностью. Эти реки обладают низкой устойчивостью к внешним воздействиям, и качество их вод в пределах города будет зависеть от экологического состояния всей водосборной территории.

Объединенную внешнюю экологическую границу города по его наиболее значимым экологическим связям, таким образом, должны составить границы его зеленой зоны, водосборного бассейна (или его части) основной реки, а также водосборных бассейнов рек и иных водоемов, расположенных в зеленой зоне и используемых для нужд города.

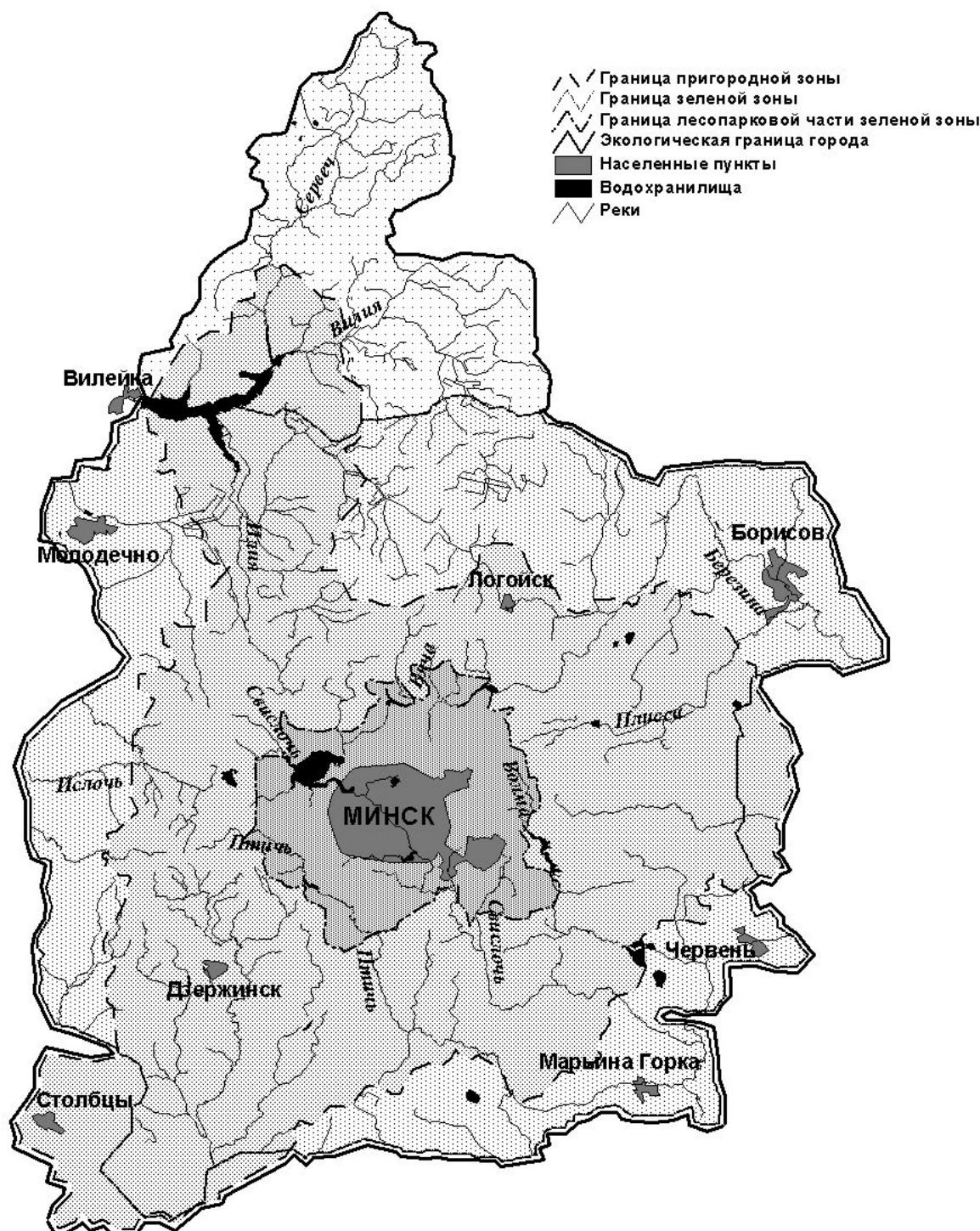
**Выделение наиболее значимой внешней экологической границы г. Минска.** Минск – город с населением 1834,2 тыс. чел. (на 1 января 2010 г.). Для таких городов должна проектироваться пригородная зона, а также устанавливаться зеленая зона по индивидуальному проекту.

Современные границы пригородной зоны г. Минска выделены БелНИИП градостроительства при разработке схемы ее планировки в 2006 г. [3]. Они увеличены по сравнению с границами, установленными в 1976 г. НИИ «Минскпроект».

Пригородная зона расположена в радиусе 40–60 км от границ города. К ней также добавлены два более удаленных ареала с рекреационными территориями в районе Вилейского водохранилища и на р. Неман (район г. Столбцы) (рисунок). Радиус зеленой зоны составляет около 60 км от границ города. Внутри нее выделена лесопарковая часть на удалении 10–20 км от него. В пределы зеленой и пригородной зон вошли в том числе объекты, предъявляющие повышенные требования к качеству окружающей среды – места пригородного отдыха населения, а также водозаборы г. Минска с зонами их санитарной охраны.

Для обеспечения экологических интересов города важно определить, как соотносятся границы установленных пригородной и зеленой зон с его экологическими границами. Согласно приведенным подходам к выделению последних, по воздушному каналу связей они могут совпадать.

В рассматриваемом случае подобное совпадение, по-видимому, можно считать допустимым. Зеленая зона установлена как ареал, который распространяется на относительно одинаковое расстояние от города. В соответствии с розой ветров, в Минске преобладает западный перенос воздушных масс [11]. Остальные направления также представлены, но в меньшей мере. Поэтому в формировании качества атмосферного воздуха города более существенное значение будут иметь воздушные потоки западного направления, а его загрязняющее влияние прослеживаться в восточном направлении.



#### Границы пригородной и зеленой зон и внешняя экологическая граница г. Минска

Вместе с тем увеличение установленной для города зеленой зоны в широтном направлении не представляется обязательным, поскольку ее размерами не ограничивается территория, откуда в город поступает кислород. Природные комплексы, оказывающие оздоровительное влияние на городской воздушный бассейн, могут

располагаться и вне пределов зеленой зоны. По отношению к Минску к таковым можно отнести, например, крупный лесной массив Налибокская пуща, расположенный за пределами зеленой зоны в западном направлении. Он имеет охраняемый статус, на его базе создан ландшафтный заказник «Налибокский». Тем самым гарантиро-

вано выполнение им экологических функций, в том числе функции оздоровления атмосферного воздуха Минска, без отнесения заказника к зеленой зоне города.

По водному каналу связей внешняя экологическая граница города определяется, исходя из величины основной реки и размещения водохранилищ, важных для обеспечения жизнедеятельности города водоемов. Такое их размещение для Минска имеет свою специфику, обусловленную геоморфологическими условиями города и прилегающей к нему территории. Заключается она в том, что они большей частью располагаются на Минской возвышенности, по которой проходит линия водораздела Балтийского и Черного морей. Поэтому здесь отсутствуют озера, а протекающие реки относятся к категории малых.

На указанных реках для обеспечения рекреационных потребностей города построены водохранилища [15], и поскольку все эти реки малые, то и водохранилища созданных на них водохранилищ имеют относительно небольшие площади и не выходят за пределы зеленой зоны. Исключение составляют водохранилища Вилейско-Минской водной системы, для которых водоемом-донором выступает Вилейское водохранилище, удаленное от города на 60 км.

Водохранилища вышеупомянутой водной системы – Заславское, Криница, Дрозды – играют ключевую роль в организации отдыха населения г. Минска. На их долю приходится примерно 2/3 от общего числа отдыхающих в лесопарковом поясе. Местом отдыха жителей Минска выступает и само Вилейское водохранилище с его прибрежной территорией. Кроме того, водные ресурсы Вилейско-Минской водной системы используются для водоснабжения города и формируют большую часть стока р. Свислочи, а также водную массу водоемов созданного в городе водно-зеленого кольца. Поэтому обеспечение ихенного качества выступает как обязательное условие его устойчивого развития.

Реки Вилия и Сервечь, образующие Вилейское водохранилище, не относятся к крупным. Их длина до впадения в него не превышает 100 км. Соответственно и площадь водосборного бассейна водохранилища также является относительно небольшой, она составляет  $4120 \text{ км}^2$  [1]. Водосборный бассейн такого размера должен

полностью войти в состав экологически наиболее значимой для города территории, а его водораздельная линия выступить в качестве внешней экологической границы города по водным связям.

Указанная граница покажет размеры территории, которая способна оказывать влияние на водные ресурсы значимых для города водоемов. Аналогичную границу следует определить по загрязняющему воздействию города на поверхностные воды. Приемником поступающих загрязняющих веществ выступает р. Свислочь и ее пойма, на которой они могут осаждаться во время разливов реки. В пойменных почвах здесь фиксировались превышения ПДК [6].

Загрязняющее воздействие города на р. Свислочь в максимальной мере прослеживается на участке от пункта ниже городских очистных сооружений до д. Пуховичи (60 км) [13]. Далее, ниже по течению, на удалении около 90 км от города на ней построено Осиповичское водохранилище. Оно, хоть и в меньшей степени, но также продолжает испытывать отмеченное загрязняющее воздействие; на протяжении длительного времени ситуация с качеством воды в нем остается неблагополучной [14].

Водохранилища обычно выступают барьером для загрязняющих веществ. Однако Осиповичское водохранилище не задерживает их полностью. Высокие концентрации некоторых веществ отмечаются в р. Свислочи и ниже него [9]. Заметное снижение загрязнения речных вод наблюдается только после впадения данной реки в р. Березину. Поэтому р. Свислочь с прилегающей к ней поймой на всем ее протяжении следует отнести к территории, испытывающей наиболее тесные экологические связи с городом и обозначить его внешнюю экологическую границу в месте ее впадения в р. Березину.

В итоге общая внешняя наиболее значимая экологическая граница г. Минска, выделенная по воздушному и водному каналам, будет охватывать большую по размеру территорию, нежели установленные для него пригородная и зеленая зоны. Поэтому для обеспечения экологических интересов города недостаточно ограничиться природоохранными мерами только в пределах данных зон, они должны распространяться на всю территорию внутри его внешней экологической границы.

## Литература

1. Блакітны скарб Беларусі: Рэкі, азёры, вадасховічы, турысцкі патэнцыял водных аб'ектаў. Мінск, 2007.
2. Бойко В. Н., Русецкая Г. И. Формирование зеленой зоны Минска: Тез. докл. Респ. научно-техн. конф. «Формирование и охрана ландшафта». Минск, 1972. С. 91–92.
3. Бутримович Т. Схема планировки пригородной зоны города Минска // Архитектура и строительство. 2008. № 11. С. 12–20.

4. Вергунов А. П. Зеленый пояс крупных городов. М., 1968.
5. Владимиров В. В., Микулина Е. М., Яргина З. Н. Город и ландшафт. М., 1986.
6. Головатый С. Е., Савченко С. В., Савченко В. В., Волкова Н. Д. Тяжелые металлы в почвах и растениях в зоне воздействия г. Минска // Природные ресурсы. 2002. № 2. С. 80–87.
7. ГОСТ 17.5.3.01-78. Охрана природы. Земли. Состав и размер зеленых зон городов.
8. ГОСТ 26640-85. Земли. Термины и определения.
9. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2008. Минск, 2009.
10. Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Беларусь: Закон Республики Беларусь, 5 июля 2004 г. № 300-З; в ред. Закона Республики Беларусь от 20 июля 2006 г. № 162-З // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2006 г., № 122, 2/1259.
11. Природа Белоруссии: Популярная энциклопедия / БелСЭ. Редкол.: И. П. Шамякин (гл. ред.) и др. Минск, 1986.
12. СНБ 3.01.04-02. Градостроительство, планировка и застройка населенных пунктов.
13. Состояние природной среды Беларуси. Экологический бюллетень 2008 г. / Под общ. ред. акад. В. Ф. Логинова. Минск, 2009.
14. Состояние природной среды Беларуси. Экологический бюллетень 2009 г. / Под общ. ред. акад. В. Ф. Логинова. Минск, 2010.
15. Струк М. И. Региональные особенности оптимизации окружающей среды Беларуси. Минск, 2007.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

**M. I. Струк, С. Г. Живнач**

### **ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВЫДЕЛЕНИЮ ВНЕШНИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ГРАНИЦ ГОРОДА**

*В основу выделения внешних экологических границ города положен анализ взаимосвязей города с окружающими территориями по воздушным, водным, биологическим и техногенным потокам с использованием различных географических моделей организации пространства – розы ветров, водосборного бассейна, экологического ареала биологического вида, экономических связей. Установлено наличие у города как четко фиксированных, так и размытых экологических границ; выполнена их группировка по территориальному охвату на границы глобального, регионального, национального и местного уровней.*

*Определены критерии выделения границ местного уровня, исходя из размеров территории, оказывающей на город наиболее значимое экологическое влияние и испытывающей такое же с его стороны. Выделены наиболее значимые внешние экологические границы г. Минска, которые охватывают территорию большую по размеру, чем его пригородная и зеленая зоны.*

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

### **GEOGRAPHICAL APPROACHES TO SINGLE OUT EXTERNAL ECOLOGICAL BORDERS OF A CITY**

*As a basis to single out external ecological borders of a city the analysis of interrelations of the city with surrounding territories on air, water, biological and technogenic flows with the use of various geographical models of space organization – wind roses, a water-catchments basin, an ecological area of a biological kind, economic relations has been taken. A city was found to have both accurately fixed and dim ecological borders; their grouping on territorial coverage on borders of global, regional, national and local levels has been carried out.*

*Criteria to single out borders of local level, regarding the sizes of the territory, making on a city the most significant ecological impact and experiencing the same from its part have been defined. The most significant external ecological borders of Minsk city which cover a territory of larger size, than its suburban and green zones have been singled out.*

**А. П. Гусев, С. В. Андрушко**

**ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АНТРОПОГЕННОЙ ЭВОЛЮЦИИ  
ГЕОСИСТЕМ ЛОКАЛЬНОГО УРОВНЯ (НА ПРИМЕРЕ ИЗМЕНЕНИЙ  
ПОЙМЫ В ЧЕРТЕ г. ГОМЕЛЯ В XIX–XXI вв.)**

*Рассмотрены результаты ландшафтно-экологического анализа антропогенной эволюции геосистем пойменного ландшафта в черте г. Гомеля. Выполнен анализ структуры землепользования, застройки и техногенной трансформации морфолитогенной основы на трех временных срезах, отражающих антропогенные преобразования в течение XIX–XXI вв. Установлено, что на 1/3 части территории района ландшафт претерпел необратимые эволюционные изменения, обусловленные преобразованием морфолитогенной основы обусловлена, прежде всего, строительством, а также дноуглубительными и карьерными работами.*

История землепользования и связанных с ним изменений структуры, функционирования, динамики и эволюции геосистем является одной из приоритетных направлений ландшафтной экологии. В настоящей работе объектом ландшафтно-экологического анализа являются природные и природно-антропогенные геосистемы, предметом – их необратимые (эволюционные) изменения, прямо или косвенно обусловленные человеческой деятельностью, и их экологические последствия.

Эволюция геосистемы рассматривается как смена ее инварианта, под которым чаще всего понимается морфолитогенная основа и макроклимат. При относительной стабильности макроклимата на локальном уровне необратимая трансформация природных геосистем, направленная смена одних природно-антропогенных геосистем другими обусловлены изменениями морфолитогенной основы – рельефа и грунтов. Эти изменения связаны как с прямым техногенным воздействием (строительство, разработка месторождений полезных ископаемых и т. д.), так и с геолого-геоморфологическими процессами, спровоцированными деятельностью человека (оползни, эрозия, суффозия, карст и т. д.). Исходя из вышеизложенного диагностическим критерием эволюционных (т. е. необратимых) изменений геосистем может служить степень нарушенности (преобразованности) морфолитогенной основы. Трансформация морфолитогенной основы, в свою очередь, воздействует на ход экологических процессов, на геэкологическую ситуацию в целом [2, 3].

Как необратимое изменение геосистемы следует также рассматривать любую застройку территории (в том числе застройку без существенного преобразования природного рельефа или грунтов). Застройка представляет собой совокупность рельефоподобных морфообразований или рельефоидов [6].

Показателями техногенной преобразованности геосистем выступают: 1) характеристики трансформации рельефа (площадь техногенных форм рельефа, величина техногенного вертикального расчленения – сумма максимальной высоты техногенных форм и глубины фундаментов); 2) характеристики застройки (площадь, этажность, застроенность); 3) характеристики современных геологических процессов (спектр экзогенных геологических процессов, коэффициент пораженности территории геологическими процессами); 4) характеристики техногенных грунтов (средняя и максимальная мощность, площадь распространения, свойства – токсичность, каменистость, агрессивность); 5) характеристики трансформации гидросети.

Целью наших исследований являлось изучение процессов антропогенной трансформации пойменных геосистем на территории г. Гомеля с использованием ландшафтно-экологического подхода. Район исследований представляет собой пойму реки Сож в пределах современной черты города. Общая площадь района составляет 51,8 км<sup>2</sup>. Большая часть района – пойменный ландшафт (85%), местами локально – участки надпойменных террас (15%). Абсолютные отметки рельефа поймы составляют 115–120 м; надпойменных террас – 120–125 м. Литогенная основа представлена современными аллювиальными и болотными отложениями (пески, суглинки, торф). По классификации ландшафтов Беларуси объект исследований относится к пойменным ландшафтам, плоскогравистым, со злаковыми гидромезофитными и крупнозлаковыми мезогидрофитными лугами, дубравами на дерново-глеевых и глеевых почвах, низинными разнотравно-злаковыми осоковыми болотами и черноольховыми травяно-осоковыми лесами на торфяно-болотных почвах [4].

Изучение геосистем поймы проводилось с помощью сравнения структуры в трех временных

срезах: 1838-го, 1947-го, 2005-го г. Использованы: карта окрестностей местечка Гомель (1838), аэрофотоснимки (1947), космоснимки компании *DigitalGlobe* (2005), а также топографические карты (масштаб 1:100 000 и 1:10 000). Современное состояние уточнялось на основе маршрутных наблюдений.

Для оценки антропогенных изменений изучаемых геосистем использовались ландшафтно-экологические индексы:  $K_c$  – коэффициент экологической стабильности [1],  $M$  – индекс хемеробности [7].

Коэффициент экологической стабильности рассчитывался по формуле

$$K_c = \sum s_i \cdot k_i \cdot g,$$

где  $s_i$  – удельная площадь вида землепользования;  $k_i$  – экологическая значимость этого вида землепользования (частный коэффициент стабильности);  $g$  – коэффициент геолого-геоморфологической устойчивости рельефа [1].

Стабильность ландшафта оценивают по следующей шкале:  $K_c$  менее 0,33 – очень низкая;  $K_c = 0,34–50$  – низкая;  $K_c = 0,51–0,66$  – средняя;  $K_c = 0,67–1$  – высокая. В случае отрицательного значения  $K_c$  данная геосистема рассматривается как источник нестабильности более крупных территорий.

Степень хемеробности – это интегральная мера воздействия всех антропогенных факторов на экосистемы. Индекс хемеробности оценивает степень антропогенной трансформации ландшафта и рассчитывался по формуле:

$$M = 100 \cdot \sum (S_h/m) \cdot h,$$

где  $S_h$  – удельная площадь ареала со степенью хемеробности  $h$ ;  $m$  – число степеней хемеробности;  $h$  – степень хемеробности [7].

Оценка техногенной трансформации морфолитогенной основы выполнялась с помощью

ряда показателей: площади техногенных форм рельефа, площади застройки, величины техногенного вертикального расчленения рельефа.

Картографический материал представлялся в виде набора карт для трех временных срезов (природно-ландшафтная карта, карта структуры землепользования, карта трансформации морфолитогенной основы), выполненных с использованием программного пакета *ArcView 3.2a*. Расчет площадных показателей осуществлялся на основе модуля *Spatial Analyst 2.0a*.

Антропогенное преобразование геосистем модельного района предположительно началось с момента образования г. Гомеля (Гомия), расположенного в непосредственной близости к модельному району (около 2 км). В XI в. нашей эры Гомий являлся наиболее крупным поселением городского типа в Нижнем Посожье, цитадель и окружающие посады которого занимали 10–15 га. К XIII в. численность населения составила 5,5–6,5 тысяч жителей [5]. Анализ наиболее раннего картографического материала (Генеральный план Белицкого уезда 1783 г.) показал, что территория района в конце XVIII в. представляла собой ландшафт, характеризующийся преобладанием луговых экосистем, в пределах которого располагался ряд населенных пунктов – местечко Гомель, окружавшие его села (Волотова, Прудок, Любны, Давыдовка-Мильча) и монастыри.

В 1838 г. на территории района были широко распространены луговые экосистемы, эксплуатируемые как пастбища и сенокосы (табл. 1). Антропогенная нагрузка обусловливалась расположенным здесь населенными пунктами – местечко Гомель (жителей 13,7 тыс. в 1858 г.), деревни Якубовка, Плесы, Старая Волотова, Осовцы, Любны, Прудок. Застроенные и обрабатываемые земли преимущественно размещались на надпойменных террасах.

**Таблица 1. Изменение структуры землепользования (удельная площадь, %)**

	1838 г.	1947 г.	2005 г.
Водные объекты	10,0	11,1	18,8
Болота	8,2	5,9	1,5
Луга, кустарники	68,6	56,4	43,9
Леса	1,2	2,3	6,8
Пашня	10,8	18,2	10,6
Застройка	1,2	6,1	18,4

К середине XX в. (население города в это время составляло уже 168,3 тыс. жителей) произошло увеличение площади застройки (в 5,1 раза) и обрабатываемых земель (в 1,7 раза). Несколько увеличилась удельная площадь лесов и водных объектов (в 1,9 и 1,1 раза соответственно). Уменьшились удельные площади лугов (в 1,2 раза) и болот (в 1,4 раза).

К 2005 г. по сравнению с 1838 г. произошли значительные изменения в структуре землепользования: увеличилась удельная площадь водных объектов (в 1,9 раза); уменьшилась доля болотных экосистем (в 5,5 раза); уменьшилась доля луговых экосистем (в 2 раза); увеличилась площадь застройки (в 15,3 раза). Благодаря искусст-

венному озеленению возросла площадь древесных насаждений (в 5,7 раза).

Изменения структуры землепользования в пойменном ландшафте отличаются от таковых на территории надпойменных террас (табл. 2). Для надпойменных террас характерна значительная трансформация структуры землепользования характерна. Если в 1838 г. и 1947 г. они

представляли собой сельскохозяйственные экосистемы (пахотные и сенокосные угодья), то к 2005 г. большая часть их площади была застроена. По сравнению с 1838 г. площадь застройки увеличилась в 8,7 раза, площадь пахотных земель и лугов сократилась – в 3,1 и 7,6 раза соответственно. Уменьшилась также удельная площадь лесных экосистем (в 2,2 раза).

**Таблица 2. Сравнительная характеристика изменений структуры землепользования в пойменном и аллювиальном террасированном ландшафтах**

Вид землепользования	Пойменный ландшафт			Надпойменные террасы		
	1838 г.	1947 г.	2005 г.	1838 г.	1947 г.	2005 г.
Водные объекты	11,2	13,1	21,5	0	0	4,4
Болота	9,2	6,9	1,8	0	0	0
Луга, кустарники	75,4	64,1	49,6	13,7	15,7	13,5
Леса	0	2,5	7,1	11,1	1,5	5,1
Пашня	3,6	9,8	8,5	68,9	66,5	22,1
Застройка	0,6	3,6	11,1	6,3	16,3	55,0

Для пойменного ландшафта характерны менее существенные изменения. За период 1838–2005 гг. увеличилась удельная площадь водных объектов (в 1,9 раза, за счет углубления и спрямления русла реки Сож, создания искусственных заливов и т. д.), уменьшилась удельная площадь болот (в 5,1 раза), увеличилась площадь лесов. Создание намывных массивов позволило осуществлять застройку пойменного ландшафта, в результате чего площадь застроенных земель возросла в 18,5 раза (табл. 2).

Преобразование морфолитогенной основы ландшафтов началось во второй половине XX в. Так, в 1947 г. техногенные формы рельефа вместе с застройкой занимали лишь 6,5 % территории; причем массивы техногенных грунтов – 1,2 %; застроенные земли – 5,3 % (табл. 3).

В 2005 г. техногенные формы рельефа занимали более 20 % площади, а застройка без существенного изменения морфолитогенной основы – более 13 % площади (т. е. в сумме более 35 % территории претерпело необратимые изменения). Причем в пределах надпойменных террас техногенные формы рельефа занимают 44,3 % площади; в пойменном ландшафте – 20,1 %.

В общей структуре техногенных форм рельефа (без учета изменений водных объектов) преобладают массивы техногенных грунтов (60,8 % от общей площади техногенных форм), имеющие мощность 1–7 м. На застроенные земли приходится 34,4 %; на карьеры – 4,8 %.

**Таблица 3. Изменения показателей антропогенной трансформации**

Показатель	1838 г.	1947 г.	2005 г.
Площадь техногенных грунтов, %	0	1,2	14,6
Площадь отрицательных техногенных форм рельефа, %	0	0	10,2
Площадь положительных техногенных форм рельефа, %	0	1,2	12,1
Общая площадь техногенных форм рельефа, %	0	1,2	22,3
Застройка без существенного изменения морфолитогенной основы, %	1,2	5,3	13,3
Площадь, выведенная из пойменного режима, %	0	0,6	11,5
Коэффициент экологической стабильности	0,549	0,425	0,262
Индекс хемеробности	43,6	47,9	53,7

Значительная трансформация морфолитогенной основы обусловлена, прежде всего, строительством, а также дноуглубительными и карьерными работами. Для целей городского строительства в 1980–1990-х гг. были созданы намывные массивы, захоронившие исходные пойменные геосистемы в северо-восточной и юго-западной частях модельного района. Техно-

генными грунтами засыпаны овражные системы, созданные малыми реками и временными водотоками (Мильчанская канава в районе микрорайона «Давыдовка», овраг в районе ул. Братьев Лизюковых, овраг в районе ул. Жукова). Сооружена система водоемов рекреационного назначения (Волотовской пруд, Гребной канал, залив Дедно). Значительным изменениям за счет

спрямления и углубления подверглось русло реки Сож. За счет его расширения площадь Сожа за период 1947–2005 гг. на территории района увеличилась в 1,4 раза. Кардинальным образом изменена конфигурация и размеры ряда старичных озер (Дедно, Любенское и др.). В ряде мест поймы велась разработка месторождений строительных песков, торфа.

Техногенные преобразования вызвали активизацию экзогенных геологических процессов: эоловых (в пределах песчаных намывных массивов, с крайне разреженным растительным покровом) и водно-эррозионных (развитие промоин по бортам дорожных насыпей, земляных дамб, рекультивированным склонам карьеров). В ряде искусственных и естественных водоемов наблюдается интенсивная эвтрофизация (озеро-отстойник Дедно, озеро Малое – на северо-восточном участке; залив в районе населенных пунктов Севруки и Поляна).

Наибольшая степень трансформации характерна для северо-восточной части района (правобережье Сожа). Здесь в последней четверти XX в., когда началось коренное техногенное преобразование геосистемы притеррасной поймы, вызванное намывом песков, а также была создана системы искусственных прудов (общая площадь около 30 га), в том числе Волотовского пруда, и каналов. Намывные пески, имеющие мощность 1–6 м, распространились более чем на 45 % изучаемого участка. Поверхность поднялась до отметок 122–126 м. Территория перестала испытывать периодическое затопление паводковыми водами р. Сож, вышла из пойменного режима.

В 80-е гг. XX в. центр намывного массива начал застраиваться (в этом период построены микрорайоны № 11, 12, 13); в северной части участка на месте системы каналов было создано «У-образное» озеро; техногенными отложениями было засыпано более 75 % площади пойменного ландшафта.

В первое десятилетие XXI в. удельная площадь застройки достигла свыше 35 % (микрорайоны № 17, 18, 19, 20, 21). Этажность зданий здесь составляет – 5–18 этажа; величина техногенного вертикального расчленения рельефа – 20–65 м. На незастроенной части территории в ходе сукцессионных процессов сформировались рудерально-луговые и рудерально-болотные фитоценозы (около 40 % площади). Локально отмечаются также участки развеянных песков (около 10 % площади), которые, несмотря на прошедшие 20 лет, имеют крайне разреженный растительный покров (общееективное покрытие растительности – менее 30 %).

В районе озера Любенское во второй половине XX века была застроена надпойменная терраса (жилая многоэтажная застройка). Этаж-

ность зданий здесь составляет – 5–16 этажей, а величина техногенного вертикального расчленения 20–55 м. Радикальным образом перепланирована пойма: озеро Любенское расширено и протокой соединено с искусственным заливом реки Сож (созданная гидросистема в 2,2 раза больше исходного озера). Для строительства обездной трассы и моста через реку создана насыпь (высота – 3–4 м; ширина – до 100 м), пересекающая поперек всю пойму. В районе урошиц Шведская Горка и Ракова Лоза в результате добычи песка созданы искусственные заливы (на северном и южном берегах реки Сож), занимающие более 170 га площади.

Значительные изменения произошли в пределах надпойменной террасы на юго-западе изучаемого района. В конце XX – начале XXI в. здесь производилась разработка месторождения строительных песков. Глубина карьера достигала 10 и более метров. Общая площадь техногенных форм рельефа составляет более 78 га. Кроме того, увеличилась площадь застройки надпойменной террасы (в 3,3 раза по сравнению с 1947 г.). Болотный массив, расположенный южнее проспекта Октября, подвергся частичному осушению за счет создания сети мелиоративных каналов. В его центре создан намывной массив «Южный» (более 20 га). Западная часть пойменного болота нарушена добычей торфа и сапропеля.

Таким образом, к 2005 г. на 1/3 части территории района (не считая искусственных водных объектов, созданных на месте луговых и лесных экосистем поймы и занимающих более 10 % общей площади) ландшафт претерпел необратимые эволюционные изменения, обусловленные преобразованием морфолитогенной основы. Указанные изменения отражаются в ландшафтно-экологических индексах (табл. 3). Наиболее существенно изменился коэффициент экологической стабильности (в 2,1 раза). Индекс хемеробности увеличился в 1,2 раза (в интервале 1838–1947 гг. он увеличился на 4,3 единицы; в интервале 1947–2005 гг. – на 5,8 единицы). Видно, что наибольшие изменения указанных индексов произошли в период 1947–2005 гг.

Значительно увеличилась величина вертикального расчленения рельефа. Расчленение является показателем энергии рельефа, т. е. превышения высот имеют большое значение для развития многих экзогенных геологических процессов, прежде всего гравитационных и флювиальных. Если природное вертикальное расчленение рельефа в пределах изучаемой территории не превышает 10 м, то величина техногенного вертикального расчленения на ряде участков составляет до 55–65 м.

Выполненный анализ многолетних изменений структуры землепользования позволил уста-

новить, что в существенной степени трансформировано русло р. Сож, а современная система пойменных водоемов имеет искусственное происхождение.

Вышеизложенные результаты показывают, что выявленные изменения геосистем, как правило, имеющие необратимый характер, можно рассматривать как их антропогенную эволюцию.

### Литература

1. Агрэкология / Под ред. В. А. Черникова, А. И. Чекереса. М., 2000.
2. **Андрушко С. В., Гусев А. П.** Ландшафтно-экологический анализ антропогенной эволюции геосистем локального уровня // Геоэкологические и географические проблемы современности. Вып. 11. Владимир, 2009. С. 15–17.
3. **Гусев А. П., Андрушко С. В.** Ландшафтно-экологический анализ антропогенной динамики геосистем модельного района Волотова (Гомель) // Природные ресурсы. 2010. № 1. С. 65–72.
4. Ландшафты Белоруссии / Г. И. Марцинкевич [и др.]; под ред. Г. И. Марцинкевич и Н. К. Клициуновой. Минск, 1989.
5. Памяць: Гіст.-дакум. хроніка Гомеля. У 2 кн. Кн. 1. Мінск, 1998.
6. Розанов Л. Л. Теоретические основы техногеоморфологии. Гомель, 1990.
7. Steinhard U. Hemeroby index for landscape monitoring and evaluation / U. Steinhard, F. Herzog, A. Lausch, E. Muller, S. Lehmann // Environmental Induces – System Analysis Approach. Oxford: EOLSS Publ., 1999. P. 237–254.

**Гомельский государственный университет**

**А. П. Гусев, С. В. Андрушко**

### **ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АНТРОПОГЕННОЙ ЭВОЛЮЦИИ ГЕОСИСТЕМ ЛОКАЛЬНОГО УРОВНЯ (НА ПРИМЕРЕ ИЗМЕНЕНИЙ ПОЙМЫ В ЧЕРТЕ г. ГОМЕЛЯ В XIX–XXI вв.)**

Антропогенная эволюция геосистем локального уровня рассматривается при помощи показателей структуры землепользования, трансформации рельефа и гидросети. Ландшафтно-экологический анализ геосистем поймы проводился на трех временных срезах: 1838 г., 1947 г., 2005 г. Для каждого временного среза рассчитывались ландшафтно-экологические индексы (коэффициент экологической стабильности и индекс хемеробности), площадь техногенных форм рельефа, площадь техногенных грунтов, площадь застройки.

Установлены значительные изменения структуры землепользования и показателей антропогенной трансформации, вызванные увеличением территории города и строительством, особенно во второй половине 20 века. Интенсивное антропогенное воздействие вызвало активизацию экзогенных геологических процессов: эоловых и водно-эррозионных. К 2005 г. на 1/3 части территории района отмечены необратимые эволюционные изменения, обусловленные преобразованием морфолитогенной основы. Анализ многолетних изменений структуры землепользования позволил установить существенную степень трансформации русла реки Сож.

**A. P. Gusev, S. V. Andrushko**

### **LANDSCAPE-ECOLOGICAL ANALYSIS OF ANTHROPOGENIC EVOLUTION OF GEOSYSTEMS OF LOCAL LEVEL (BY THE EXAMPLE OF FLOODPLAIN CHANGES IN THE BOUNDARIES OF GOMEL CITY IN XIX–XXI CENTURIES)**

*Anthropogenic evolution of geosystems of local level is examined with the help of structure of land use and transformation of a relief and a river network. Landscape-ecological analysis of floodplain geosystems was based on three temporal terms: 1838, 1947, 2005. For each temporal terms landscape-ecological indexes (coefficient of ecological stability and hemeroby-index), the area technogenic forms of a relief, the area technogenic grounds, the area of building paid off.*

*Considerable changes of the structure of land use and indices of anthropogenic transformation were determined. They were caused by the expansion of the city territory and building, especially in the second half of the XX century. Intensive anthropogenic influence caused activation of exogenous geological processes: deflation and erosion. By the year 2005 irreversible (evolutionary) changes, caused by transformation of relief and ground, were marked on the 1/3 part of the territory. The analysis of long-term changes of the land use structure has allowed to determine considerable degree of transformation of river-bed Sozh.*

УДК 504.064+504.064.3:528.9 (476-21)

Т. И. Кухарчик, М. И. Козыренко

## НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА В СВЯЗИ С ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ПОЧВ ПХБ. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ В БЕЛАРУСИ

*Проанализированы научно-методические подходы к оценке экологического риска в связи с загрязнением почв полихлорированными бифенилами (ПХБ), разработанные в зарубежных странах; приведены основные параметры, используемые для оценки перорального, контактного и ингаляционного путей поступления ПХБ в организм человека; показаны значения экологического риска для трех уровней содержания ПХБ в почвах (0,1 мг/кг, 1 мг/кг и 10 мг/кг). Выполнена предварительная оценка экологического риска в связи с загрязнением почв ПХБ в зоне воздействия лакокрасочного производства.*

**Актуальность.** Оценка экологического риска в связи с загрязнением почв является одним из важных элементов эффективного управления загрязненными территориями в США, европейских странах, Канаде, Австралии и ряде других государств, поскольку позволяет выявить наиболее важные пути поступления загрязняющих веществ в организм человека, определить опасность загрязнения почв с точки зрения воздействия на здоровье человека, ранжировать загрязненные территории по приоритетности природоохранных мер. На основе экологического риска разрабатываются также целевые (нормативные) показатели содержания загрязняющих веществ в почве с учетом современного или будущего использования территории [13, 19, 21].

Концепция оценки риска, первые модели и алгоритмы его оценки, также, как и референтные дозы, разработаны в США под эгидой Агентства по охране окружающей среды (АООС) более 20 лет назад [15, 24]. Впоследствии оценка риска получила развитие и в других странах мира [6, 11, 12, 13, 16, 20]. О значительном интересе к вопросам оценки риска свидетельствует ряд специальных проектов, в том числе по согласованным действиям по оценке риска для загрязненных территорий в странах Евросоюза – CARACAS, по природоохранным технологиям для реабилитации загрязненных почв – CLARINET, по общим подходам к оценке экологического риска для человека и экосистем в связи с загрязнением почв – HERACLES [9, 10, 13, 14, 19].

В России в 2004 г. утверждено «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду», в основу которого положены нормативные и методические документы преимущественно США и Канады (Р 2.1.10.1920-04, 2004).

Среди загрязняющих веществ особого внимания заслуживают полихлорированные бифенилы (ПХБ), которые относятся к высокоопасным для живых организмов и экосистем химическим соединениям и могут вызывать целый ряд

негативных для здоровья последствий, в том числе хлоракне, заболевания печени, повышение кровяного давления, злокачественные новообразования и неврологические заболевания [4, 8, 18, 22, 23]. Именно в отношении ПХБ еще в конце 1980-х гг. в США впервые были определены уровни приемлемого и неприемлемого рисков для человека и выполнена оценка риска в зонах воздействия источников ПХБ [17, 24].

В Беларуси выявлены высокие уровни загрязнения почв ПХБ в местах непосредственного использования ПХБ-содержащего оборудования, а также в зоне воздействия лакокрасочного предприятия в г. Лиде, где на протяжении многих лет использовалсяsovov пластикаторный [2, 3]. Поэтому анализ научно-методических подходов к оценке риска в связи с загрязнением почв ПХБ и апробация методологии оценки риска для зоны воздействия лакокрасочного производства представляются весьма актуальными.

**Общие подходы к оценке экологического риска.** При оценке риска определяется возникновение (или вероятность возникновения) ущерба человеку или экосистеме. Как правило, оценка риска заключается в сравнении оценочного фактического / потенциального суточного поступления с оценочным приемлемым суточным поступлением. Риск связан с токсичностью вещества и восприимчивостью к нему реципиентов.

В основе оценки риска лежит принципиальная схема, характеризующая пути воздействия загрязненной почвы на здоровье человека. Как известно, загрязняющие вещества могут поступать в организм как непосредственно (с пылью, загрязненной почвой, за счет контакта с загрязненной почвой, путем вдыхания испаряющихся с почвы веществ), так и опосредованно (через загрязненные поверхностные и подземные воды, продукты питания). Многообразие путей поступления загрязняющих веществ в организм человека, различные свойства загрязняющих веществ, влияние природных факторов на их миграцию и перераспределение – эти и другие факторы обусловили необходимость определенных допущений при расчетах количественных по-

казателей риска, а также при получении качественных оценок. Согласно [19], даже в отношении понятия «экологический риск» существует более десятка толкований (от неформальных до чисто математических), что связано с невозможностью прямых измерений риска и точного его предсказания.

В ряде стран оценка риска положена в основу выделения загрязненных территорий. Анализ некоторых нормативно-методических документов, принятых в Великобритании, Австралии, Канаде и других странах показал, что для выделения загрязненных территорий на основе оценки риска рассматриваются три его составляющие – источники загрязнения, воздействия и рецептор [6, 7, 12]. Территория или ее часть относятся к загрязненным в том случае, если доказано, что риск является значительным. При этом, классификации загрязненных территорий базируются на пригодности к использованию и необходимости очистки.

Так, в Австралии принята следующая классификация: *возможно загрязненные* (нуждаются в исследованиях); *незагрязненные* (неограниченное использование); *загрязненные* (ограниченное использование); *загрязненные* (нуждаются в очистке); *очищенные для ограниченного использования*; *очищенные*.

В Канаде загрязненные территории разделены на следующие классы: 1-й – требующие действий, 2-й – скорее всего требующие действий, 3-й – возможно требующие действий, 4-й – действия по очистке не требуются, 5-й – неполные данные [16]. Классификация загрязненных территорий в этом случае является эффективным инструментом для определения приоритетов в отношении дальнейших действий.

Следующим этапом после классификации является определение степени загрязнения местности на основании оценочных критериев: приближенных фоновых концентраций, а также пределов детектирования. Если концентрации загрязняющих веществ превышают оценочные уровни, должна быть оценена степень загрязнения, а также установлен источник опасности, определены сроки дальнейших действий.

Характеристика риска осуществляется на основе величин приемлемого риска, отражающих такие уровни риска, которые не требуют применения дополнительных мер по его снижению и незначительны по отношению к рискам, существующим в повседневной деятельности или жизни людей. В качестве величины приемлемого риска в ряде руководств считается значение  $1 \cdot 10^{-6}$ , что означает применительно к канцерогенным веществам 1 дополнительный случай онкологических заболеваний на 1 млн человек [24].

Выделяются четыре основные стадии оценки риска:

- определение опасности (выявление потенциально вредных факторов, загрязняющих

веществ, уровней их содержания в компонентах природной среды);

- оценка зависимости «доза–эффект» (количественная оценка воздействия и последствий на основании лабораторных экспериментов и эпидемиологических исследований);

- анализ воздействия (интенсивность, продолжительность, частота, пути поступления загрязняющих веществ в организм человека и др.);

- характеристика риска (на основании результатов предыдущих этапов; расчет рисков, сравнение с допустимыми уровнями, установление приоритетов для снижения рисков).

На начальных этапах исследований при оценке риска создается концептуальная модель для площадки, в которой были бы определены источники, пути поступления и рецепторы, а также связи между ними. Концептуальная модель может представлять собой графическое или описательное представление возможных взаимосвязей между источниками загрязнения, путями воздействия (с учетом трансформации / аккумуляции / перераспределения химических веществ) и экспонируемыми группами населения.

Концептуальная модель территории является основой для формирования предварительных сценариев воздействия, характеризующих временные и пространственные параметры воздействия потенциально опасных химических веществ. Эти сценарии используются для формулировки конкретных задач исследований и подлежат корректировке с учетом данных, полученных в процессе проведения оценки риска.

На последних этапах моделирования во внимание должны приниматься следующие аспекты: *токсикологические* (например, острое и хроническое токсическое воздействие на человека); *экологический риск* (вследствие, например, биоаккумуляции токсичных веществ в биомассе); *условия, определяющие миграцию и разложение загрязняющих веществ* (например, значения pH, окислительно-восстановительный потенциал и др.).

Согласно [5, 15], для оценки риска от поступления загрязняющих веществ в организм человека с загрязненной территорией используются три категории переменных: а) характеризующие свойства самого загрязняющего вещества (его концентрацию, летучесть, испаряемость, растворимость и др.); б) характеризующие условия воздействия (длительность контакта, продолжительность и частоту воздействия, массу тела и т.д.); в) определяемые исследователем (например, время осреднения экспозиции).

Для расчетов рисков от различных загрязняющих веществ в большинстве случаев применяются формулы и значения референтных доз, разработанные АООС США [13, 15, 21, 24]. Все «модели воздействия» являются вариантами следующей упрощенной формулы с типичными

величинами для прямого поступления загрязняющих веществ в организм:

$$E = A \cdot T \cdot R \cdot C / B, \quad (1)$$

где  $E$  – воздействие или поглощенная доза, мг/кг тела в день;  $A$  – поступление почвы, г/день;  $T$  – время воздействия;  $R$  – величина ресорбции в день;  $C$  – концентрация загрязняющего вещества в рассматриваемой среде (почве), мг/г почвы;  $B$  – масса тела, кг.

Методология оценки риска на загрязненных территориях во многих странах разработана достаточно детально и используется также на территориях с действующими источниками загрязнения. Это позволяет получить более достоверную оценку, так как оценка воздействия может быть выполнена более точно. Однако на практике трудности возникают в связи с влиянием других факторов из-за неоднозначности источников воздействия, сложности их параметризации, трудностями при проведении эксперимента и прогнозирования вредного воздействия в будущем [19].

Развитие методологии оценки рисков в связи с загрязнением почв привело к разработке нормативных показателей, соответствующих различному уровню риска. Например, в США – это так называемые «скрининговые уровни для почв» (Soil Screening Levels - SSL), что, по сути, представляет собой предварительную оценку опасности загрязнения почв [21]. Данные значения не являются национальными стандартами или допустимым уровнем загрязнения почв. «Скрининговые значения» характеризуют пороговые уровни содержания загрязняющих веществ в почвах отдельных площадок и территорий, ниже которых не требуется дальнейшего вмешательства на федеральном уровне. На территориях, где концентрации загрязняющих веществ равны или превосходят принятые уровни, требуется дальнейшее изучение и исследования, но это не ведет в обязательном порядке к очистке. Возможна разработка нескольких вариантов SSL: общих; простых, специфических для территории; специфических для территории, основанных на более детальном моделировании.

Значения SSL являются концентрациями, полученными на основе оценки риска, с использованием известных уравнений и допущений, принятых с учетом информации о вредных воздействиях и данных по токсичности тех или иных загрязняющих веществ, накопленных АООС США. Скрининговые уровни рассчитываются для различных путей поступления загрязняющих веществ с почвой в организм человека и базируются на величине риска  $1 \cdot 10^{-6}$  для канцерогенных веществ и на коэффициенте опасности, равном 1, для неканцерогенных веществ. При оценке загрязнения почв ПХБ при расчетах величины риска и скрининговых уровней используются расчетные формулы для канцерогенных веществ.

В [21] приведены примеры расчета скрининговых уровней для различных путей поступления загрязняющих веществ, а также их миграции в грунтовые воды с использованием простых стандартных формул с малым количеством требуемой входной информации (почвенных характеристик, метеорологических условий, гидрогеологических параметров). В них не учитываются биологическая и химическая деградации, адсорбция и т.д. Для получения более точных скрининговых уровней могут использоваться более сложные модели расчета. Однако повышенные требования к входным параметрам и трудоемкость моделирования делает данный процесс более дорогим, чем использование стандартных расчетов.

Анализ скрининговых уровней ПХБ в почвах в европейских странах показал, что в большинстве случаев содержание ПХБ менее 0,1 мг/кг ассоциируется с незначительным риском (табл. 1). Принятая в Беларуси ОДК для суммы ПХБ в 0,02 мг/кг находится на уровне значений концентраций, связанных с незначительным риском, принятых в Нидерландах и Чехии, а по классификации рисков АООС США данная концентрация ниже уровня риска  $1 \cdot 10^{-6}$ , который расценивается как пренебрежимо малый, не отличающийся от повседневных. Подобные риски не требуют никаких дополнительных мероприятий по их снижению, и их уровни подлежат только периодическому контролю.

**Таблица 1. Установленные уровни загрязнения почв ПХБ, связанные с различной степенью риска, в странах Европы, мг/кг [13]**

Вид риска	Австрия	Нидерланды	Италия	Испания	Чехия	Финляндия	Германия	Швеция	Литва	Польша
Незначительный риск	-	0,02	-	-	0,02	-	-	-	-	-
Средняя степень риска (жилая зона)	0,2	-	-	-	2,5	0,1	0,8	4	-	-
Потенциально неприемлемый риск (жилая зона)	1	1	-	0,08	5	0,5	-	-	0,1	0,55
Потенциально неприемлемый риск (промышленная зона)	-	-	5	0,8	-	5	-	-	-	2,75

В целом же в европейских странах отмечается существенная вариабельность значений SSL ПХБ, что обусловлено совокупностью научных, методических и исторических предпосылок разработки нормативов. Так, риск для человека в жилых районах может быть принят как потенциально неприемлемый при содержании ПХБ в почве от 0,5 мг/кг (Финляндия) до 5 мг/кг (Чехия).

Система регулирования состояния окружающей среды в разных странах развивалась различными темпами, и в некоторых странах Европы к разработке уровней с учетом риска для здоровья пришли раньше, чем в других, отсюда различия в процедурах оценки, в установленных уровнях и т.д.

**Пути поступления ПХБ в организм человека и оценка экологического риска.** При оценке риска от загрязненных ПХБ почв для здоровья человека предложено учитывать следующие пути поступления данных веществ в организм: **пероральный** (попадание загрязненной почвы внутрь); **контактный** (через кожу) и **ингаляционный** (с парами через органы дыхания) [15]. При этом используется ряд допущений, что связано, во-первых, с потребностями проводимых оценок (приблизительный консервативный подход со стандартными входными данными), во-вторых, с недостаточностью имеющихся данных по различным соединениям ПХБ, а также техническим смесям. Расчеты основываются на свойствах

ПХБ 1254, при этом принимается, что человек находится на загрязненной территории в течение 24 ч в сутки на протяжении 30 лет, а концентрация ПХБ в воздухе внутри помещения равна концентрации ПХБ в воздухе вне помещения. Кроме того, допускается, что на рассматриваемой территории отсутствует растительный покров, который ограничивает поступление ПХБ в воздух с испарением. При таком подходе полученные результаты отражают только прямое воздействие и не подходят для случаев, когда существует потенциальная угроза загрязнения грунтовых вод.

Ниже рассмотрены основные параметры, учитываемые для оценки поступления ПХБ в организм человека.

**Пероральное поступление** ПХБ оценивается следующим образом:

$$E = C \cdot IR \cdot EF \cdot ED / BW \cdot AT, \quad (2)$$

где  $C$  – концентрация ПХБ в почве, мг/кг;  $IR$  – поступление почвы в организм, мг/день;  $EF$  – частота воздействия, дней/год;  $ED$  – продолжительность воздействия, лет;  $BW$  – масса тела, кг;  $AT$  – время усреднения (70 лет для канцерогенных соединений).

Параметры для оценки перорального поступления приведены в табл. 2.

**Таблица 2. Параметры для оценки перорального поступления ПХБ в организм в связи с загрязнением почв [15]**

Показатель	Значение
Поступление почвы в организм ребенка	200 мг/день
Поступление почвы в организм взрослого	100 мг/день
Продолжительность воздействия для ребенка	6 лет
Продолжительность воздействия для взрослого	24 года
Частота воздействия	365 дней в году
Масса тела (для ребенка)	16 кг
Масса тела (для взрослого)	70 кг
Фактор абсорбции	30 %

Оценка контактного воздействия осуществляется по формуле

$$E = C \cdot SA \cdot AF \cdot EF \cdot ED / BW \cdot AT, \quad (3)$$

где  $SA$  – площадь открытой кожной поверхности ( $\text{см}^2/\text{событие}$ );  $AF$  – фактор адгезии почва – кожа;  $C, EF, ED, BW, AT$  – те же, что в формуле (2).

В качестве стандартных условий алгоритма предполагается, что ребенок в возрасте от 3 до 18 лет, одетый в шорты и рубашку с коротким рукавом, подвергается контактному воздействию 3 раза в неделю весной и осенью и 5 раз в неделю в течение летних месяцев. Взрослый, одетый в длинные штаны и рубашку с коротким рукавом,

во время садовых работ подвергается воздействию 1 день в неделю весной, летом и осенью.

Для расчета риска в связи с контактным воздействием используются параметры, приведенные в табл. 3.

По данным [15], дермальная адсорбция для кожи человека составляет 8 % для ПХБ в почве с содержанием органики 0,77 % и 10 % для почвы с высоким содержанием органических веществ (19,35 %).

Для оценки контактного воздействия требуется информация о средней концентрации ПХБ в почве, а также величина их испарения.

**Таблица 3. Параметры для оценки поступления ПХБ через кожу в связи с загрязнением почв [15]**

Показатель	Значение
Площадь открытой кожной поверхности рук и ног (средняя для возрастов 3–18 лет)	0,40 м <sup>2</sup>
Площадь открытой кожной поверхности рук (для взрослого человека)	0,31 м <sup>2</sup>
Фактор адгезии почва–кожа	2,77 мг/см <sup>2</sup>
Частота воздействия (для ребенка)	132 события в год
Частота воздействия (для взрослого)	52 события в год
Продолжительность воздействия (для ребенка)	15 лет
Продолжительность воздействия (для взрослого)	12 лет
Масса тела (для ребенка)	38 кг
Масса тела (для взрослого)	70 кг
Фактор абсорбции	10 %

Поступление парообразных ПХБ в организм человека (ингаляционный путь) оценивается для лиц, находящихся на территории, загрязненной ПХБ. Концентрации в воздухе в пределах площадки оцениваются следующим образом:

$$C=Q / (L_s \cdot V \cdot H), \quad (4)$$

где  $Q$  – величина потока, равная произведению величины эмиссии на площадь территории, г/с;  $L_s$  – длина стороны загрязненного участка, м;  $V$  – средняя скорость ветра на высоте перемешивания газовых выбросов, м/с, равная произведению скорости ветра на коэффициент 0,5;  $H$  – высота перемешивания, м.

При оценке делается предположение, что загрязненная почва ничем не покрыта, а глубина загрязнения составляет 25 см. Оценка ингаляционного поступления ПХБ в организм человека рассчитывается по формуле

$$E = C \cdot IR \cdot ED / BW \cdot AT, \quad (5)$$

где  $C$  – концентрация ПХБ в воздухе, г/м<sup>3</sup>;  $IR$  – количество вдыхаемого воздуха, м<sup>3</sup>/день;  $ED, BW, AT$  – те же, что и в формуле (2).

**Таблица 4. Уровни эмиссии и концентрация ПХБ в воздухе при различном содержании ПХБ в почве**

Концентрация ПХБ в почве, мг/кг	Уровни эмиссии ПХБ, г/см <sup>3</sup> ·с	Концентрация в воздухе, г/м <sup>3</sup>
0,1	9,9·10 <sup>-15</sup>	9,9·10 <sup>-10</sup>
1,0	9,9·10 <sup>-14</sup>	9,9·10 <sup>-9</sup>
10	9,9·10 <sup>-13</sup>	9,9·10 <sup>-8</sup>

**Таблица 5. Параметры для оценки ингаляционного воздействия от загрязнения почв ПХБ [15]**

Параметр	Значение
Вдыхаемый объем для взрослого человека	30 м <sup>3</sup> /день
Продолжительность поступления	30 лет
Средняя масса тела взрослого человека	70 кг
Фактор абсорбции	50 %

**Таблица 6. Величина риска в зависимости от содержания ПХБ в почве**

Содержание ПХБ, мг/кг	Пути поступления ПХБ			Суммарный риск
	пероральный	контактный	ингаляционный	
0,1	2·10 <sup>-7</sup>	7·10 <sup>-7</sup>	7·10 <sup>-7</sup>	2·10 <sup>-6</sup>
1,0	2·10 <sup>-6</sup>	7·10 <sup>-6</sup>	7·10 <sup>-6</sup>	2·10 <sup>-5</sup>
10	2·10 <sup>-5</sup>	7·10 <sup>-5</sup>	7·10 <sup>-5</sup>	2·10 <sup>-4</sup>

Максимальная величина суммарного риска ( $2 \cdot 10^{-4}$ ) для территорий с содержанием ПХБ 10 мг/кг в 10 раз превышает уровень риска для территорий с содержанием 1 мг/кг. Согласно [15], индивидуальный риск в течение всей жизни в жилой зоне более  $1 \cdot 10^{-4}$  классифицируется как неприемлемый для населения. В наибольшей степени риск на загрязненных жилых территориях обуславливается контактным воздействием и ингаляционным поступлением, на долю которых приходится более 87 % от суммарного риска. Меньшую опасность представляет пероральное поступление.

Индивидуальный риск на уровне  $2 \cdot 10^{-6}$ , полученный для территорий с содержанием ПХБ 0,1 мг/кг, соответствует одному дополнительному случаю серьезного заболевания или смерти на 1 млн экспонированных лиц и характеризует такие уровни риска, которые воспринимаются всеми людьми, как пренебрежимо малые, не отличающиеся от обычных, повседневных рисков.

При условии содержания ПХБ в почве 1 мг/кг индивидуальный риск в течение всей жизни оценивается на уровне  $2 \cdot 10^{-5}$ , что соответствует предельно допустимому риску, т.е. верхней границе приемлемого риска.

В целом следует отметить, что оценка риска характеризуется значительными неопределенностями и погрешностями. Причинами неопределенностей и погрешностей являются недостаточная репрезентативность полученных данных о содержании ПХБ в почве, а также неадекватность используемых математических моделей физическим и химическим процессам, имеющим место в действительности; неверная параметризация моделей. Кроме того, различия в поведении человека также могут сильно повлиять на применимость расчетных оценок риска. Например, моделирование ингаляционного воздействия предполагает, что человек вдыхает ежедневно  $30 \text{ м}^3$  в течение 24 ч в сутки на протяжении 30 лет. Предполагается также, что концентрация внутри помещения такая же, как и вне его. Такие допущения вполне приемлемы, но могут быть и исключения, например в случае домохозяек, которые преобладающую часть времени находятся дома.

**Опыт оценки риска в зоне воздействия лакокрасочного производства.** Апробация методологии оценки риска в связи с загрязнением почв ПХБ выполнена нами для зоны воздействия лакокрасочного производства в г.Лиде. Раздельно рассматривались жилая зона, размещенная в непосредственной близости от предприятия (большая часть опробованных участков находится в санитарно-защитной зоне), а также территории промплощадки. Отбор проб осуществлялся преимущественно с глубины 0–10 см.

Оценка риска на территории жилой зоны проводилась по результатам расчетов, произве-

денных в [15] путем сопоставления имеющихся концентраций ПХБ с уровнями загрязнения, для которых были рассчитаны соответствующие величины риска. Диапазон концентраций ПХБ в почвах жилой зоны составил 0–0,4 мг/кг, уровень загрязнения 0,1 мг/кг и выше обнаружен в 55 % проб.

При оценке риска на территории промплощадки использован «консервативный» подход со следующими допущениями: для частоты воздействия принята величина 220 дней; для ингаляционного поступления концентрации в воздухе в пределах загрязненного участка были использованы параметры согласно [15]; расчет риска проводился только для взрослого человека. При этом территория промплощадки условно дифференцирована на участки с содержанием ПХБ менее 1 мг/кг, 1–10, 10–50, 50–100, более 100 мг/кг. Содержание ПХБ в почвах находится здесь в пределах от 0,11 мг/кг до 267 мг/кг, отличаясь высокой неоднородностью и контрастностью распределения.

Анализ уровней загрязнения почв показал, что в пределах жилой зоны содержание ПХБ обуславливает возникновение канцерогенного риска порядка  $1 \cdot 10^{-6}$ , который считается незначимым. Следует подчеркнуть, что плотность опробования не позволяет получить надежные оценки риска; пока это лишь весьма предварительные расчеты.

Что касается промплощадки, то в 17 % проб уровень загрязнения почв ПХБ соответствует риску  $1 \cdot 10^{-4}$ , который приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения в целом. Экспертная оценка показала, что площадь такого участка занимает примерно 1/5 часть промплощадки. Это наиболее загрязненные участки у цехов по производству лакокрасочной продукции и изготовления, ремонта и мойки тары. Риск более  $1 \cdot 10^{-4}$  соответствует концентрациям ПХБ в почве выше 50 мг/кг; при содержании ПХБ в почве на уровне ниже 50 мг/кг риск находится в границах предельно допустимых величин (табл. 7).

Обращают на себя внимание близкие к предельному значению уровни риска еще примерно для четверти отобранных и проанализированных проб, что свидетельствует о необходимости дальнейших исследований и детализации оценок.

Установлено, что основное воздействие в связи с загрязнением почв оказывает ингаляционное поступление ПХБ в организм человека, на долю которого приходится до 96 % суммарного риска; при контактном воздействии в организм человека попадает в среднем около 12 % от общего поступления ПХБ; минимальные количества ПХБ поступают в организм человека пероральным путем – около 2 %. Минимальный вклад перорального пути поступления обусловлен тем,

что расчет производился с учетом факта отсутствия детей на промышленной территории. Однако вклад каждого из путей поступления в суммарную величину, а также сама величина риска могут значительно варьировать в зависимости от допущений, принятых на начальных этапах про-

цедуры оценки риска, поэтому для получения более точных оценок в дальнейшем необходимо учесть специфические для данной территории как пространственные, так и временные характеристики; особенности поведения людей, частоту контактов с загрязненными почвами и т.д.

**Таблица 7. Оценка риска в связи с загрязнением почв в промышленной зоне лакокрасочного производства на территории г. Лида**

Содержание ПХБ, мг/кг	Риск	Поступление ПХБ, %
Менее 1,0	$6 \cdot 10^{-6}$	Ингаляционный – 96,0 Контактный – 3,4 Пероральный – 0,6
1–10	$3 \cdot 10^{-5}$	Ингаляционный – 82,1 Контактный – 15,2 Пероральный – 2,7
10–50	$7 \cdot 10^{-5}$	Ингаляционный – 78,5 Контактный – 18,2 Пероральный – 3,3
50–100	$6 \cdot 10^{-4}$	Ингаляционный – 91,9 Контактный – 6,9 Пероральный – 1,2
Более 100	$7 \cdot 10^{-4}$	Ингаляционный – 79,9 Контактный – 17,0 Пероральный – 3,1

Несомненно, полученные данные лишь весьма приближенно характеризуют сложившуюся ситуацию в зоне воздействия лакокрасочного производства. Как известно, почва является не единственным источником поступления загрязняющих веществ в организм человека. В жилых районах потенциальными путями поступления загрязняющих веществ в организм, за исключением прямого поступления из почв, являются также потребление для питьевых (пищевых) нужд загрязненных подземных вод, загрязненной растениеводческой и животноводческой продукции. В результате проведенных ранее исследований ПХБ были обнаружены в биотических компонентах на территории, находящейся в зоне воздействия предприятия по лакокрасочному производству [1]. Сельскохозяйственная продукция (куриные яйца, зеленый лук), выращиваемая на приусадебных участках, входит в ежедневный рацион (зеленый лук – сезонно) жителей загрязненных районов и, как следствие, является дополнительным источником поступления ПХБ. Оценка риска для здоровья населения от загрязненной сельскохозяйственной продукции играет существенную роль в суммарном поступлении ПХБ в организм человека на загрязненной территории и может значительно повлиять на уровень суммарного индивидуального риска.

**Заключение.** Методология оценки риска позволяет выявить территории, где возможно поступление ПХБ в организм человека выше приемлемого уровня, исходя из их содержания в почве. Кроме того, имеется возможность выявить наиболее важные пути прямого поступления

ПХБ, что представляется весьма важным с точки зрения принятия действий по снижению интенсивности воздействия (особенно на первых этапах).

Следует подчеркнуть, что это лишь один из подходов при изучении загрязненных территорий. В условиях, когда люди могут подвергаться воздействию из других источников (пища, контакт с ПХБ-содержащими материалами и т.д.), для наиболее адекватной и полной суммарной оценки риска необходимо учитывать весь комплекс воздействий и путей поступления загрязняющих веществ в организм человека. Целесообразным также представляется корректирование предлагаемых стандартных величин при расчете рисков для отдельно выделяемых участков и групп лиц (в зависимости от почвенных характеристик, методики отбора проб, частоты воздействия и др.).

Имеющиеся данные о содержании ПХБ в почве в зоне воздействия предприятия по производству лакокрасочной продукции свидетельствуют о достаточно низких уровнях канцерогенного риска, связанного с загрязнением почв ПХБ, с уровнем риска от  $1 \cdot 10^{-6}$  и ниже. Однако на территории промплощадки уровни загрязнения значительно выше, что обуславливает и большую степень риска для здоровья. Поскольку предприятия рассматриваемого профиля являются источником поступления в окружающую среду, в том числе почву, не только данной группы соединений, но и других загрязняющих веществ (канцерогенных и неканцерогенных), суммарный уровень риска может быть значительно выше.

## Литература

1. Кухарчик Т. И., Застенская И. А., Козыренко М. И. Полихлорированные бифенилы в биоте: результаты исследований в зоне воздействия лакокрасочного производства. Здоровье и окружающая среда: сб. науч. тр. / Респ. науч.-практ. центр гигиены. Минск, 2010. Вып. 15. С.170–178.
2. Кухарчик Т. И., Какарека С. В., Хомич В. С. и др. Полихлорированные бифенилы в почвах Белоруссии: источники, уровни загрязнения, проблемы изучения // Почвоведение, № 5. 2007. С. 532–540.
3. Кухарчик Т. И. Полихлорированные бифенилы в Беларуси. Минск, 2006.
4. Полихлорированные бифенилы и терфенилы: Гигиенические критерии состояния окружающей среды. Женева–Москва, 1980.
5. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Р 2.1.10.1920-04.
6. A Guide to the Assessment and Remediation of Contaminated Land / Wealden District Council. 2007.
7. A Risk Management Framework for Contaminated Sites. Contaminated Sites Management Working Group Environment. Canada, 1997.
8. Brown J. F., Lawton R. W., Ross M. R., Feingold J. Assessing the Human Health Effects of PCBs. Organohalogen Compounds, Volume 1, 1990. P. 283–285.
9. CLARINET. Brownfields and Redevelopment of Urban Areas. A report from the Contaminated Land Rehabilitation Network for Environmental Technologies / U. Ferber, D. Grimski. Version: August 2002. Wien: Umweltbundesamt GmbH. Federal Environmental Agency, Austria, 2002a.
10. CLARINET. Review of Decision Support Tools for Contaminated Land Management, and their Use in Europe. A report from the Contaminated Land Rehabilitation Network for Environmental Technologies / P. Bordos [et al.]. Version: November 2002. Wien: Umweltbundesamt GmbH, 2002b.
11. Contaminated Land Management Guidelines No. 2. Hierarchy and Application in New Zealand of Environmental Guideline Values. Ministry for the Environment, NZ. 2003. Updated June 2007. URL: <http://www.mfe.govt.nz>.
12. Contaminated Sites. New laws for Western Australia. Department of Environment and Conservation. 2004.
13. Derivation methods of soil screening values in Europe / C. Carlon, M. D'Alessandro, F. Swartjes / A review and evaluation of national procedures towards harmonization. European Commission, Joint Research Centre, Ispra, EUR 22805-EN, 2007.
14. Ferguson C., Kasamas H. Risk Assessment for Contaminated Sites in Europe. Volume 2, Policy Frameworks. LQM Press, Nottingham.
15. Guidance on Remedial Actions for Superfund Sites with PCB Contamination. Office of Emergency and Remedial Response U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC 20460. EPA/540/G-90/007. 1990.
16. National Classification System for Contaminated Sites. Canadian Council of Ministers of the Environment. CCME EPS-CS39E. Manitoba, Canada, 1992.
17. Niemeyer V. Risk management of PCBs in the United States // Organohalogen Compounds, 2. 1990. P. 47–50.
18. PCBs: Cancer Dose-Response Assessment and Application to Environmental Mixtures. National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC. EPA/600/P-96/001F. September 1996.
19. Risk Assessment for Contaminated Sites in Europe. Volume 1. Scientific Basis. CARACAS Concerted action on risk assessment for contaminated sites in the European Union. LQM Press. Nottingham. UK. 1998.
20. Risk Screening System. Contaminated Land Management. Guidelines N3. Ministry for the Environment. New Zealand, 2004. URL: <http://www.mfe.govt.nz>.
21. Soil Screening Guidance: Technical Background Document / EPA/540/R95/128, 1996.
22. Toxicological Profile for Polychlorinated Biphenyls (PCBs). Syracuse Research Corporation. Under Contract No. 205-1999-00024. 2000.
23. Toxicological Profile for Polychlorinated Biphenyls. Atlanta: ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). TP-92/16, 1993.
24. US Environment Protection Agency. National Oil and Hazardous Substances Pollution Contingency Plan, 40 CFR 300. Washington, D.C., Office of Emergency and Remedial Response. Final Rule. 1990.

**Институт природопользования НАН Беларусь**

**T. И. Кухарчик, М. И. Козыренко**

### **НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА В СВЯЗИ С ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ПОЧВ ПХБ. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ В БЕЛАРУСИ**

Статья посвящена проблеме оценки экологического риска от территорий, загрязненных полихлорированными бифенилами (ПХБ). Проанализированы научно-методические подходы к оценке экологического риска в связи с загрязнением почв ПХБ, разработанные в зарубежных странах; приведены основные параметры, используемые для оценки риска от почв, загрязненных ПХБ. Показано,

что индивидуальный риск для людей, проживающих на территориях с содержанием ПХБ 0,1 мг/кг находится на уровне  $1 \cdot 10^{-6}$  (пренебрежимо малый уровень риска); при концентрации ПХБ в почве 1 мг/кг индивидуальный риск в течение всей жизни оценивается на уровне  $1 \cdot 10^{-5}$  (предельно допустимый риск); содержание ПХБ в почвах на уровне 10 мг/кг обуславливает риск порядка  $1 \cdot 10^{-4}$  (неприемлемый для населения).

Выполнена предварительная оценка экологического риска в связи с загрязнением почв ПХБ в зоне воздействия лакокрасочного производства. Показано, что в пределах жилой зоны содержание ПХБ обуславливает возникновение канцерогенного риска порядка  $1 \cdot 10^{-6}$ , который считается незначительным. На промплощадке в 17 % проб уровень загрязнения почв ПХБ соответствует риску  $1 \cdot 10^{-4}$ , который приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения в целом.

Использованная методология оценки риска позволяет выявить территории, где возможно поступление ПХБ в организм человека выше приемлемого уровня, исходя из их содержания в почве. Более того, имеется возможность выявить наиболее важные пути прямого поступления ПХБ, что представляется весьма важным с точки зрения принятия действий по снижению интенсивности воздействия (особенно на первых этапах). Однако эти предварительные расчеты произведены на основе стандартных величин и не учитывают особенностей рассматриваемой территории, а также воздействие других загрязняющих веществ, источником которых является лакокрасочное производство.

**T. I. Kukharchik, M. I. Kozyrenko**

### **SCIENTIFIC-METHODOLOGICAL APPROACHES TO ECOLOGICAL RISK ASSESSMENT IN RELATION TO PCB SOIL CONTAMINATION AND APPLICATION EXPERIENCE IN BELARUS**

*The article is devoted to the problem of ecological risk assessment from PCB-contaminated sites. The scientific-methodological approaches to the ecological risk assessment in relation to soil pollution with PCBs developed in foreign countries are analyzed; the basic parameters used for risk assessment from PCB-contaminated soils are given. It is shown that risk for individuals living on sites with PCBs soil concentration 0,1 mg/kg is  $1 \cdot 10^{-6}$  (negligibly low risk level); at concentration of PCB in soil 1 mg/kg the individual risk during the life is  $1 \cdot 10^{-5}$  (maximum permissible risk); concentration of PCB 10 mg/kg cause risk at level  $1 \cdot 10^{-4}$  (unacceptable risk for population).*

*The preliminary ecological risk assessment in relation to PCB soil contamination in impact zone of the enterprise for vanish and paint production is made. Concentrations of PCBs in soils of residential areas cause risk at level  $1 \cdot 10^{-6}$  which is insignificant. In 17 % of soil samples from industrial area the level of PCB soil contamination corresponds to the level of risk  $1 \cdot 10^{-4}$ , which is acceptable for professional groups and unacceptable for population. The methodology of risk assessment used in calculations makes it possible to identify the territories where PCB-exposure is higher than acceptable level. Moreover, there is a possibility to identify the most important ways of direct exposure and this is very important from the point of making decisions on exposure intensity reduction activities (especially on initial stages). However, these preliminary calculations are conducted according to standard equations basis and don't take into account site specific features and exposure of other pollutants from paint and varnish industry.*

УДК 639.111:599.735:599.731

**А. В. Унукович, Я. И. Аношко**

## ТОРФЯНО-БОЛОТНЫЕ УГОДЬЯ ПРИРОДООХРАННОГО НАЗНАЧЕНИЯ И ИХ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ

*Рассмотрены вопросы экономической эффективности использования торфяно-болотных угодий природоохранного назначения. Показатель общей экономической ценности торфяно-болотных угодий или стоимости их экологических функций рассматривается как сумма стоимости использования и стоимости неиспользования природных благ, представляемых на данных территориях, а также стоимости существования. Сумма указанных стоимостей составляет: по чистому доходу – 175 399 тыс. долл. США, а по чистому дисконтированному доходу – 107 774 тыс. долл. США.*

Для сохранения и приумножения природного капитала (богатства) необходимы учет природно-экологических активов – ресурсов и выгод от их рационального использования и пассивов – экономических потерь в результате действия природных факторов, антропогенной деятельности или последствий загрязнения окружающей среды. Для решения этих задач актуальной представляется их экономическая (стоимостная) оценка. Отсутствие экономических оценок природного капитала и экологически обусловленных экономических издержек искажают статистику показателей экономического развития на различных уровнях хозяйственной деятельности, ограничивают возможность их реального сравнения в пространстве и во времени. Немаловажное значение также приобретает экономическое обоснование доступной базы земельного, ресурсного и других видов налогообложения.

Несомненно, самым значимым ресурсом на мировом рынке в ближайшей перспективе окажутся природные экосистемы, способные в полном объеме выполнять климатообразующие, водорегулирующие, энергетические, продукционные и некоторые другие защитные функции. Ответственность за сохранение природных экосистем на своей территории регламентируется Конвенцией о биологическом разнообразии, Киотским протоколом по защите климата и другими международными обязательствами. В числе стран, принявших эти обязательства, находится и Республика Беларусь.

В настоящее время на сохранение природных экосистем мировым сообществом аккумулируются значительные денежные средства, которые направляются через Глобальный экологический фонд в соответствии с вкладом отдельных стран в сохранение биосферы и поддержание биосферных функций природных систем на территории этих стран. Следовательно, экономическая оценка таких ненарушенных природных систем, к которым в условиях Беларуси относятся особо охраняемые природные территории и болотные угодья, в том числе торфяные месторождения природоохранного назначения, важна для предварительного обоснования возможностей

дополнительного поступления доходов в виде валютных средств в условиях формирующегося рынка экологических услуг на межгосударственном уровне.

Другим важным источником пополнения доходов бюджета реально представляется участие Республики Беларусь в развитии рынка квот на выбросы углекислого газа. Углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) – диоксид углерода (двуокись углерода, оксид углерода, угольный ангидрид, углекислота) по своим физическим свойствам легко пропускает ультрафиолетовое излучение и лучи видимой части спектра, которые поступают на поверхность Земли от Солнца и обогревают ее. В то же время углекислый газ поглощает отражаемое Землей инфракрасное излучение и тем самым является одним из парниковых газов и следствием процесса глобального потепления, носящего антропогенный характер. Поэтому постоянная концентрация данного газа в атмосфере, как утверждают многие ученые, ведет к изменению климата на Земле. Кроме углекислого газа, к парниковым газам антропогенного характера относятся также метан (парниковая активность примерно в 21 раз выше по сравнению с активностью углекислого газа), тропосферный озон, оксид азота (парниковая активность в 298 раз выше, чем у углекислого газа) и фторсодержащие газы – фреоны (парниковая активность в 1300–8500 раз выше, чем у углекислого газа). Из основных направлений политики в области сокращения выбросов парниковых газов, согласно Киотскому протоколу, считаются охрана и повышение качества поглотителей парниковых газов с учетом обязательств по соответствующим международным соглашениям и поощрение устойчивых форм сельского хозяйства в свете решения задач, связанных с изменением климата.

Ненарушенные природные территории, которыми представляются в условиях Беларуси торфяно-болотные угодья, являются одним из главных природных ресурсов для организации экологического туризма. Здесь экологический туризм можно рассматривать как путешествие в места торфяно-болотных угодий с целью, не нарушая их целостности как экосистем, получать пред-

ставление о природных и культурно-этнографических особенностях данных территорий. Экологический туризм по ненарушенным природным территориям – это, прежде всего, экономические условия, когда охрана указанных природных объектов становится выгодной местному населению. Естественно, такой туризм должен соответствовать весьма определенным требованиям. Так, туристические маршруты (туры) считаются экологичными, если используемый транспорт при этом является также экологически чистым, пищевые продукты соответственно также чисты и полезны, в рационе преобладают местные продукты, а квалифицированные специалисты обслуживаются туристов при посещении последними интересных и экологически благоприятных природных ландшафтов или мест.

В зависимости от основной цели туристических маршрутов большое внимание уделяется наблюдению и изучению дикой природы с получением основ экологических знаний, отдыху в окружении природы с эмоциональными и эстетическими целями, лечению природными средствами, проведению различных спортивных мероприятий.

Формами организации экологического туризма на основе торфяно-болотных угодий могут быть также ботанические, зоологические, геологические, эколого-этнографические, археологические туры в сочетании с сельскими, зелеными, водными и так далее турами. Указанное деление организации форм экологического туризма в границах ненарушенных природных экосистем, включая торфяно-болотные угодья, достаточно условно, но изучение их дает по крайней мере представление о разнообразии интересов и возможностей их использования для экономического развития.

В программу экологического тура должны включаться посещения учебных экологических троп, природоведческих и краеведческих достопримечательностей, чистых технологических хозяйств и ознакомления с местными экологическими проблемами. Привалы, бивуаки и особенно костры устраиваются только в специально оборудованных местах. Грибы, ягоды, цветы, лекарственные растения, любые природные сувениры собираются там, где это разрешено. Отели, кемпинги, приюты или хижины для туристов должны быть построены из экологически чистых материалов в соответствии с принципами экологически устойчивого развития окрестных ландшафтов. При этом стоки и сбросы должны очищаться, твердые бытовые отходы утилизироваться. Местные жители вовлекаются в туристический бизнес и получают возможность развивать свои традиционные формы хозяйствования.

Задача туристов должна состоять в том, чтобы с уважением относиться к местным культурным традициям, стремиться их изучать и понимать, доступными способами участвовать в решении местных экологических проблем. Участие местных жителей в туристической деятельности и получение ими от этой деятельности до-

ходов создаст для них экономические и моральные стимулы к охране природы. Налоговые поступления и другие доходы, получаемые от экологического туризма, должны не только взиматься целиком из местного бюджета, а способствовать его пополнению и направляться на региональное социально-экономическое развитие.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что экономическая эффективность использования торфяно-болотных угодий природоохранного назначения и их вклад в устойчивое региональное развитие должны определяться на основе следующих положений. Данные территории несут определенные блага, ценность которых связана с выполнением ими не только ресурсных, но и большей частью нематериальных функций.

К ресурсным благам относятся водный и асимиляционный потенциал, растительный и животный мир.

Нематериальными благами считаются создание условий для рекреации, сохранение качества питьевой воды, поддержание водного баланса, сохранение генетического и видового разнообразия объектов живой природы, поддержание естественной продуктивности природных систем в целом и другие природные услуги. Обычно указанные нематериальные блага и другие природные услуги не находят отражения в ценах, как это имеет место в ценах на ресурсные блага или же на земельные участки, где они находятся. Большая часть из них не являются ограниченными, с точки зрения их доступности для пользования. Вследствие этого экономическая ценность данных территорий, не обладающая рыночной стоимостью и ценой, может быть определена на основе общей экономической ценности, которая представляет собой стоимостное выражение всех аспектов ценности природных благ для общества. Таким образом, общая экономическая ценность торфяно-болотных угодий (как природных территорий) включает собственно рыночную стоимость тех ресурсов, которыми они располагают, и стоимость предоставляемых ими нематериальных благ и услуг, которыми опосредованно пользуется общество, а также стоимость потенциальных возможностей их использования в будущем. Поэтому экономическая эффективность использования таких территорий может базироваться лишь на моделировании так называемых «суррогатных рынков» и концепции общей экономической ценности природных благ или объектов [1]. Указанная концепция исходит из представления, что природная среда:

- обеспечивает общество природными ресурсами, оценка стоимости которых возможна по их рыночным ценам;

- регулирует природные процессы и асимиляцию отходов и антропогенных загрязнений, оценка стоимости которых возможна на основе учета затрат на замещение выполняемых природоохранных функций;

- обеспечивает людей природными благами и услугами, оценка которых возможна на основе стоимости отложенной альтернативы.

Суммарная стоимостная оценка указанных направлений использования природных объектов может дать представление об их общей экономической ценности лишь на основе комплексного учета всей совокупности их полезных свойств. Такой подход к оценке природных ресурсов рассматривается как наиболее перспективный, определяемый следующей формулой:

$$TEV = UV + NUV, \quad (1)$$

где  $TEV$  – величина общей экономической ценности природного объекта (*total economic value*);  $UV$  – стоимость, равная величине:  $DUV + IUV + OV$  (*use value*);  $DUV$  – величина прямой стоимости использования ресурсов природного объекта (*direct use value*);  $IUV$  – косвенная стоимость использования ассимиляционных (восстановительных) функций природного объекта (*indirect use value*);  $OV$  – стоимость отложенной альтернативы как возможное использование ресурсов и ассимиляционных функций природного объекта в будущем (*option value*);  $NUV$  – стоимость неиспользования (*non-use value*) определяется суммарной величиной, равной  $EV + BV$  (*existence value + bequest value*).

Величина стоимости неиспользования природного объекта ( $NUV$ ), как правило, определяется стоимостью существования ( $EV$ ), т. е. рекреационной способностью природного объекта, или стоимостью наследия ( $BV$ ), отражающей прежде всего социальные аспекты значимости природного объекта для общества в целом.

Таким образом, показатель общей экономической ценности торфяно-болотных угодий или стоимости их экологических функций рассматривается как сумма таких показателей, как стоимость использования и стоимость неиспользования природных благ, предоставляемых на данной территории.

Стоимость использования складывается из стоимости прямого использования, представляющей собой рыночную оценку товаров и услуг, получаемых от использования, в частности с изъятием биологических ресурсов – древесины, устойчивой охоты и рыболовства, туризма, лекарственных растений, побочных продуктов – грибов, ягод и пр.; стоимости косвенного использования, к которым, как правило, относятся нематериальные блага и косвенные выгоды – связывание углекислого газа, сохранение биологического разнообразия, водорегулирующая, ассимилирующая и другие функции, продуцируемые торфяно-болотными угодьями; стоимости альтернативы – условно возможной стоимости, представляющей получение доходов в будущем при условии, что данный природный объект сохранится.

Стоимость прямого использования определяется на основе сложившихся рыночных цен

на товары и услуги, продуцируемые биологическими ресурсами и природными территориями.

Стоимость косвенного использования позволяет измерить выгоды, создаваемые регулирующими функциями торфяно-болотных систем или экологических услуг, а также оценить эти природные территории в глобальном или региональном масштабах.

Стоимость отложенной альтернативы определяется как сумма прямой и косвенной стоимости использования.

Оценивая варианты устойчивого социально-экономического развития, инвестиционные проекты или направления конкретной производственной деятельности с учетом природоохранного фактора, необходимо иметь соответствующие критерии и систему показателей, определяющих их прямую и косвенную экономическую ценность. В данном случае для решения указанных задач, как представляется, возможно использование механизма сопоставления затрат и выгод (результатов) в денежном выражении на основе оценки экономической эффективности принимаемых управлеченческих или проектных решений.

Принципиальным можно считать то, что экономическая эффективность принимаемых управлеченческих решений определяется исходя из соотношения затрат и эффекта, который отражает величину стоимостного прироста в результате реализации управлеченческого решения. При этом в теоретических исследованиях и конкретной практике используются различные методики, основанные на определении экономической эффективности капитальных вложений, когда, например, превышение потенциальной выгоды ( $D$ ) над затратами ( $Z$ ) определяется соотношением  $D - Z > 0$ . Данная формула применима лишь для краткосрочного периода. Однако когда идет речь об экономической эффективности в долгосрочном периоде, то рассматривается вопрос о сопоставлении затрат и выгод с точки зрения теории текущей стоимости денег и приведение разновременных стоимостных величин доходов и расходов с учетом фактора времени (дисконтирования). Дисконтирование позволяет приводить будущие расходы и доходы к их современной стоимости по формуле

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{NCF_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{I_t}{(1+r)^t}, \quad (2)$$

где  $NPV$  – чистая дисконтированная ценность природного объекта, определяемая величиной чистого дисконтированного дохода за время его использования;  $NCF_t$  – чистый доход (прибыль) с учетом амортизационных отчислений в год  $t$ ;  $I_t$  – годовые инвестиционные вложения;  $T$  – период использования природного объекта или срок окупаемости инвестиционных вложений (не более 10 лет);  $r$  – норма дисконта или максимальная предъявляемая годовая прибыльность

альтернативных и доступных направлений инвестирования в природоохранные проекты.

Современные используемые ставки дисконтирования достаточно велики и составляют 8–12 %. Ставка дисконтирования может быть рассчитана с учетом доходности ценных бумаг, усредненной стоимости инвестиционного капитала, существующей ставки по долгосрочному кредиту, риску и темпам инфляции и с учетом других факторов. Однако наиболее обоснованной, как представляется, может являться норма диконта, рассчитанная по средневзвешенной норме доходности уставного (акционерного) капитала и стоимости заемных средств, равная 10 %.

Исходя из вышеизложенного теоретического подхода, установлена стоимость прямого и косвенного использования торфяно-болотных

угодий Беларуси природоохранного назначения (таблица). Как следует из таблицы, общий доход, определяющий стоимость прямого и косвенного использования торфяно-болотных угодий на площади 312,6 тыс. га, составляет: по чистому доходу (прибыли) – 142 399 тыс. долл., а по чистому дисконтированному доходу – 87 497 тыс. долл. США в расчете на 1 год. Приведенный доход, определяющий стоимость прямого использования торфяно-болотных угодий, рассчитанный доходным методом на основе разработанных нормативов затрат применительно к условиям Беларуси составляет: по чистому доходу – 5712 (312,6 тыс. га · 18,271 долл.) тыс. долл. США и по чистому дисконтированному доходу – 3510 (312,6 тыс. га · 11,227 долл.) тыс. долл. США.

**Таблица. Общая экономическая ценность торфяно-болотных угодий природоохранного назначения (расчет в среднем на 1 год)**

Показатель	Единица измерения	Значение показателя
1. Площадь торфяно-болотных угодий природоохранного назначения	тыс. га	312,6
2. В расчете на 1000 га площади:		
2.1. Нормативная стоимость прямого использования: доходы прямого использования (древесина, ягоды, грибы, лекарственные растения, сырье и др.)	долл.	11 260
2.2. Туристическая деятельность	долл.	5970
2.3. Деятельность по обслуживанию туристов и других посетителей	долл.	20 770
2.4. Рекреационная деятельность	долл.	3350
2.5. Охота и рыболовство	долл.	1415
2.6. Доходы от прямого использования ( <i>NSR</i> )	долл.	42 765
2.7. Общие капитальные вложения	долл.	77 760
2.8. Годовые расходы с учетом налогов, относимых на себестоимость продукции (без амортизации)	долл.	21 180
2.9. Амортизация	долл.	7776
2.10. Балансовая прибыль	долл.	13 809
2.11. Налог на прибыль (24%)	долл.	3314
2.12. Чистый доход ( <i>NSF</i> )	долл.	18 271
2.13. Накопленный чистый доход	долл.	10 495
2.14. Чистый дисконтированный доход ( <i>NPI</i> ) при $r = 10\%$	долл.	11 227
2.15. Накопленный чистый дисконтированный доход	долл.	3451
2.16. Индекс рентабельности инвестиций ( <i>P/I</i> )	коэф.	1,44
2.17. Внутренняя норма доходности ( <i>IRR</i> )	%	19,6
2.18. Срок окупаемости инвестиций:		
по накопленному чистому доходу	лет	5,3
по накопленному чистому дисконтированному доходу	лет	6,8
3. Общий доход от прямого использования торфяно-болотных угодий (прямая стоимость):		
3.1. Чистый доход ( <i>NSF</i> )	тыс. долл.	5712
3.2. Чистый дисконтированный доход ( <i>NPI</i> )	тыс. долл.	3510
4. Общий доход от косвенного использования торфяно-болотных угодий:		
4.1. Стоимость связывания углерода:		
чистый доход ( <i>NSF</i> )	тыс. долл.	53 848
чистый дисконтированный доход ( <i>NPI</i> )	тыс. долл.	33 087
4.2. Стоимость водорегулирующей и других функций:		
чистый доход ( <i>NSF</i> )	тыс. долл.	82 839
чистый дисконтированный доход ( <i>NPI</i> )	тыс. долл.	50 900
5. Общий доход от прямого и косвенного использования торфяно-болотных угодий (стоимость отложенной альтернативы – будущее использование):		
чистый доход ( <i>NSF</i> )	тыс. долл.	142 399
чистый дисконтированный доход ( <i>NPI</i> )	тыс. долл.	87 497

При определении стоимости прямого использования торфяно-болотных угодий мы исходили из доходов и расходов, образующихся в результате заготовки древесины и побочной лесной продукции, развития экологического и сельского туризма, охоты и рыболовства и рассчитанных как нормативные на 1000 га угодий. Возможными видами деятельности и оказываемых экологических услуг в местах торфяно-болотных угодий могут быть: международный туризм; туристические туры местного населения; фотоохота на редких животных и птиц, находящихся в естественных условиях; сбор грибов, ягод, лекарственных трав и другой продукции леса; оказание услуг туристам и посетителям, связанных с проживанием, питанием и отдыхом. Капитальные (инвестиционные) затраты определены в объеме 77 760 долл. США в расчете на 1000 га угодий, которые, как показывают расчеты, могут окупиться в течение 5–6 лет. Возможная прибыль на вложенный капитал может быть достаточно высокой (19,6 %), что является привлекательным для инвесторов.

Кроме того, развитие деятельности по экологическому и сельскому туризму и связанных с ним различного рода услуг позволит также решать и социально-экономические проблемы проживающего в районах торфяно-болотных угодий населения [3]. Представится возможность получать более высокие доходы, обеспечить занятость населения в сфере оказания услуг и производства экологически чистой сельскохозяйственной продукции. Получит развитие дорожная и инженерная инфраструктуры, а также система обслуживания, что будет способствовать улучшению социальных условий проживания местных жителей и развитию сельских территорий.

Стоимость косвенного использования торфяно-болотных угодий, характеризующая получение возможного дохода от связывания (депонирования) углерода, определена на основании прямого счета [2]. В основу расчета такой стоимости положены следующие методические положения. Торфяно-болотные угодья и связанные с ними экосистемы занимают важное место в формировании баланса углерода. Они, являясь огромным углеродным резервуаром, играют положительную роль в формировании углеродного баланса и выполняют функцию сдерживающего фактора в изменении климата в сторону его потепления. Депонирование углерода лесными системами совместно с болотными угодьями составляет ежегодно порядка 0,5–0,8 млрд, или в пересчете на CO<sub>2</sub> – 1,8–2,9 млрд. Следовательно, болотные угодья вместе с лесами оказывают существенное влияние на формирование углеродного баланса планеты. В этой связи сохранение площади торфяно-болотных угодий является первоочередной задачей. Функция связывания углерода важна также из-за формирования гло-

бального рынка торговли углеродными квотами и осуществления сделок на рынке углеродных кредитов. Такой рынок развивается в Западной Европе и других странах мира (Россия, Украина, Китай и т.д.), что предусмотрено Киотским протоколом. Возможности продажи квот на выбросы углекислого газа имеются и в Беларуси. Поэтому экономический смысл имеет оценка косвенной стоимости торфяно-болотных угодий, связанной с депонированием CO<sub>2</sub>. Так, если принять во внимание, что на 1 гектар площади торфяно-болотных угодий в результате фотосинтеза болотной растительности масса связанного углерода, по данным экспертных оценок, ежегодно составляет 3,6 т, то общая масса связанного углерода с площади 312,6 тыс. га составит 1125,36 тыс. т. В пересчете на CO<sub>2</sub> данная величина составит 4079,43 (1125,36 · 3,625) тыс. т. По имеющимся данным, цена 1 т углекислого газа на европейском рынке составляет 13,2 долл. США. Следовательно, общая стоимость ежегодно связываемого углерода может составить 53 848 тыс. долл. США, а с учетом фактора времени (нормы дисконта, равной 10 %) – 33 087 тыс. долл. США. Стоимость водорегулирующей и других функций торфяно-болотных угодий оценена приблизительно, исходя из их общей площади (312,6 тыс. га) и цены фильтрующей способности 1 га, равной 265 долл. США. Она составляет: по чистому доходу – 82 839 тыс. долл. США и чистому дисконтированному доходу – 50 900 тыс. долл. США. Таким образом, стоимость прямого и косвенного использования торфяно-болотных угодий Беларуси природоохранного назначения составит: по чистому доходу – 142 399 тыс. долл. США и чистому дисконтированному доходу – 87 497 тыс. долл. США.

Стоимость неиспользования торфяно-болотных угодий, как и других природных объектов, может базироваться на стоимости их существования, которая представляет собой оценку желания людей платить за существование конкретных природных территорий, природных объектов, видов животных и растений. Главным здесь являются определенные блага, ценность которых связана с выполнением ими нематериальных (нересурсных) функций – создание условий для рекреации, сохранения питьевой воды, поддержание водного баланса, поддержание продуктивности экосистем, сохранение генетического и видового разнообразия живой природы и т. д. При этом предполагается, что человек, дающий оценку, может никогда не пользоваться данными благами. Стоимость существования торфяно-болотных угодий данного назначения может быть определена прежде всего по данным измерения таких тонких ценностей, как их эстетические и этические свойства. К ним можно отнести также ценность природы самой по себе,

эстетическую ценность природы для человека, долг по сохранению природы перед будущими поколениями, ценность наследия и др. За стоимость наследия (наследования), как правило, принимают суммарную оценку готовности людей платить за сохранение определенных природных благ или природных объектов для будущих поколений. Стоимость существования указанных природных объектов может быть определена с помощью методов анкетирования или социологических опросов, что требует значительных расходов и времени. Поэтому стоимость неиспользования торфяно-болотных угодий природоохранного назначения как природных объектов самих по себе определена на основании упрощенных экономических расчетов и составляет порядка 33,0 млн долл. США из расчета 3,5 долл. США на 1 жителя Беларуси.

Таким образом, приведенная информация позволяет определить экономическую ценность торфяно-болотных угодий Беларуси природоохранного назначения на основе прямой и косвенной стоимости их использования, а также стоимости существования. Сумма указанных стоимостей составляет: по чистому доходу – 175 399 тыс. долл. США, а по чистому дисконтированному доходу – 107 774 тыс. долл. США. Подавляющая часть этой суммы приходится на косвенную стоимость (58,2 %), а в прямой стоимости использования наиболее значительные выгоды составляют выгоды от туристической деятельности и деятельности по обслуживанию туристов и других посетителей. Указанные суммы представляются как упущенная выгода, реализация которой является актуальной в современных условиях, прежде всего потому, что торфяно-болотные экосистемы Беларуси – важнейшие объекты, определяющие объем квот на выброс парниковых газов, торговля которыми позволила бы привлечь инвестиции в проекты по их снижению. Кроме того, природные комплексы

имеют большое значение для совместного решения экономических и экологических задач на основе развития экологического туризма. В частности, изучение, охрана и рациональное использование таких природных образований и их экологических ресурсов в интересах всех сопредельных государств следует рассматривать в качестве важнейшей межгосударственной задачи в целях совместного экономического развития и природоохранного сотрудничества.

Для разработки современной экономической политики, принятия экономически и экологически обоснованных управлеченческих решений важно знать экономическую ценность конкретных природных объектов и возможных их экологических услуг.

В настоящее время большинство экологически важных природных объектов либо вообще не имеют цены, либо имеют заниженные стоимостные оценки, что приводит к принятию ресурсоемких и экологически необоснованных решений. Как представляется, недоучет экологического фактора приводит зачастую к искажению тенденции экономического развития на всех уровнях хозяйственной деятельности. Искажаются такие традиционные показатели, как валовой внутренний продукт, прибыль и др. Поэтому важным является измерение показателей социально-экономического развития с учетом экологического фактора прежде всего в тех отраслях народного хозяйства, которые связаны непосредственно с использованием природных ресурсов – топливная промышленность, горнодобывающая отрасль, сельское хозяйство, туризм. Необходимо введение системы интегрированных экономических национальных счетов, обеспечивающих учет экологического фактора в национальной статистике и отражение при исчислении чистого внутреннего продукта индекса гуманитарного развития и устойчивого экономического благосостояния населения.

## Литература

1. Диксон Д., Скура Л., Карпентер Р., Шерман П. Экономический анализ воздействий на окружающую среду / Пер. с англ. А. Н. Сальникова, С. С. Шалыгиной. М., 2000.
2. Стратегия устойчивого развития экологического туризма в Беларуси / Л. М. Гайдукевич [и др.], под общ. ред. Л. М. Гайдукевича, С. А. Хомич. Минск, 2008.
3. Томашевич А. В., Унукович А. В., Яцухно В. М. Экономическая оценка геостратегических ресурсов Беларуси: проблемы и решения // Природные ресурсы. 2007. № 3. С. 98–109.

**А. В. Унукович, Я. И. Аношко**

**ТОРФЯНО-БОЛОТНЫЕ УГОДЬЯ ПРИРОДООХРАННОГО  
НАЗНАЧЕНИЯ И ИХ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ**

*Рассмотрены вопросы экономической эффективности использования торфяно-болотных угодий природоохранного назначения. Представлена суммарная стоимостная оценка направлений использования природных объектов. Показатель общей экономической ценности торфяно-болотных угодий или стоимости их экологических функций рассматривается как сумма стоимости использования и стоимости неиспользования природных благ, представляемых на данных территориях, а также стоимости существования. Определена стоимость прямого и косвенного использования торфяно-болотных угодий Беларуси природоохранного назначения. Сумма указанных стоимостей составляет: по чистому доходу – 175 399 тыс. долл. США, а по чистому дисконтированному доходу – 107 774 тыс. долл. США.*

*В настоящее время большинство экологически важных природных объектов либо вообще не имеют цены, либо имеют заниженные стоимостные оценки, что приводит к принятию ресурсоемких и экологически необоснованных решений. Поэтому для принятия обоснованных управлеченческих решений важно знать экономическую ценность конкретных природных объектов и их возможных экологических услуг.*

**A. V. Unukovich, Ya. I. Anoshko**

**PEAT WETLANDS OF NATURE PROTECTION  
AND THEIR ECONOMIC VALUE**

*Questions of cost-effectiveness to use peat wetlands for nature-protective purposes have been regarded. A total valuation of natural objects use trends has been presented. An indicator of total economic value of peat wetlands or the value of their ecological functions is viewed as the sum of the use value and value of non-use of natural wealth, presented in these areas, as well as value of survival. The value of direct and indirect use of peat lands in Belarus of environmental purposes has been determined. The sum of these values is as follows: as a net income – 175 399 thousand U.S. dollars, and as a net present value – 107 774 thousand U.S. dollars.*

*Currently, the greater part of ecologically important natural sites either have no price or have underestimated cost, which leads to the adoption of resource-intensive and environmentally unjustified decisions. Therefore, to make substantiated management decisions it is important to know economic value of specific natural sites and their possible environmental services.*

УДК 56(476)

Ю. У. Заіка

## АБ ПАЛЕАНТАЛАГІЧНЫХ КАЛЕКЦЫЯХ У БЕЛАРУСІ – ГІСТОРЫЯ СТВАРЭННЯ, СУЧАСНЫ СТАН

*Коратка асвятляеца гісторыя стварэння і сучасны стан палеанаалагічных калекцый у Беларусі. Як вынікае з гісторычнага агляду, да гэтага часу ў музеях і навуковых установах Беларусі павінны былі быць намножаны значныя зборы выканёвых рэшткаў розных груп жывёл – ад чацвярцёвых млекакормячых з паверхневых адкладаў да кембрыйскіх беспаз-ванковых з керну глыбокіх свідравін. Аднак на самой справе становішча палеанаалагічных матэрыялаў у Беларусі вельмі далёкае ад належнага. Шмат якія з іх, уключна з рэдкімі і вельмі каштоўнымі знаходкамі (такімі, як дэвонскія эўрыптэрыйды альбо плейстацэнавыя маманты), былі незваротна страчаны.*

*Разгледжаны прычыны гэтага становішча і магчымыя шляхі вырашэння агучанай праблемы.*

Значная частка зямной кары складзена асадкавымі і метамарфічнымі горнымі пародамі, у якіх сустракаюцца рэшткі выканёвых жывёл, раслін і мікраарганізмаў, а таксама сляды іх жыццяздзеянасці. Гэтыя выканнёвыя рэшткі з'яўляюцца своеасаблівымі натуральнымі дакументамі, на падставе якіх палеанталогіяй вядзеца даследаванне гісторыі жыцця на Зямлі: флор і фаун мінулага, эвалюцыі, росквітаў і вымірання буйных груп арганізмаў, біятычных катастрофаў, паслядоўнасці змянення клімату і фарміравання сучаснага арганічнага свету. Акрамя вялізарнай навуковай ролі, выканнёвыя арганічныя рэшткі шырока выкарыстоўваюцца ў практицы геалагічных даследаванняў пры стварэнні і ўдакладненні стратыграфічнай асновы легенд геалагічных карт. Без гэтых матэрыялаў маштабныя накіраваныя пошуки і разведка мінеральных рэсурсаў былі б немагчымі. Не апошнім ёсць і значэнне выканёвых для стварэння пазнавальных музейных экспазіцый, якія дзейнічаюць ва ўсіх цывілізаваных краінах свету і карыстаюцца вялікай папулярнасцю. Колькасць наведнікаў палеанаалагічных выставаў складае сотні тысяч чалавек штогод.

На тэрыторыі сучаснай Беларусі знаходкі палеанаалагічных аб'ектаў вядомыя не пазней як з другой паловы XVI ст., калі паведамляеца пра шкілет маманта, які быў раскапаны ў 1589–1604 гг. і захоўваўся ў Мірскім фарным касцёле (Sniezko, 1937; Калиновский, 1983). У XIX ст. з'яўляюцца першыя публікацыі, дзе асвятляюцца некаторыя пытанні палеанталогіі нашай тэрыторыі; асобныя звесткі прыведзены ў работах даследчыкаў першай паловы XX ст., а таксама ў работах геолагаў і археолагаў Інстытута беларускай культуры (Геология Беларуси, 2001).

З другой паловы 1930-х гг. – а найбольш інтэнсіўна пасля 1945 г. – распачынаюцца сістэмныя даследаванні геалагічнай будовы Беларусі ў

мэтах пошуку карысных выканняў. Для гэтага, як першы і неабходны этап геолагаразведачных прац, спатрэбілася падрабязная геалагічная карта рэспублікі і апорныя стратыграфічныя схемы, стварэнне якіх абузовіла разгортанне адпаведных па аб'ёмам палеанаалагічных работ. У 1951 г., пры тагачасным Інстытуце геалагічных навук АН БССР, заснавальнікам беларускай палеантолага-стратыграфічнай школы А. В. Фурсенка была арганізаваная лабараторыя палеанталогіі. З гэтага часу палеанаалагічнае вывучэнне тэрыторыі Беларусі робіцца рэгулярным, што знайшло адлюстраванне ў шматлікіх публікацыях (Голубцов (ред.), 1978; Геология Беларуси, 2001). У перыяд з 1951 па сярэдзіну 1990-х гг. вывучаўся вялікі шэраг груп жывёл і раслін з адкладаў самага рознага ўзросту – ад дакембрыя да антрапагену: фарамініферы, каралы, малюскі, мшанкі, аннэліды, астракоды, брахіяподы, канадонты, грaptаліты, насякомыя, пазванковыя (рыбы і млекакормячыя), акрытархі, водарасці, вышэйшыя расліны, і некаторыя іншыя. Колькасць палеантолагаў у БССР складала некалькі дзесяткаў чалавек (Голубцов (ред.), 1978).

Палеанаалагічныя матэрыялы збіраліся як з паверхневых адкладаў (чацвярцёвые пазванковыя, малюскі, астракоды, насякомыя і расліны), так і з керну глыбокіх свідравін. Паколькі ў Беларусі натуральная агалені горных парод, больш старажытных за чацвярцёвые, вельмі нешматлікія, глыбокое свідраванне было абавязковым пры геалагічных даследаваннях. У БССР яно было масавым: агульная колькасць пройдзеных свідравін склада некалькі тысяч. Гэта дазваляла стварыць збор керна, унікальны па здабытай інфармацыі аб глыбокіх нетрах Зямлі, у тым ліку – і ў значнай ступені – палеанаалагічнай.

Нямала каштоўных палеанталагічных знаходак зроблена і падчас раскопак палеалітычных і неалітычных стаянок чалавека, а таксама выпадкова – пры распрацоўцы пясчанажвіровых кар’ераў, глін і торфа, пры будаўніцтве і г. д. Асобныя кар’еры (напрыклад, у Смаргоні, Мікашэвічах, Віцебску) былі і застаюцца адносна рэгулярнай крыніцай выкапнёвага костнага матэрыялу чацвярцёвых пазванковых.

Збор і вывучэнне палеанталагічных калекцый на тэрыторыі Беларусі ў парынальна абмежаваным аб’ёме працягваецца і зараз, нягледзячы на агульнае скарачэнне геолагічных даследчых работ. Тым не менш з вышэйпададзенага кароткага агляду гісторыі палеанталагічных даследаванняў можна было бы меркаваць, што на сённяшні час у Беларусі ўжо собраныя маштабныя і ўнікальныя палеанталагічныя калекцыі, якія маюць агульнанавукове значэнне і прадстаўляюць сабой вялізарную музейную і культурную каштоўнасць. У многіх еўрапейскіх краінах, сярод якіх, напрыклад, Польшча, Чэхія, Германія, Аўстрыя, Швецыя, Вялікабрытанія, а таксама ў ЗША, Канадзе, Аўстраліі, Кітаі і г. д., палеанталагічныя матэрыялы актыўна выкарыстоўваюцца ў працы міжнародных арганізацый і праектаў па геалогіі і даследаванні гісторыі Зямлі (такіх, як International Commission on Stratigraphy, International Union of Geological Sciences, International Paleontological Association), правядзенні палеанталагічных форумаў, канферэнцый і іншых мерапрыемстваў міжнароднага ўзроўню. Палеанталогія і стратыграфія складаюць значную частку тэматык перыядычных Міжнародных геалагічных кангрэсаў (апошні з якіх адбыўся ў г. Осла (Нарвегія) у 2008 г.). Мяркуючы па багаццю сваіх палеанталагічных калекцый, асабліва свідравінных, Беларусь магла бы браць годны ўдзел у гэтай супрацы. Акрамя стварэння прэстыжу краіны, гэтыя праекты дазволілі бы беларускім даследчыкам больш актыўна працаваць на міжнародным узроўні, мець магчымасці ўдзельнічаць у сістэме міжнароднага фінансавання навукі.

Але якое становішча з палеанталагічнымі матэрыяламі склалася ў Беларусі на самой справе? Падрабязнае вывучэнне гэтага пытання прыводзіць да высновы, што яно, нажаль, вельмі проблемнае. Проблема гэтая комплексная, таму разгляд яе пададзены ніжэй па галоўных складніках, пераважна на прыкладзе палеазаалагічных калекцый (выкапнёвая фауна).

Перш за ўсё трэба разгледзець сітуацыю з найважнейшым відам калекцый – так званымі «манаграфічнымі», альбо калекцыямі да апублікаваных работ, паколькі менавіта на іх заснаваныя высновы як навуковага, так і практичнага характару. Агульнаўпрынятые нормы, якія існуюць як у галіне палеанталогіі, так і ў

біялогіі навогул, палягаюць у тым, што калі даследчык сабраў і апрацаваў той ці іншы матэрыял і падрыхтаваў да апублікавання вынікі сваёй работы, ён абавязаны перадаць апрацаваныя ім калекцыі ў месца пастаяннага захоўвання, якое пры гэтым будзе пазначана ў яго публікацыі. Такім месцам павінны з’яўляцца фондавыя аддзелы музеяў. Гэты парадак істотны дзеля таго, каб, па-першое, фактычны матэрыял, які ёсць крыніцай інфармацыі, быў затым дасягальны для праверкі апублікаваных вынікаў, калі ўзнікне патрэба (што, як паказвае практика, адбываецца даволічаста), і, па-другое, каб гэты ж самы матэрыял найдалей мог быць неаднارазовай асновай для навуковых даследаванняў. Таму невыпадкова, у прыватнасці, што пры апублікаванні манаграфіі «Палеонтологическим журналом» Расійскай Акадэміі навук абавязковым патрабаваннем ёсць перадача калекцыі ў Палеанталагічны музей РАН. Верагодна, многія калегі пагадзяцца са сцвярджэннем, што апублікаваны матэрыял належыць не толькі аўтару публікацыі, нават калі ён быў здабыты за яго ўласныя сродкі, а ўжо належыць і сусветнай навуцы таксама. Фактычна, гэтае патрабаванне адлюстроўвае адзін з асноўных навуковых прынцыпаў – прынцып правяральнасці і ўзнаўляльнасці навуковай інфармацыі. Іншымі словамі, калі да апублікаванай работы калекцыі не існуе, вынікі яе могуць не ўлічвацца як не падмацаваныя фактамі.

Для захоўвання палеанталагічных калекцый фондавыя аддзелы створаны і функцыянуюць не толькі ў старых навуковых цэнтрах Свету, але і амаль ва ўсіх сумежных з Беларуссю краінах – пры ўніверсітэтах, альбо ўстановах сістэмы прыродакарыстання і аховы прыроды. Аднак нават на тле бліжэйшых суседзяў Беларусь у гэтым выглядае белай плямай, паколькі на яе тэрыторыі дагэтуль няма аніводнага музея, дзе б знаходзіліся фондавыя аддзелы, спецыяльна арганізаваныя для захоўвання беларускіх палеанталагічных збораў і працы з імі.

Вынік такіх адносінаў да палеанталагічнай спадчыны Беларусі папросту катастрафічны: трэба канстатаваць, што на сённяшні дзень большая частка матэрыялаў па выкапнёвых жывёлах альбо непапраўна згублена, альбо знаходзіцца ў невядомых і выпадковых месцах, дзе яе далейшая захаванасць нічым не гарантавана. У вялікай ступені незваротнасць гэтых стратай абумоўлена тым, што большасць згубленых матэрыялаў была здабыта з керну глыбокіх свідравін і ўжо не можа быць узноўлена – як па прычынах надзвычай вялікага кошту свідравання з адборам керну, так і таму, што кожная тэарэтычна магчымая новая свідравіна, нават калі будзе пройдзена прыблізна ў тым жа раёне, усёроўна ўжо не дасць ідэнтычнай фауны.

Што да керну свідравін, які пакуль яшчэ існуе, то і ён недаўгавечны, таму што рэгулярна падлягае скарачэнню «за непатрэбнасцю» і для вызвалення плошчы; альбо захоўваецца на кернасховішчах вытворчых прадпрыемстваў, якія далёка не заўсёды дазваляюць адбіраць з яго выканівую фауну. Ці дазваляюць толькі на камерцыйнай аснове, хаяць навуковыя каштоўнасці па дзейным заканадаўстве належать менавіта і толькі дзяржаве. Між тым аб неабходнасці стварэння цэнтралізаванага кернасховішча для пастаяннага захоўвання керна раней ужо выказваліся (Голубцов, 1986), абронтуўваючы тым, што гэта дазволіла б зберагчы вялізарную грашовыя сродкі, якія потым так ці інакш змарнуюцца на дадатковае свідраванне, а таксама захаваць найбагацейшую інфармацыю геалагічнага (у тым ліку і палеанталагічнага) кшталту. Але нічога падобнага па сённяшні дзень у Беларусі не існуе. І нават керн стрататыпай і апорных свідравін часцей за ўсё «захаваўся» толькі ў апісаннях, прычым нярэдка рукапісных (у пікетажных кніжках), альбо ў некаторых спраўяздачах. Гэта пры тым, што ва ўмовах Беларусі, дзе карэнныя пароды больш як на 90 % плошчы перакрыты тоўшчай чацвярцёвага ўзросту, керн тыповых свідравін павінен захоўвацца вечна, бо менавіта на ім заснавана стабільнасць геалагічнай інфармацыі.

Але нават калі размова ідзе не пра свідравінны матэрыял, а пра калекцыі, сабраныя ў паверхневых чацвярцёвых адкладах, то неабходнасць фондавых сковішчаў для іх нічым не меншая, таму што колькасць, напрыклад, пахаванняў плейстаценавых млекакормячых на беларускай тэрыторыі мае пэўныя скончаны лік – гэтыя знаходкі не растуць з зямлі і не памнажаюцца, і кожная з іх, аднойчы страчаная, ужо не адновіцца. Так, П. Ф. Каліноўскі прыводзіц звесткі пра 148 кропак знаходак выканівых сланоў у Беларусі (Каліновский, 1975). Але, нажаль, пра лёс большай часткі пералічаных знаходак вядома вельмі мала. Некаторыя з іх захоўваюцца ў школьніх і краязнаўчых музеях, большасць жа, найверагодней за ўсё, згубленая. Як, падобна на тое, амаль цалкам згубленая для навукі і некалі выдатная калекцыя чацвярцёвой тэрыяфауны, на працягу многіх гадоў сабраная самім П.Ф. Каліноўскім у супрацоўніцтве з археолагамі. На гэтым сумным факце яшчэ давядзеца спыніцца ніжэй, паколькі ён укладваецца ў адзін змагчымых варыянтаў «смерці» навуковых матэрыялаў, якая спасцігла многія беларускія палеазаалагічныя калекцыі.

Якім жа чынам у Беларусі адбываюцца страты палеанталагічных матэрыялаў, і якія дзеянні спатрэбіліся б, каб спыніць гэты працэс, абсолютна непрымальны для любой цывіліза-

ванай краіны, абавязанай ахоўваць спадчыну сваёй тэрыторыі?

Трэба зазначыць, што па Беларусі цягам ХХ – пачатку ХХІ ст. выйшла больш за 100 публікаций з апісаннямі таксонаў, у тым ліку раней невядомых навуцы, г.з.н. да якіх абавязкова павінны быць захаваны калекцыйныя матэрыялы. Яшчэ больш публікаций па стратыграфіі, дзе даюцца спасылкі на вызначэнні відаў «кіруючых» і іншых груп фауны. Вывучэнне аbstавін, звязаных з калекцыямі да шэрагу з гэтых работ, дазваляе вылучыць наступныя тыповыя варыянты.

1. У якасці прыклада найбольш распаўсюджанай сітуацыі прывяду цытату, дзе аўтар адной з публікаций наступным чынам спасылаецца на месца захоўвання сваіх матэрыяляў: «Голотип хранится в коллекции Лаборатории геологии и палеопотамологии антропогена Института геохимии и геофизики АН БССР, инв. № Б+К, N+Q, 2-1». Адразу ж неабходна ўдакладніць, што на сёння, пасля шэрагу рэформаванняў і рэарганізацый, больш не існуе ні ўзгаданая лабараторыя, ні сам інстытут; спроба ж знайсці калекцыю ва ўстанове, якая зараз з'яўляецца спадкаеміцай былога Інстытута геахіміі і геафізікі АН БССР, вынікаў не прынесла.

Падобных прыкладаў, калі лёс калекцый бяспледна губляеца ў нетрах арганізацый і структур, якія некалі існавалі, але пазней былі расфарміраваныя, можна прывесці масу. Што пры гэтым адбываеца добра вядома ўсім, хто працаўваў у айчыннай палеанталогіі: калекцыі жывуць роўна столькі, сколькі працуе, альбо – у лепшым выпадку – жыве сам іх аўтар. Пасля съходу даследчыка калекцыя альбо мэтанакіравана ліквідаецца (для вызвалення плошчы), альбо губляеца падчас пераездаў, пераносаў і г.д.

2. Адвартная сітуацыя назіраеца ў тым выпадку, калі фізічна захоўваеца сама калекцыя, але ў невядомым накірунку знікае ўся яе дакументацыя: геаграфічныя ўказанні і стратыграфічныя прывязкі, без якіх навуковай вартасці калекцыя мець не можа. Такая таямнічая гісторыя адбылася з вышэйзгаданай калекцыяй П. Ф. Каліноўскага ў бытых Інстытуце геахіміі і геафізікі НАН Беларусі. Даволі доўгі час гэты даследчык займаўся зборам і вывучэннем пазванковых плейстаценавых і галацэнавых костак – без анікіх дакументаў і нават простых геаграфічных этикетак. Менавіта ў такім выгляде гэты матэрыял быў пазней перададзены ў

Заалагічны музей БДУ. Чаму, калі і пры якіх абставінах знікла дакументацыя – невядома, але нават калі этикеткі ці рабочыя запісы нейкім чынам знайдуцца, ужо вельмі няпроста, альбо нават наўрад ці магчыма, будзе знайсці іх адпаведнасць большасці канкрэтных заходак.

3. Можна прывесці прыклады, калі калекцыя знаходзіцца на прыватнай плошчы аўтара публікацыі. З улікам вышэйапісанай няпэўнасці становішча калекцыі у нашых навукова-даследчых арганізацыях, нярэдка абіраецца менавіта такі шлях захоўвання. Але і ў хатніх умовах гэтыя матэрыялы праіснуюць ненашмат даўжэй за свайго аўтара. Хутчэй за ўсё, менавіта так загінулі многія матэрыялы І. У. Міцянінай па мезазойскім (юрскім) фарамініферам Беларусі, з дапамогай якіх у 1960–1970 гг. былі распрацаўваныя стратыграфічныя схемы адпаведных адкладаў. Захавалася толькі невялікая частка калекцыі, перададзеная аўтару гэтих радкоў, і яшчэ частка захоўваецца ў нешматлікіх беларускіх спецыялісташа па мезазою, што, зноў жа, як відаць з прыведзеных вышэй прыкладаў, можна назваць толькі часовым выйсцем. Фактычна, такія калекцыі могуць быць згубленыя цягам некалькіх бліжэйшых дзясяткаў гадоў.

Узнікаюць таксама сітуацыі, калі аўтар ужо досыць даўно не працуе ў палеанталогіі і знайсці яго асабіста, каб даведацца аб месцах заходжанні калекцыі, вельмі складана. І ці здолее замайсцца такімі пошукамі замежныя спецыялісты, якія захоча прыехаць у Беларусь для працы з гэтымі матэрыяламі?

4. Асаблівага разгляду заслугоўваюць калекцыі, вывезеныя за мяжу. У савецкі перыяд (ды і ў пазнейшы час таксама), калі адбываўся абмен калекцыйнымі матэрыяламі паміж былымі саюзнымі рэспублікамі і з суседнімі краінамі, нямала беларускіх калекцый было выпраўлена спецыялістам у Расію, Эстонію, Літву, Латвію, Украіну і Польшчу для апрацоўкі і вызначэння. Добра калі яны былі потым апублікованыя і перададзены ў фондавыя аддзелы музеяў – так хация б вядома іх дакладнае месца заходжання. Прыйкладам можа быць калекцыя брахіядоп і астракод верхняга сілура і ніжняга дэвона Беларусі, якая з'явілася фактычнай асновай для палеанталагічнай манаграфіі (Абушик и др., 2007) і зараз захоўваецца ў аддзеле манаграфічных калекцый палеазоя Цэнтральнага навукова-даследчага геалагічнага музея імя Ф. М. Чарнышова ў Санкт-Пецярбургу.

Аднак большасць такіх матэрыялаў не апублікована і пасля вызначэння відаў і ўзроста адкладаў, у лепшым выпадку, «пахавана» сярод масы іншых рабочых калекцый. Вядомыя мне выключэнні адносна рэдкія. Так, ва Усерасійскім навукова-даследчым геалагічным інстытуце імія

А. П. Карпінскага (ВСЕГЕІ) у Санкт-Пецярбургу аўтару былі перададзеныя мікрапалеанталагічныя калекцыі астракод сілуру Беларусі, якія яшчэ ў 1970–1980 гг. былі дасланыя для вывучэння і дагэтуль захаваліся толькі дзяякуючыя добраахвотнаму нагляду з боку некаторых супрацоўнікаў гэтай установы. У Палеанталагічным інстытуце ў Маскве захоўваюцца асобныя пластыны панцыра дэвонскіх рыб з керна беларускіх свідравін, некалі вызначаныя Дз. У. Обручавым. Пра многія іншыя беларускія калекцыі за мяжой канкрэтных звестак няма. У прыватнасці, застаецца толькі спадзявацца на тое, што недзе ўсё ж захаваліся матэрыялы па каралах сілуру Беларусі, перададзеных для вызначэння ва Украіну. Альбо дэвонскія страматапораідэі, якія былі накіраваны ў Расію (Екацярынбург) спецыялісту па гэтай групе, але да адрасата так і не дайшлі. Усе яны паходзілі з керна свідравін і таму не могуць быць узноўлены.

І калі керн дэвонскіх ці, прыкладам, мелавых адкладаў яшчэ можна знайсці ў кернаховішчах беларускіх прадпрыемстваў, то керн такога ўзросту, як каменнавугальны, пермскі альбо трыйсавы на дадзены момант амаль поўнасцю знішчаны і здабыць якія б то ні было матэрыялы з гэтых інтэрвалаў практычна немагчыма. Між тым менавіта з трыйсавых адкладаў паходзяць такія заходкі, як касцяныя брэкчыі (рыбныя могілкі) ганоідных рыб (Голубцов (ред.), 1978), ці косткі чэрапа лабірінтадонтаў (*Amphibia*) *Protosaurus* альбо *Trematosaurus* (Монкевич, 1976), несумненна ўнікальныя для тэрыторыі Беларусі. У свой час яны былі накіраваны для вызначэння спецыялістам за межы БССР, і далейшы іх лёс цмяны.

Ёсць і верагодныя прыклады неафіцыйнай перадачы калекцыі для захоўвання за мяжу. Магчыма, менавіта гэта адбылося з калекцыямі малюскаў, анэлід і брахіядоп дэвона Беларусі А. М. Цытлёнка? У прыватнасці, тыповыя экзэмпляры шэрагу відаў, апісаных гэтым даследчыкам у публікацыях 1970–1990-х гг., ва ўказаных ім месцах захоўвання не знайдзены. Па некаторых звестках, галатыпы А. М. Цытлёнка цяпер змешчаны ў адным з музеяў Заходняй Еўропы альбо захоўваюцца ў прыватнага калекцыянера. Тоэ, што яны недзе захоўваюцца, само па сабе нядрэнна, шкада толькі, што зараз невядома дзе і як іх непасрэдна знайсці для работы.

Коротка разгледзеўшы манаграфічныя калекцыі, якія збіраліся для мэтанакіраванага вывучэння, можна спыніцца на праблеме «выпадковых» палеанталагічных заходак, якія, часам, даюць непаўторныя па значнасці матэрыял. За апошніяе дзесяцігодзінне ў Беларусі найбольшым рэзанансам адзначыліся заходкі дэвонскіх ракаскарпіёнаў у Салігорскіх калійных шахтах, а таксама чацвярцёвых млекакормячых

на тэрыторыі Мінска. Спынімся на гэтых фактах больш падрабязна.

Ракаскарпіёны (*Eurypterida*) прадстаўляюць сабой поўнасцю вымерлую группу, да якой адносяцца самыя буйнапамерныя прадстаўнікі артрапод. Поўныя (ці амаль поўныя) экзэмпляры ракаскарпіёнаў сустракаюцца даволі рэдка і таму з'яўляюцца вялікай каштоўнасцю. У Беларусі такіх знаходак, без уліку фрагментарных, параўнальна нядайна зроблена дзве – у 2002 і 2008 гг. Фотаздымак першай з іх у свой час быў надрукаваны ў некаторых газетах, пра знаходку паведамлялася ў тэле- і радыёсродках масавай інфармацыі. Але за кадрам засталося тое, што амаль адразу пасля таго як быў знайдзены, гэты экзэмпляр сур'ёзна пашкодзіў, у чым аўтару давялося заўпэўніцца асабіста па прыездзе ў Салігорск на 1-е рудаўпраўленне хутка пасля з'яўлення інфармацыі пра знаходку. Больш за тое, з апошняга апубліканага паведамлення аб ракаскарпіёнах дэвону Беларусі ўжо і навогу вынікае, што знаходка 2002-га года зараз страчаная цалкам (Плакс и др., 2009). Такім чынам, захаваўшыся ў горных пародах некранутым больш за 370 млн гадоў, унікальны экзэмпляр зрабіўся ахвярай чалавечага вандалізму.

Больш пашанцевала знаходцы 2008-га года: яна захоўваецца ў Музее працоўнай славы Салігорскага калінага камбіната. І хаты гэты музей не з'яўляецца спецыялізаваным навуковым, на тле вышэйпрыведзеных падзеяў добра ўжо і тое, што адзіная ўцалелая беларуская эўрыптэрыда пакуль фізічна існуе ў пэўным зафіксаваным месцы.

Гэтыя дзве знаходкі прымушаюць узгадаць аб яшчэ адной, больш ранній (1976 г.). Знайдзены тады цэлы экзэмпляр, зноў жа, да сёння «захаваўся» толькі на фотаздымку (Плакс и др., 2009).

У 2006 г. пры будаўніцтве перагона паміж станцыямі «Барысаўскі тракт» і «Уручча» Мінскага метрапалітэна былі ўскрыты азёрна-рачныя адклады муравінскага міжледавікоў, у якіх знайдзены рэшткі шкілетаў млекакормячых, малюскі, рыбы і расліны (Карабанов и др., 2007). У 2008 г., таксама на тэрыторыі Мінска, на вул. Машынабудаўнікоў пры закладцы катлавана былі выяўлены могілкі млекакормячых мамантавай фауны (Мотузко и др., 2008). У абодвух выпадках раскопкі праводзіліся супрацоўнікамі Заалагічнага музея БДУ, пры ўдзеле дабраахвотнікаў. Геалагічнае і палеабатанічнае даследаванне гэтых месцаў знаходжання (справа-пылкавы, дыятомавы і палеакарпалагічны аналізы) праведзена спецыялістамі БелНДГРІ і БДУ (Якубовская, 2007; Демідова, Хурсевич, 2007; Рылова, Савченко, 2008). Нажаль, дамагчыся правядзення ўскрышных работ і паўнавартасных плош-

чавых раскопак не атрымалася, таму вялікая колькасць матэрыялу засталася нераскапанай. Але і той матэрыял, які быў здабыты, уяўляе сабой значную каштоўнасць для навуки.

Тым часам перыядычна паступаюць паведамленні пра менш маштабныя, але нярэдка не менш каштоўныя знаходкі – як асобныя косткі, зубы і чарапы плейстацэнавых млекакормячых, так і часткі іх шкілетаў. Далёка не заўсёды новым палеанталагічным матэрыялам шанцуе гэтак жа, як і вышэйпрыведзеным могілкамі плейстацэнавых млекакормячых Мінска. Ва ўмовах, калі ў Рэспубліцы Беларусь не надаецца належная ўвага да такога віду каштоўнасцей і адсутнічаюць цэнтралізаваныя палеанталагічныя фондавыя сковішчы, гэтыя экзэмпляры губляюцца альбо пераўтвараюцца ў аб'екты гандлю. Апошняя, збольшага «ценявая», з'ява вельмі пашырана. Каштоўныя свежазнайдзеныя экзэмпляры рэалізуюцца на продаж альбо папросту расцягваюцца на сувеніры. Некаторыя з іх, у выніку няўдалых спроб вываза за мяжу, канцэнтруюцца ў музеях Гродна і Брэста, як, напрыклад, нядайна канфіскаваны на брэсцкай мытні чэрап валасатага насарога.

Аналіз пададзенага вышэй дазваляе ў агульных рысах выявіць асноўныя прычыны становішча, якое склалася з калекцыямі і матэрыяламі па выкапнёвых, сабраных на тэрыторыі Беларусі. Як бачыцца, яны наступныя.

1. Адсутнасць у Рэспубліцы Беларусь музея альбо ўстановы, пры якой афіцыйна дзейнічаў бы фондавы аддзел альбо аддзел манаграфічных калекцый палеонталага-стратыграфічнай накіраванасці. У выніку спецыялісты, якія ажыццяўляюць палеанталагічныя даследаванні, не маюць магчымасці дэпаніраваць свае апубліканыя калекцыйныя матэрыялы для пастаяннага захоўвання і доступа іншых даследчыкаў; з цягам некаторага часу такія калекцыі губляюцца.

Між тым тэрыторыя Беларусі не настолькі неабсяжная, каб утрыманне цэнтралізаванага фондавага сковішча беларускіх палеанталагічных калекцый абыходзілася бы ў надта вялікую суму. Для параўнання, у Цэнтральным навуковадаследчым геалагічным музеі імя Ф. М. Чарнышова ў Санкт-Пецярбургу, заснаваным яшчэ ў 1882 г., працуе дзве залы манаграфічных калекцый з Расіі і многіх сумежных з ёй краін, агульная колькасць калекцый перавышае 3 тыс. (больш за 300 тыс. адзінак захоўвання). Пры гэтым штат работнікаў па іх абслугоўванню складае чатыры чалавека. Няцяжка зразумець, што маштабы тых матэрыялаў, што зараз маглі быць дэпаніраваны ў аналагічны аддзел музея ў Беларусі, з улікам папярэдніх масавых стратай, пакуль значна меншыя; не большая патрабавалася б і колькасць супрацоўнікаў.

Размова вядзеца не пра пасіўнае сховішча матэрыялаў: фондавы аддзел прызначаны менавіта для працы з калекцыямі, у тым ліку і ў вытворчых мэтах геалогіі. Напрыклад, у некаторай будучыні непазбежна ўзнікне патрэба ва ўдасканаленні і перапрацоўцы стратыграфічных схем і легенд геалагічных карт, для чаго актуальным будзе не тэкст мінульых справаздач, але аб'ектыўны фактычны матэрыял – навуковыя палеанталагічныя калекцыі.

Таму, як прадстаўляеца, фондавы аддзел павінен быць створаны пры адным з музею ці арганізацыі Беларусі для захавання таго матэрыялу, які пакуль яшчэ не страчаны, а таксама для размяшчэння новага, які непазбежна будзе паступаць.

2. Відавочна, мае месца таксама і недастатковая ўвага некаторых даследчыкаў да лёсу сваіх калекцый: пасля выканання навуковай работы і яе апублікавання калекцыя застаецца непатрэбным «мёртвым грузам», без аформленай дакладнай документацыі – так робіцца першы крок да яе страты. Часткова і гэта тлумачыцца адсутнасцю фондавых аддзелаў музеяў, пры передачы калекцыі у якія аўтарам прыйшлося б выконваць хадзячыя б элементарныя правілы.

3. Адсутнасць спецыяльнай рабочай групы, у якой бы цэнтралізавана займаліся зборам дадзеных аб палеанталагічных калекцыях, кантролівалі лёс палеанталагічных матэрыялаў, рэагавалі на новыя маштабныя ці каштоўныя знаходкі, а таксама вывучаць магчымасць абвяшчэння ахойнага статуса для тых ці іншых месцазнаходжанняў. Прыкладам, пэўнага ахойнага статуса заслугоўваюць касцяносныя слайвышэйпрыведзеных плейстацэнавых месцазнаходжанняў на тэрыторыі Мінска. Па меншай ступені, пры любых будучых зямельных работах паблізу гэтых месцазнаходжанняў павінна ўлічвацца магчымасць новых знаходак і работы павінны суправаджацца адпаведнымі спецыялістамі.

Важных знаходак шкілетаў пазванковых, а таксама іншых выканнёвых рэшткаў трэба будзе чакаць калі пачнуцца запланаваныя распрацоўкі беларускіх радовішчаў кайназойскіх вугляў. І гэта не адзіны прыклад – ёсць яшчэ радовішчы сланцаў, крэйды і інш., якія распрацоўваюцца альбо могуць распрацоўвацца ў будучыні. Кантакт са здабываючымі прадпрыемствамі тут будзе неабходны.

Такая група можа быць створана пры адной з арганізацый Нацыянальнай акадэміі науک альбо Міністэрства прыродных рэсурсаў і аховы навакольнага асяроддзя і павінна дзейнічаць скардынавана з музеямі, навуковымі і вытворчымі установамі дзеля захавання раней атрыманых і магчымых новых палеанталагічных матэрыялаў.

4. Нарэшце, усе каштоўныя палеанталагічныя матэрыялы і калекцыі павінны быць сабраны ў Агульнабеларускі Кадастр, каб атрымаць афіцыйны ахойны статус. Падобную канструктыўную прапанову, поўнасцю вартую таго каб яе пазычыць, некалі зрабіў вядомы даследчык мамантавай фаўны У.К. Верещагін для аховы палеатэрыялапагічных калекцый Расіі (Верещагін, 2003). Такая задача можа выконвацца пры ўдзеле спецыялістаў геолага-даследчых арганізацый, якія працуяць у галіне палеанталогіі.

Тое ж у роўнай ступені павінна адносіцца і да палеабатанічных калекцый. У прыватнасці, на дадзены момант яшчэ існуюць багатыя матэрыялы па дыятомавым водарасцям кайназою, спорам і пылку раслін палеазою-кайназою, палеакарпалацічныя калекцыі (гл., напрыклад, Хурсевіч, 2008).

Акрэсленяя тут заходы па захаванню палеанталагічнай спадчыны Беларусі не з'яўляюцца чымсьці экстраардынарным – яны прадугледжаны і выконваюцца ў многіх краінах як абязвязковая частка сістэмы аховы сваіх наукоўых і культурных каштоўнасцей.

## Літаратура

- Абушик А. Ф., Модзалевская Т. П., Моісеева Т. И., Пушкін В. И.** Силурийские и раннедевонские брахиоподы и остракоды Беларуси. Санкт-Петербург, 2007.
- Верещагін Н. К.** Проблемы создания и хранения териоколлекций в биологических учреждениях России и СНГ / Н.К. Верещагін // Природа. 2003. № 10. С. 85–88.
- Геология Беларуси** / Махнach A. C., Гарецкій R. G., Матвеев A. B. (отв. ред.). Минск, 2001.
- Голубцов В. К.** (ред.). Стратиграфические и палеонтологические исследования в Белоруссии. Минск, 1978.
- Голубцов В. К.** Состояние и перспективы дальнейшего развития палеонтолого-стратиграфических исследований в Белоруссии // Палеонтология и её роль в познании геологического строения территории Белоруссии. Минск, 1986. С. 71–76.
- Демідова С. В., Хурсевіч Г. К.** Диатомовая флора из муравинских отложений разреза Уручье, Беларусь // Морфология, клеточная биология, экология, флористика и история развития диатомовых водорослей. Материалы X Междунар. науч. конф. диатомологов стран СНГ. Минск, 2007. С.186–189.

- Калиновский П. Ф.** Ископаемые слоны Белоруссии // Стратиграфия и палеогеография антропогена. Минск, 1975. С. 163–179.
- Калиновский П. Ф.** Териофауна позднего антропогена и голоцена Белоруссии. Минск, 1983.
- Карабанов А. К., Мотузко А. Н., Писаненко А. Д.** и др. Первая находка остатков ископаемого слона рода *Palaeoloxodon* Matsumoto на территории Беларуси // Докл. НАН Беларуси. 2007. Т. 51. № 4. С. 109–114.
- Монкевич К. Н.** Пермские и триасовые отложения Припятского прогиба. Минск, 1976.
- Мотузко А. Н., Писаненко А. Д., Воробьев В. Н., Плакс Д. П., Якубовская Т. В.** Новое местонахождение мамонтовой фауны в Минске // Літасфера. 2008. № 2(29). С. 153–157.
- Плакс Д. П., Кручек С. А., Барбиков Д. В.** О находках эвриптерид (*Chelicera*, *Eurypterida*) в фаменских соленосных отложениях девона Беларуси // Літасфера. 2009. № 1(30). С. 57–74.
- Рылова Т. Б., Савченко И. Е.** Палинологические данные к определению возраста отложений с фауной крупных млекопитающих в местонахождении Уручье, г. Минск // Актуальные проблемы геологии Беларуси и смежных территорий. Материалы Междунар. науч. конф. посвящ. 90-летию со дня рожд. акад. НАН Беларуси А.С. Махнана. Минск, 2008. С. 253–257.
- Хурсевич Г. К.** О коллекциях ископаемых диатомовых водорослей в Беларуси // Ботаника. 2008. Вып. XXXVI. С. 100–106.
- Якубовская Т. В.** Геологическая и палеокарпологическая характеристика местонахождения ископаемой фауны Уручье в Минске // Літасфера. 2007. № 2(27). С. 50–58.
- Sniezko A.** Kosciół farny w Mirze. Lida, 1937.

**НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам**

**Ю. У. Заіка**

**АБ ПАЛЕАНТАЛАГІЧНЫХ КАЛЕКЦЫЯХ У БЕЛАРУСІ –  
ГІСТОРЫЯ СТВАРЭННЯ, СУЧАСНЫ СТАН**

У артыкуле коратка асвятыняцца гісторыя стварэння і сучасны стан палеазаалагічных калекцый у Беларусі. Як вынікае з гістарычнага агляду, да гэтага часу ў музеях і навуковых установах Беларусі павінны былі быць намножаны значныя зборы выкапнёвых рэшткаў розных груп жывёл – ад чацвярцёвых млекакормячых з паверхневых адкладаў да кембрыйскіх беспазванковых з керну глыбокіх свідравін. Аднак на самай справе становішча палеанталагічных матэрыялаў у Беларусі вельмі далёкае ад належнага. Шмат якія з іх, уключна з рэдкімі і вельмі каштоўнымі знаходкамі (такімі, як дэвонскія эўрыптерыды альбо плеістасцэнавыя маманты), былі незваротна страчаны. Разгледжаны прычыны гэтага становішча і магчымыя шляхі вырашэння агучанай праблемы.

**Yu. U. Zaika**

**ON PALEONTOLOGICAL COLLECTIONS IN BELARUS –  
HISTORY OF COLLECTING AND THE PRESENT STATE**

*The paper is a short review of history and the present state of paleozoological collections in Belarus. Large collections of fossil remains should have been accumulated in museums and scientific organizations in Belarus until the present time – from Quaternary Vertebrates collected in surficial deposits to Cambrian Invertebrates from drill cores. But the real situation of paleontological collections in Belarus is far from due. Most of them, including some rare and invaluable fossils (such as Devonian Eurypterids or Pleistocene Mammoths) have been nonrecoverably lost. Possible ways of preventing this in the future are being considered.*

## II. БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 665.6.035

Г. П. Бровка, И. И. Романенко

### УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ ПРИ ПОВЫШЕННОМ ДАВЛЕНИИ

*Описана установка и методика исследования зависимости вязкости нефти от гидростатического давления и температуры. Установлено, что вязкость анализируемых образцов нефти зависит от давления, увеличиваясь в исследуемом интервале давлений в 1,25–2,2 раза с увеличением давления, по сравнению с результатами, полученными при атмосферном давлении. При этом более выраженная зависимость вязкости от давления характерна для образцов, модифицированных растворителем.*

При разработке технологий добычи высоковязкой нефти месторождений Республики Беларусь необходимо определять в лабораторных условиях реологические свойства такой нефти при вариации среднего давления, температуры, газового фактора и концентрации модификатора.

В результате анализа литературных и патентных источников [1–4] установлено, что в настоящее время отсутствуют стандартизованные методы определения реологических параметров нефти, насыщенной газом при гидростатических давлениях порядка 10 МПа. Для реализации задач по исследованию реологических параметров нефти при различном насыщении ее газом и гидростатических давлениях до 10 МПа, а также при варьировании в широких пределах скорости сдвига разработана принципиально новая установка. Она позволяет определять реологические параметры нефти в условиях, соответствующих пластовым давлениям и режимам откачки.

**Методика исследования.** Измерение вязкости представленных для испытаний образцов нефти при заданных условиях можно осуществить на установке, в которой при определенном давлении и температуре осуществляется перетекание нефти из одной емкости в другую через калиброванную трубку. Зная объемный расход нефти и перепад давлений на калиброванной трубке, можно рассчитать вязкость по формуле:

$$\eta = \frac{\pi r^4}{V'} \cdot \frac{\Delta P}{l}, \quad (1)$$

где  $\eta$  – динамическая вязкость, Па · с;  $r$  – радиус калиброванной трубы, м;  $V'$  – объемный расход нефти через калиброванную трубку,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\Delta P$  – перепад давления на калиброванной трубке, Па;  $l$  – длина калиброванной трубы, м.

Для выполнения поставленной задачи разработана установка, принципиальная схема которой приведена на рис. 1, а на рис. 2 представлена ее фотография. Основными узлами установки являются: терmostатируемая камера 1, в которой на металлической раме закреплен гидроцилиндр двойного действия 2, соединенный шлангами высокого давления с двумя буферными емкостями 3, сообщающимися между собой калиброванной трубкой 4. Гидроцилиндр и буферные емкости заполняются исследуемой нефтью. Давление в системе создается с помощью винтового домкрата 5 вспомогательным гидроцилиндром 6, соединенным с одной из буферных емкостей, снабженной манометром для визуального контроля. Кроме этого, в одну из буферных емкостей можно подавать газ при повышенном давлении, изменяя газонасыщенность и давление. Такой механизм позволяет задавать в системе давление от 0 до 10 МПа и фиксировать его на любой величине в указанном диапазоне, не применяя сложных устройств.

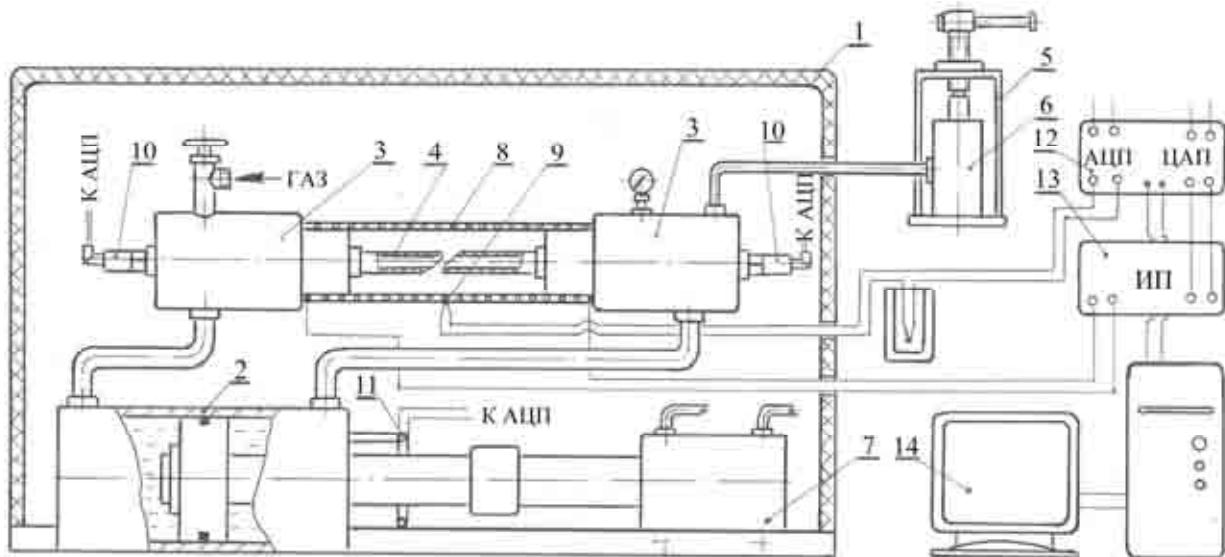
Перетекание нефти через калиброванную трубку осуществляется под действием перемещения в гидроцилиндре 2 поршня, который перемещается с помощью приводного цилиндра 7, управляемого насосной станцией.

Поддержание необходимой температуры испытаний осуществляется с помощью нагревателя 8, расположенного вокруг калиброванной

трубки, а контроль и регулирование – с помощью дифференциальной термопары 9. Перепад давлений в буферных емкостях 3 измеряется в течение опыта с помощью преобразователей давления 10 типа КРТ-5 с унифицированным выходным сигналом постоянного тока или напряжения.

Для измерения скорости перемещения поршня гидроцилиндра 2, определяющего перетекание испытуемой нефти с определенной ско-

ростью через калиброванную трубку 4, используется датчик перемещения 11 с электрическим выходом. Регистрация величин перепада давлений в буферных емкостях, скорости перетекания нефти, задания температуры испытаний и ее регулирование осуществляется компьютерной системой, включающей компьютерный порт 12, источник питания постоянного тока 13 и персональный компьютер 14.



**Рис. 1. Схема установки для исследования реологических свойств нефти при повышенном давлении:**  
**1 – камера термостатируемая; 2 – гидроцилиндр двойного действия; 3 – емкость буферная; 4 – трубка;**  
**5 – домкрат винтовой; 6 – гидроцилиндр; 7 – гидроцилиндр приводной; 8 – нагреватель; 9 – термопара**  
**дифференциальная; 10 – датчик давления; 11 – датчик перемещения; 12 – порт компьютерный четырех-**  
**канальный; 13 – источник питания; 14 – система компьютерная**



**Рис. 2. Установка для исследования реологических свойств нефти при повышенном давлении**

Процесс управления режимом работы установки и регистрация температуры, давления и перемещения осуществляется в автоматическом режиме с использованием компьютерного порта В-381 и специальной прикладной программы. Это позволяет обезопасить обслуживающий персонал во время проведения эксперимента и повысить точность и достоверность получаемых данных. В основу обработки данных для определения вязкости положена формула (1). Для определения предельного напряжения сдвига  $\tau_{\text{пр}}$  используется формула (2):

$$\tau_{\text{пр}} = \frac{\Delta P_k}{2l} r, \quad (2)$$

где  $\Delta P$  – минимальная разность давления, вызывающая сдвиг нефти в капилляре;  $r$  – радиус капилляра;  $l$  – длина капилляра.

**Исследование реологических свойств высоковязкой нефти в динамических условиях.** На первом этапе измерение вязкости представленных образцов нефти проводилось на реометре *RHEOLAB MC1* и вискозиметре «Полимер-РПЭ-1М» Тульского ОКБА НПО «Химавтоматика», который предназначен для экспресс-анализов вязкости в лабораторных и заводских условиях. Реометр в имеющейся комплектации обеспечивал определение реологических параметров при вязкостях выше 0,1 Па · с, а для вязкости при повышенных температурах использовался вискозиметр, который обеспечивал измерение вязкости в диапазоне от  $1,8 \cdot 10^{-3}$  до  $3,75 \cdot 10^4$  Па·с с воспринимающими элементами типа «цилиндр – цилиндр». Вискозиметр является лабораторным прибором, предназначенный для работы в переносном и в стационарном положениях. Предварительные опыты показали, что при температуре 20–30 °С оба указанных прибора для высоковязкой нефти дают сопоставимые результаты.

Диапазон температур анализируемой среды с помощью системы терmostатирования мог изменяться от 20 до 90 °С при работе с воспринимающими элементами типа «цилиндр – цилиндр».

Принцип действия вискозиметра основан на измерении момента сопротивления сдвигу испытываемого материала, помещенного в зазор между воспринимающими элементами, при вращении одного из них с постоянной угловой скоростью, путем преобразования угла закручивания упругого элемента, пропорционального вязкости.

Измерения вязкости представленных образцов нефти проводилось в соответствии с инструкцией по эксплуатации и техническим описанием приборов.

Исследуемая нефть в количестве, указанном в соответствующей таблице инструкции, помещалась в зазор между воспринимающими элементами типа «цилиндр – цилиндр». Укрепленная на вискозиметре термостатирующая камера соединялась шлангами с жидкостным терmostатом, с помощью которого в камере прибора устанавливалась и поддерживалась необходимая температура, заданная заказчиком.

После проведения пробных экспериментов в качестве воспринимающих элементов были выбраны цилиндры с соответствующей маркировкой. Режимы измерения вязкости и положение переключателя скоростей подбирались таким образом, чтобы показания прибора находились в пределах от 10 до 90 % наибольшего значения вязкости при выбранном режиме.

Вязкость образцов нефти измерялась в диапазоне скоростей сдвига от 1,384 до 354,1 с<sup>-1</sup> при температурах 20, 30, 40, 50, 60 и 70 °С. Исследования проведены с двумя образцами высоковязкой нефти и с одним образцом высоковязкой нефти, модифицированной углеводородным растворителем в соотношении 1:20; 1:10 и 1:5.

Полученные результаты в основном с помощью вискозиметра «Полимер-РПЭ-1М», представлены в табл. 1. Из приведенных данных видно, что вязкость нефти в диапазоне скорости сдвига 0÷50 с<sup>-1</sup> существенно зависит от скорости сдвига. При скорости сдвига более 50 с<sup>-1</sup> кривые зависимости вязкости от скорости сдвига выходят на плато, т. е. вязкость выходит на постоянное значение.

После соответствующей обработки были получены зависимости вязкости нефти от температуры и зависимости вязкости нефти от концентрации углеводородного растворителя в образце № 2. Получены расчетные кривые течения образцов нефти, которые позволяют судить о том, что представленные на исследование образцы можно отнести к неньютоновским жидкостям, а предельное напряжение сдвига для них составляет около 1 Па.

Анализ полученных данных показывает, что вязкость исследованных образцов нефти уменьшается с повышением температуры от 20 °С до 70 °С в 4–5 раз. При этом с повышением температуры до 50 °С и выше интенсивность изменения вязкости падает.

Модификация нефти углеводородным растворителем оказывает существенное воздействие на вязкость при температурах ниже 50 °С, уменьшая вязкость при этом до 5 раз.

Образцы нефти № 3 и № 4, которые имели более высокую вязкость по сравнению с предыдущими образцами, исследовались с помощью реометра *RHEOLAB MC1* в диапазоне скоростей сдвига 1–100 с<sup>-1</sup>. Полученные данные представлены в табл. 2. Анализ полученных данных показывает, что по зависимости вязкости от градиен-

та скорости сдвига эти образцы, также как и образцы № 1 и № 2, можно отнести к неньютоновским жидкостям. В данном случае образец № 4 в отличие от остальных имеет более выраженные свойства зависимости вязкости от градиента скорости сдвига. На образцах № 3 и № 4 прослеживаются те же закономерности изменения вязкости при изменении температуры и концентрации растворителя, что и в предыдущих образцах.

На втором этапе проведены исследования зависимости вязкости нефти от гидростатическо-

го давления и температуры на установке для исследования реологических свойств нефти при повышенном давлении. Исследования проводились с образцами нефти № 2 и № 3 при вариации давления от 1,5 до 10 МПа. Температура при этом изменялась от 20 до 50 °С. Вязкость определена в основном в диапазоне скоростей сдвига 5–20 с<sup>-1</sup>, близком к соответствующему диапазону откачки нефти при добыче.

**Таблица 1. Зависимость вязкости образцов нефти от температуры и скорости сдвига (вискозиметр «Полимер-РПЭ-1М»)**

Образец	Темпера- турата, T °C	Вязкость Η, Па · с								
		Градиент скорости сдвига γ, с <sup>-1</sup>								
		1,384	2,768	5,537	11,07	22,15	44,3	88,59	177,2	354,4
Образец № 1	20	0,710	0,640	0,600	0,570	0,557	0,547	0,538	0,529	
	30	0,430	0,360	0,334	0,314	0,305	0,298	0,294	0,291	
	40	0,370	0,252	0,230	0,212	0,199	0,195	0,193	0,189	
	50	0,296	0,217	0,187	0,168	0,149	0,143	0,138	0,132	
	60	0,276	0,209	0,166	0,147	0,125	0,113	0,110	0,105	
	70	0,250	0,198	0,156	0,134	0,112	0,100	0,096	0,092	
Образец № 2	20	0,720	0,656	0,600	0,565	0,547	0,532	0,520	0,510	
	30	0,435	0,404	0,371	0,352	0,347	0,345	0,344	0,343	
	40	0,296	0,256	0,244	0,234	0,228	0,223	0,222	0,221	
	50	0,230	0,206	0,173	0,159	0,147	0,143	0,142	0,142	
	60	0,212	0,191	0,164	0,148	0,131	0,123	0,120	0,118	
	70	0,191	0,178	0,158	0,136	0,115	0,102	0,097	0,096	
Образец № 2: растворитель 20:1	20		0,373	0,365	0,355	0,346	0,342	0,341	0,340	0,340
	30		0,235	0,220	0,209	0,199	0,193	0,192	0,191	0,190
	40		0,166	0,160	0,152	0,142	0,135	0,131	0,129	0,127
	50		0,133	0,119	0,111	0,104	0,097	0,095	0,095	0,095
	60		0,116	0,105	0,092	0,082	0,072	0,064	0,063	0,063
	70		0,105	0,095	0,083	0,072	0,063	0,058	0,056	0,056
Образец № 2: растворитель 10:1	20		0,245	0,227	0,213	0,200	0,196	0,194	0,193	
	30		0,172	0,155	0,140	0,130	0,124	0,123	0,123	
	40		0,134	0,122	0,108	0,097	0,092	0,090	0,088	
	50		0,120	0,109	0,095	0,084	0,073	0,071	0,069	
	60		0,111	0,100	0,090	0,078	0,069	0,066	0,063	
	70		0,105	0,095	0,083	0,072	0,063	0,058	0,056	0,056
Образец № 2: растворитель 5:1	20		0,162	0,120	0,106	0,095	0,086	0,084	0,083	0,082
	30		0,112	0,102	0,086	0,072	0,063	0,057	0,056	0,055
	40		0,103	0,082	0,061	0,053	0,044	0,040	0,040	0,040
	50		0,097	0,076	0,056	0,046	0,038	0,036	0,035	0,035

Полученные данные представлены в табл. 3 и на рис. 3–6. Анализ полученных данных показывает, что вязкость исследованных образцов нефти зависит от давления, увеличиваясь в исследуемом интервале давлений в 1,25–2,2 раза с увеличением давления, по сравнению с результатами, полученными при атмосферном давлении. При этом более выраженная зависи-

мость вязкости от давления характерна для образцов модифицированных растворителем, что необходимо учитывать при оценке эффективности изменения вязкости с помощью растворителей для высоковязкой нефти, извлекаемой из большой глубины.

Следует отметить, что результаты по вязкости нефти, полученные с помощью реометра

*RHEOLAB MC1* и установки для исследования реологических свойств нефти при повышенном давлении имеют вполне близкие значения в сопоставимом диапазоне скоростей сдвига. Поэтому для определения вязкости при давлениях до

1 МПа более удобно использовать ротационные вискозиметры, а при давлениях порядка 10 МПа необходимо использовать методы, обеспечивающие определение вязкости при повышенном давлении.

**Таблица 2. Зависимость вязкости образцов нефти от температуры и скорости сдвига (реометр *RHEOLAB MC1*)**

Образец	Темпера- ттура, T, °C	Вязкость $\eta$ , Па · с							
		Градиент скорости сдвига $\gamma$ , с <sup>-1</sup>							
		1	2	3	5	10	20	50	100
Образец № 3	20	2,40	2,04	1,92	1,81	1,72	1,67	1,64	1,63
	30	1,35	1,15	1,04	0,96	0,88	0,83	0,81	0,79
	40	0,72	0,68	0,64	0,58	0,50	0,45	0,41	0,40
	50	0,37	0,35	0,33	0,32	0,29	0,27	0,24	0,23
	60	0,34	0,32	0,30	0,29	0,26	0,24	0,21	0,20
	70	0,31	0,29	0,28	0,26	0,23	0,21	0,18	0,16
Образец № 3: растворитель 10:1	20	0,50	0,43	0,40	0,38	0,36	0,35	0,34	0,34
	30	0,36	0,31	0,28	0,26	0,24	0,22	0,22	0,21
	50	0,20	0,19	0,17	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12
	70	0,16	0,15	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,08
Образец № 4	20	103,00	99,00	96,70	93,90	89,30	85,00	80,00	77,00
	30	32,50	31,60	31,10	30,70	30,00	29,00	27,00	26,00
	40	14,50	13,00	12,70	12,30	11,90	11,60	11,40	11,00
	50	5,90	5,40	5,00	4,82	4,62	4,50	4,41	4,30
	60	3,00	2,65	2,50	2,40	2,33	2,27	2,22	2,17
	70	1,84	1,60	1,38	1,20	1,04	0,97	0,93	0,91
Образец № 4: растворитель 10:1	20	10,00	9,07	8,95	8,71	8,48	8,19	7,83	7,40
	30	4,50	3,80	3,50	3,30	3,21	3,15	3,08	2,98
	40	1,86	1,79	1,75	1,71	1,66	1,63	1,61	1,59
	50	0,92	0,88	0,83	0,80	0,75	0,72	0,70	0,68
	60	0,65	0,61	0,60	0,55	0,49	0,43	0,40	0,37
	70	0,39	0,36	0,34	0,33	0,31	0,30	0,28	0,27
Образец № 4: растворитель 5:1	20	3,50	2,90	2,70	2,60	2,46	2,36	2,22	2,13
	30	2,19	1,90	1,79	1,65	1,46	1,32	1,18	1,09
	40	0,77	0,73	0,70	0,67	0,62	0,58	0,56	0,54
	50	0,55	0,51	0,48	0,45	0,41	0,38	0,36	0,33
	60	0,43	0,40	0,38	0,35	0,30	0,25	0,21	0,18
	70	0,29	0,26	0,25	0,22	0,18	0,15	0,13	0,12

**Таблица 3. Зависимость вязкости образцов нефти от температуры и давления (установка для исследования реологических свойств нефти при повышенном давлении)**

Образец	Температура T, °C	Вязкость $\eta$ , Па · с				
		Давление P, МПа				
		0,1	1,5	5	8	10
Образец № 2	20	0,57	0,58	0,61	0,66	0,71
	30	0,36	0,37	0,39	0,42	0,45
	50	0,16	0,17	0,18	0,20	0,22
Образец № 2: растворитель 10:1	20	0,22	0,23	0,33	0,43	0,51
	30	0,15	0,15	0,19	0,28	0,33
	50	0,10	0,10	0,12	0,17	0,21
Образец № 3	20	1,72	1,75	1,86	2,03	2,13
	30	0,88	0,91	0,97	1,06	1,13
	50	0,29	0,31	0,32	0,37	0,41
Образец № 3: растворитель 10:1	20	0,36	0,40	0,55	0,72	0,84
	30	0,24	0,26	0,33	0,45	0,54
	50	0,15	0,16	0,20	0,27	0,32

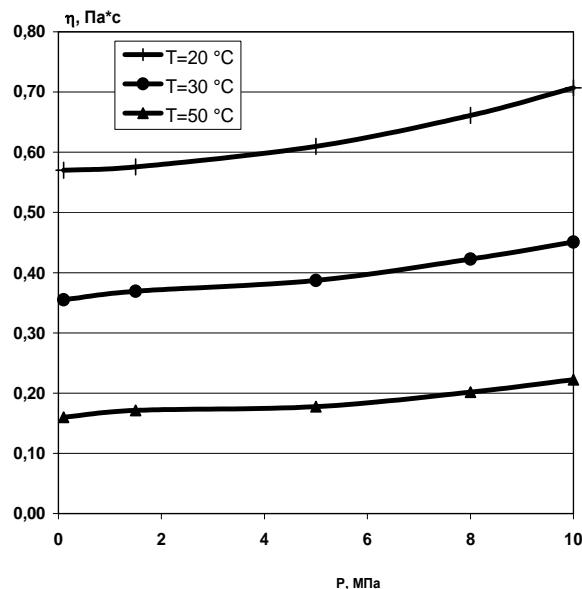


Рис. 3. Зависимость вязкости нефти (проба 2) от давления

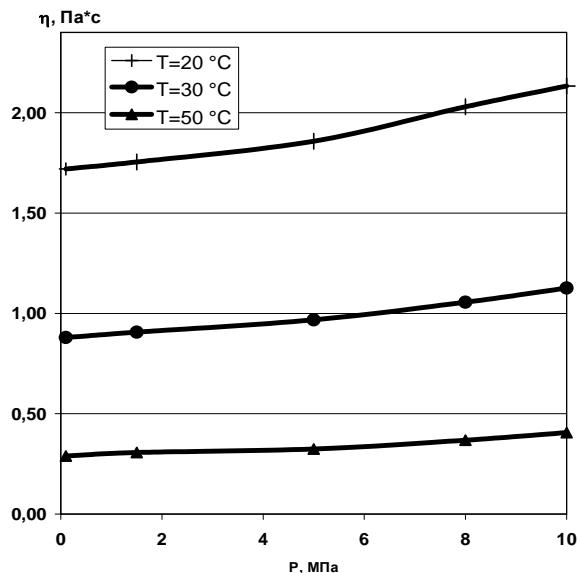


Рис. 5. Зависимость вязкости нефти (проба 3) от давления

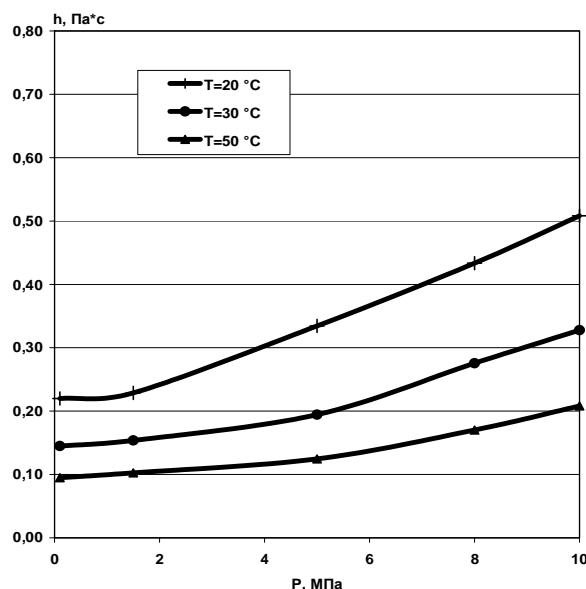


Рис. 4. Зависимость вязкости нефти (проба 2: растворитель 10:1) от давления

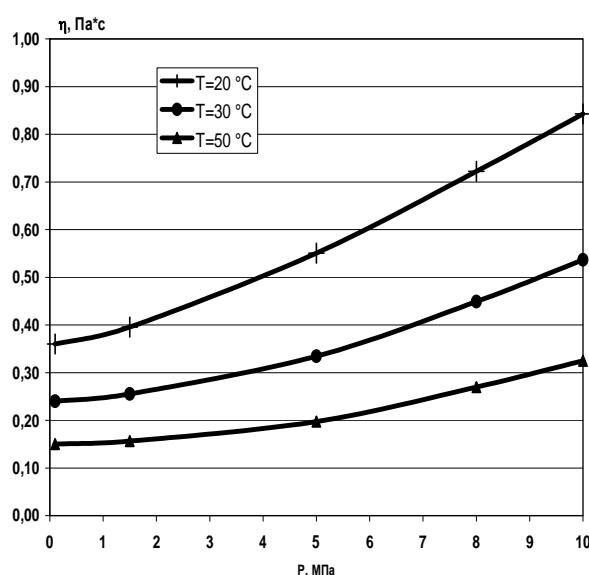


Рис. 6. Зависимость вязкости нефти (проба 3: растворитель 10:1) от давления

**Расчет гидродинамических процессов, соответствующих подъему высоковязкой модифицированной нефти из пластовых условий на поверхность.** Для расчета дебита скважины необходимо использовать уравнение Пуазейля с учетом гравитации:

$$Q_{\text{СКВ}} = \frac{\pi}{8} \frac{r_T^4}{\eta(TP)} \left( \frac{dP}{dX} - \rho_H g \right) \quad (3)$$

где  $r_T$  – радиус трубы;  $P$  – гидростатическое давление;  $\rho_H$  – плотность нефти,  $g$  – ускорение земного привлекательного поля.

бодного падения;  $\eta(T, P)$  – динамическая вязкость нефти, как функция температуры  $T$  и гидростатического давления  $P$ ;  $X$  – вертикальная координата, отсчитываемая от устья скважины в глубину.

Вследствие зависимости вязкости от давления и температуры распределение давления по глубине будет нелинейным, и для расчета градиента давления необходимо найти  $P$  как функцию глубины. Для этого выразим градиент  $P$  через параметры, входящие в уравнение (4):

$$\frac{dP}{dX} = \frac{2,55}{r_T^4} \cdot Q_{\text{скв}} \cdot \eta(T, P) + \rho_H g. \quad (4)$$

Распределение давления по глубине можно получить, интегрируя уравнение (2) при граничных условиях, определяемых значением гидростатического давления в устье и в забое скважины, которые формулируются следующим образом:

$$\eta(T, P) = \eta_0 + a_1(T - T_{\text{ст}}) + a_2(T - T_{\text{ст}})^2 + a_p(P - P_0), \quad (6)$$

где  $T_{\text{ст}}$  – стандартная температура (+20 °C);  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_p$  – эмпирические коэффициенты.

$$P|_{x=0} = P_0, \quad P|_{x=h_{\text{ск}}} = P_{3б}, \quad (5)$$

где  $P_0$  – давление на поверхности;  $P_{3б}$  – давление в забое скважины;  $h_{\text{ск}}$  – глубина скважины.

Функцию динамической вязкости с учетом полученных экспериментально зависимостей вязкости от температуры и давления можно представить в виде

С учетом линейного распределения температуры по глубине, зависимости температуры от координаты можно выразить уравнением

$$T = T_0 + \frac{T_{3б} - T_0}{h_{\text{ск}}} X, \quad (7)$$

где  $T_0$  – температура на поверхности грунта;  $T_{3б}$  – температура на забое скважины.

В итоге вязкость можно представить как функцию координаты и давления

$$\eta(X, P) = \eta_0 + a_1 \left( T_0 - T_{\text{ст}} + \frac{T_{3б} - T_0}{h_{\text{ск}}} X \right) + a_2 \left( T_0 - T_{\text{ст}} + \frac{T_{3б} - T_0}{h_{\text{ск}}} X \right)^2 + a_p(P - P_0). \quad (8)$$

Зависимость вязкости от координаты и давления не позволяет получить аналитическое решение уравнения (2), и поэтому расчет распределения гидростатического давления по глубине и дебит скважины необходимо проводить численным методом. С этой целью разработаны

расчетная схема, алгоритм, которые реализованы в прикладной программе в среде программирования *Delphi*.

Расчет проводится в такой последовательности. Вначале задается первое приближение  $Q_{\text{скв}}$  по формуле

$$Q_{\text{скв}} = \frac{\pi r_T^4}{8 \eta_0} \left( \frac{P_{3б} - P_0}{h_{\text{ск}}} - \rho_H g \right). \quad (9)$$

Затем выполняется цикл вычислений значений  $P$  в узловых точках координатной сетки  $X$ :

$$i = 1, M$$

$$\Delta T_i = \left( T_{\text{ск}} - T_0 - \frac{T_{3б} - T_0}{h_{\text{ск}}} X_i \right)$$

$$P_{i+1} = P_i + \frac{2,55}{r_T^4} \cdot Q_{\text{скв}} ((\eta_0 + a_1 \Delta T_i + a_2 \Delta T_i^2 + a_p(P_i - P_0)) + \rho_H g) \Delta X, \quad (10)$$

$$X_{i+1} = X_i + \Delta X.$$

После выполнения цикла проводится сравнение  $P_M$  с давлением  $P_{3б}$ .

Если  $|P_M - P_{3б}| > 0,001 P_{3б}$ , то проводится коррекция  $Q_{\text{скв}}$  по формуле

$$Q_{\text{скв}} = \frac{P_{3б}}{P_M} \cdot Q_{\text{скв}}. \quad (11)$$

После этого программа возвращается на начало цикла, и процедура вычислений повторяется до тех пор, пока разность давлений  $P_M$  и  $P_{3б}$  не станет меньше 0,001  $P_{3б}$ . При достижении необходимой величины разности расчетного и действительного давления на забое скважины выводится величина дебита скважины и график распределения давления и вязкости по глубине.

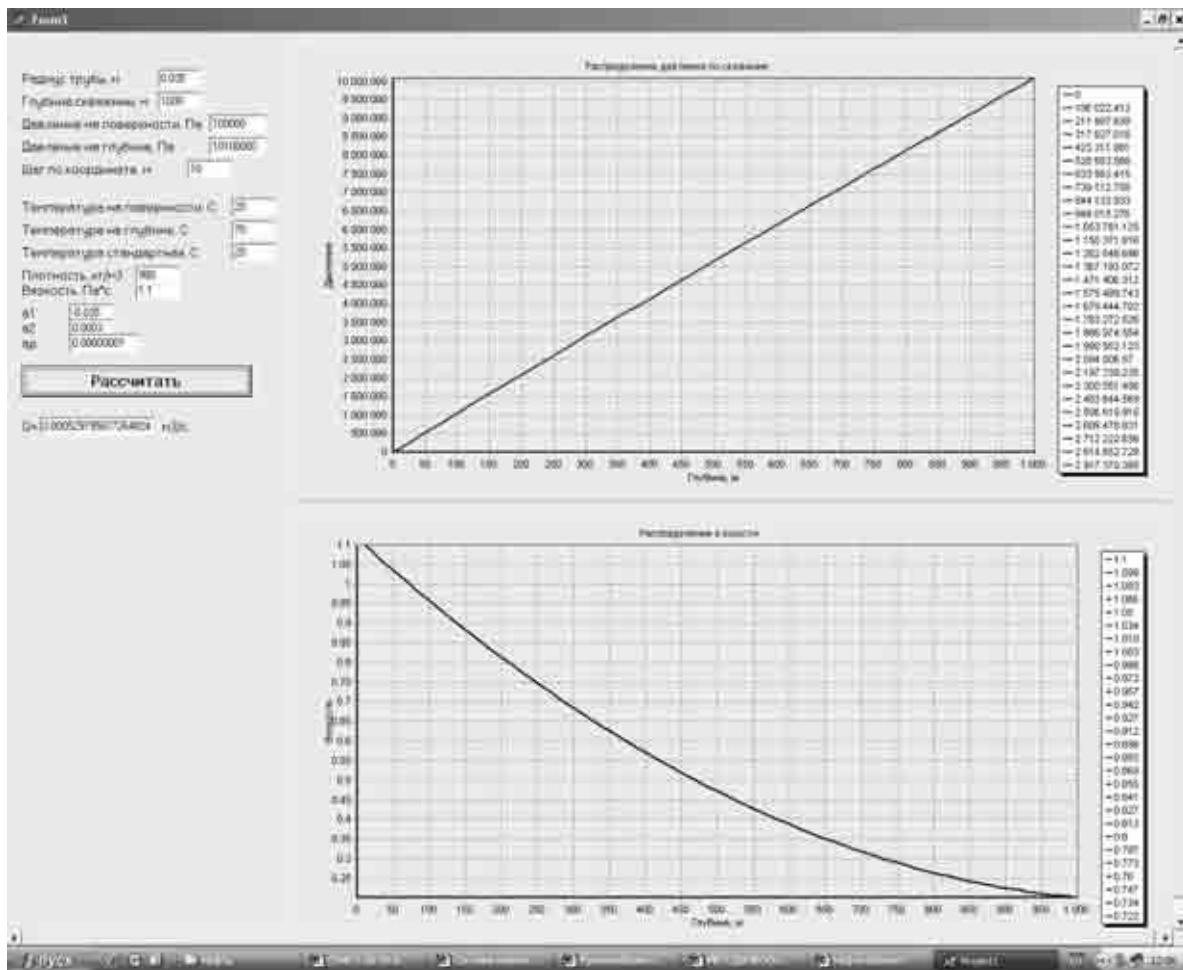


Рис. 7. Окно пользовательского интерфейса программы

Для ввода исходных параметров: давления в устье и забое скважины, глубины скважины, радиуса трубы, параметров вязкости, температуры в устье забоя скважины, шага координатной сетки и вывода дебита скважины, а также распределения давления и вязкости по глубине, разработан пользовательский интерфейс. На

рис. 7 представлено окно пользовательского интерфейса.

Разработанная методика численного расчета позволяет оптимизировать режимы подъема высоковязкой нефти из пластовых условий на поверхность.

### Литература

- 1. Авакян А. А.** Прогнозирование оптимальных параметров аналитических приборов общепромышленного назначения // Вопросы научного прогнозирования. 1969. № 9.
- 2. Кусаков М. М.** Методы определения физико-химических характеристик нефтяных продуктов. ОНТИ. М. – Л., 1936.
- 3. Фрайфелдер Д.** Физическая биохимия. М., 1980.
- 4. Фукс Г. И.** Вязкость и пластичность нефтепродуктов. Москва–Ижевск, 2003.

Г. П. Бровка, И. И. Романенко

**УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ ПРИ ПОВЫШЕННОМ ДАВЛЕНИИ**

Для реализации задач по исследованию реологических параметров нефти при различном насыщении ее газом и гидростатических давлениях до 10 МПа, а также при варьировании в широких пределах скорости сдвига разработана принципиально новая установка. Она позволяет определять реологические параметры нефти в условиях, соответствующих пластовым давлениям и режимам откачки.

На установке проведены исследования реологических свойств нефти при повышенном давлении. Установлено, что вязкость образцов нефти зависит от давления, увеличиваясь в исследуемом интервале давлений в 1,25–2,2 раза с увеличением давления, по сравнению с результатами, полученными при атмосферном давлении. При этом более выраженная зависимость вязкости от давления характерна для образцов, модифицированных растворителем.

Разработана методика численного расчета, позволяющая оптимизировать режимы подъема высоковязкой нефти из пластовых условий на поверхность.

G. P. Brovka, I. I. Romanenko

**INSTALLATION AND TECHNIQUE OF THE RESEARCH OF  
RHEOLOGICAL PROPERTIES OF HIGH-STICKY OIL AT THE INCREASED PRESSURE**

To realize problems on research rheological oil parameter at various gas saturation and hydrostatic pressure till 10 MPa, and also at a variation over a wide range of speed of shift essentially new installation has been developed. It allows defining rheological oil parameters in the conditions corresponding to the layer pressure and pumping-out modes.

Researches of rheological oil properties at the increased pressure were carried out on the installation. It has been revealed, that viscosity of samples of oil depends on pressure, increasing in an investigated interval of pressure 1,25–2,2 times while pressure increases, in comparison with the results obtained at atmospheric pressure. Thus more expressed dependence of viscosity on pressure is characteristic for the samples modified by solvent.

The technique of numerical calculation has been developed, allowing optimizing the lifting modes of high-sticky oil from layer conditions to the surface.

УДК 532.546+552.578.061.33

**А. Р. Цыганов, А. С. Самсонова, З. М. Алещенкова,  
А. Э. Томсон, Н. Е. Сосновская, Т. В. Соколова, В. С. Пехтерева**

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕГРАДАЦИИ НЕФТИ В ТОРФОГЕННОМ СЛОЕ

*Установлено, что применение торфяного сорбента в условиях загрязненной нефтью не нарушенной торфяной залежи способствует удержанию основной части загрязнителя, обеспечивая тем самым благоприятные условия для развития нефтеразрушающих аборигенных микроорганизмов, а внесение дополнительно микробного препарата углеводородокисляющих микроорганизмов ускоряет процесс деградации нефти.*

Торфяное болото, как природная геосистема, в силу своей устойчивости способно справиться со многими техногенными нагрузками. Однако разлив нефти на поверхности торфяного болота снижает его первоначальную устойчивость к таким нагрузкам, поскольку естественный механизм саморегулирования в ней нарушается, и, как следствие, самовосстановление естественных функций нефтезагрязненных торфяных болот становится достаточно длительным процессом.

Исследования аварийных разливов нефти на торфяных болотах показали, что основное количество разлившейся нефти находится в верхнем аэрируемом слое торфяной залежи. Используя потенциал деятельного, ненарушенного перемешиванием верхнего слоя торфяного болота и создавая условия для развития микробного аборигенного ценоза (бактерии, актиномицеты, микромицеты и др.) можно ускорить процесс деградации нефти, так как по данным [3, 5, 6] основное их количество находится в верхнем аэрируемом слое.

Воздушно-сухой торф (торфяной сорбент) является активной биосистемой, содержащей большое количество микроорганизмов, в том числе и окисляющих углеводородное сырье. При насыщении на торфогенный, загрязненный нефтью слой торфяной залежи воздушно-сухого торфа, отмечается прирост численности всех составляющих микробиоценоза, свидетельствующий об интенсивности протекания деструктивных процессов и хорошей аэрации в системе: торфогенный слой – нефть – торфяная засыпка (сорбент).

Цель данной работы – определение эффективности технологии активации процессов деградации нефти с использованием торфяного сорбента и микроорганизмов-деструкторов нефти, способствующих активизации аборигенной микрофлоры в условиях модельного лабораторного опыта.

Общая схема модельного опыта заключалась в следующем: в стеклянные сосуды помещали торфогенный слой в количестве 10 г с естественной влажностью 87 %, отобранный из торфяной залежи верхового типа моховой групп-

ы. На этот слой наносили 1, 3 и 5 % сырой нефти поверхность, после чего нефтезагрязненный торфогенный слой последовательно прикрывали в различных вариантах торфяным сорбентом. Культуру микроорганизмов-деструкторов нефти рода *Rhodococcus* вносили в жидкой форме с микробной нагрузкой  $10^9$  клеток/см<sup>3</sup>, а также и элементы минерального питания (NPK) в соответствии с уровнем нефтяного загрязнения.

Схема многовариантного лабораторного опыта в трехкратной повторности и результаты исследований приведены в табл. 1. Контроль за эффективностью используемого технического решения проводили визуально и путем анализа остаточного содержания нефти в субстратах через 50 и 95 суток методом ИК-спектрофотометрии [4]. Образцы для микробиологических исследований отбирали через 95 суток. Использовали 1 г торфогенного слоя, который растирали в стерильных условиях и вносили в 100 мл воды. Численность популяции микроорганизмов учитывали методом серийных разведений при посеве в чашки Петри с агаризованной средой Е-8 (г/дм<sup>3</sup>): NaCl – 0,5; (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> – 1,5; K<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> – 0,7; MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O – 0,8; нефть – 0,1; pH 7,3. Степень деградации нефти (S) рассчитывали по формуле

$$S = 100 - C/C_0 \cdot 100,$$

где  $C$  – конечная концентрация нефти, мг/г;  $C_0$  – концентрация внесенной нефти, мг/г.

Визуальный контроль за ходом опыта показал, что через некоторое время в исследуемой статической системе часть загрязнителя перешла в слой торфяного сорбента, нанесенного на влажный торфогенный субстрат. Для описания количественных закономерностей этого явления был поставлен дополнительно опыт по оценке перехода нефти из нижнего торфогенного слоя в верхний слой торфяного сорбента. Результаты опыта, приведенные в табл. 2, показывают, что 20–50 % нефти переходит в сорбирующий торфяной слой, в зависимости от исходного содержания нефти в торфогенном слое. Это происходит вследствие капиллярной пропитки торфяного сорбента нефтью.

**Таблица 1. Деградация нефти в торфогенном слое (лабораторный опыт)**

Вариант опыта	Внесено нефти, %	Степень деградации, %	
		через 50 суток	через 95 суток
Торфогенный слой + нефть (контроль)	1	12,3	30,1
	3	28,3	38,9
	5	35,1	39,8
Торфогенный слой + нефть + сорбент	1	31,0	37,2
	3	31,3	42,6
	5	36,3	44,8
Торфогенный слой + нефть + сорбент + NPK	1	44,3	54,3
	3	33,8	43,7
	5	39,9	45,2
Торфогенный слой + нефть + культура + сорбент	1	29,1	49,7
	3	36,1	45,9
	5	35,6	46,4
Торфогенный слой + нефть + культура + сорбент + NPK	1	60,2	65,9
	3	43,1	50,0
	5	42,2	49,8

**Таблица 2. Перераспределение нефти в торфогенном слое в присутствии торфяного сорбента**

Вариант опыта	Внесено нефти, %	Содержание нефти в слоях, %	
		слой торфяного сорбента	торфогенный слой
Торфогенный слой + нефть + торфяной сорбент	1	17,8	82,2
	3	32,5	67,5
	5	49,3	50,7

Данные табл. 1 показывают, что торфогенный слой по отношению к нефтяному загрязнителю является достаточно активной биосистемой, содержащей большое количество микроорганизмов, в том числе и окисляющих углеводородное сырье, поскольку степень деградации нефти составила более 30 % за 95 суток. Внесение на загрязненный нефтью торфогенный слой дисперсного торфа не только не снижает, а в некоторых случаях повышает деструктивную способность изучаемой системы на 5–7 % по сравнению с контролем, на что в некоторой степени влияют добавки вносимого минерального питания. Казалось бы, парадоксальный эффект увеличения деструктирующей способности рассматриваемой системы с увеличением концентрации загрязнителя находит хорошее объяснение с позиций вышеприведенных результатов. Являясь пористой системой, фрезерный торф содержит значительное количество воздуха (окисляющего агента), его воздухоемкость составляет 515–2300 % на единицу объема твердого вещества [2].

Вытягивая из загрязненного торфогенного слоя практически половину загрязнителя, в деструктивный процесс включается нанесенный биологически и сорбционно активный материал, что в конечном итоге и приводит к росту деструктивной активности системы торфогенный слой –

нефть – торфяной сорбент в целом. Положительным эффектом функционирования данной системы является биопродуцирующий торфогенный слой торфяной залежи, который как минимум в два раза освобождается от техногенной нагрузки и способен продолжать продуцировать растительную биомассу.

Внесение на торфогенный слой торфяного сорбента и микробного препарата на основе деструкторов нефти рода *Rhodococcus* с элементами минерального питания способствует повышению степени деградации нефти на 10–35 % в зависимости от исходного уровня загрязнения.

Разрушение нефти в торфяной залежи (контроль) осуществляют аборигенные микроорганизмы-деструкторы, снижающие свою численность при увеличении концентрации нефти от 1 до 5 % (табл. 3).

Нанесение на торфогенный слой, загрязненный нефтью, сорбента (дисперсного торфа), а также микробного препарата совместно с сорбентом стимулирует развитие бактерий, потребляющих нефть в качестве единственного источника углерода. В этом случае отмечается самое высокое содержание бактерий-деструкторов при всех внесенных количествах нефти.

Увеличение содержания в торфогенном слое нефти снижает численность актиномицетов, разрушающих нефть (табл. 4).

**Таблица 3. Количество аборигенных бактерий-деструкторов в 1 г торфогенного слоя, загрязненного нефтью**

Вариант опыта	Внесено нефти, %		
	1	3	5
Торфогенный слой + нефть	$2,5 \cdot 10^5$	$6,9 \cdot 10^5$	$6,2 \cdot 10^5$
Торфогенный слой + нефть + сорбент	$4,1 \cdot 10^5$	$7,3 \cdot 10^5$	$7,0 \cdot 10^5$
Торфогенный слой + нефть + сорбент + NPK	$1,1 \cdot 10^5$	$7,6 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^6$
Торфогенный слой + нефть + культура + сорбент	$6,0 \cdot 10^5$	$8,0 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^6$
Торфогенный слой + нефть + культура + сорбент + NPK	$1,5 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^6$

**Таблица 4. Количество актиномицетов-деструкторов в 1 г торфогенного слоя, загрязненного нефтью**

Вариант опыта	Внесено нефти, %		
	1	3	5
Торфогенный слой + нефть	$3,1 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^4$
Торфогенный слой + нефть + сорбент	$5,1 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^5$	$2,8 \cdot 10^5$
Торфогенный слой + нефть + сорбент + NPK	$6,7 \cdot 10^4$	$6,9 \cdot 10^4$	$7,5 \cdot 10^4$
Торфогенный слой + нефть + культура + сорбент	$3,6 \cdot 10^5$	$5,9 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^6$
Торфогенный слой + нефть + культура + сорбент + NPK	$4,1 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^5$

Положительное влияние на развитие актиномицетов-деструкторов нефти оказывает внесение сорбента, особенно в сочетании с микробным препаратом и NPK, способствуя увеличению их содержания при увеличении концентрации нефти от 1 до 5 %. Необходимо подчеркнуть, что при доминировании актинобактерий, процессы биоремедиации интенсифицируются. Именно представители этой группы являются одними из основных деструкторов нефти в почвогрунтах [1].

Данные по численности микромицетов, участвующих в деградации нефти в торфянной залежи, приведенные в табл. 5, свидетельствуют о том, что нанесение на торфогенный слой сорбента в смеси с микробным препаратом и NPK благоприятно сказывается на развитии микромицетов, использующих нефть в качестве единственного источника углерода. В этих условиях не происходит снижения численности микромицетов

при увеличении загрязнения торфяной залежи нефтью от 1 до 5 %.

Наблюдение за численностью родококков, интродуцированных в торфянную залежь, загрязненную нефтью, свидетельствует о приживаемости популяции микроорганизмов-деструкторов в торфогенном слое (табл. 6).

Увеличение концентрации нефти оказывает стимулирующий эффект на численность интродуцированных микроорганизмов-деструкторов.

Таким образом, применение торфяного сорбента в условиях загрязненной нефтью ненарушенной торфянной залежи способствует удержанию основной части загрязнителя, обеспечивая тем самым благоприятные условия для развития нефтеразрушающих аборигенных микроорганизмов, а внесение дополнительно микробного препарата углеводородокисляющих микроорганизмов, ускоряет процесс деградации нефти.

**Таблица 5. Количество микромицетов-деструкторов в 1 г торфянной залежи, загрязненной нефтью**

Вариант опыта	Внесено нефти, %		
	1	3	5
Торфогенный слой + нефть	$1,7 \cdot 10^5$	$5,5 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^4$
Торфогенный слой + нефть + сорбент	$1,5 \cdot 10^5$	$4,0 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^5$
Торфогенный слой + нефть + сорбент + NPK	$1,0 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^5$
Торфогенный слой + нефть + культура + сорбент	$3,6 \cdot 10^5$	$3,9 \cdot 10^5$	$4,7 \cdot 10^5$
Торфогенный слой + нефть + культура + сорбент + NPK	$4,9 \cdot 10^4$	$4,7 \cdot 10^5$	$4,8 \cdot 10^5$

**Таблица 6. Количество интродуцированных родококков, в 1 г торфянной залежи, загрязненной нефтью**

Вариант опыта	Внесено нефти, %		
	1	3	5
Торфогенный слой + нефть + культура + сорбент	$1,1 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^6$
Торфогенный слой + нефть + культура + сорбент + NPK	$1,2 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^5$

## Л и т е р а т у р а

1. Гирич И. Е., Малахов А. А., Гавриш Е. Ю. и др. Таксономическое разнообразие углеводородо-окисляющих микроорганизмов в нефтезагрязненных почвах Краснодарского края // Экобиотехнология: борьба с нефтяным загрязнением окружающей среды: Тез. докл. Пущино, 2001. С. 24–25.
2. Задруцкий С. А. Коэффициент усадки и воздухоемкости переработанного фрезерного торфа // Физико-химия торфа и торфяная механика. Минск, 1970. С. 35–38.
3. Малышкина Л. А. Проблемы восстановления территорий, загрязненных нефтью, в таежной зоне Сургутского района // Экобиотехнология: борьба с нефтяным загрязнением окружающей среды: Тез. докл. Пущино, 2001. С. 53–55.
4. Сборник методик выполнения измерений, допущенных к применению в деятельности лабораторий экологического контроля предприятий и организаций Республики Беларусь. Минск, 1997. Ч. 2. С. 257–263.
5. Терехова В. А., Семенова Т. А., Головченко А. В., Трофимов С. Я. Влияние нефтяного загрязнения на деструкционную активность и состояние микробиоты олиготрофных торфянников Западной Сибири // Экобиотехнология: борьба с нефтяным загрязнением окружающей среды: Тез. докл. Пущино, 2001. С. 21–22.
6. Тюремнов С. Н. Торфяные месторождения. М., 1976.

**Институт природопользования НАН Беларуси,  
Институт микробиологии НАН Беларуси**

**A. Р. Цыганов, A. С. Самсонова, Z. M. Алещенкова,  
A. Э. Томсон, N. E. Сосновская, T. V. Соколова, B. C. Пехтерева**

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕГРАДАЦИИ НЕФТИ В ТОРФОГЕННОМ СЛОЕ**

*Изучены закономерности деградации нефти в торфогенном слое торфяной залежи в условиях модельного опыта. Показано, что торфогенный слой по отношению к нефтяному загрязнению является активной системой, способной к самоочищению. Степень деградации нефти за 95 суток составила 40 %. Нанесение торфяного сорбента на поверхность торфогенного слоя, загрязненного нефтью, позволяет удержать до 50 % поллютанта, препятствуя тем самым загрязнению более глубоких слоев торфяной залежи. Установлена положительная роль торфяного сорбента в качестве носителя микроорганизмов-деструкторов нефти в самом сорбенте и на поверхности торфогенного слоя, что способствует процессам самоочищения за счет аборигенных микроорганизмов-деструкторов нефти. Применение торфяного сорбента с микробным препаратом на основе нефтеразрушающих микроорганизмов рода Rhodococcus с элементами минерального питания позволяет увеличить степень деградации нефти на 10–35 % в зависимости от уровня загрязнения по сравнению с контролем.*

**A. R. Tsyganov, A. S. Samsonov, Z. M. Aleshchenkova,  
A. E. Thomson, N. E. Sosnovskaya, T. V. Sokolova, V. S. Pekhtereva**

## **LAWS OF OIL DEGRADATION IN A PEATY LAYER**

*Regularities of oil degradation in a peat containing layer of a peat deposit in the conditions of model experience are studied. It has been shown, that peat containing layer in relation to oil pollution is the active system capable to self-cleaning. Degree of oil degradation within 95 days has made 40 %. Applying a peat sorbent on a surface of peat layer polluted by oil allows to keep till 50 % of the pollutant , interfering therefore with deeper layers of a peat deposit pollution. A positive role of a peat sorbent as the carrier of oil microorganisms-destructors in the sorbent proper and on a surface of the peaty layer that promotes processes of self-cleaning at the expense of native microorganisms-destructors of oil has been found. Application of a peat sorbent with a microbial preparation on the basis of petrol-destroying microorganisms of Rhodococcus sort with elements of mineral nutrition allows to increase degree of oil degradation by 10–35 % depending on pollution level in comparison with the check.*

**Т. Я. Кашинская, А. П. Гаврильчик, И. В. Агейчик**

## **К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ЭКОЛОГОСОВМЕСТИМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОСВОЕНИЯ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

*Представлен анализ технологий разработки торфяных месторождений с позиций влияния на физико-технические свойства и химический состав торфа, а также взаимовлияние торфяных месторождений и компонентов окружающей среды при различных вариантах их разработки.*

Освоение природных ресурсов требует разработки новых технологий, позволяющих максимально полно использовать сырье с минимизацией отрицательных воздействий на окружающую среду.

При принятии решений об эксплуатации торфяных месторождений необходимо учитывать две основные группы их функций в природе и обществе: биосферную и природно-хозяйственную.

Биосферная группа включает аккумулятивную, биологическую, межкруговоротную, ландшафтную, газорегуляторную, геохимическую, гидрологическую и климатическую функции.

Природно-хозяйственные функции (ресурсно-сыревая, информационно-рекреационная) заключаются в возможности практического использования ресурсов торфяных месторождений для экономического и культурного развития человеческого сообщества [1]. Тем более что торф по составу и наличию различных классов органических соединений (гуминовых веществ, углеводов, битумов) представляет большую ценность для химической и биохимической промышленности, сельского хозяйства, медицины, строительства и ряда других отраслей.

Новизна подхода к освоению торфяных месторождений с целью использования запасов торфяного сырья состоит в том, что при принятии решения о целесообразности такого шага, необходимо учитывать не только экономические выгоды, запасы, глубину залежи и качественные характеристики торфяного сырья, но и экологические последствия техногенного воздействия на торфяную залежь и окружающую среду. Более того, в зависимости от условий формирования торфяной залежи нужно использовать не одну, а различные технологии разработки и извлечения торфяных запасов.

Состав и свойства торфа определяются природно-генетическими условиями формирования и мало изменяются в естественном залегании, но чувствительны к техногенному воздействию. Нарушение природного равновесия в процессе добычи торфа приводит к активизации окислительно-деструктивных процессов, минерализации, потерям органического вещества

торфа, к изменению качественного и количественного состава его основных компонентов. Осушение, последующая добыча, сушка и хранение торфа существенно изменяют водно-воздушный и тепловой режимы торфа, усиливающие трансформацию его состава и свойств. И если энергетическое направление потребления торфа не предъявляло особых требований к качеству, ограничивая его степенью разложения, зольностью и влажностью, то комплексная переработка существенно повысила их. Это означает, что при выборе технологий разработки торфяных месторождений необходимо учитывать закономерности трансформации состава и свойств торфяного сырья на различных этапах добычи, чтобы максимально полно сохранить его потенциальные возможности.

Проведенные комплексные исследования химического состава различных видов торфа позволили прийти к определенным выводам, касающимся степени устойчивости торфа к изменяющимся в результате осушения окислительно-восстановительным условиям торфяной залежи.

1. В осущеной торфяной залежи наблюдаются значительные изменения количественного содержания и качественного состава компонентов органического вещества торфа, величина и направленность которых зависит как от степени и продолжительности осушки, так и от геоботанической природы и степени разложения торфа.

2. Наиболее принципиальные изменения органическое вещество торфа претерпевает в первые 2 года после изменения водно-воздушного режима в результате осушки. Причем торф малой степени разложения быстрее приходит в состояние равновесия с окружающей средой (определенный уровень изменений достигается за 2 года, далее наблюдаемые превращения не столь значительны). Для торфа средней степени разложения процесс трансформации продолжается и по прошествии 5 лет.

3. Превращения торфа сопровождаются потерями органического вещества. Максимальные потери наблюдаются в первые 2 года после осушки, колеблясь от 15–18 % – для малоразложившегося торфа и до 1 % – для сильнораз-

ложившегося. В дальнейшем интенсивность потерь уменьшается [6].

4. Наиболее активно процессы преобразования органического вещества торфа протекают в зоне колебания уровня грунтовых вод (УГВ), что отражается как на выходе, так и на качественных характеристиках всех компонентов торфа.

5. Для торфа с  $R < 20\%$ , как правило, наблюдается уменьшение содержания битумов в образцах из зоны выше УГВ и увеличение в нижележащих зонах. Для торфа с  $R > 20\%$  заметных качественных изменений содержания битумов не происходит. Вопреки существующему представлению, что со временем в залежи происходит увеличение в составе битумов содержания восковой части и уменьшение смолистой, полученные данные свидетельствуют о том, что в торфе из осущеной залежи растет количество непредельных соединений и кислых групп. Битумы торфа из кислородобеспеченных слоев залежи обогащаются кислотными соединениями [8].

6. В торфе из верхних слоев осущеной залежи возрастает количество водорастворимых веществ и сокращается содержание трудногидролизуемых соединений. В аэрируемых условиях наиболее заметно распадается целлюлоза.

7. Изменение водно-воздушного и температурного режимов хранения торфа вызывает значительные структурные перестройки в системе гуминовых кислот.

8. В условиях антропогенно нарушенной торфяной залежи в результате осущения химические превращения гуминовых веществ определяются окислительно-восстановительной обстановкой залежи, продолжительностью пребывания в осущеной залежи и зависят от геоботанической характеристики торфа. Общей тенденцией в преобразовании органического вещества торфа является сокращение отношения ГВ/ГК, т.е. возрастание доли гуминовых кислот в составе щелочерастворимых веществ.

9. С увеличением продолжительности пребывания торфа в осущеной залежи в гуминовых кислотах из верхних слоев залежи возрастает количество карбоксильных и азотсодержащих групп, а в таковых из нижних слоев – полисахаридных фрагментов и фенольных групп. Окислительные процессы в осущеной залежи способствуют увеличению структурной однородности гуминовых кислот, сокращению низкомолекулярных фракций и возрастанию доли ароматических структур полисопряжения в их составе. В верхних слоях залежи синтез гуминовых кислот осуществляется за счет алифатических фрагментов и окислительных процессов, в нижних слоях – за счет присоединения углеводных фрагментов [7].

10. В нижних слоях залежи накапливаются низкомолекулярные ФК, а в верхних наблюдается относительное увеличение молекулярной массы ФК.

11. Пребывание торфа в осущеной залежи приводит к ухудшению качества окускованной продукции, получаемой на его основе.

Таким образом, осущение залежи заглубляет зону активного превращения органического вещества до уровня колебания грунтовых вод и практически приводит к ликвидации торфогенного слоя и прекращению генезиса торфа. В случае восстановления существовавшего до осущения водного режима торфогенный слой выработанной торфяной залежи возобновляется через 5–7 лет. Учитывая, что средняя продолжительность освоения залежи при промышленной добыче торфа фрезерным способом составляет 15–17 лет, болотообразовательный процесс на выбывшей из разработки площади торфяных месторождений может быть восстановлен через 20–25 лет после начала разработки, и выработанное месторождение вновь станет выполнять присущие ему до разработки природоохранные функции.

К способам добычи торфа относятся: резной, гидроторф, экскаваторный, фрезерный и фрезформовочный [2]. При добыче торфа *резным способом и гидроспособом* предусматривается минимальное осущение залежи, и водно-воздушный, и тепловой режимы разрабатываемого слоя залежи практически не изменяются. В новых условиях органическое вещество торфа оказывается только на полях сушки. Так как переработка исходного сырья минимальная или проходит в условиях переувлажнения (при гидроразмыве и гидротранспорте) и доступность органического вещества окислительно-деструктивным процессам в период добычи минимальная, структура кускового торфа и плотность готовой продукции зависят только от состава торфа и условий его сушки.

*Экскаваторный способ* требует предварительного осущения залежи, так как влага исходного сырья регламентирует возможность получения из него качественной формованной продукции. Этим способом добывают торф на залежах всех типов со средней степенью разложения по глубине пласта, как и для гидроторфа, более 15 %, при содержании влаги 86–88 %. Переработка торфа-сырца в прессах добывающих машин способствует усадке и повышению плотности в процессе сушки, а также снижению водопоглотительной способности готовой продукции. Продолжительность пребывания органического вещества в условиях повышенной температуры при сушке и изменяющихся в данный период влажностных режимах зависит от метеорологических условий сезона, класса полей сушки, размеров, формы кусков и характеристики исходного торфа. Значительное уплотнение торфа в период формования и сушки при существенном снижении удельной поверхности готовой продукции уменьшает доступность органического вещества

торфа окислительно-деструктивным процессам. Однако производство торфа экскаваторным способом связано с серьезными недостатками: способ энергозатратный, при ворошении и уборке происходит снижение качества готовой продукции.

Наибольшее распространение получил механизированный *фрезерный способ* добычи торфа, являющийся поверхностно-послойным. Он имеет ряд преимуществ по сравнению с остальными: это возможность селективной или локальной разработки залежи с получением сырья определенного химического состава, полная механизация всех операций технологического процесса, увеличение сезонных сборов торфа с 1 г рабочей площади за счет сушки торфа в тонком слое, максимальное использование погодных условий.

Вместе с тем данному способу присущ ряд существенных недостатков.

1. Необходимость предварительного и окончательного (максимального) осушения разрабатываемых торфяных залежей при норме осушения не менее 1,2 м для достижения минимальной влаги фрезеруемого слоя залежи (75–78 % для залежи низинного типа и 79–82 % – для верхового и переходного). В новом водно-воздушном и тепловом режимах после осушения торфяная залежь находится не менее 8–10 лет, и органическое вещество торфа подвергается биохимическому воздействию.

2. Низкая плотность, высокая удельная поверхность и повышенная доступность органического вещества фрезерного торфа окислительно-деструктивным процессам способствует существенному изменению его химического состава.

3. Способность торфа саморазогреваться вплоть до самовозгорания при хранении, что сопровождается не только значительными потерями органического вещества и торфяными пожарами, но и существенными изменениями состава и свойств, в результате чего его качество изменяется и для отдельных производств торф становится некондиционным сырьем.

4. Большие потери вследствие намокания, ветровой и водной эрозии в период сушки и хранения, а также при перевозках.

5. Сушка торфа в расстриле сопровождается окислительными процессами и деструкцией углеводного комплекса, глубина которых возрастает с удалением воды механического удерживания. Солнечная радиация усиливает трансформацию органического вещества. Поэтому в жаркое сухое лето опасность интенсивного саморазогревания и возникновения пожаров значительно повышается.

*Фрезформовочный способ* совмещает положительные стороны экскаваторного и фрезерного способов добычи торфа. Здесь не требуется значительных площадей, добыча может быть ор-

ганизована на небольших месторождениях, поля добычи и сушки совмещены. Можно добывать торф более однородного состава, уменьшить (по сравнению с экскаваторным способом добычи) продолжительность сушки. Вместе с тем плотность готовой продукции ниже, а низкая влажность верхнего слоя залежи, щелевая экскавация существенно улучшают газообмен, тем самым усиливая интенсивность окислительно-деструктивных процессов. Разновидностью фрезформовочного способа добычи торфа является *гранулированный способ*, дополнительным положительным качеством которого служит повышенная интенсивность сушки гранул.

Учитывая, что глубина изменений состава и свойств торфа зависит от влаги, плотности, условий газообмена, температуры, радиационного воздействия, сравним возможную доступность органического вещества торфа, получаемого каждым из перечисленных способов, окислительно-деструктивным процессам различной природы.

Анализ плотности и газонасыщенности сырья, полученного экскаваторным (кусковой торф), фрезформовочным (мелкокусковой и гранулированный) и фрезерным способами из залежи одной характеристики, свидетельствует о том, что структура сырья является наиболее рыхлой, если оно получено по последней технологии, а, соответственно, в наиболее жестких условиях органическое вещество торфа оказывается при добыче торфа фрезерным способом. Требования максимального осушения залежи, длительное пребывание её в осушенном состоянии, дробление фрезерованием верхних слоев торфа залежи при минимальной влажности способствуют образованию большого количества мелкой пылевидной фракции и резкому увеличению удельной поверхности торфяных частиц. Все это приводит к существенному повышению биохимических превращений в органическом веществе торфа. Сушка полученной крошки в естественных условиях при повышенной температуре и ультрафиолетовом воздействии усиливает развитие окислительно-восстановительных процессов в органическом веществе торфа, в первую очередь углеводного комплекса [3].

К тому же хранение добытого фрезерным способом торфа часто сопровождается саморазогреванием, что приводит как к потерям органического вещества (до 2–3 % в месяц) так и к изменениям физико-технических свойств и химического состава, а следовательно, качества торфа для различных направлений использования [11].

При заготовке в окусованном виде (экскаваторный способ, поверхностно-послойный, гранулированный) торф извлекается из залежи, освобождается от древесных включений, перерабатывается и формируется в куски. Переработка и уплотнение уменьшают содержание газообразной фазы, снижают доступность органического

вещества окислительно-деструктивным процессам в период сушки и тем самым в значительной мере сохраняют исходный состав и свойства торфа.

Однако эти технологии по сравнению с фрезерным способом более энергоемки и не позволяют получить качественное сырье из торфа любой залежи. Наиболее полно естественная структура и свойства торфа сохраняются *при резном способе* заготовки. Способ не требует высокой степени осушения залежи, однако качественную кусковую продукцию с использованием существующих средств механизации можно получить лишь на беспнистых залежах. Удаление же древесных включений периодическим корчеванием залежи разрушает монолитность торфа и не только не позволяет получать целые куски, но и ухудшает условия последующей экскавации и сушки кусков, оставляя рваную поверхность залежи после предыдущего цикла.

Таким образом, анализ существующих способов добычи торфа и их влияния на его изменения состава и свойств показывает, что *кусковой способ* довольно полно сохраняет состав и свойства исходного торфа залежи, но с его использованием энергоемко и сложно получить качественную окускованную продукцию из торфа различных видов.

*Резной способ* максимально полно сохраняет большинство характеристик исходного торфа залежи, энергоемкость существующих механизмов сравнима с фрезерованием, однако операции сушки не механизированы, и получение качественных резных кусков возможно лишь на беспнистой залежи.

Наиболее механизированным при минимальной энергоемкости является *фрезерный способ* добычи торфа. Однако органическое вещество при его использовании подвергается существенному воздействию окислительно-деструктивных процессов и превращениям вследствие дробления, разрушения естественной структуры, фото- и термодеструкции, значительного осушения залежи. Для наиболее полного сохранения естественного состава и структуры торфа операция фрезерования должна быть заменена пассивным резанием торфяной залежи при минимальной норме осушения последней. Создание таких условий позволит снизить до минимума разрушение естественной структуры торфа при экскавации, уменьшить содержание пылевидных фракций, снизить интенсивность развития окислительно-деструктивных превращений при сушке, уборке, хранении и заготовливать сырье требуемого качества. При этом осушение разрабатываемого участка должно производиться непосредственно перед заготовкой, с минимальной степенью, достаточной для прохода технологических машин, а выработка участка должна осуществляться максимум за 5 лет.

При выборе способа добычи торфа необходимо учитывать и такой важный момент, как полноту использования торфяной залежи. Запасы торфа как полезного ископаемого при разработке должны употребляться максимально полно.

В горной промышленности только при сложных геологических условиях залегания полезного ископаемого и подземной разработке (скважинный метод) КИЗ соответствует 0,5–0,55, при шахтном способе – 0,55–0,65. Во всех остальных случаях он достигает 0,8–0,95, а при открытых способах добычи разработки – 0,95–0,98. При добыче же торфа (открытый способ) КИЗ достигает лишь 0,5–0,6, а месторождение после окончания работ называется «выработанным» [3]. Торф как сосредоточенное на земной поверхности полезное ископаемое можно разрабатывать лишь открытым способом. Учитывая, что на месторождениях отсутствуют вскрышные породы, вне зависимости от мощности разрабатываемого слоя торфа, потери по условиям добычи должны быть минимальными. За счет изменения технологий добычи и повышения КИЗ до 0,8–0,85 можно значительно увеличить извлекаемые запасы торфа.

Учитывая природоохранные функции торфа и торфяных месторождений, при выполнении детальных разведок следует планировать проведение работ не только по количественной и качественной оценкам запасов торфа, но и одновременно определять роль обследуемых месторождений в природе и обществе для разработки перспективных технологий их освоения.

При оценке возможности использования торфяных месторождений необходимо учитывать и то, что торфяные месторождения являются важным компонентом в природном географическом комплексе, звеном в цепи взаимосвязанных и взаимодействующих компонентов природной среды. Любое воздействие на торфяные месторождения вызывает процесс преобразования данной среды.

Торфяные месторождения находятся в тесной взаимосвязи с окружающей средой. Влияние это обоюдное. Разрастаясь, торфяное месторождение наползает на минеральные берега, вызывает определенные явления, связанные с колебаниями температуры и влажности на участках, непосредственно прилегающих к нему, т.е. является фактором микроклимата, регулирует речной сток и т. д. В то же время, с прилегающей водосборной площади с поверхностью стоком на торфяные месторождения привносятся минеральные частицы почвенного слоя, а сезонные разливы рек оставляют на поверхности значительные количества иллистого материала. Поступающие в торфяное месторождение взвешенные и растворенные в водах продукты выветривания под влиянием живых растений-торфообразователей, основной массы торфа и органических

веществ процесса оторfovывания изменяют свой первоначальный состав, давая в одних случаях начало своеобразному болотному минералообразованию, а в других – вступая в новые формы связи, которые обусловливают дальнейшие этапы их миграции [5].

Освоение природных ресурсов и вовлечение в хозяйственную деятельность практически всей поверхности нашей планеты не может не отразиться на развитии торфяных месторождений. Здесь целесообразно рассмотреть два фактора: 1) влияние, оказываемое человеком в целом на биосферу и более или менее в равной степени затрагивающее все ландшафтные компоненты; 2) целенаправленное вмешательство в процесс естественного развития торфяного месторождения путем проведения разного рода технических мероприятий.

В первом случае торфяное месторождение сохраняет свою специфику, в то же время чутко реагируя на изменение внешней среды.

При выборе технологий освоения торфяных месторождений (второй случай) необходимо учитывать и неравнозначные последствия для окружающей среды.

Перед началом разработки торфяного месторождения проводятся подготовительные работы, которые включают два этапа: осушение месторождений и эксплуатационных площадей и подготовка поверхностных слоев эксплуатационных площадей.

Для осушения торфяных месторождений требуется проведение гидротехнических мероприятий по созданию осушительной системы, включающей следующие основные элементы: водоприемники, магистральные, валовые и коллекторные каналы, осушители – картовые каналы или дрены. Иногда требуется сооружение водохранилищ, шлюзов и других гидротехнических устройств. Наиболее глубокое осушение проводится при добыче торфа фрезерным способом.

Осушение существенно влияет на водный режим как на непосредственно осушаемой территории, так и на сопредельных участках [12]. Увеличение расходных составляющих водного баланса за счет сброса грунтовых вод приводит к потере их запасов, перераспределению на смежных территориях и понижению уровня подземных вод. В сферу влияния осушения вовлекаются и гидравлически связанные с грунтовыми водами более глубокозалегающие водоносные горизонты.

Интенсивность дренажа и площадь зон влияния осушительных каналов зависят от геоморфологических условий и литологии минерального дна торфяного месторождения, или от состава и консистенции торфа, подстилающего вышележащий слой.

Мнения относительно влияния осушения на уровень грунтовых вод, прилегающих к осушаемым землям территорий, противоречивы.

Сам факт существования такого влияния никем не отрицается, разногласия существуют лишь по поводу величин зоны влияния и изменения уровня грунтовых вод. По-видимому, однозначного ответа здесь дать нельзя, поскольку степень влияния осушения обусловлена комплексом факторов, значения которых в каждом конкретном случае различны: интенсивность и давность осушения, его характер (открытые каналы, дренаж), степень регулирования; геоморфологическое строение осушаемого месторождения (тип торфяной залежи, подстилающие породы, связь с более глубокими водами); сложение водовмещающих пород, их водопроницаемость; географические условия района; уклон зеркала грунтовых вод, атмосферные факторы и др.

При оценке гидрологической роли торфяных месторождений и влияния их осушения и освоения на экологическую обстановку необходимо составлять долгосрочный прогноз изменения водных ресурсов и режима торфяных месторождений, т. е. определять положительное и возможное отрицательное влияние крупномасштабного процесса освоения новых торфоболотных регионов. Важно рассмотреть также проблему влияния осушения торфяных месторождений на продуктивность прилегающих почв.

Отметим, что суммарный эффект влияния осушения торфяных месторождений на водный режим и продуктивность прилегающих земель нередко бывает положительным и способствует, таким образом, образованию на сложной торфоболотной территории более оптимальных в экологическом и хозяйственном отношениях ландшафтов. Такие ландшафты отличаются высокой биологической продуктивностью, интенсивным биогенным круговоротом веществ, благоприятным водным балансом, полным исключением или сведением до минимума проявлений таких нежелательных процессов, как повторное заболачивание, зарастание сорной растительностью и др. [10].

К недостаткам технологии добычи торфа поверхностно-послойным фрезерным способом, оцениваемым с позиции геэкологии, следует отнести запыленность атмосферного воздуха и возникновение мощных ветровых потоков, переносящих торфяную пыль на значительные расстояния, попадание торфяной крошки в осушительную и проводящую сеть и вынос ее с торфяно-болотными водами; обогащенными органическими веществами в виде гуминовой и фульвой кислот, имеющими высокую цветность и кислотность, в открытые водоприемники (реки и озера); проведение в значительном объеме болотно-подготовительных работ (сводка древесной растительности, корчевка пней, строительство осушительной, проводящей и окружающей сетей и т. д.), что коренным образом изменяет уставновившееся биологическое, гидрологическое, гео-

логическое и микроклиматическое равновесие на данной территории; резкое возрастание риска пожароопасности, как на полях добычи торфа, так и на местах складирования пней и штабелях торфа; смещение водного и углеродного циклов в сторону снижения и, как следствие, повышение температуры приземного воздуха на значительной территории [9].

При экскаваторном методе разработка залежи торфа ведется в вертикальном направлении, практически на всю его глубину от верхнего до нижнего слоев. На выработанной площади образуется выемка – карьер, глубина которого зависит от глубины залежи. Неудобством для последующего использования выработанных торфяных месторождений при карьерном способе разработки является наличие обводненных площадей, которые требуют больших работ на рекультивацию для дальнейшего использования.

И даже после сработки торфяной залежи фрезерным способом необходимы мероприятия по рекультивации полей и выравниванию поверхности. Основным этапом проектирования рекультивации выработанных площадей торфяных месторождений является правильный выбор рациональных направлений их дальнейшего использования. При выборе следует опираться на следующие главные принципы: эксплуатация рекультивированных площадей в соответствии с выбранным направлением не должна оказывать отрицательного воздействия на окружающую среду, выработанная площадь после проведения рекультивации должна быть пригодна для использования в выбранном направлении.

Таким образом, подводя итог вышесказанному, можно предложить следующий методический подход к выбору технологии освоения торфяных месторождений.

1. Изучение и оценка торфяного месторождения:

- 1.1 размер площади торфяного месторождения;
- 1.2 геологические запасы;
- 1.3 геоморфологическая приуроченность;
- 1.4 стратиграфия залежи.

2. Определение ценности торфа как сырья для различных направлений использования и его устойчивости к техногенному воздействию при добыче:

- 2.1. определение физико-технических свойств и компонентного состава торфов,лагающих залежь;

2.2. оценка потенциальной возможности использования торфа залежи для получения продукции на его основе;

- 2.3 прогноз изменений физико-технических свойств и химического состава торфа при использовании тех или иных технологий его добычи;

3. Прогноз последствий разработки торфяного месторождения для окружающей среды.

4. Выбор направления использования торфяного месторождения после выработки торфяного сырья.

5. Оценка экономических показателей освоения торфяного месторождения.

6. На основе учета всех вышеназванных параметров выбор технологии освоения торфяного месторождения.

Эффективным вариантом освоения торфяного месторождения следует считать только такой, который обеспечивает максимальную экономическую выгоду от использования материального запаса вещества полезного ископаемого при строгом ограничении негативного воздействия на другие компоненты окружающей среды.

## Литература

1. Бамбалов Н. Н., Ракович В. А. Роль болот в биосфере. Минск, 2007.
2. Богатов Б. А., Никифоров В. А. Технология и комплексная механизация торфяного производства. Минск, 1988.
3. Гаврильчик А. П. Превращение торфа при добыче и переработке. Минск, 1992.
4. Гаврильчик А. П., Смеловский В. Е. Мультан С. Т. и др. Что такое выработанные торфяные месторождения // Природопользование. 1999. № 5. С. 81–85.
5. Геохимия озерно-болотного литогенеза / Под ред. К. И. Лукашева. Минск, 1971.
6. Кашинская Т. Я., Гаврильчик А. П., Калилец Л. П. и др. Изменение химического состава торфа в осущеных залежах // Природопользование. 1996. Вып. 1. С. 103–109
7. Кашинская Т. Я., Гаврильчик А. П., Стригуцкий В. П., Шевченко Н. В. Изменение гуминовых веществ в условиях осущеной торфяной залежи // ХТТ. 1999. № 3. С. 67–73.
8. Кашинская Т. Я., Гаврильчик А. П., Шевченко Н. В. и др. Влияние окислительно-восстановительных условий формирования залежи на изменение химического состава верхового торфа // Весці АНБ. Сер. хім. наук. 1995. № 1. С. 84–90.
9. Косов В. И., Беляев А. С., Белозеров О. В., Гогин Д. Ю. Ресурсы, технологии, геэкология. СПб., 2007.
10. Оленин А. С. Рациональное использование торфяных ресурсов – природоохраный фактор // Торфяная промышленность. 1984. № 5. С. 15–19.
11. Превращения торфа и его компонентов в процессе саморазогревания при хранении / Под ред. Н.С. Панкратова. Минск, 1972.

12. Янушевский В. В., Марченко Н. А. Влияние осушения верховых торфяных месторождений и добычи торфа на окружающую среду // Торфяная промышленность. 1984. № 1. С. 18–19.

## Институт природопользования НАН Беларуси

**Т. Я. Кашинская, А. П. Гаврильчик, И. В. Агейчик**

### **К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ЭКОЛОГОСОВМЕСТИМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОСВОЕНИЯ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Проанализировано влияние существующих технологий разработки торфяных месторождений (резной, гидравлический, экскаваторный, фрезерный, фрезформовочный способы добычи) на устойчивость окружающих ландшафтов техногенному воздействию.

Обобщены данные по изменению физико-технических свойств и химического состава торфа на этапах добычи торфяного сырья при использовании различных технологий торфодобычи. Показано, что торфяное сырье, пройдя по технологической цепочке залежь–цех по переработке, существенно отличается по химическому составу, что необходимо учитывать при организации производств различных продуктов народного потребления на основе торфа.

Показано, что при выборе технологий освоения торфяных месторождений необходимо принимать во внимание размер площади и геологические запасы торфяного месторождения; геоморфологическую приуроченность месторождения; ценность торфа как сырья для различных направлений использования; прогноз изменений физико-технических свойств и химического состава торфа при использовании тех или иных технологий добычи; прогноз последствий освоения торфяного месторождения на окружающую среду; направление использования торфяного месторождения после выработки торфяного сырья; экономическую эффективность освоения торфяного месторождения.

**T. Y. Kashinskaya, A. P. Gavrilchik, I. V. Ageichik**

### **THE QUESTION OF CHOOSING ECOLOGY-COMPATIBLE TECHNOLOGIES OF PEAT DEPOSITS DEVELOPMENT**

*Influence of existing technologies to work out peat deposits (carved, hydraulic, excavation, milling, milled-moulded ways of extraction) on resistance of surrounding landscapes to technogenic impact has been analyzed.*

*Data of the change of physical-technical properties and peat chemical compound at stages of peat raw materials extraction have been generalized while various technologies of peat extraction are used. It has been shown that peat raw materials, having passed through a technological chain a deposit – processing shop, essentially differs by chemical composition that should be considered to arrange manufactures of various peat-based products of national consumption.*

*It has been shown that making a choice of technologies to develop peat deposits it is necessary to take into consideration the size of the area and geological stocks of a peat deposit; geo-morphological confinedness of the deposits; value of peat as raw materials for various directions of use; the forecast of changes of physical-technical properties and a peat chemical composition when using these or other technologies of extraction; the forecast of consequences of the development of a peat deposit for environment; a direction of use of a peat deposit after peat raw materials are cutover; economic efficiency of a peat deposit development.*

УДК 562.417:636

**И. И. Лиштван, А. М. Абрамец, Ю. Г. Янута, Г. С. Монич,  
Н. С. Глухова, В. Н. Алейникова**

## ГУМИНОВЫЕ ПРЕПАРАТЫ КАК ЭКОЛОГОБЕЗОПАСНЫЕ ПРОДУКТЫ ДЛЯ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*Приведены результаты исследования физико-химических и сорбционных свойств гуминовых соединений (ГС). Показано, что свойства ГС зависят от реакции среды, при которой происходило их выделение. Исследован элементный состав фракций гуминовых кислот, их обменная емкость, другие характеристики. Обоснованы принципы использования гуминовых препаратов (ГП) для окультуривания территорий, нарушенных хозяйственной деятельностью человека. Разработаны новые ГП для зеленого обустройства пустынных (песчаных) территорий.*

Гуминовые вещества (ГВ) играют исключительную роль в природе и жизни человека, что получило закономерное подтверждение в последние десятилетия, особенно в области инженерной экологии, т. е. в области практического решения проблем охраны окружающей среды. Именно в данной области, как ни в какой другой, появились возможности этого класса природных полимеров и препаратов на их основе как инструмента, позволяющего решить широкий спектр задач повышения плодородия почв и охраны окружающей среды. ГВ – широкий класс соединений, которые выполняют необходимые посреднические функции между живым и минеральным миром [10]. Так, темная окраска ГВ прямо влияет на регулирование теплового режима почв и климата планеты в целом. Полифункциональность ГВ обеспечивает им доминирующую роль в аккумуляции и миграции ионов металлов в недрах, почвах и наземных ландшафтах. Гидрофильность и молекулярная структура предопределяют ГВ уникальную роль структурообразователей почв, регулятора их воздушного и водного режимов, средств для рекультивации территорий, нарушенных хозяйственной деятельностью человека и т. д. [9].

Гуминовые кислоты (ГК) – базовый компонент ГВ. Они как природные полимеры представляют собой широкий класс гомологов, состоящих из соединений, отличающихся структурой, составом, количеством и топографией молекулярных фрагментов. В зависимости от генезиса сырья, степени его метаморфизма в составе ГК могут преобладать как низкомолекулярные, так и высокомолекулярные соединения с разным содержанием алифатических и ароматических фрагментов, функциональных групп. Поэтому ГК, выделенные из различных видов сырья, отличаются по составу и свойствам. При обезвоживании и сушке структура фрагментов ГК также претерпевает существенную трансформацию с изменением как состава активных центров ассоциатов ГК, так и физико-химических свойств препарата в

целом, а значит, и активность их как регуляторов структуры, водных свойств, процессов переноса влаги, ионообменных свойств почвенных систем соответственно изменяется.

Склонность к ассоциации и, наоборот, к растворению зависит от функционального состава и молекулярной структуры ГК. В составе ГК преобладают кислородсодержащие функциональные группы, прежде всего карбоксильные [10]. Чем больше содержание функциональных групп в структуре соединения, тем выше его сродство к полярному растворителю, а следовательно, и растворимость. Наличие неполярных фрагментов повышает гидрофобность соединения, тем самым уменьшая его растворимость. В результате соединения гидрофильной природы при растворении образуют истинный раствор, а гидрофобные – образуют в воде полуколлоидно-высокомолекулярные системы. Налицо молекулярно-дисперсное равновесие: истинный раствор  $\leftrightarrow$  золь  $\leftrightarrow$  гель  $\leftrightarrow$  коллоидно-ассоциатное строение. Именно, исходя из этих свойств, фракции ГК имеют разную молекулярно-ассоциатную структуру. Поэтому фракционирование ГВ торфа выполнено по их растворимости в воде в зависимости от pH среды, т. е. по способности растворения ГВ в определенном диапазоне pH [6]. Полученные фракции ГВ использовали в качестве базовых субстанций-регуляторов структуры, водных, ионообменных, агрофизических почвенных систем, грунтов.

Методом дифференциального потенциометрического титрования определено содержание функциональных групп, способных участвовать в обменном процессе. Ионную силу раствора поддерживали на необходимом уровне 0,2 н раствором NaCl. По кривым потенциометрического титрования для исследуемого раствора ГК и раствора сравнения определяли степень диссоциации соединений. На основании данных потенциометрического титрования, по уравнению Гендерсона–Гессельбаха рассчитаны константы диссоциации функциональных групп фракций ГВ [9].

Природу активных центров исследовали, используя набор из 24 кислотно-основных индикаторов с диапазоном  $pK_a$  от 4,4 до 14,2. Предварительно ГВ сушили при температуре 60 °С, измельчали в агатовой ступке и рассеивали на ситах. Для анализа использована фракция, с размером частиц не более 0,25 мм [12].

Для оценки молекулярно-массового распределения фракций ГВ был выбран метод гель-хроматографии на *Sephadex G-75* (колонка 594 х 18 мм, элюент 0,1 н NaCl). Калибровку колонки проводили стандартными растворами лигносульфонатов с известной молекулярной массой. Значения среднечисловой ( $M_n$ ) и среднемассовой ( $M_w$ ) молекулярной массы рассчитывали по методике, изложенной в [11].

Рост степени диссоциации фракций ГВ с увеличением pH раствора можно объяснить переходом растворов ГВ из коллоидно-ассоциатного состояния в истинный раствор, что увеличивает способность функциональных групп ГВ к обменному процессу и повышает реакционную способность фрагментов ГВ. Из полученных данных (рис. 1, табл. 1) следует, что содержание

диссоциированных функциональных групп во фракциях коррелирует с содержанием кислорода в составе ГВ [6].

Значение обменной емкости максимально для фракции № 6 и минимально для фракции № 1, содержащей минимальное количество кислорода (кислородсодержащих функциональных групп).

Одновременно, как следует из данных табл. 1, элементный состав фракций ГВ имеет существенное различие по таким элементам их молекулярной структуры, как углерод (C), водород (H), азот (N), кислород (O). Анализ данных табл. 1, 2 (сопоставительный) свидетельствует, о том что чем выше молекулярная масса (ММ) фракций ГВ, тем больше содержат они N, H, C и, наоборот, чем меньше ММ ГВ, тем больше содержание в них O, т. е. кислородсодержащих функциональных групп. С позиций потенциальной агрономической ценности как органические соединения наибольшее внимание обращают на себя высокомолекулярные ГВ в качестве носителей органического N.

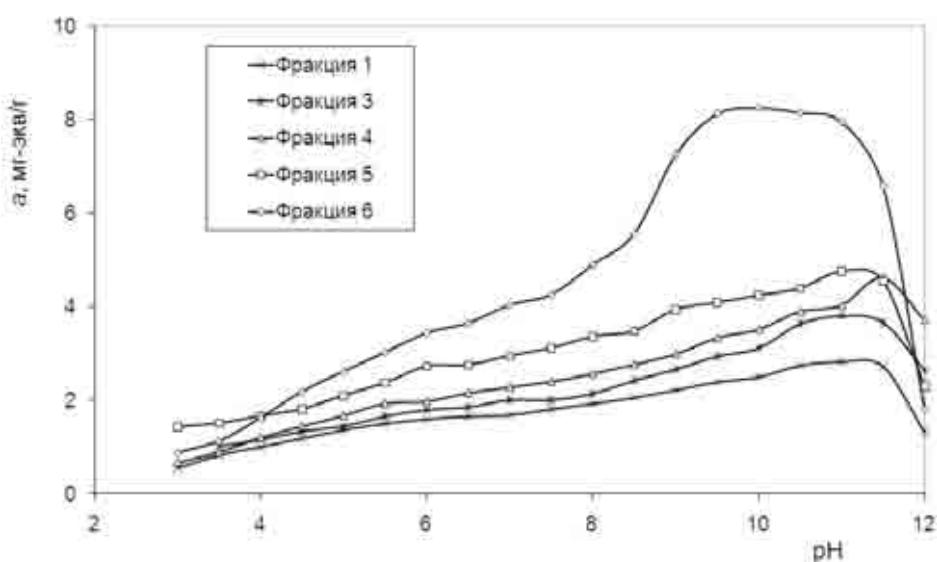


Рис. 1. Изменение величины обменной емкости фракций ГВ в зависимости от pH раствора

Таблица 1. Элементный состав фракций ГВ

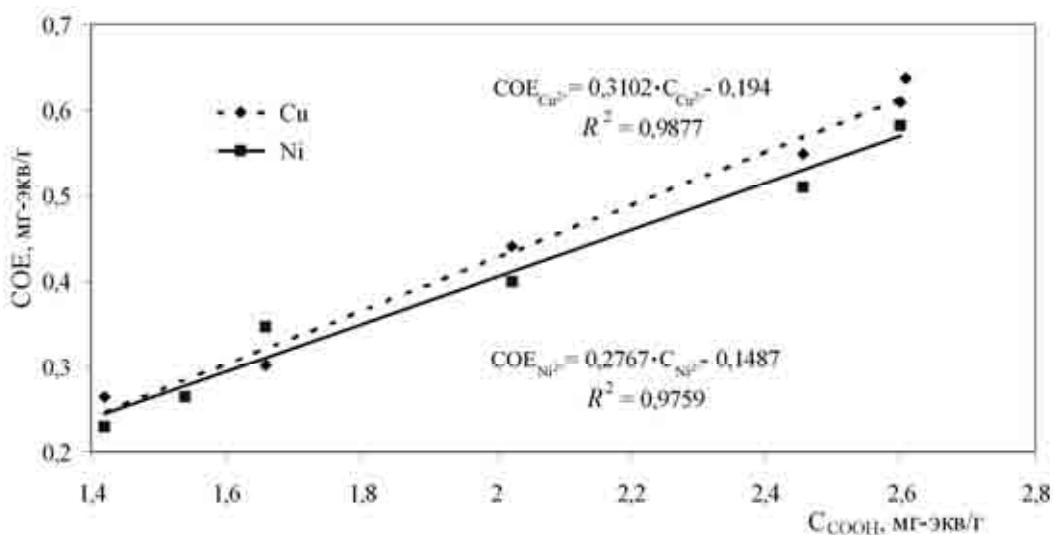
Номер фракции	pH выделения	Элементный состав органической массы, %					C/H
		C	H	N	S	O	
1	12,7 ÷ 11,0	65,37	8,01	2,62	0,9	23,1	0,68
2	11,0 ÷ 10,0	63,21	7,57	2,71	0,9	25,61	0,70
3	10,0 ÷ 8,0	62,07	7,31	2,53	0,9	27,19	0,71
4	8,0 ÷ 6,0	60,96	6,30	1,40	0,9	30,44	0,81
5	6,0 ÷ 3,8	60,74	6,15	1,34	1,0	30,77	0,82
6	3,8 ÷ 2,0	57,91	5,74	1,24	1,0	34,11	0,84

**Таблица 2. Молекулярно-массовые характеристики образцов фракций ГВ**

Номер фракции	рН выделения	Массовая доля			$M_w$ , а.е.м.	$M_n$ , а.е.м.
		больше 15 000 а.е.м.	15 000 ÷ 1 500 а.е.м.	меньше 1 500 а.е.м.		
3	10,0 ÷ 8,0	0,6555	0,2454	0,0991	2246	29510
4	8,0 ÷ 6,0	0,6138	0,2860	0,1002	2154	26755
5	6,0 ÷ 3,8	0,3874	0,4220	0,1906	1209	17097
6	3,8 ÷ 2,0	0,2759	0,4785	0,2456	943	12325

Выполненными исследованиями показано, что статическая обменная емкость (СОЕ) для фракций ГВ по отношению к ионам  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  при рН среды меньшем 4 находится в прямой зависимости от содержания карбоксильных групп в

ГВ (рис. 2) при отсутствии условий образования гидроксидов ионов данных поливалентных металлов. Согласно рис. 2, при данных условиях значения СОЕ для ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  практически идентичны [8, 13].



**Рис. 2. Зависимость между содержанием карбоксильных групп во фракциях ГВ и величиной их СОЕ для ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  при рН меньшем 4**

Количество веществ, растворимых в хлороформе, снижается при переходе от фракции № 1 к фракции № 6 (рис. 3), что можно объяснить ростом их гидрофильности, а также содержанием ионогенных функциональных групп и полярных фрагментов (табл. 1, соотношение С/Н). Наоборот, с ростом рН из гуминового сырья извлекаются ГВ, обладающие более липофильными свойствами [7]. При этом содержание Н во фракциях ГВ коррелирует с их битуминозностью (коэффициент корреляции 0,94).

Спектры распределения кислотно-основных центров ГВ представлены на рис. 4. Поскольку в структуре ГВ содержатся функциональные группы в различной форме, то полученные пики позволяют определить характер (или состояние) функциональных групп. Данные рис. 4 свидетельствуют о преобладании функциональных групп, имеющих  $pK_a$  2–3,5 и 12,8–14, относящихся к карбоксильным и гидроксильным группам, соответственно. Изменение условий выде-

ления ГВ приводит к изменению состояния функциональных групп. При переходе от фракции № 3 к фракции № 5 функция кислотности ( $H_o$ ) увеличивается от 8,8 до 12,9.

Уменьшение значения титрационного показателя ( $m$ ) (табл. 3), характеризующего электростатическое взаимодействие функциональных групп в ГВ, от фракции № 1 к фракции № 6 для карбоксильных групп может быть связано с уменьшением размера агрегатов ГВ. Это уменьшение, вероятнее всего, происходит за счет снижения длины алифатических молекулярных фрагментов ГВ. Подтверждением тому является уменьшение значения  $pK_a$  карбоксильных групп в составе ГВ.

Процессы комплексообразования ГВ с ионами поливалентных металлов являются принципиально важными, определяющими как технологию получения ГП избирательного действия, так и область их практического использования.

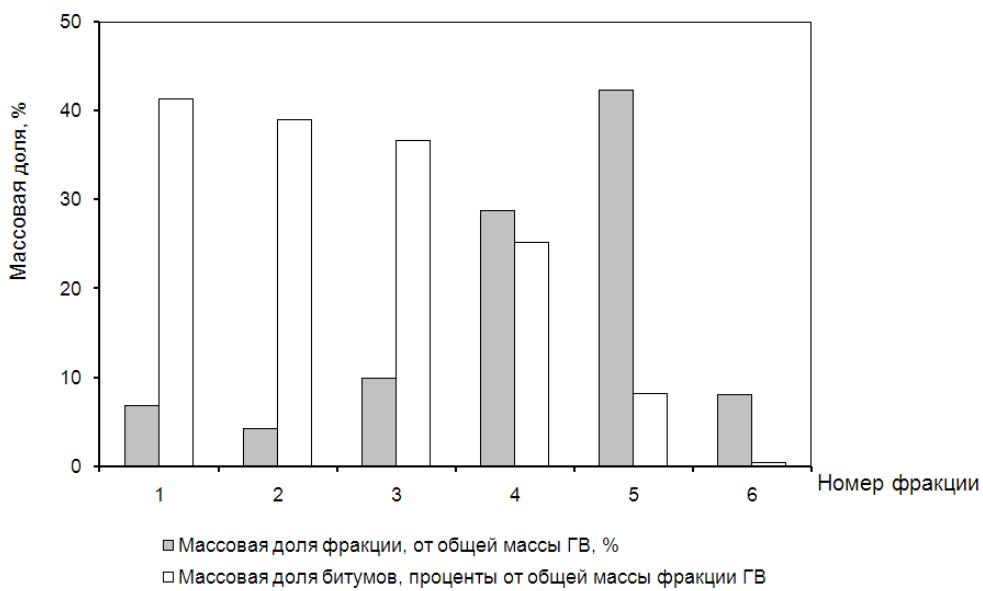


Рис. 3. Удельное содержание фракций ГВ и массовая доля содержания в них битумов [14]

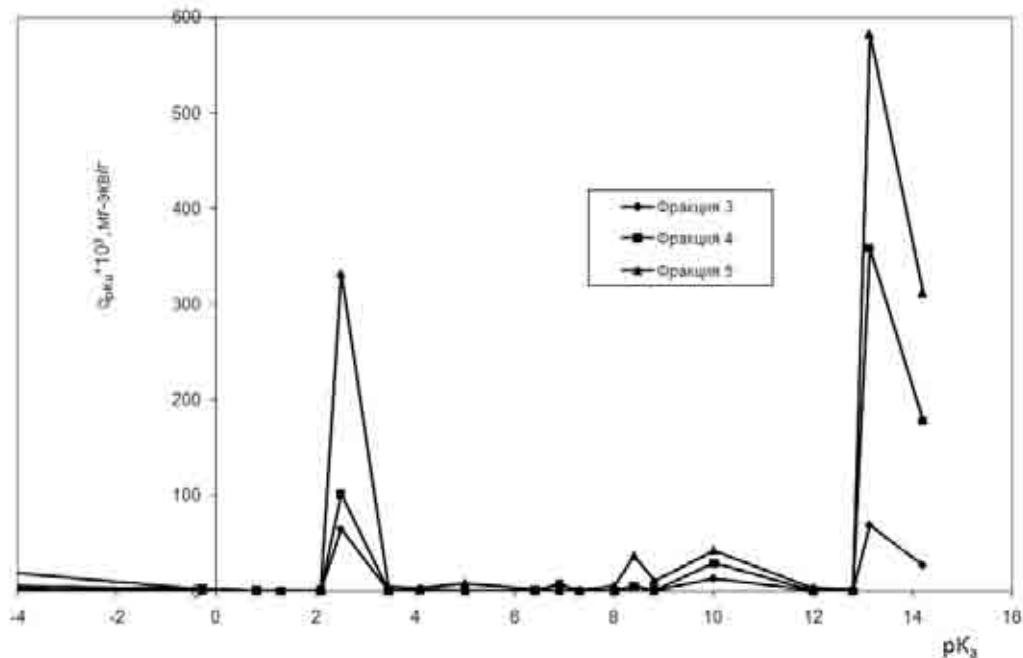


Рис. 4. Спектры распределения активных центров на частицах порошка ГВ в зависимости от константы ионизации ( $pK_a$ ) функциональных групп

Таблица 3. Характеристики функциональных групп фракций ГВ

Номер фракции	Функциональные группы	$m$	$pK_a$
1	-OH	0,4094	8,59
	-COOH	2,2523	5,91
3	-OH	0,4351	8,59
	-COOH	2,1044	5,72
4	-OH	0,5891	9,26
	-COOH	1,4733	5,08
5	-OH	0,9301	9,70
	-COOH	1,3577	4,96
6	-OH	0,9234	8,32
	-COOH	0,6424	4,22

Для исследования закономерностей взаимодействия ГВ с ионами поливалентных металлов использовали водорастворимые солевые формы ГВ. Экспериментально исследовано взаимодействие ионов  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$  и солевых форм ГВ. Подтверждено, что осаждение продуктов взаимодействия солевых форм ГВ с ионами поливалентных металлов зависит как от природы катиона, так и от концентрации солевых форм ГВ, а коагуляция начинается при достижении некоторой критической концентрации

катиона в растворе. Для растворов солевых форм ГВ критическая концентрация (при переходе от  $\text{Fe}^{3+}$  к  $\text{Sr}^{2+}$ ) увеличивается на порядок. При этом степень очистки раствора снижается с 92 % (для  $\text{Fe}^{3+}$ ) до 20 % (для  $\text{Sr}^{2+}$  и  $\text{Ca}^{2+}$ ), а комплексообразующая активность ГВ симбатно коррелирует с ионным потенциалом сорбируемого металла, т. е. чем больше величина ионного потенциала металла, тем выше степень очистки раствора (табл. 4) [4].

**Таблица 4. Критическая концентрация ионов, соответствующая коагуляции солевых форм ГВ**

Вид катиона	Критическая концентрация, мг-экв/л	Степень очистки, %	Ионный потенциал
$\text{Fe}^{3+}$	2,08	92	4,5
$\text{Cu}^{2+}$	3,75	88	2,5
$\text{Zn}^{2+}$	7,10	24	2,4
$\text{Ca}^{2+}$	25,0	20	1,9
$\text{Sr}^{2+}$	25,0	20	1,6

Из бинарного раствора солей трехвалентного железа и двухвалентной меди ГП в первую очередь связывают  $\text{Fe}^{3+}$  и лишь в небольших количествах  $\text{Cu}^{2+}$ , что обусловлено меньшей величиной ионного потенциала катиона меди и состоянием нахождения его в растворе. В бинарных растворах Cu - Zn, Cu - Sr и Cu - Ca ГП преимущественно взаимодействуют с ионами меди, а концентрация Zn, Sr и Ca в растворе остается практически неизменной.

Для очистки воды от ионов металлов принципиальным моментом является не только образование комплекса ГВ – металл, но и выведение последнего из раствора. При малой концентрации ионов поливалентных металлов образующиеся органоминеральные водонерастворимые комплексы стабилизированы ионами металлов либо полярными группами ГВ, вследствие

чего они не образуют компактных структур. И, наоборот, при концентрации ионов поливалентных металлов, эквивалентной содержанию функциональных групп в ГП (способных к образованию комплексов), наблюдается образование компактных структур с большей степенью структурной упорядоченности. Оба этих состояния имеют место и для гуминового комплексообразователя (табл. 5).

Предельные концентрации, при которых в растворе имеет место избыток гуминового комплексообразователя, отмечены индексом «x». Из табл. 5 видно, что для ионов железа оптимальным соотношением концентрации металла к концентрации гуматов в исходном растворе является 0,023, для иона меди – 0,071. При меньшем соотношении  $C_{\text{мет}}/C_{\text{сорб}}$  в растворе остается избыток ГВ.

**Таблица 5. Изменение степени очистки растворов от соотношения концентрации ионов поливалентных металлов и гуминового комплексообразователя**

$\text{Fe}^{3+}$		$\text{Cu}^{2+}$	
$C_{\text{мет}}/C_{\text{сорб}}$	Степень очистки, %	$C_{\text{мет}}/C_{\text{сорб}}$	Степень очистки, %
0,018 <sup>x</sup>	98,0	0,050 <sup>x</sup>	96,0
0,020 <sup>x</sup>	92,0	0,058 <sup>x</sup>	95,6
0,023	91,8	0,071	91,3
0,032	82,4	0,096	82,7
0,047	63,9	0,141	70,4
0,050	63,2	0,150	64,2

Для оценки влияния ионной силы раствора на селективность и эффективность взаимодействия металлов с солевыми формами ГВ исследована сорбция ионов меди ГП в присутствии NaCl (ионную силу ( $\mu$ ) раствора изменяли от 0,005 до 0,4),  $\text{CaCl}_2$  ( $\mu$  – 0,006 - 0,03),  $\text{AlCl}_3$  ( $\mu$  – 0,003 - 0,06). Установлено, что с ростом ионной силы

раствора сорбция ионов солевыми формами ГВ уменьшается. Причем с увеличением ионной силы от 0 до 0,03 величина сорбции меди в присутствии NaCl снижается на 22 %,  $\text{CaCl}_2$  – на 52 %,  $\text{AlCl}_3$  – на 58 %. С ростом ионного потенциала металла в сложных растворах величина сорбции ионов меди (при равной ионной силе раствора)

тем меньше, чем выше ионный потенциал ионов сопутствующего металла.

В целом чем больше молекулярная масса фракции ГВ либо ее солевой формы, тем выше и эффективность ГВ как комплексообразователя, т. е. как депрессора переноса ионов поливалентных металлов и органического радикала ГС в водной среде, в почвенных системах. Одновременно чем больше ионный потенциал поливалентного катиона, тем выше его склонность к комплексообразованию с ГВ, ее солевыми формами и, прежде всего,  $\text{Na}^+$  – ГВ, имеющими максимальное значение СОЕ, т. е. как природные полимеры-комплексообразователи ГВ выполняют универсальную функцию защиты природных экосистем от загрязнения как ионами тяжелых металлов, так и водорастворимыми ГС.

Перенос влаги в капиллярно-пористых материалах в общем случае представляет собой поток порового раствора по капиллярам или в виде пленочной влаги по поверхности частиц почвы под воздействием градиента движущих сил. Для перемещения в объеме материала молекула воды либо растворенного соединения должна преодолеть воздействие своих соседей, а в пределах межфазных слоев влаги – дополнительно и воздействие поверхностных сил частиц

твердой фазы, т. е. равновесие в системе поверхность частицы – поровый раствор определяет интенсивность переноса влаги и растворенных веществ (преимущественно ионов) в почвенной системе. Физическими методами практически невозможно изменить величину межфазного взаимодействия. Модификация почвы ПАВ, высокомолекулярными соединениями позволяет активно воздействовать как на заряд поверхности твердой фазы, структуру межфазных слоев влаги, так и на свойства поровой влаги в целом [3]. К числу таких модифицирующих соединений относятся и ГП.

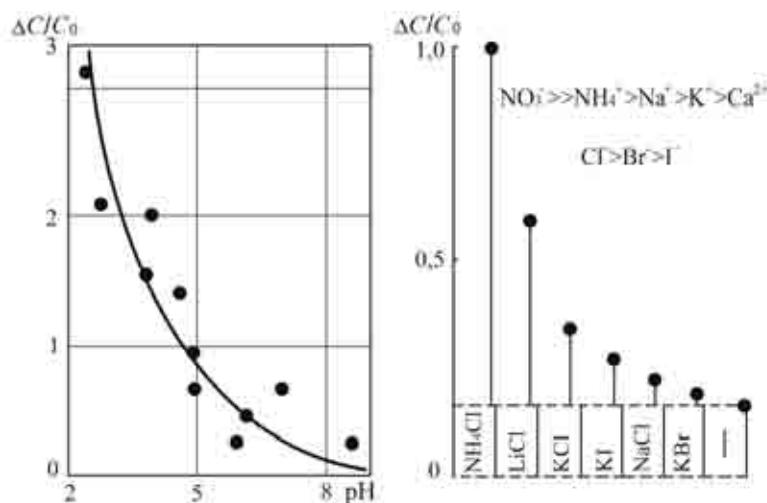
Применение ГП позволяет существенно снизить поступление радионуклидов в растения (табл. 6).

Набухающие структуры гуминовых соединений, формирующиеся в почве при ее модификации водорастворимыми ГП увеличивают содержание в ней связанной влаги. Как результат, миграционная подвижность растворенных в поровой влаге соединений снижается, а значит, уменьшается и вероятность их поступления в растения. Аналогичные процессы имеют место в органогенных почвенных системах при изменении их кислотности ( $\text{pH}$ ) (рис. 5).

**Таблица 6. Накопление  $\text{Cs}^{137}$  свеклой столовой при обработке подзолистой почвы водной суспензией солей ГВ (Ме – ГВ)**

Доза Ме - ГВ, г/м <sup>2</sup>	Удельная активность, Бк/кг
0(контроль)	2016±30
25,0	1034±30
50,0	664±30
100,0	472±30

Примечание: ГП (Ме – ГВ) – балластный, включающий нерастворимые в воде соединения.



**Рис. 5. Влияние  $\text{pH}$  и ионного состава порового раствора торфяной почвы**

**на процессы миграции солей при изотермическом влагопереносе.**

$\Delta C = C_i - C_0$ ;  $C_0$  и  $C_i$  – концентрации ионов в почве до и после эксперимента;  
 $C_0 = 0,05 \text{ M}/100 \text{ г сухого вещества}$

Таким образом, представленные результаты экспериментальных исследований физико-химических и коллоидно-химических свойств ГВ свидетельствуют об уникальных свойствах данного класса природных соединений и, прежде всего, в области применения их для решения задач охраны окружающей среды, сельского хозяйства.

Высокая емкость обмена ГВ открывает широкие возможности для производства на их основе ионообменных сорбционных материалов, предназначенных для очистки сточных и технологических вод от ионов тяжелых металлов [5, 15], а также ГП для озеленения засоленных территорий [2].

Специфический конгломерат свойств лиофильно-гидрофильтрной структуры ГВ обеспечивает данному классу природных полимеров возможность использования их в качестве селективного сорбента неполярных углеводородов в природных средах, рекультивации территорий, загрязненных неполярными углеводородами [1].

Высокая гидрофильтрность ГВ природных каустобиолитов открывает практически неограниченные возможности разработки на их основе ионообменных мелиоративных материалов для рекультивации территорий нарушенных хозяйственной деятельностью человека и, прежде всего, территорий, загрязненных тяжелыми металлами, радионуклидами [1, 5, 15].

На основе вышеприведенных исследований в РБ разработано и организовано производство более 10 новых материалов для охраны окружающей среды, а именно: сорбенты ионов тяжелых металлов; гуминовые мелиоранты почв, загрязненных тяжелыми металлами (радионуклидами); гуминовые мелиоранты песчаных почв, а также территорий, нарушенных хозяйственной деятельностью человека; мелиоранты засоленных почв с целью их зеленого обустройства; ГП

для решения задач охраны окружающей среды на основе ГВ природных каустобиолитов либо их агломерированных композиций, модифицированных солевыми формами ГВ и др.

Среди перечисленных материалов наибольшую экономическую отдачу обеспечивают мелиоративные виды продукции, пользующиеся устойчивым спросом в странах Персидского залива, и имеющие устойчивые перспективы на сбыт производимой продукции. В связи с чем, начиная с 2004 г., в такие страны Арабского региона, как Объединенные Арабские Эмираты, Королевство Бахрейн, Катар, Королевство Саудовской Аравии, Иорданию, были поставлены установочные и коммерческие партии мелиоративных продуктов с целью их регистрации и сертификации в данных странах с последующим использованием для решения задач озеленения. Производство экспортноориентированной продукции организовано на сырьевой и производственной базе ОАО «Торфобрикетный завод Житковичский» и СООО «ЭридГроу Продакшн».

Экспорт продукции Республики Беларусь (в том числе и научекомкой) является абсолютно необходимым условием как для обеспечения здорового функционирования экономики страны, так и для ее высокого имиджа среди остальных стран мирового сообщества. С позиций же задач национальной науки, делом ее чести является всемирная иммобилизация интеллектуального потенциала в направлении создания новых материалов, и технологий охраны окружающей среды, востребованных не только внутри республики, но и в других странах. Именно это является первоочередным при обосновании задач исследований свойств гуминового сырья и направлений его переработки для повышения экспортного потенциала страны.

## Литература

1. Абрамец А. М., Балыкин В. И., Искандаров Р. М. и др. Способ рекультивации почв, загрязненных нефтью и нефтесодержащими продуктами // Афіцыйны бюл. Нац.цэнтр інтэлектуал. уласнасці, 1999. Вып. 3. С. 100.
2. Абрамец А. М., Должич А. Р., Марцуль В. Н., Янута и др. Гуминовые препараты для охраны окружающей среды и восстановления территорий, нарушенных хозяйственной деятельностью человека // Гуминовые вещества в биосфере. Тр. II Междунар. конф. МГУ. М., 2004. С. 145–148.
3. Абрамец А. М., Лиштван И. И., Чураев Н. В. Массоперенос в природных дисперсных системах. Минск, 1992.
4. Абрамец А. М., Янута Ю. Г., Монич Г. С., Качанона Г. В. Гуминовые вещества. Комплексообразование с тяжелыми металлами и препараты для охраны окружающей среды // Геоэкологические проблемы загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами. 1-я Междунар. геоэкологическая конф. ТулГУ, Тула, 2003. С. 95–97.
5. Лиштван И. И., Капуцкий Ф. Н., Янута Ю. Г. и др. Способ получения гуминового сорбента для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов // Афіцыйны бюл. Нац.цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2008. Вып. 3. С. 74.
6. Лиштван И. И., Капуцкий Ф. Н., Янута Ю. Г. и др. Структура фракций гуминовых кислот торфа // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук, 2005. Вып. 1. С. 108–113.
7. Лиштван И. И., Капуцкий Ф. Н., Янута Ю. Г. и др. Спектральные исследования фракций гуминовых кислот торфа // Химия твердого топлива. 2006. Вып. 4. С. 3–11.
8. Лиштван И. И., Капуцкий Ф. Н., Янута Ю. Г. и др. Гуминовые кислоты. Взаимодействие с ионами металлов, особенности структуры и свойств металлгуминовых комплексов // Химия в интересах устойчивого развития. 2006. Вып. 4. С. 391–397.

9. Лиштван И. И., Круглицкий Н. Н., Третинник В. Ю. Физико-химическая механика гуминовых веществ. Минск, 1976.
10. Попов А. И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование. СПб., 2004.
11. Соколов О. М. Определение молекулярных масс лигнинов на ультрацентрифуге и методом гель-фильтрации. Ленинград, 1978.
12. Танабе К. Твердые кислоты и основания. М., 1973.
13. Янuta Ю. Г. Взаимодействие гуминовых кислот с ионами тяжелых металлов и особенности образования металлгуминовых комплексов // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. наука, 2006. Вып. 5. С. 110–113.
14. Янuta Ю. Г. Получение и регулирование свойств сорбционных материалов на основе гуминовых веществ торфа: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2006.
15. Янuta Ю. Г., Лиштван И. И., Абрамец А. М., Марцуль В. Н. Способ получения композиционного гранулированного гуминового сорбента тяжелых металлов на минеральном носителе // Афіцыйны блюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці, 2008. Вып. 3. С. 74.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

**И. И. Лиштван, А. М. Абрамец, Ю. Г. Янuta,  
Г. С. Монич, Н. С. Глухова, В. Н. Алейникова**

**ГУМИНОВЫЕ ПРЕПАРАТЫ КАК ЭКОЛОГОБЕЗОПАСНЫЕ  
ПРОДУКТЫ ДЛЯ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Представлены результаты экспериментальных исследований физико-химических и коллоидно-химических свойств гуминовых веществ. Установлено, что снижение pH выделения приводит к увеличению в образце доли средне- и низкомолекулярных соединений, росту в образце содержания кислородсодержащих функциональных групп. Гуминовые соединения осажденные в щелочной среде содержат в своем составе до 40 % хлороформрастворимых соединений. Показано, что потенциальная обменная емкость фракций максимальна при pH более 9, а в кислой среде обменная емкость коррелирует с содержанием карбоксильных функциональных групп.

Исследовано взаимодействие гуминовых веществ с ионами  $Fe^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$  и др. в моноионных и сложных растворах. Показано, что статическая обменная ёмкость солевых форм гуминовых веществ выше, чем статическая обменная ёмкость гуминовых веществ в H-форме. Оценено влияние ионной силы раствора на селективность и величину взаимодействия металлов с солями гуминовых кислот.

Показано, что применение гуминовых препаратов позволяет существенно снизить поступление радионуклидов в растения. Обоснованы закономерности воздействия препаратов на перенос поровой влаги в почвенных системах. Наибольшее влияние на процессы влагопереноса, и миграцию солей ионов тяжёлых металлов, оказывают гелеобразные структуры гуминовых веществ, образующиеся при переходе гуминовых соединений из солевой в H-форму.

**I. I. Lishtvan, A. M. Abramets, Yu. G. Yanuta,  
G. S. Monich, N. S. Glukhova, V. N. Aleynikov**

**HUMIC PREPARATIONS AS ECOLOGY-SAFE  
PRODUCTS TO PROTECT THE ENVIRONMENT**

Results of experimental researches of physical and chemical and colloid-chemical properties of humic substances are presented. It has been found, that pH extraction leads to the increase in the sample of a share of middle – and low-molecular compounds, to the growth of the oxygen-containing functional groups in it. When humic compounds are deposited in the alkaline medium, they contain in their structure about 40 % of chloroform soluble compounds. It has been shown, that the potential exchange capacity of fractions is maximum at pH more than 9, and in the acid medium the exchange capacity correlates with carboxylic functional groups content.

Interaction of humic substances with  $Fe^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$ , etc. ions in mono-ionic and complex solutions has been investigated. It has been shown, that static exchange capacity of salt forms of humic substances is higher than static exchange capacity of humic matters in N-form. The influence of ionic power of a solution on selectivity and volume of interaction of metals with humic acids salts has been estimated.

It has been shown, that application of humic preparations allows diminishing essentially the income of radionuclides into plants. Regularities of influence of preparations on porous moisture transfer in soil systems were proved. The greatest influence on moisture transfer processes and migration of salts of heavy metals ions render gel-like structures of humic substances, formed at the transition of humic compound from salty into the H-form.

УДК: 635.342:631.531.02:631.811.98

**Н. Л. Макарова, Г. В. Наумова, Н. А. Жмакова, Т. Ф. Овчинникова,  
А. Ю. Соболев, Ю. М. Забара, А. В. Якимович**

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕПАРАТА МАЛЬТАМИН В ГИБРИДНОМ СЕМЕНОВОДСТВЕ КАПУСТЫ БЕЛОКОЧАННОЙ

*В статье представлены результаты исследований по изучению влияния регулятора роста растений Мальтамин на посевные качества семян, рост и развитие маточников капусты белокочанной, выращенных в поле и в вегетационных сосудах.*

К регуляторам роста растительного происхождения относятся природные фитогормоны, их аналоги или композиционные препараты, которые содержат сбалансированный комплекс биологически активных веществ, микроэлементов, позволяющих целенаправленно регулировать важнейшие процессы роста и развития растений, эффективно реализовывать потенциальные возможности сорта, заложенные в геноме природой. Биостимуляторы повышают устойчивость растений к неблагоприятным природным факторам: критическим перепадам температур, дефициту влаги, фитотоксическому действию пестицидов, к болезням и вредителям. Их применение является перспективным методом, отличающимся экологической чистотой, дешевизной и высокой эффективностью [2, 4].

В Институте природопользования НАН Беларусь в последние годы на основе природного

сырья разработаны биологически активные препараты, обладающие рострегулирующими свойствами, способные положительно воздействовать как на урожайность, так и на качество растениеводческой продукции. Одним из наиболее перспективных препаратов, получаемых на основе растительных отходов, является Мальтамин.

Мальтамин — экологобезопасный регулятор роста растений, обладающий мембранотропным действием. Он является продуктом последовательного кислотно-щелочного гидролиза ростков солода (отхода пивоваренного производства) и представляет собой многокомпонентную смесь, в химическом составе которой присутствуют меланоидины, органические кислоты, аминокислоты, соединения фенольной природы и другие вещества (табл. 1).

**Таблица 1. Химический состав биологически активного препарата Мальтамин**

Компоненты	Содержание компонентов	
	в препарате, %	от органических веществ, %
Органические вещества, в т. ч.	4,80	100,0
Редуцирующие вещества	0,02	0,42
Меланоидины	3,30	68,75
Пектины	0,25	5,21
Органические кислоты	0,71	14,79
Аминокислоты	0,13	2,71
Фенольные соединения	0,12	2,50

Многолетние испытания препарата в растениеводстве показали, что его использование для предпосевной обработке семян, полива и опрыскивания вегетирующих растений позволяет повысить урожайность зерновых на 10–15 %, овощей — на 18–32 %, картофеля — на 12–18 % и получить экологически чистые продукты с высоким содержанием углеводов, витаминов и белка, снизить количество нитратов в овощах, корнеплодах и зеленных культурах на 45–50 %. Препарат обладает цитокининовой, гибберелиновой и ауксиновой активностью, а также усиливает энзиматические процессы.

Такие регуляторы роста, полученные на основе природного сырья, представляют особый интерес для овощеводства, где остро стоит проблема получения экологически чистой продукции. Они не токсичны, не канцерогенны, не мутагенны. При их использовании повышается энергия прорастания и всхожесть семян, улучшается приживаемость рассады при пересадке, активизируется обмен веществ в растительном организме, усиливается поглощение питательных веществ и корнеобразование, увеличивается устойчивость растений к неблагоприятным условиям среды [4, 7].

Одним из приоритетных направлений овощеводства является семеноводство и, в частности,

гибридное семеноводство, развитие которого – важный шаг для дальнейшего распространения и популяризации отечественных гибридов. По экспертной оценке специалистов, хорошо наложенное семеноводство обеспечивает повышение урожайности овощных культур на 19–27 % [1].

Применение регуляторов роста в семеноводстве при выращивании маточных растений в последнее время становится все более востребованным. Это особенно относится к регуляторам роста растительного происхождения, так как они безвредны и обладают высокой физиологической активностью. Таким образом, изучение возможности использования регулятора роста растений Мальтамин в гибридном семеноводстве представляло большой интерес.

Исследования проведены РУП «Институт овощеводства» в 2008–2009 гг. Объектом исследований являлись семена и растения материнской родительской линии с цитоплазматической мужской стерильностью Er7 ms позднеспелого гибрида капусты Аватар F1 и фертильный аналог данной линии – Er7 ф.

Изучалась эффективность применения Мальтамина для предпосевной обработки семян родительских линий капусты и его влияние на рост маточных растений, выращиваемых для последующего получения семян. Проведение лабораторных и полевых опытов осуществляли по общепринятым методикам, с дальнейшей статистической обработкой полученных данных [5, 8].

Предпосевную обработку семян осуществляли в течение 6, 12 и 24 ч при температуре 18–20 °С. Для обработки использовали свежеприготовленные растворы регулятора роста в концентрациях 0,0025; 0,005; 0,01; 0,05 и 0,1 %. Энергию прорастания определяли на 3-и сутки, всхожесть семян – на 8-е сутки [3]. Учет длины корня проростка проводили на 5-е сутки после замачивания [7].

Установлено, что Мальтамин оказывает благоприятное воздействие уже на ранних стадиях развития растений. При замачивании семян капусты линии Er7 ms на 6, 12 и 24 ч в растворе препарата наблюдается увеличения энергии прорастания на 2–4 % по сравнению с контролем (табл. 2). Выявлено, что при концентрации препарата 0,1 % энергия прорастания семян была на уровне контроля (80–82 %) или несколько ниже его. Лучшие показатели энергии прорастания семян установлены при 12-часовой экспозиции с концентрациями препарата 0,0025, 0,01 и 0,05 %. Аналогичные данные были получены и при определении энергии прорастания семян фертильного аналога Er7 ф.

Мальтамин оказал положительное влияние и на всхожесть семян. Значительное увеличение данного показателя отмечено при замачивании семян в препарате концентрации 0,0025, 0,01 и 0,05 % в течение 12 ч. Так, всхожесть семян была на 6–8 % выше, чем в контроле (88 %). При других экспозициях с применением этих концентраций препарата всхожесть семян увеличивалась на 2–4 %. У фертильного аналога при использовании Мальтамина она находилась на уровне 90–96 % (в контроле – 86–92 %).

**Таблица 2. Влияние регулятора роста Мальтамин на посевные качества семян капусты белокочанной, 2008–2009 гг.**

Концентрация препарата, %	Энергия прорастания, %			Всхожесть, %			Длина корня проростка, см		
				Экспозиция, ч					
	6	12	24	6	12	24	6	12	24
Линия Er7 ms									
Вода (контроль)	82	84	80	88	88	88	5,2	5,7	4,2
0,0025	86	86	82	92	94	90	6,0	6,3	5,2
0,005	82	84	82	90	90	88	5,5	5,6	4,3
0,01	84	88	84	92	96	92	6,2	6,4	5,1
0,05	84	88	82	92	94	90	6,2	6,2	5,1
0,10	80	82	80	88	88	90	5,2	5,3	4,3
HCP <sub>05</sub>									
Фактор А				1,7			1,7		
Фактор Б				1,3			1,2		
Линия Er7 ф									
Вода (контроль)	80	82	82	86	88	92	5,0	5,0	5,0
0,0025	82	86	82	92	94	92	5,7	5,9	5,5
0,005	82	84	84	90	90	94	5,2	5,3	5,0
0,01	84	86	84	92	92	96	5,5	5,6	5,5
0,05	84	86	86	90	92	92	5,2	5,6	5,3
0,10	82	86	84	90	90	92	5,1	5,1	5,1
HCP <sub>05</sub>									
Фактор А				1,8			2,3		
Фактор Б				1,3			1,6		

Примечание: фактор А – концентрация препарата; фактор Б – экспозиция.

При предпосевной обработке длина корня проростка линии Er7 ms находилась в пределах 4,2–6,4 см, а у фертильного аналога – 5,0–5,9 см. Наиболее эффективно замачивание семян капусты в течение 12 ч в растворах препарата концентрации 0,0025, 0,01 и 0,05 %. В данном случае длина корня проростков была 6,3; 6,4 и 6,2 см соответственно (контроль – 5,7 см). При замачивании семян в течение 24 ч вышеупомянутый показатель уменьшался по сравнению с менее продолжительными экспозициями, хотя и был выше контрольного значения (4,2 см).

У фертильного аналога показатель был несколько ниже, чем у стерильной линии, что обусловлено инбредной депрессией, возникшей в ходе селекционного процесса. Этим же влиянием обусловлен уровень энергии прорастания и всхожести семян данной линии. Исследования показали: применение Мальтамина снижает эффект депрессии, что позволяет улучшить посевные качества семян.

Изучено влияние Мальтамина на рост маточных растений капусты, выращиваемых в вегетационных сосудах и в полевых опытах (табл. 3).

Рассаду для опытов выращивали в пластиковых кассетах с объемом ячейки 65 см<sup>3</sup>. Высев семян в кассеты осуществляли в третьей декаде июня. В качестве контроля использовали семена, обработанные водой. При выращивании маточников обработку регуляторами роста проводили перед высадкой рассады в фазу двух-трех настоящих листьев и после высадки – в фазе шести-восьми листьев.

При достижении рассадой возраста 30–35 дней часть ее высаживали в вегетационные сосуды объемом 5 л, другую часть – в поле.

В качестве субстрата для вегетационных сосудов использовали верховой торф со следующими показателями: pH<sub>водн</sub> – 6,2–6,7; содержание подвижных форм фосфора – 92–122 мг/л; калия 194–206 мг/л. Количество нитратного азота составляло 10–16 мг/л, общего азота – 154–163 мг/л, содержание солей в 1 кг почвогрунта – 1,2–1,4 м/S.

Полевые опыты проводились на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Основные агрохимические показатели пахотного горизонта почвы (0–20 см) опытных участков были следующие: гумус (по И.В. Тюрину) – 2,80–2,95 %; pH<sub>водн</sub> – 6,4–6,9; содержание подвижных форм фосфора и калия (по А. Т. Кирсанову) 300–350 и 365–410 мг/кг соответственно, нитратный азот – 53,7–77,6 мг/кг воздушно сухой почвы.

Агрометеорологические условия в годы наблюдений заметно отличались. Температур-

ный режим в 2008 г. в период с июня по сентябрь характеризовался несколько более высокими значениями (на 0–1,9 °C) по сравнению со среднемноголетними показателями (15,4 °C). Осадков в период с мая по сентябрь выпало на 49 мм меньше. В 2009 г. среднесуточная температура воздуха была близка к уровню среднемноголетних значений. В июне и июле осадков выпало соответственно на 103 и 46 мм больше (среднемноголетние значения 82 и 90 мм), после чего в августе и сентябре наблюдался недостаток влаги (выпало соответственно на 10 и 27 мм осадков меньше среднемноголетних значений).

Биометрические измерения маточных растений проводили в первой декаде октября перед закладкой на хранение. Во время измерений учитывали такие показатели, как высота растения, диаметр розетки листьев, количество свободных, не прилегающих к кочану листьев, диаметр наружной кочерыги, масса корней и надземной части, масса кочана. Площадь листьев рассчитывали по формуле Н. Ф. Коняева [6], продуктивность работы корневой системы (коэффициент продуктивности) вычисляли как соотношение массы корней к массе надземной части растения.

Влияние некорневых обработок регулятором роста растений Мальтамин на биометрические показатели растений маточников капусты позднеспелого гибрида Аватар F1 стерильной линии Er7 ms представлено в табл. 3.

Установлено, что растения стерильной линии Er7 ms, выращенные в поле, под действием Мальтамина формировали более приземистые растения (на 5–13 см ниже контрольного значения), а количество листьев возрастало на 4–10 шт. При использовании Мальтамина в концентрациях 0,0025 и 0,01 % растения формировали более крупную розетку листьев, диаметр которой был на 12–22 см больше, чем в контроле (71 см), а площадь листьев возрастала на 0,9–2,2 м<sup>2</sup>.

Выращивание маточников капусты стерильной линии в вегетационных сосудах с применением препарата показало, что у растений под его действием формировалось на 3–4 листа больше (в контроле 16 шт.), а при концентрациях 0,01 и 0,05 % высота растений увеличивалась на 7 и 9 см. Большой диаметр розетки листьев формировали растения только при концентрации препарата 0,01 %. У растений других вариантов этот показатель был на уровне контроля (63 см) либо несколько ниже.

Отмечено, что у растений, выращенных в поле, под действием регулятора роста уменьшалась средняя масса кочана. В тоже время у маточников, выращенных в вегетационных сосудах, завязывание кочана вообще не происходило. Установлено, что у растений, выращиваемых в вегетационных сосудах, при использовании Мальтамина сырья масса корней и надземной части были на уровне контроля, а коэффициент продуктивности составил

1:4,4–1:5,6. Растения же, выращенные в поле, формировали в контроле большую массу корней, которая уменьшалась при использовании регулятора роста, а масса надземной части под его действием наоборот увеличивалась. Коэффициент продуктивности таких растений составил 1:24,3–1:32,2. Это свидетельствует о том, что в полевых условиях под действием препарата складываются более оптимальные

условия для роста и развития растений и одна часть корней может обеспечить водой и элементами минерального питания большую надземную часть растений, чем при выращивании в вегетационных сосудах.

Действие регулятора роста Мальтамин на растения фертильного аналога капусты Er7 ф имеет аналогичный характер (табл. 4).

**Таблица 3. Оценка влияния регулятора роста растений Мальтамин на биометрические показатели маточников стерильной линии Er7 ms, 2008–2009 гг.**

Вариант	Высота растения, см	Диаметр розетки листьев, см	Кол-во листьев, шт.	Площадь листьев, м <sup>2</sup>	Сырая масса, кг/растение		Коэффициент продуктивности	Диаметр наружной кочерыги, см	Масса кочана, кг
					корней	наземной части			
Маточники Er7 ms, выращенные в вегетационных сосудах									
Вода	42,00	63,00	16,00	1,0	0,09	0,40	1:4,4	4,40	-
0,0025 %	42,00	52,00	19,00	0,9	0,09	0,50	1:5,6	3,15	-
0,01 %	49,00	68,00	20,00	1,5	0,10	0,55	1:5,5	3,65	-
0,05 %	51,00	64,00	20,00	1,7	0,09	0,45	1:5	4,15	-
Маточники Er7 ms, выращенные в поле									
Вода	56,00	71,00	18,00	1,7	0,15	2,20	1:14,7	4,20	0,46
0,0025 %	51,00	93,00	22,00	2,6	0,11	3,50	1:31,8	4,80	0,40
0,01 %	43,00	83,00	28,00	3,2	0,09	2,90	1:32,2	4,10	0,17
0,05 %	44,00	71,00	26,00	3,9	0,14	3,40	1:24,3	5,00	0,32
HCP <sub>05</sub>									
Фактор А	2,0	1,9	2,2	0,1	0,02	0,1	-	0,2	0,1
Фактор Б	2,8	2,6	3,1	0,2	0,03	0,2		0,3	0,1

Примечание: фактор А – способ выращивания, фактор Б – концентрация Мальтамина.

**Таблица 4. Оценка влияния регулятора роста растений Мальтамин на биометрические показатели маточников фертильного аналога Er7 ф, 2008–2009 гг.**

Вариант	Высота растения, см	Диаметр розетки листьев, см	Кол-чество листьев, шт.	Площадь листьев, м <sup>2</sup>	Сырая масса, кг/растение		Коэффициент продуктивности	Диаметр наружной кочерыги, см	Масса кочана, кг
					корней	наземной части			
Маточники Er7 ф, выращенные в вегетационных сосудах									
Вода	45,00	61,00	14,00	0,5	0,08	0,40	1:5	2,15	-
0,0025 %	40,00	56,00	19,00	0,9	0,10	0,50	1:5	3,20	-
0,01 %	42,00	65,00	17,00	1,3	0,09	0,45	1:5	3,55	-
0,05 %	46,00	54,00	17,00	0,9	0,08	0,40	1:5	2,85	-
Маточники Er7 ф, выращенные в поле									
Вода	54,00	70,00	23,00	2,0	0,15	2,40	1:5,3	4,00	0,45
0,0025 %	52,00	86,00	23,00	2,9	0,12	3,60	1:30	4,20	0,33
0,01 %	38,00	81,00	29,00	3,4	0,10	3,00	1:30	4,00	0,15
0,05 %	41,00	68,00	25,00	3,2	0,15	3,10	1:20,7	4,20	0,29
HCP <sub>05</sub>									
Фактор А	2,0	2,3	1,8	0,1	0,02	0,1	-	0,1	0,1
Фактор Б	2,8	3,2	2,6	0,2	0,03	0,2		0,2	0,1

Примечание: фактор А – способ выращивания, фактор Б – концентрация Мальтамина.

Так же, как и у стерильной линии, растения, выращенные в поле, формировали под действием регулятора большую вегетативную массу, чем у маточников, выращенных в вегетационных сосудах. Под действием Мальтамина высота растений уменьшалась, и они, по

сравнению с контролем, формировали более крупную розетку листьев с большим их количеством.

Таким образом, установлен характер действия регулятора роста Мальтамин на всхожесть и энергию прорастания семян капусты и рост и раз-

вление маточников, выращенных в поле и в вегетационных сосудах.

Замачивание семян капусты в 0,0025, 0,05 и 0,01 %-ном растворе регулятора роста Мальтамин в течение 12 ч повышает энергию прорастания стерильной линии Er7 ms капусты белокочанной с 84 до 86–88 %; всхожесть семян – на 6–8 %; длину корня проростка – на 0,6–0,7 см. Эти показатели для фертильного аналога Er7 ф возрастали на 4,0; 6,0 % и на 0,6–0,9 см соответственно.

Обработка Мальтамином оказывает положительное влияние на рост и развитие ма-

точников родительских линий капусты белокочанной. Растения, выращенные в поле, по всем морфометрическим показателям превосходили растения, выращенные в вегетационных сосудах. Коэффициент продуктивности маточников, обработанных Мальтамином, из вегетационных сосудов составил 1:4,4–1:5,6 для стерильной линии Er7 ms и 1:20,2–1:32,7 – для фертильного аналога Er7 ф. Некорневая обработка вегетирующих растений капусты Мальтамином оказало заметное действие на высоту растений, диаметр розетки листьев, их количество, массу кочана и корневой системы.

### Л и т е р а т у р а

1. Гануш Г. И. Организационно-экономические факторы повышения эффективности овощеводства. Минск, 1997.
2. Гордеев Ю. А. Стимулирование биологических процессов в семенах растений: монография, 2007. ГОСТ 12038-84. Методы определения всхожести. – Взамен ГОСТ 12038-66.; Введ. 01.07.86., про-длен до 01.07.96. // Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения качества / Ред. Т. И. Ва-силенко. М.: Изд-во Госстандарт, 1991. Часть 2. С. 44-92.
3. Деева В. П. Регуляторы роста растений: механизмы действия и использования в агротехнологиях. Минск, 2008.
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для студ. высших с.-х. учеб. завед. по агроном. спец. 5-е изд., доп. и перераб. М., 1985.
5. Коняев Н. Ф. Математический метод определения площади листьев растений // Докл. ВАСХ-НИЛ. 1970. № 9. С. 5–6.
6. Макаренко Л. Н. Новое в применении регуляторов роста на овощных культурах // Агропромышленное производство: опыт, проблемы и тенденции развития: Обзор. информац. М., 1995. № 3. С. 30–33.
7. Методика полевого опыта в овощеводстве и бахчеводстве / Под ред. В. Ф. Белика, Г. Л. Бонда-ренко. М., 1979.

**Институт природопользования НАН Беларуси,  
РУП «Институт овощеводства» НАН Беларуси**

**Н. Л. Макарова, Г. В. Наумова, Н. А. Жмакова,  
Т. Ф. Овчинникова, А. Ю. Соболев, Ю. М. Забара, А. В. Якимович**

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕПАРАТА МАЛЬТАМИН В ГИБРИДНОМ СЕМЕНОВОДСТВЕ КАПУСТЫ БЕЛОКОЧАННОЙ**

*Представлены результаты изучения эффективности использования регулятора роста растений Мальтамин в гибридном семеноводстве.*

Мальтамин применяли для предпосевной обработки семян материнской родительской линии с цитоплазматической мужской стерильностью Er7 ms позднеспелого гибрида капусты Аватар F1 и фертильного аналога данной линии – Er7 ф и некорневого опрыскивания маточных растений, выращиваемых для последующего получения семян.

Установлено, что Мальтамин оказывает благоприятное воздействие уже на ранних стадиях развития растений. Замачивание семян капусты в 0,0025, 0,05 и 0,01 %-ном растворе регулятора роста Мальтамин в течение 12 ч повышает энергию прорастания стерильной линии Er7 ms капусты белокочанной с 84 до 86–88 %, всхожесть семян – на 6–8 % и длину корня проростка – на 0,6–0,7 см. Эти показатели для фертильного аналога Er7 ф возрастали на 4,0, 6,0 % и 0,6–0,9 см соответственно.

Установлен характер действия регулятора роста Мальтамин на рост и развитие маточников капусты, выращенных в поле и в вегетационных сосудах.

Растения капусты стерильной линии Er7 ms, выращенные в поле, под действием Мальтамина были более приземистыми (на 5–13 см ниже), формировали более крупную розетку с большим количеством (на 4–10 шт.), диаметром (на 12–22 см) и площадью (на 0,9–2,2 м<sup>2</sup>) листьев, чем в контроле.

Выращивание этих маточников в вегетационных сосудах с применением препарата в 0,01 и 0,05 %-ной концентрации приводило к увеличению количества листьев (на 3–4 шт.), высоты растений (на 7 и 9 см), а при обработке 0,01 %-ным раствором – к формированию розетки листьев большего диаметра. У растений других вариантов этот показатель на уровне контроля либо несколько ниже.

Сырая масса корней и надземной части растений, выращенных в вегетационных сосудах, была на уровне контроля, а коэффициент продуктивности составил 1:4,4–1:5,6. Масса корней растений, выращенных в поле с использованием регулятора роста, уменьшалась, а масса надземной части – увеличивалась. Коэффициент продуктивности растений – 1:24,3–1:32,2. То есть в полевых условиях под действием препарата складываются оптимальные условия для роста и развития растений и одна и та же масса корней может обеспечить водой и элементами минерального питания большую надземную часть растений.

Действие регулятора роста Мальтамин на растения фертильного аналога капусты Er7 ф имело аналогичный характер.

**N. P. Makarova, G. V. Naumova, N. A. Zhmakova, T. F. Ovchinnikova,  
A. Yu. Sobolev, Yu. V. Zabara, A. V. Yakimovich**

#### **EFFICIENCY OF APPLICATION OF PREPARATION MALTAMIN IN HYBRID SEED-GROWING OF WHITE CABBAGE**

*Results of studying of efficiency of use of plant growth regulator Maltamin in hybrid seed-growing are presented.*

*Maltamin was applied prior to preseeding processing of seeds of a maternal parental line with cytoplasmatic male's sterility Er7 ms of the late-ripening hybrid of Avatars F1 cabbage and fertile analogue of the given line – Er7 f and not root spraying of uterine plants, cultivated for the subsequent reception of seeds.*

*It has been found that Maltamin has favorable influence already at early stages of plants evolution. Soaking of cabbage seeds in 0,0025, 0,05 and 0,01 % solution of a growth regulator Maltamin within 12 h enhances energy of germination of sterile line Er7 ms white cabbage from 84 to 86-88 %, seeds germination – by 6–8 % and length of a root of a sprout – by 0,6–0,7 cm. These indicators for fertile analogue Er7 f increased by 4,0, 6,0 % and 0,6–0,9 cm accordingly.*

*Character of action of Maltamin growth regulator on the growth and evolution of cabbage uterine has been found, grown up in the field and in vegetative vessels.*

*Plants of cabbage of sterile line Er7 ms, grown up in the field, effected by Maltamin were stockier (by 5–13 cm lower), formed larger socket of greater quantity (by 4–10 piece), diameter (by 12–22 cm) and the area (by 0,9–2,2 m<sup>2</sup>) of leaves, than in the control. Cultivation of these mother liquor in vegetative vessels with preparation application in 0,01 and 0,05 % concentration resulted in the increase of quantity of leaves (over 3–4 pieces), heights of plants (by 7 and 9 cm), and at processing with 0,01 % solution – to formation of the socket of leaves greater diameter. Plants of other variants have this indicator at level of the control or a little bit more low.*

*The crude weight of roots and surface part of the plants which have been grown up in vegetative vessels, was up to standard of the control, and the efficiency factor has made 1:4,4–1:5,6. The weight of roots of the plants which have been grown up in the field with the use of growth regulator, decreased, and the weight of surface part – increased. Factor of plants efficiency – 1:24, 3–1:32,2. That is in field conditions under the influence of the preparation there are optimum conditions for growth and development of plants and the same weight of roots can provide with water and elements of a mineral nutrition a greater surface part of plants.*

*The Maltamin growth regulator effect on plants of fertile analogue of cabbage Er7 f was of similar character.*

**А. Э. Томсон, Г. В. Наумова, С. Ф. Шурхай, Н. А. Жмакова,  
Н. Л. Макарова, Т. Ф. Овчинникова**

## **АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ПРЕПАРАТОВ ИЗ ТОРФА И РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**

*Представлены результаты определения антиоксидантной активности биологически активных препаратов, получаемых на основе торфа, – Гидрогумата, Оксигумата и Сфагнина – и отходов растительного сырья – Феномелана и Гаранта – из лузги гречневой; Мальтамина – из ростков солода; Шекалина – из какао-велла и Дублина – из дубового экстракта. Установлено, что что гумат- и танидсодержащие препараты обладают повышенной активностью по сравнению с известными антиоксидантами, такими, как кверцетин, и могут быть использованы в качестве кормовых добавок, снимающих стресс у сельскохозяйственных животных.*

Исследования последних лет в области физиологии животных и человека свидетельствуют о том, что одним из важных методов их оздоровления является использование в рационах пищевых и кормовых добавок антиоксидантного действия. Загрязнение кормов токсическими веществами и тяжелыми металлами, неудовлетворительные условия содержания, неполнценное кормление, колебания погодных условий, растущий фон ионизирующей радиации, появление новых видов патогенной микрофлоры, вызывающей заболевания, не позволяют животным справиться с целым комплексом стрессов. Ответной реакцией на стресс является увеличение энергетических затрат организма, снижение продуктивности, увеличение затрат корма на единицу продукции. Компенсаторный механизм при стрессе требует повышенного синтеза биологически активных веществ либо применения специальных препаратов и кормовых добавок. Особенно актуальны разработка и использование в практике животноводства и ветеринарии антиоксидантных препаратов, способных эффективно противостоять негативным изменениям в организме животных, возникающим при стрессах [1, 2, 4].

Значительный интерес в данном случае вызывают препараты, получаемые на основе природного сырья – торфа и растительных отходов, богатые биологически активными веществами, содержащие соединения антиоксидантного антистрессового действия.

В прошлые годы в Институте природопользования была разработана серия биологически активных препаратов на основе природного сырья растительного происхождения: Мальтамин – из ростков солода; Феномелан и Гарант – из лузги гречневой; Гидрогумат, Оксигумат и Сфагнин – из торфа; Шекалин – из какао-веллы; Дублин – из дубового экстракта. Эти препараты предназначены для использования в качестве регуляторов роста в растениеводстве.

Мальтамин — продукт гидролитической переработки ростков солода, основным действующим веществом которого являются аминокислоты, карбоновые кислоты и меланоидины. Препарат представляет собой жидкость желто-коричневого цвета с pH 11,5, истинный раствор с вязкостью 14 м Ра·с, плотностью 1,01 г/см<sup>3</sup>. Мальтамин содержит 5,0 % действующих и 8 % минеральных веществ.

Феномелан получают в результате ступенчатого кислотно-щелочного гидролиза лузги гречневой. Основные биологически активные компоненты препарата – меланоидины, органические кислоты, фенольные соединения различного строения. Препарат представляет собой жидкость темно-коричневого цвета со слабым запахом щелочи, pH 12, истинный раствор с вязкостью 13 м Ра·с, плотностью 1,02 г/см<sup>3</sup>. Феномелан содержит 6,0 % действующих веществ и 7,0 % минеральных включений.

Гарант – продукт окислительной деструкции лузги гречневой. Действующим веществом препарата являются меланоидины, карбоновые кислоты, фенольные соединения. Препарат представляет собой жидкость темно-коричневого цвета со слабым запахом щелочи, pH около 12, истинный раствор с вязкостью 13 м Ра·с, плотностью 1,01 г/см<sup>3</sup>. Гарант содержит 6,6 % действующих веществ и 4,6 % минеральных веществ. Как видно из приведенных данных, Феномелан и Гарант близки по своим физико-химическим свойствам.

Гидрогумат получают из торфа. Комплекс биологически активных веществ представлен, в основном, гуминовыми кислотами, низкомолекулярными карбоновыми кислотами, пектинами. Гидрогумат – подвижная жидкость коричневого цвета с выраженным запахом щелочи, pH 12,0, плотность – 1,03 г/см<sup>3</sup>, вязкость – 13 м Ра·с. Препарат содержит 9,1 % действующих веществ и 7,4 % минеральных соединений.

**Оксигумат** является продуктом окисления торфа в щелочной среде в присутствии катализатора (соль кобальта). Он содержит целый спектр биологически активных соединений, представленных гуминовыми, полифункциональными и карбоновыми кислотами, пектинами и др. Это подвижная жидкость коричневого цвета с выраженным запахом щелочи, pH 11,0–12,0; плотность — 1,02 г/см<sup>3</sup>, вязкость — 14 м Ра·с. Препарат содержит 7,1 % органических веществ и 4,8 % минеральных составляющих.

**Сфагнин**, как и предыдущий препарат, получают методом окисления торфа, однако в качестве исходного сырья используют не низинный, а верховой сфагновый торф и комплексный катализатор окисления. Он содержит гуминовые кислоты, карбоновые кислоты, фенольные соединения, пектины. Реакция среды Сфагнина pH 11,2; плотность — 1,01 г/см<sup>3</sup>, вязкость — 11 м Ра·с. Препарат содержит 3,7 % действующих и 2,3 % минеральных веществ.

**Шекалин** — продукт окислительной деструкции какао-веллы в щелочной среде по режимам аналогичным получению Оксигумата. Он включает такие биологически активные соединения, как меланоидины, пектины, низкомолекулярные карбоновые кислоты. Это жидкость крас-

новато-коричневого цвета с выраженным запахом щелочи, pH 11,3, плотность — 1,02 г/см<sup>3</sup>, вязкость — 14 м Ра·с. Препарат содержит 4,8 % органических и 2,1 % минеральных веществ.

**Дублин** — продукт щелочного гидролиза дубово-дубильного экстракта. Он содержит танины, фенольные соединения и галловую кислоту. В нем присутствует 4,6 % органических и 0,4 % минеральных веществ, pH препарата — 10,2; вязкость — 15 м Ра·с, плотность — 1,04 г/см<sup>3</sup>.

Сравнительная физико-химическая характеристика указанных препаратов, приведенная в табл. 1, а также их химический состав, представленный в табл. 2, показывают, что наиболее высоким содержанием органических веществ отличаются препараты из торфа — Гидрогумат и Оксигумат, а из растительных отходов — Мальтамин. Препараты, полученные методом гидролиза, содержат незначительные количества редуцирующих веществ (РВ), а в оксидатах они отсутствуют. Характерно, что торфяные препараты практически на 50 % представлены гуминовыми веществами, а растительные — меланоидинами. По содержанию фенольных соединений препараты существенно отличаются, наиболее обогащены ими Дублин.

**Таблица 1. Физико-химическая характеристика препаратов из торфа и растительного сырья**

Препарат	Содержание в растворе, %		Плотность, г/см <sup>3</sup>	Вязкость, м Ра·с	pH
	органических веществ	минеральных веществ			
Гидрогумат	9,1	7,4	1,03	13	12,0
Оксигумат	7,1	4,8	1,02	12	11,0
Сфагнин	3,7	2,3	1,01	11	11,2
Мальтамин	5,0	8,0	1,01	14	11,5
Феномелан	4,6	4,8	1,02	13	12,0
Гарант	4,6	2,6	1,01	13	11,9
Шекалин	4,8	2,1	1,02	14	11,3
Дублин	4,6	0,4	1,04	15	10,2

**Таблица 2. Химическая характеристика биологически активных препаратов**

Препарат	Содержание в растворе препарата, %				
	Гуминовые кислоты	Меланоидины	Карбоновые кислоты	Фенольные соединения	РВ
Гидрогумат	6,1	—	1,1	0,14	Следы
Оксигумат	3,0	—	1,6	0,28	—
Сфагнин	1,9	—	1,3	0,22	—
Мальтамин	—	3,5	0,7	0,12	0,03
Феномелан	—	3,9	0,6	0,16	0,04
Гарант	—	4,1	0,8	0,17	—
Шекалин	—	2,5	0,5	0,15	0,4
Дублин	—	1,1	0,2	2,91	0,2

Значительный интерес представляло определение антиоксидантной активности данных препаратов для оценки перспективы их использования в качестве антиоксидантных кормовых

добавок, снимающих стрессы у сельскохозяйственных животных.

Для оценки уровня антиоксидантной активности различных химических соединений, фитопрепаратов, пищевых и кормовых добавок в них определяют содержание биологически ак-

тивных веществ восстанавливающего характера, сравнивая эти показатели с восстанавливающей активностью кверцетина, который принят у специалистов-биохимиков в качестве стандарта при оценке антиоксидантной активности.

Кверцетин является флавонолом наиболее важным и наиболее распространенным в группе флавонов. Это гетероциклическое соединение пиронового ряда, его водные растворы в зависимости от концентрации обладают соломенно-желтой или желтой окраской. Он широко распространен в природе и встречается как в свободном виде, так и в форме гликозидов во многих растениях, цветах и плодах.

Для определения антиоксидантной активности применяли методику Beauchamp C.O.,

Fridovich I. [5]. В качестве контроля использовали дистиллированную воду. Оптическую плотность ( $\lambda_{560}$ ) регистрировали до и после 6 мин освещения белым светом (лампа ЛЭТИ 60). Интенсивность облучения подбирали такую, чтобы скорость восстановления нитросинего тетразолия при pH 8 составляла 0,05 ед. оптической плотности в минуту. По интенсивности изменения окраски ( $\Delta\lambda_{560}$ ) судили об антиоксидантной активности исследуемых препаратов.

Результаты определения антиоксидантной активности биологически активных препаратов гуминовой и меланоидиновой природы представлены в табл. 3.

**Таблица 3. Антиоксидантная активность биологически активных препаратов, полученных из торфа и растительного сырья**

Образец	Разведение	Антиоксидантная активность		
		проценты	мг кверцетина / мл	средняя, мг кверцетина / мл
Кверцетин	1:1000	22,3	1,0	1,0
Гидрогумат	1:250	83,4	22,2	21,4
	1:250	81,5	20,3	
Оксигумат	1:250	80,7	20,1	20,2
	1:250	81,2	20,4	
Сфагнин	1:100	29,9	1,3	1,3
	1:50	54,2	1,2	
	1:50	56,6	1,3	
Мальтамин	1:25	64,5	0,9	0,9
	1:25	64,2	0,9	
Гарант	1:100	51,0	2,3	2,6
	1:50	75,9	2,9	
	1:50	73,5	2,5	
Феномелан	1:100	25,7	1,1	1,1
	1:50	48,4	1,1	
	1:50	49,8	1,1	
Дублин	1:500	67,3	20,5	21,1
	1:500	68,8	21,6	
Шекалин	1:100	56,7	2,5	2,5
	1:50	73,5	2,5	
	1:50	73,8	2,6	

Исследуемые препараты существенно отличались по уровню антиоксидантной активности. Как и следовало ожидать, высокой активностью (20,2–21,4 мг кверцетина на 1 мл) обладали гуминовые препараты, представленные преимущественно гуминовыми веществами. Таким же уровнем активности характеризовался препарат Дублин, также богатый полифенолами. Наиболее низкой активностью обладали препараты меланоидиновой природы и Сфагнин, полученный из торфа с более низким содержанием гуминовых веществ.

Следовательно, оценка антиоксидантных свойств препаратов, получаемых на основе растительного сырья и торфа, показала, что гумат- и таниид содержащие препараты обладают повышенной активностью по сравнению с известными антиоксидантами, такими, как кверцетин.

Дальнейшими исследованиями, проведенными Институтом природопользования НАН Беларуси совместно с НПЦ НАН Беларуси по животноводству, а также с Днепропетровским государственным аграрным университетом, выявлена высокая эффективность препаратов гуминовой природы – Гидромуата и Оксигумата, а также фенольной природы – Дублина для снятия оксидативного стресса и повышения иммунитета у крупного рогатого скота, поросят-отъемышей и птицы (куры-несушки и бройлеры) [1–4], что свидетельствует о перспективности их применения в качестве кормовых добавок к основному рациону сельскохозяйственных животных для повышения их устойчивости к негативным изменениям в организме, возникающим при стрессовых состояниях.

### Л и т е р а т у р а

1. Зенков Н. К., Ланкин В. З., Земщиков Е. Б. Окислительный стресс. М., 2001.
2. Кветковская А. В., Надаринская М. А., Заяц В. Н., Галушко О. Г., Наумова Г. В. Использование адаптогенов в кормлении коров в условиях стресса // Состояние и перспективы развития скотоводства. Материалы науч.-практ. конф. Краснодар, Кубанский госуниверситет, 2009. С. 181–186.
3. Наумова Г. В., Кветковская А. В., Макарова Н. Л. и др. Биологически активные препараты из местного природного сырья и их испытания в качестве кормовых добавок // Природопользование. Минск, 2009. Вып. 15. С. 241–244.
4. Степченко Л. М., Наумова Г. В., Овчинникова Т. Ф., Макарова Н. Л. Роль гидрогумата как адаптогена в развитии стресс-реакции у лабораторных животных // Природопользование. Минск, 2009. Вып. 15. С. 241–244.
5. Beauchamp C. O., Fridovich I. Superoide dismutase: Improved assays and an assays applicable to acrylamide gels // Anal. Biochem. 2000. Vol. 44. P. 276–287.

**Институт природопользования НАН Беларуси,  
Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси**

**А. Э. Томсон, Г. В. Наумова, С. Ф. Шурхай,  
Н. А. Жмакова, Н. Л. Макарова, Т. Ф. Овчинникова**

### **АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ПРЕПАРАТОВ ИЗ ТОРФА И РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**

Одним из эффективных методов оздоровления сельскохозяйственных животных является использование в их рационах пищевых и кормовых добавок антиоксидантного, антистрессового действия. Стressовые состояния возникают у животных под влиянием неблагоприятных факторов внешней среды и условий содержания. Ответной реакцией на стресс является снижение продуктивности, увеличение энергозатрат и затрат корма на единицу продукции.

Компенсаторный механизм при стрессе требует повышенного синтеза биологически активных веществ либо применения специальных препаратов и кормовых добавок.

Особенно актуальны разработка и использование в практике животноводства и ветеринарии антиоксидантных препаратов из природного сырья, способных эффективно противостоять негативным изменениям в организме животных, возникающим при стрессах.

В Институте природопользования разработаны биологически активные препараты на основе сырья растительного происхождения: Мальтамин – из ростков солода; Феномелан и Гарант – из лузги гречневой; Гидрогумат, Оксигумат и Сфагнин – из торфа; Шекалин – из какао-веллы; Дублин – из дубового экстракта. Эти препараты содержат биологически активные вещества, многие из которых обладают антиоксидантным и антистрессовым действием.

Определена антиоксидантная активность данных препаратов на фоне известного природного антиоксиданта кверцетина. Установлено, что высокой активностью обладают гуминовые препараты, содержащие значительные количества гуминовых веществ, и препарат Дублин, богатый полифенолами (20,22–21,58 мг кверцетина на 1 мл).

Низкой активностью обладают препараты меланоидиновой природы и Сфагнин, полученный из торфа с низким содержанием гуминовых веществ.

Доказана перспективность применения гумат- и танидсодержащих препаратов в качестве антиоксидантных кормовых добавок к основному рациону сельскохозяйственных животных для повышения их устойчивости к негативным изменениям в организме, возникающим при стрессовых состояниях.

**A. E. Thomson, G. V. Naumova, S. F. Shurkhaj,  
N. A. Zhmakova, N. L. Makarova, T. F. Ovchinnikova**

**ANTI-OXIDANT ACTIVITY OF PREPARATIONS  
FROM PEAT AND VEGETATIVE RAW MATERIALS**

*One of the effective methods of cattle improvement is the use in their diets of food and fodder additives of anti-oxidant and anti-stressful action. Stressful conditions arise in animals under the influence of adverse factors of the environment and maintenance conditions. Response to stress is a decrease of productivity, increase in power inputs and expenses of forage per a produce unit.*

*Stress compensatory mechanism demands a raised synthesis of biologically active substances or application of special preparations and fodder additives.*

*Development and application in animal industries and veterinary science practice of antioxidant preparations from natural raw materials are especially actual, capable effectively to resist to negative changes in an organism of animals, arising at stresses.*

*The Institute for Nature Management has developed biologically active preparations on the basis of phytogenesis raw materials: Maltamin – from malt sprouts; Fenomelan and the Guarant – from buckwheat shell; Hydrogumat, Oxigumat and Sphagnin – from peat; Shekalin – from cocoa-velly; Dublin – from an oak extract. These preparations contain biologically active substances, many of which possess antioxidant and anti-stress action.*

*The antioxidant activity of the given preparations on the background of known natural antioxidant quercetin has been determined. It has been found that humic preparations containing significant amounts of humic substances, and the preparation Dublin rich with polyphenols (20,22–21,58 mg of quercetin per 1 ml) are of high efficiency.*

*Of low activity are preparations of melanoidin origin and Sphagnin obtained from peat with low content of humic substances.*

*The perspective of application of humate- and tanid-containing preparations as antioxidant fodder additives to the basic diet of cattle to increase their resistance to negative changes in organism, arising under stressful conditions has been proved.*

УДК 622.331+582.284:66.081.3

**А. А. Хрипович, Н. Е. Сосновская, И. А. Гончарова, Т. В. Соколова, А. Э. Томсон,  
В. С. Пехтерева, О. О. Серова, А. Г. Мицкевич**

## **ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ ТОРФА ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ И БИОЦИДАМИ НА ФУНГИТОКСИЧНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Показано, что обработка верхового торфа малой степени разложения растворами поверхности-активных веществ (ПАВ) позволяет повысить сорбцию паров воды, стабилизируя тем самым влажность воздушной среды в замкнутом пространстве, но не препятствует росту и развитию гриба *Aspergillus niger*. Обработка модифицированного ПАВ торфа биоцидами позволяет получить композиционный материал с фунгитоксичными свойствами.*

Особенности строения макромолекул ПАВ обусловили широкое применение данных веществ для регулирования свойств поверхности и структуры различных материалов. При этом в зависимости от свойств поверхности твердой фазы и заряда диссоциированных гидрофильных групп молекул ПАВ представляется возможным придавать материалу как гидрофильные, так и гидрофобные свойства. Так, сорбция на гидрофобных поверхностях ПАВ приводит, как правило, к гидрофилизации поверхности. Это связано с тем, что в водной среде молекулы ПАВ ориентируются гидрофильными группами в дисперсионную среду. Гидрофобные же части выталкиваются из воды к поверхности сорбента, обладающей нейтральными или гидрофобными свойствами, и вступают во взаимодействие с сорбентом посредством сил Ван-дер-Ваальса. Надстройка второго слоя ПАВ, имеющего обратную ориентацию, невозможна в силу тех же сил выталкивания гидрофобных молекул ПАВ из кристаллической структуры воды и наличия гидратной оболочки на гидрофильной части [1, 10].

Для оценки возможности применения торфа с целью получения композиционных материалов, обладающих биоцидными свойствами, была изучена его способность поглощать пары воды, тем самым поддерживая стабильность воздушно-влажностного режима среды. Для эксперимента использовали ангустифолиум-торф из штабеля (т/п «Первое Мая» Чашникского района Витебской области),  $R = 10\%$ , с равновесной влажностью 12,3 и зольностью 0,9 %, и магелланикум-торф из залежи глубиной отбора 20–40 см (т/п «Зеленоборское» Смолевичского района Минской области),  $R = 15–20\%$ , с равновесной влажностью 10,3 и зольностью 1,4 %.

В качестве модифицирующих добавок были выбраны ПАВ двух классов – анионные (АПАВ) и неионогенные (НПАВ), обладающие свойством гидрофилизировать поверхность тор-

фяных частиц и широко используемые в различных отраслях промышленности.

В качестве АПАВ применяли натрий додецилсульфат ( $C_{12}H_{25}OSO_3Na$ ), представляющий собой белый порошок, растворимый в воде, хлороформе, метаноле, бутаноле, не растворимый в диэтиловом эфире, бензоле, диоксане, устойчивый в разбавленных растворах минеральных кислот и щелочей, в жесткой воде, биоразлагаемый (ККМ = 8,11 ммоль/л).

НПАВ – твин 80 (сорбитан бис(полиоксиэтилен)моноолеат) представляет собой маслянистую жидкость от лимонного до янтарного цвета со слабым характерным запахом, хорошо растворим в воде, этаноле, этилацетате, метаноле, толуоле, не растворим в минеральных маслах, стерилизуется без разложения, не токсичен, не вызывает раздражения, резорбтивным действием не обладает [8].

ПАВ вносили в виде водных растворов в количестве 1, 2, 3, 4 % на сухое вещество торфа. Внесение большего количества ПАВ нецелесообразно, поскольку сорбция из концентрированных растворов ПАВ приводит к тому, что при высыпывании торфа с сорбированными мицеллами ПАВ последние кольматируют микропоры и микрополости торфа и часть центров сорбции становится недоступной для молекул воды.

Опыт проводили в термостатируемом шкафу при температуре 20 °C в течение 168 ч в четырехкратной повторности. Статистическую обработку данных осуществляли по методике [3]. Величину сорбции воды  $a$  (ммоль/г) оценивали весовым методом с точностью до 0,0002 г, относя количество сорбированной воды к массе абсолютно сухой навески торфа.

Кривые кинетики сорбции, представленные на рис. 1–4, имеют характер, типичный для зависимости от времени поглощения воды торфом.

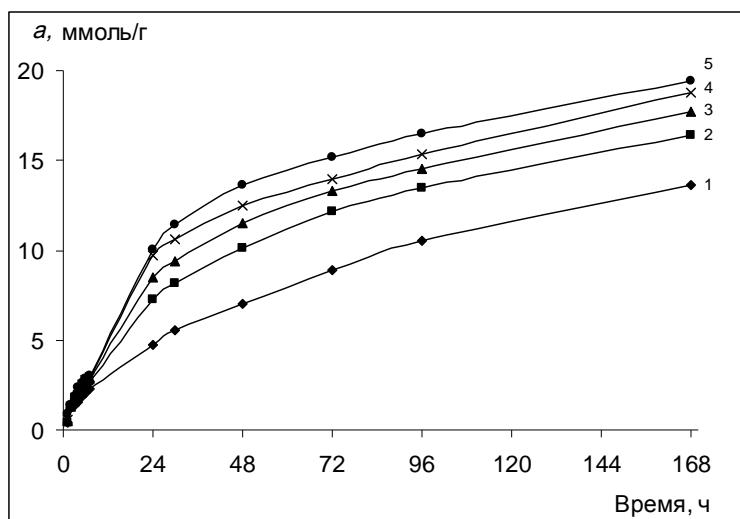


Рис. 1. Зависимость сорбции паров воды ангустифолиум-торфом от времени при различной концентрации АПАВ: 1 – немодифицированный торф; 2 – 1%; 3 – 2%; 4 – 3%; 5 – 4%

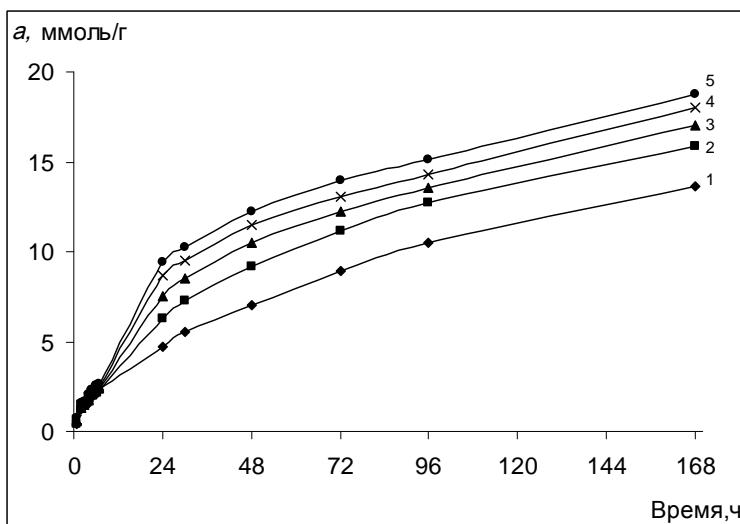
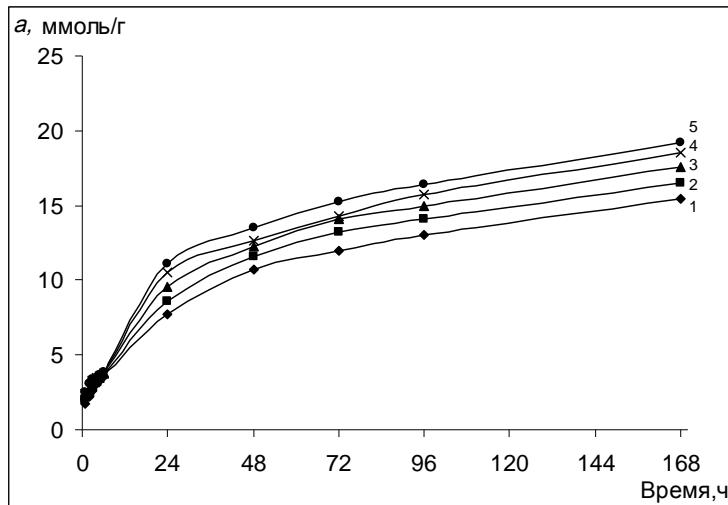


Рис. 2. Зависимость сорбции паров воды магелланикум-торфом от времени при различной концентрации АПАВ: 1 – немодифицированный торф; 2 – 1%; 3 – 2%; 4 – 3%; 5 – 4%

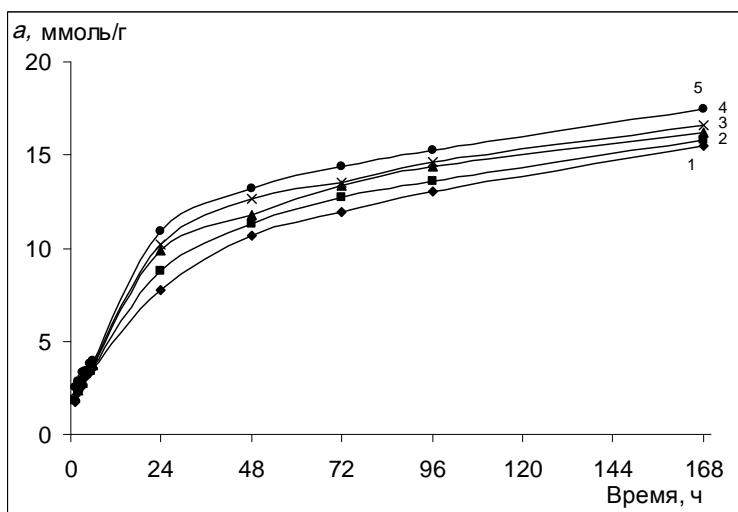
Как следует из рис. 1 и 2, с увеличением концентрации додецилсульфата натрия сорбция паров воды повышается за 168 ч с 13,7 до 19,5 ммоль/г для ангустифолиум-торфа и с 15,5 до 19,2 ммоль/г для магелланикум-торфа. Частицы материала в водной среде имеют отрицательный заряд [2]. В водном растворе макромолекула АПАВ также имеет отрицательный заряд. Поэтому молекулы додецилсульфата натрия под действием электростатических сил будут отталкиваться от гидрофильных ионообменных центров, и сорбция их будет предпочтительнее на гидрофобных или мало полярных участках — на включениях битумов или связываться за счет сил

Ван-дер-Ваальса с гидрофобными частями молекул гуминовых веществ. Из молекулярных растворов АПАВ идет в большей мере физическая сорбция [6]. Естественно, что такой механизм сорбции АПАВ будет способствовать гидрофилизации торфа и, как следствие, росту поглощения паров воды.

Обработка торфа додецилсульфатом натрия позволяет повысить его влажность в зависимости от концентрации на 1–7 % и при внесении 4 % АПАВ достигает за 168 ч 33,0 и 31,1 % для ангустифолиум- и магелланикум-торфа соответственно.



**Рис. 3. Зависимость сорбции паров воды ангустифолиум-торфом от времени при различной концентрации НПАВ: 1 – немодифицированный торф; 2 – 1 %; 3 – 2 %; 4 – 3 %; 5 – 4 %**



**Рис. 4. Зависимость сорбции паров воды магелланикум-торфом от времени при различной концентрации НПАВ: 1 – немодифицированный торф; 2 – 1 %; 3 – 2 %; 4 – 3 %; 5 – 4 %**

С увеличением концентрации твин 80 сорбция паров воды повышается с 13,7 до 18,8 ммоль/г для ангустифолиум-торфа и с 15,5 до 17,5 ммоль/г для магелланикум-торфа за 168 ч (рис. 3 и 4).

Для НПАВ имеет место также их физическая сорбция. Некоторые оксиэтилированные группы НПАВ связываются с карбоксильными и гидроксильными группами торфа, гидроксилами минеральных включений водородными связями. При модификации торфа водным раствором твина 80 его макромолекулы будут располагаться хаотически и из-за стерического фактора не все оксиэтилированные группы образуют водородные связи с сорбентом. Часть их может являться центрами сорбции молекул воды, и гидрофилизация будет идти за счет внесения новых центров сорбции и преобладать над блокировкой последних [7].

За время наблюдений влажность торфа, обработанного твином 80, увеличилась на 1–6,2 % и составила 31,5 % для ангустифолиум-торфа, а для магелланикум-торфа составила 30,6 % при концентрации НПАВ 4 %.

Необходимо отметить, что с увеличением степени разложения для исследованных видов торфа (с 10 до 15–20 %) уменьшается его способность поглощать пары воды. Полученные данные согласуются с зависимостью водопоглощения от степени разложения торфа [5].

Микробиологическое тестирование исходных и модифицированных образцов торфа проводилось в Институте микробиологии НАН Беларуси согласно общепринятой методике с помощью предварительно выращенных пеллет тест-культуры гриба *Aspergillus niger*. Для этого в колбы емкостью 250 мл вносили 50 мл жидкой среды Чапека–Докса, добавляли по 2 мл водной

суспензии спор вышеупомянутого гриба и культивировали его пеллеты на качалках при температуре 24 °C в течение 7 сут. Затем в чашки Петри на увлажненные бумажные фильтры помеща-

ли исследуемые образцы торфа и наносили на них выращенные пеллеты. Инкубацию проводили в термостате в течение 14 сут при температуре 26 °C. Результаты представлены в табл. 1.

**Таблица 1. Обрастание торфа, обработанного различными классами ПАВ, тест-культурой гриба *Aspergillus niger***

Варианты обработки	Виды торфа					
	Ангустифолиум			Магелланикум		
	Развитие гриба, сут					
	3	6	9	3	6	9
Необработанный торф	±	+	○	±	+	○
АПАВ 1,0 %	+	++	○	+	○	○
АПАВ 2,0 %	+	++	○	±	+	○
АПАВ 3,0 %	±	+	○	±	+	○
АПАВ 4,0 %	±	+	++	±	+	++
НПАВ 1,0 %	++	○	○	±	+	○
НПАВ 2,0 %	++	○	○	+	○	○
НПАВ 3,0 %	+	○	○	+	○	○
НПАВ 4,0 %	+	○	○	+	○	○

Примечание: ± – развитие коротких гиф на пеллете; + – развитие гиф на границе пеллета-торф; ++ - появление органов спороношения на пеллете, активно развивающийся мицелий на поверхности торфа; ○ - мицелий с органами спороношения покрывает 50 % и более поверхности образца.

Необработанный торф за 9 сут наблюдения обрастает мицелиями гриба *Aspergillus niger* с органами спороношения на 50 % и более, в то время как внесение 4 % АПАВ замедляет его развитие, и появление органов спороношения отмечается лишь в конце времени наблюдения. Модификация торфа НПАВ в концентрации 1 – 4 % приводит к ускоренному росту мицелия по сравнению с контролем.

В связи с тем, что введение ПАВ не препятствует росту и развитию гриба *Aspergillus niger*, а максимальные значения сорбции паров воды выявлены при содержании 4 % АПАВ и НПАВ, для дальнейшего тестирования были взя-

ты образцы магелланикум-торфа, обработанные такими количествами ПАВ. В качестве фунгицидных средств выбраны биоциды с разным механизмом действия на клетки микроорганизмов, которые разработаны и производятся ООО «Научно-производственный центр Химмедсинтез»:

- фунгицидное средство на основе четвертичных аммониевых солей (ЧАС) – мембраноактуирующий препарат;

• средство на основе пероксидных соединений «Крышталь» – биоцид-окислитель.

Результаты представлены в табл. 2.

**Таблица 2. Влияние различных биоцидов на развитие тест-культуры *Aspergillus niger* на образцах магелланикум-торфа, модифицированных ПАВ**

Биоцид	ПАВ-модификатор	Развитие гриба, сут		
		3	6	9
ЧАС исходный раствор	Необработанный торф	–	–	–
	АПАВ	–	–	–
	НПАВ	–	–	–
ЧАС 1:1	Необработанный торф	–	–	–
	АПАВ	–	±	+
	НПАВ	–	–	–
«Крышталь» исходный раствор	Необработанный торф	–	–	–
	АПАВ	–	–	–
	НПАВ	–	–	–
«Крышталь» 1:1	Необработанный торф	–	–	–
	АПАВ	–	–	–
	НПАВ	–	–	–
«Крышталь» 1:2	Необработанный торф	–	–	–
	АПАВ	–	–	–
	НПАВ	–	–	–
«Крышталь» 1:3	Необработанный торф	–	–	–
	АПАВ	–	–	–
	НПАВ	–	–	–

Примечание: – – полное отсутствие роста; ± – развитие коротких гиф на пеллете; + – развитие гиф на границе пеллета-торф;

Согласно данным табл. 2, применение исходных препаратов ЧАС и «Крышталь» приводит к 100 %-ному ингибираванию роста и развития плесневых грибов. Разбавление фунгицида на основе ЧАС в 2 раза не позволяет достичь полного фунгитоксичного эффекта. В то же время препарат «Крышталь» сохраняет свои фунгицидные свойства даже при разведении его в 4 раза и обеспечивает 100 %-ное угнетение развития гриба *Aspergillus niger*.

С целью выявления возможности получения комплексного композиционного материала, обладающего как фунгитоксичными, так и сорбционными свойствами, были проведены исследования сорбции паров воды образцами торфа, обработанными ЧАС и различными классами ПАВ (4 % на сухое вещество торфа).

Известно [1], что ЧАС являются по своей природе катионоактивными ПАВ, способными гидрофобизировать поверхность торфяных частиц. В этой связи представляло интерес установить влияние обработки ЧАСом торфа, модифицированного АПАВ и НПАВ, на его гидрофильтро-гидрофобные свойства. Как видно из сравнения кривых сорбции, приведенных на рис. 5, наиболее эффективна обработка торфа НПАВ, так как нанесение положительно заряженных молекул ЧАСа на модифицированную АПАВ поверхность

торфяных частиц несколько снижает их способность проявлять гидрофильтрующие свойства. Приведенные результаты исследований показывают, что модификация торфа АПАВ и НПАВ совместно с нанесением биоцида позволяет получить материал, обладающий фунгитоксичными свойствами и способностью регулировать воздушно-влажностный режим в замкнутом пространстве.

Поддержание оптимального микроклимата в малых объемах является серьезной проблемой для многих музеев. Основными факторами, лимитирующими процесс развития биоповреждений на объектах материальной культуры, являются влажность и физико-химические свойства субстрата. Плесневые грибы сохраняют метаболическую активность в широком диапазоне влажности. В фондохранилищах при резких перепадах температуры споры могут прорастать за счет конденсационной влаги. При кратковременном увлажнении материала рост грибов может не быть визуально заметным, однако после высыхания и гибели мицелия структура материала на пораженном участке экспоната остается ослабленной и с измененной окраской. Конденсатная влага может привести к плесневому поражению экспонатов, хранящихся в течение длительных периодов времени в сейфах [9].

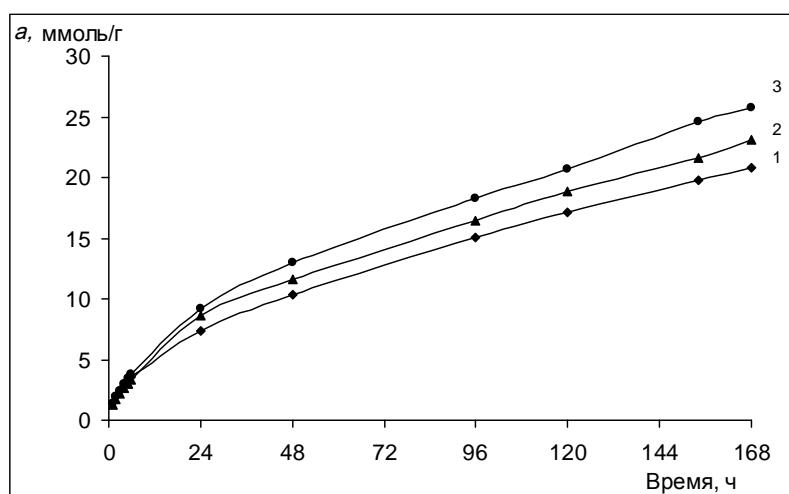


Рис. 5. Зависимость сорбции паров воды композиционным материалом на основе торфа и ЧАС от времени при модификации различными классами ПАВ: 1 – немодифицированный торф; 2 – АПАВ; 3 – НПАВ

Одним из путей решения данной проблемы является использование сорбентов и материалов, связывающих избыточную влагу без пересушки экспонатов. Очень часто для обеспечения сохранности музеиных объектов необходимо предотвращение резких колебаний влажности, вызывающих изменения объема, что например, является причиной постоянных повреждений бондарных изделий в хранилищах и на экспозиции (так называемое «складывание» клепочных изделий). С этой целью применяются так называемые буферы влажности, в качестве которых используются различные материалы от бумаги до силикагеля [4].

Возможность использования в музейной практике для различных экстремальных ситуаций экспонирования и транспортировки музеиных объектов нового композиционного материала на основе торфа была проверена на практике.

Согласно разработанному лабораторному технологическому регламенту производства композиционного материала с фунгитоксичными свойствами, наработана опытная партия в количестве 30 кг и передана для проведения работ по профилактике биоповреждений музеиных объектов Белорусского государственного музея народной архитектуры и быта.

### Литература

1. Абрамзон А. А. Поверхностно-активные вещества. Свойства и применение. Л., 1981.
2. Гамаюнов Н. И. К теории ионного обмена и электрокинетических явлений в торфе // Физико-химические свойства торфа: Ионообменные и электрокинетические свойства торфа. Калинин, 1974. С. 4–32.
3. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., 1985.
4. Кобякова В. И., Успенская С. В. Деятельность научного отдела обеспечения сохранности памятников культуры и истории ВИМАИВИВС // Исследования и консервация культурного наследия. Материалы науч.-практ. конф. Москва, 12–14 октября, 2004 г. М., 2005. С 15–17.
5. Лиштван И. И., Терентьев А. А., Базин Е. Т., Головач А. А. Физико-химические основы технологии торфяного производства. Минск, 1983.
6. Лыч А. М. Гидрофильтры свойства торфа. Минск, 1991.
7. Лыч А. М. Исследование процессов сорбции-десорбции поверхностно-активных веществ на торфе // Химия твердого топлива. 1984. № 5. С. 102–106.
8. Поверхностно-активные вещества: Справ. / Под ред. А. А. Абрамзона, Г. М. Гаевого. Л., 1979.
9. Славошевская Л. В. Биоповреждения в музее // Сохранность культурного наследия: наука и практика. Будущее прошлого: расширение доступа и сохранность коллекций: материалы междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 20–22 сент. 2000 г. Вып. 3. СПб., 2000. С. 59–68.
10. Фридрихсберг А. Д. Курс коллоидной химии. М., 1974.

**Институт природопользования НАН Беларуси,  
Институт микробиологии НАН Беларуси**

**А. А. Хрипович, Н. Е. Сосновская, И. А. Гончарова, Т. В. Соколова,  
А. Э. Томсон, В. С. Пехтерева, О. О. Серова, А. Г. Мицкевич**

### **ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ ТОРФА ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ И БИОЦИДАМИ НА ФУНГИТОКСИЧНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Показано, что модификация верхового торфа анионными и неионогенными поверхностно-активными веществами (ПАВ) увеличивает его способность сорбировать пары воды в замкнутом пространстве, но не препятствует росту и развитию плесневых микроорганизмов. С целью придания фунгитоксичных свойств композиционному материалу модифицированный ПАВ торф обрабатывали биоцидами различного механизма действия. Установлено, что применение ЧАС и фунгицидного средства «Крышталь» полностью ингибируют рост и развитие плесневых грибов даже при разведении исходного препарата. Выявлено, что обработка ЧАСом модифицированного ПАВ торфа не ухудшает его сорбционные характеристики по отношению к парам воды. Экспериментально подтверждено, что модификация торфа АПАВ и НПАВ совместно с нанесением биоцида позволяет получить материал, обладающий фунгитоксичными свойствами и способностью регулировать воздушно-влажностный режим в замкнутом пространстве.

**A. A. Khripovich, N. E. Sosnovskaya, I. A. Goncharova, T. V. Sokolova,  
A. E. Tomson, V. S. Pekhtereva, O. O. Serova, A. G. Mitskevich**

### **INFLUENCE OF PEAT MODIFICATION BY SURFACE-ACTIVE SUBSTANCES AND BIOCIDES ON UNGI-TOXIC PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS**

*It has been shown that updating of raised bog peat by anionic and non-ionogenic surface-active substances (SAS) increases its ability to absorb water steams in the closed space, but does not interfere with growth and evolution of mould microorganisms. For the purpose of giving fungi-toxic properties to a composite material the modified SAS peat was treated with biocides of various action mechanism. It has been revealed that QAS application and fungicidal means «Kryshtal» inhibits completely the growth and evolution of mould fungi even during cultivation of initial preparation. It has been revealed, that processing the modified SAS peat with QAS does not worsen its sorption characteristic in relation to water steams. Experiments have proved that updating of peat with ASAS and NISAS along with applying a biocide allows to obtain a material of fungi-toxic properties and ability to regulate air-humid mode in the closed space.*

УДК 553.97+631.41

Т. П. Смычник, Н. Н. Бамбалов

## ВЛИЯНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА НА ОКИСЛИТЕЛЬНУЮ ДЕСТРУКЦИЮ ТОРФА ПЕРОКСИДОМ ВОДОРОДА

Приведены результаты исследований процессов окислительной деструкции низинного и верхового торфа пероксидом водорода в зависимости от содержания железа в их составе. Установлено, что разогрев смеси торфа с пероксидом водорода связан с образованием пирофорных соединений железа в процессе окисления.

Выявлено влияние содержания железа в торфе на величину оптической плотности окисдатов.

Окислительная деструкция торфа и гуминовых кислот является эффективным методом изучения их молекулярной структуры и перспективным способом получения на основе природного сырья широкого спектра экологически безопасных препаратов для применения в сельском хозяйстве и бальнеологии, производства комплексообразующих добавок к геотехнологическим растворам для выщелачивания редких и рассеянных металлов из руд, препаратов для очистки оборудования от радионуклидов и др.

Установлено [4], что окисление низинного торфа пероксидом водорода в широком диапазоне влажности (И) 15–80 % сопровождается сильным разогревом реакционной смеси. Так, при  $I = 38\%$  и соотношении  $\text{H}_2\text{O}_2$ : органическое вещество торфа, равном 1:1, максимальная температура реакционной смеси достигала 85 °C. В отличие от низинного осокового торфа при введении окислителя в верховой пушицевый торф температура реакционной смеси в течение всего опыта не превышала 22 °C. Причина различной температуры окисления разных типов торфа в [4] не была объяснена.

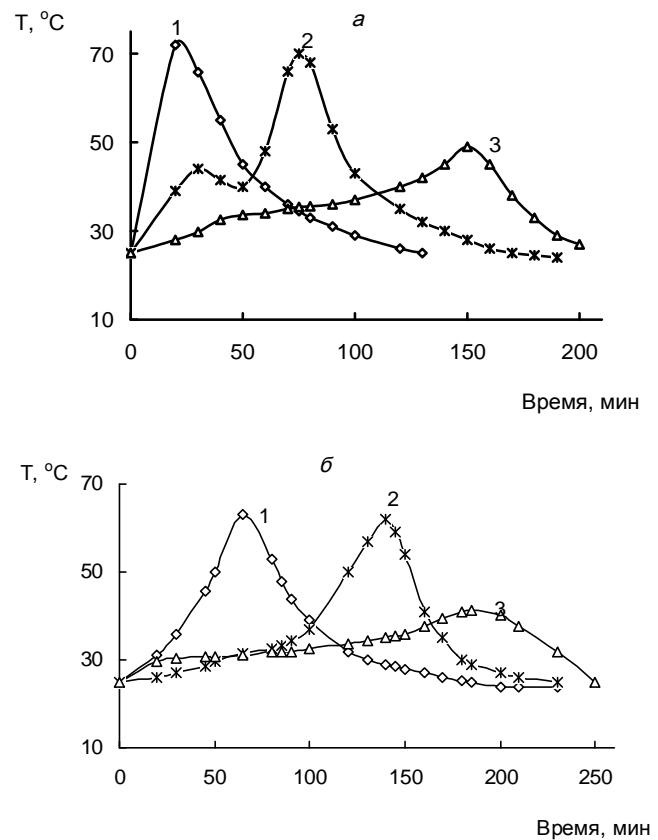
Цель представленной работы – выявление различий в механизме окислительной деструкции разных типов торфа и их влияния на выход водорастворимых фульвоподобных веществ (ФПВ).

В качестве объектов исследования были выбраны из низинных видов торфа осоковый, со степенью разложения ( $R$ ), равной 30 %, зольностью ( $A$ ), равной 12,4 %, и древесно-тростниковый,  $R = 40\%$ ,  $A = 13,5\%$ , из верховых – пушицевый,  $R = 45\%$ ,  $A = 3,2\%$ , и сосново-пушицевый,  $R = 50\%$ ,  $A = 2,4\%$ , так как торф с такими геоботаническими характеристиками при окислении дает высокий выход ФПВ.

Содержание ФПВ в оксидатах определяли по выходу органического углерода ( $C_{\text{опр.}}$ ) [1].

Торф измельчали, просеивали через сито с размером ячеек 3 мм. В отдельные емкости набирали одинаковые по органическому веществу навески, в которые вводили пероксид водорода в соотношении  $\text{H}_2\text{O}_2$ : органическое вещество торфа, равном 1:1. После введения окислителя в

осоковый торф, несмотря на периодическое тщательное перемешивание реакционной смеси через небольшой промежуток времени, который зависит от дозы окислителя, наблюдался ее разогрев. При  $W = 15\%$  и соотношении  $\text{H}_2\text{O}_2$ : органическое вещество торфа, равном 1:1, максимальная температура реакционной смеси достигала 73 °C, а при  $W = 80\%$  – 63 °C. Введение пероксида водорода в 2 приема по 50 % от полной дозы практически не изменяло температуры реакции. Лишь более дробное внесение окислителя (по 25 %) снижало температуру (рисунок).



Зависимость температуры разогрева реакционной смеси от влажности торфа:  
а –  $W = 15\%$ , б –  $W = 80\%$ , и дозы пероксида водорода: 1 – 100%; 2 – 50%; 3 – 25 %

С введением окислителя в древеснотростниковый торф температура реакции достигала 92 °C, наблюдалось вспенивание смеси вследствие образования большого количества летучих кислот и интенсивного выделения газообразных продуктов, после чего температура снижалась.

Известно [6], что при хранении торфа в штабеле происходит его саморазогревание, причем пирофорные вещества, не присутствующие в исходном материале, образуются в результате гидролитических и окислительно-восстановительных реакций. Карбоновые кислоты и их соли, особенно щавелевой кислоты, в присутствии кислорода способствуют образованию пирофорных соединений железа, дальнейшее превращение которых приводит к выделению энергии. Образование карбоновых кислот при окислительной деструкции органического вещества торфа пероксидом водорода, на что указывает подкисление оксидатов, а также наличие соединений железа в составе низинных видов торфа позволило, используя теорию, разработанную в [6], предположить механизм разогревания реакционной смеси в наших опытах за счет пирофорных соединений железа. Незначительное содержание соединений железа в исследуемых образцах верховых видов торфа не приводит к разогреву смеси при окислении, и температура реакции не превышает температуру окружающей среды.

Для проверки этого предположения были выполнены три серии опытов.

В первой серии опытов проводили качественные опыты с добавлением в одну часть навесок по 25 г органического вещества сосново-пушицевого торфа с  $W = 80\%$  по 0,05 г соли закисного сернокислого железа в виде водного раствора, во вторую часть – окисного сернокислого железа. Смеси тщательно перемешивали. Затем торф подсушивали до  $W = 40\%$ , измельчали до размеров частиц менее 3 мм, после чего в него вводили пероксид водорода в соотношении  $H_2O_2 : \text{органическое вещество торфа} = 1:1$ .

#### Влияние соединений железа на температуру реакции окислительной деструкции торфа и на качественные и количественные показатели его оксидатов

Через 20 мин после введения окислителя было зафиксировано повышение температуры реакционной смеси в обоих опытах. Температура реакции с добавкой окисного железа достигла 72 °C, а с добавкой закисного – 90 °C. Такие же опыты проводили с контрольными навесками торфа без добавок солей железа. После снижения температуры реакционные смеси перемешивали и оставляли на 2 суток в закрытых емкостях. После чего их заливали водой ( $M = 1:4$  на органическое вещество торфа) и еще 2 суток настаивали при 22 °C для экстракции ФПВ. Затем, центрифугированием отделяли раствор оксидата от остатка торфа после окисления. В полученных оксидатах определяли величину оптической плотности, которую регистрировали на приборе КФК-3 со светофильтром № 4 ( $\lambda = 440 \pm 10 \text{ нм}$ ), pH и выход С<sub>орг.</sub> (таблица).

Результаты качественных опытов показали, что величина оптической плотности оксидатов, полученных окислительной деструкцией верхового торфа с добавками железа, в 1,5 (с  $Fe^{3+}$ ) и в 2,3 (с  $Fe^{2+}$ ) раза выше, чем оксидатов, полученных без добавок.

Во второй серии опытов были проведены количественные опыты по окислению пушицевого торфа с добавками солей железа. С этой целью приготовили раствор сульфата железа, 100 мл которого содержали 5 г  $Fe^{3+}$ . В навески пушицевого торфа по 25 г органического вещества, вводили по 2,5 мл раствора, содержащего 0,125 г Fe. Такое количество железа соответствует его содержанию в низинном торфе. Смеси тщательно перемешивали и давали подсохнуть до влажности исходного торфа, после чего проводили окисление пероксидом водорода в соотношении  $H_2O_2 : \text{органическое вещество торфа} = 1:1$ . Реакционная смесь разогревалась до температуры 77 °C, а окисление в контрольном варианте проходило при 22 °C. После завершения окисления с образцами работали по методике, описанной выше.

Количество $Fe^{3+}; Fe^{2+}$ , г	T, °C	D	pH	Выход ФПВ, % на органическую массу торфа	Примечание
Сосново-пушицевый торф					
0	22	1,04	2,4	–	
0,05	90	2,4	2,1	–	$Fe^{2+}$
0,05	72	1,6	1,8	–	$Fe^{3+}$
Пушицевый торф					
0	22	1,50	2,4	4,5	
0,125	77	1,75	2,1	4,5	$Fe^{3+}$
0	22	1,47	2,0	3,3	
0,125	77	1,62	1,6	3,3	$Fe^{3+}$
Осоковый торф					
0,125	89	0,98	–	5,2	Исходный
0	22	0,60	–	7,9	Отмыт от $Fe^{3+}$

Результаты подтвердили, что добавка соединений железа в верховой пущевый торф при его окислении пероксидом водорода повышает температуру реакционной смеси, приводит к существенному увеличению величины оптической плотности оксидатов и снижению их рН, но при этом практически не влияет на количественный выход ФПВ (см. табл.).

Анализ полученных данных позволяет предположить, что увеличение оптической плотности оксидатов происходит за счет того, что ионы железа связывают продукты окислительной деструкции торфа – ФПВ, обогащенные карбоксильными группами, с образованием макромолекулярных комплексных ионов, являющихся солюбилизованными ионами, устойчивыми в растворе благодаря высоким гидратационным свойствам и обладающими более высокой оптической плотностью [3, 5, 6].

*В третьей серии опытов*, наоборот, из образцов низинного торфа удаляли соединения железа обработкой 7 %-ным раствором HCl до отсутствия качественной реакции на железо при добавлении роданида калия. Затем торф отмывали от кислоты водой до нейтральной реакции среды промывных вод и подсушивали. После этого проводили окисление пероксидом водорода исходного и обработанного торфа в соотношении  $H_2O_2$  : органическое вещество торфа, равном 1:1. Температура реакционной смеси исходного торфа поднялась до 89 °С, а обработанного торфа в течение всего опыта оставалась равной 22 °С. После снижения температуры с реакционными смесями работали по методике, описанной выше.

Значение величины оптической плотности оксидатов, полученных из исходного торфа, равное 0,98, оказалось выше, чем у оксидатов, полученных из обработанного торфа, – 0,60. Определение содержания ФПВ в оксидатах показало, что их выход из исходного торфа, равный 5,2 % на органическую массу торфа, ниже, чем из обработанного торфа, который составил 7,9 % (см. табл.).

Из полученных данных следует, что при химическом удалении ионов железа из осокового торфа происходит разрушение части его органоминерального комплекса, органическое вещество торфа становится менее устойчивым к окислительной деструкции пероксидом водорода, окисление проходит глубже, за счет чего выход водорастворимых органических веществ выше, чем в оксидатах исходного торфа. Отсутствие железа в оксидатах обработанного торфа препятствует образованию устойчивых макромолекулярных комплексных ионов с высокой оптической плотностью. Интересно, что при добавлении в оксидат, полученный из обработанного торфа, небольшого количества сухого сернокислого железа, величина его оптической плотности восстанавливается до 1,02. Аналогичное явление описано в работе [5].

Таким образом, установлено, что процессы окислительной деструкции низинного и верхового торфа пероксидом водорода зависят от содержания в них соединений железа. Добавка солей железа в верховой пущевый торф приводит к разогреву реакционной смеси, но не увеличивает выход ФПВ. Удаление соединений железа из низинного торфа предотвращает разогревание реакционной смеси и увеличивает выход ФПВ.

Величина оптической плотности оксидатов, полученных окислительной деструкцией торфа с добавками железа выше, чем оксидатов, полученных без добавок за счет связывания ионами железа ФПВ, обогащенных карбоксильными группами, с образованием макромолекулярных комплексных ионов, устойчивых в растворе благодаря высоким гидратационным свойствам и обладающих более высокой оптической плотностью.

Полученные результаты подтверждают механизм разогревания торфа, открытый П. Л. Фалюшиным [6], и объясняют разогрев смеси торфа с пероксидом водорода образованием пирофорных соединений железа в процессе окисления.

## Л и т е р а т у р а

1. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М., 1962.
2. Жоробекова Ш. Ж. Макролигандные свойства гуминовых кислот. Фрунзе, 1987.
3. Тарасевич Ю. И. Природные сорбенты в процессах очистки воды. Киев, 1981.
4. Смычник Т. П. Получение и свойства водорастворимых гуминовых препаратов из торфа: Дис. ... канд. техн. наук. Минск, 1992.
5. Патент 9454 Республика Беларусь МПК (2006) C 07 F 15/00, C10 F 7/00. Опубл. 30.06.2007. Афіцыны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2007. Способ получения продукта взаимодействия фульвокислот с железом в виде раствора с повышенной оптической плотностью.
6. Фалюшин П. Л. Взаимодействие органических и минеральных компонентов торфа при саморазогревании // Доклады АН БССР. 1974. Т. XVIII. № 8. С. 731–733.

Т. П. Смычник, Н. Н. Бамбалов

**ВЛИЯНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА НА ОКИСЛИТЕЛЬНУЮ  
ДЕСТРУКЦИЮ ТОРФА ПЕРОКСИДОМ ВОДОРОДА**

Результаты исследований окислительной деструкции низинного и верхового торфа пероксидом водорода показали, что процесс окисления зависит от содержания железа в составе торфа. Добавка солей железа в верховой пущевый торф приводит к разогреву реакционной смеси, но не увеличивает выход фульвоподобных веществ. Удаление соединений железа из низинного торфа предотвращает разогревание реакционной смеси и приводит к увеличению выхода фульвоподобных веществ.

Величина оптической плотности оксидатов, полученных окислительной деструкцией торфа с добавками железа, выше, чем оксидатов, полученных без добавок за счет связывания ионами железа фульвоподобных веществ, обогащенных карбоксильными группами, с образованием макромолекулярных комплексных ионов, устойчивых в растворе благодаря высоким гидратационным свойствам и обладающих более высокой оптической плотностью.

T. P. Smychnik, N. N. Bambalov

**INFLUENCE OF IRON COMPOUNDS ON  
OXIDIZING PEAT DESTRUCTION BY HYDROGEN PEROXIDE**

*Results of researches of oxidizing destruction of low-mire and high-moor peat by hydrogen peroxide have shown, that oxidation process depends on iron content as a part of peat. The additive of salts of iron in high-moor cotton grass peat results in warming up of a reactionary mix, but does not increase an exit of fulvous-like substances. Removal of iron compounds from low-mire peat prevents warming up of a reactionary mix and results in exit increase of fulvous-like substances.*

*The magnitude of optical density of oxides, obtained by oxidizing peat destruction with iron additives, is higher, than those obtained without additives at the expense of linkage by iron ions fulvous-like substances enriched with carboxylic groups, with formation of the macromolecular complex ions steady in a solution thanks to high hydration properties and possessing higher optical density.*

**В. В. Марыганова, Н. Н. Бамбалов, Л. В. Шайдак**

## ИЗМЕНЕНИЯ ФРАКЦИОННО-ГРУППОВОГО СОСТАВА ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ И СОДЕРЖАНИЯ ИНДОЛИЛ-3-УКСУСНОЙ КИСЛОТЫ С ГЛУБИНОЙ ЗАЛЕГАНИЯ ТОРФА

*Исследованы фракционно-групповой состав гуминовых веществ (ГВ) и содержание фитогормона индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) по глубине торфяных залежей различного генезиса. Торф из верхнего слоя торфяных залежей содержит больше ГВ (прежде всего пирофосфатной фракции гуминовых кислот и фульвокислот) и ИУК, чем торф из глубинного слоя. Установлена линейная зависимость между содержанием ИУК и ГВ в торфе.*

Торф является ценным сырьем для производства гуминовых препаратов различного назначения, поскольку характеризуется высоким содержанием и богатым набором ГВ с разными химическим составом и свойствами.

Одним из важных критериев выбора торфа как сырья для производства гуминовых препаратов является содержание и фракционный состав ГВ, в частности содержание гуминовых кислот (ГК). Другим не менее важным фактором при выборе торфа для производства биологически активных гуминовых препаратов является биологическая активность.

Один и тот же торф может проявлять разные виды биологической активности, различающиеся как по величине, так и по направленности действия [12, 16]. При производстве гуминовых удобрений одной из самых важных являетсяростостимулирующая активность гуминовых препаратов. В торфе, как и в почве, присутствует ИУК – природный фитогормон, регулирующий рост и развитие растений и синтезируемый растениями и микроорганизмами преимущественно из триптофана [4, 10]. В связи с этим определение содержания природных фитогормонов, в частности ИУК, в разных видах торфа с целью выбора оптимального сырья для производства гуминовых препаратов сельскохозяйственного и бальнеологического назначения представляется весьма актуальной задачей.

Накопление торфа – длительный природный процесс, продолжающийся тысячи лет. Условия нахождения торфа в залежи различны в зависимости от времени образования. Если в верхних слоях залежи постоянно происходят процессы поступления негумифицированного органического вещества, его минерализации и гумификации в аэробных условиях, то в нижележащих слоях в отсутствие доступа кислорода создаются условия для анаэробных процессов. В связи с этим состав органического вещества торфа с разной глубины различен даже для генетически однородных залежей. Наиболее сущес-

твенные изменения в химическом составе торфа происходят на границе торфогенного слоя [2].

Показано, что биологически деятельный торфогенный слой залежи характеризуется наибольшим содержанием гидролизуемых веществ и ГВ и наименьшим количеством негидролизуемых соединений. С глубиной залегания торфа содержание гидролизуемых веществ и ГВ уменьшается, а содержание негидролизуемого остатка (НГО) растет [2, 7, 9, 11]. Имеются исследования, согласно которым выход ГК, выделенных различными экстрагентами, увеличивается с глубиной залегания торфа (в пределах 10–43 см) [20, 21]. Таким образом, изучение содержания и фракционно-группового состава ГВ торфа из различных по глубине слоев залежей важно с практической точки зрения при выборе торфяного сырья для получения гуминовых препаратов.

Целью данной работы является изучение фракционно-группового состава ГВ и содержания фитогормона ИУК по глубине торфяных залежей различного генезиса.

Для исследования были выбраны два верховых (Ореховский Мох и Дукора) и два низинных (безымянные) месторождения в пойме р. Свислочь у д. Дукора и у д. Русаковичи. Образцы торфа отбирали из поверхностного (0–25 см), промежуточного (30–50 см) и глубинного (75–100 см) слоев каждого месторождения.

Содержание органического углерода ( $C_{опт}$ ) в торфе определяли методом мокрого скижания с хромовым ангидридом [8], содержание общего азота ( $N_{общ}$ ) – методом Кельдаля [8]. Количество фенольных гидроксилов и карбоксильных групп устанавливали хемосорбционным методом [13].

Определение компонентного состава торфа и фракционно-группового состава ГВ проводили по методикам, описанным в [3]. Поскольку основным предметом исследования в данной работе являются ГВ, при определении компонентного состава торфа их выделение производилось до выделения легкогидролизуемых соединений, в результате чего выход легкогидро-

лизуемых веществ (ЛГВ) получается значительно меньшим, чем при их выделении из торфа до экстрагирования ГВ, так как из их состава выпадают кислоторастворимые фрагменты ГВ. Вместе с тем растворимая в щелочи часть углеводов попадает в группу ГВ.

Фракции ГК были получены последовательной экстракцией торфа 0,1 М  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  при pH 7 ( $\text{ГK}_1$ ) и 0,1 н.  $\text{NaOH}$  ( $\text{ГK}_2$ ) при 18–20 °C. Все органические вещества, оставшиеся в кислом растворе после выделения ГК, рассматривали как фульвокислоты (ФК).

ИУК экстрагировали из воздушно-сухих образцов торфа метанолом и определяли ее содержание флуориметрическим методом, используя длину волны возбуждения 290 нм и длину волны эмиссии 367 нм. Концентрация ИУК вычислялась с применением предварительно построенного калибровочного графика [19].

Характеристика образцов торфа представлена в табл. 1. Содержание органического углерода и общего азота в этих образцах дано в табл. 2. Компонентный состав торфа и содержание кислых функциональных групп приведены в табл. 3.

**Таблица 1. Характеристика образцов торфа**

№ образца	Глубина, см	Вид торфа	Степень разложения ( $R$ ), %	Зольность, %	рН	
					$\text{H}_2\text{O}$	KCl
<b>Верховой торф, месторождение Ореховский Мох</b>						
1	0–25	Ангустифолиум	15	6,90	3,30	2,60
2	30–50	Магелланикум	10	1,64	3,35	2,65
3	75–100	Магелланикум	15–20	1,82	3,50	2,75
<b>Верховой торф, месторождение Дукора</b>						
4	0–25	Сосново-сфагновый	30	7,40	3,25	2,30
5	30–50	Пушицево-сфагновый	30–35	5,70	3,10	2,30
6	75–100	Пушицево-сфагновый	30–35	2,80	3,20	2,40
<b>Низинный торф, безымянное месторождение у д. Дукора</b>						
7	0–25	Осоковый	30	26,80	6,20	5,90
8	30–50	Древесно-осоковый	40–45	21,60	5,95	5,70
9	75–100	Осоковый	25	9,50	6,00	5,80
<b>Низинный торф, безымянное месторождение у д. Русаковичи</b>						
10	0–25	Древесно-тростниковый	60–65	32,95	5,95	5,30
11	30–50	Тростниковый	40–45	20,00	5,85	5,35
12	75–100	Тростниковый	40	11,80	6,10	5,75

**Таблица 2. Содержание органического углерода и общего азота в образцах торфа, %**

№ образца	Вид торфа, степень разложения, %	Глубина, см	Зольность, %	C <sub>орг</sub>		N <sub>общ</sub>		C/N
				на СВ	на ОМ	на СВ	на ОМ	
<b>Верховой торф, месторождение Ореховский Мох</b>								
1	Ангустифолиум, 15	0–25	6,9	47,6	51,1	1,13	1,21	42,1
3	Магелланикум, 15–20	75–100	1,8	52,6	53,6	1,04	1,05	50,6
<b>Верховой торф, месторождение Дукора</b>								
4	Сосново-сфагновый, 30	0–25	7,4	52,5	56,7	1,22	1,32	43,0
6	Пушицево-сфагновый, 30–35	75–100	2,8	54,8	56,4	1,15	1,18	47,7
<b>Низинный торф, безымянное месторождение у д. Дукора</b>								
7	Осоковый, 30	0–25	26,8	39,0	53,2	2,48	3,38	15,7
9	Осоковый, 25	75–100	9,5	50,6	55,9	2,70	2,98	18,7
<b>Низинный торф, безымянное месторождение у д. Русаковичи</b>								
10	Древесно-тростниковый, 60–65	0–25	32,9	33,2	49,5	3,03	4,51	11,0
12	Тростниковый, 40	75–100	11,8	48,5	54,9	3,02	3,42	16,1

**Таблица 3. Компонентный состав (С, % от С<sub>орг</sub>) и содержание функциональных групп (мг-экв/г ОМ) в образцах торфа**

Глубина, см	Вид торфа, степень разложения, %	С <sub>орг</sub> , %	ГВ	ЛГВ		ТГВ		НГО	Кислые группы		
				всего	РВ	всего	РВ		СООН	ОН <sub>фен</sub>	сумма
Верховой торф, месторождение Ореховский Мох											
0–25	Ангустифолиум, 15	51,1	22,37	24,13	15,56	15,88	3,50	37,62	1,45	1,85	3,30
30–50	Магелланикум, 10	49,45	21,23	29,11	13,53	4,57	2,23	45,09	—	—	—
75–100	Магелланикум, 15–20	53,6	17,40	25,23	14,42	16,95	4,66	40,42	1,35	1,88	3,23
Верховой торф, месторождение Дукора											
0–25	Сосново-сфагновый, 30	56,7	36,76	9,57	5,96	7,66	2,27	46,01	1,87	2,13	4,00
30–50	Пушицево-сфагновый, 30–35	54,78	39,98	9,95	5,35	2,52	1,90	47,55	—	—	—
75–100	Пушицево-сфагновый, 30–35	56,4	32,54	11,45	7,55	7,39	2,70	48,62	1,68	1,80	3,48
Низинный торф, безымянное месторождение у д. Дукора											
0–25	Осоковый, 30	54,2	32,50	8,81	4,03	4,02	0,41	54,67	0,82	2,35	3,17
30–50	Древесно-осоковый, 40–45	52,18	37,72	7,02	2,81	3,54	1,97	51,72	—	—	—
75–100	Осоковый, 25	55,9	15,25	9,01	6,12	5,67	0,64	70,07	0,44	2,14	2,58
Низинный торф, безымянное месторождение у д. Русаковичи											
0–25	Древесно-тростниковый, 60–65	49,5	28,95	13,46	5,21	5,05	0,80	52,54	0,96	2,04	3,00
30–50	Тростниковый, 40–45	50,92	29,52	10,45	4,43	3,50	0,80	56,53	—	—	—
75–100	Тростниковый, 40	54,9	16,13	9,60	5,95	5,97	1,36	68,30	0,46	1,99	2,45

Примечания: ОМ – органическая масса, РВ – редуцирующие вещества.

Исходные образцы торфа заметно различаются между собой по значениям рН, зольности и химическому составу органического вещества в зависимости от генетических особенностей торфяных залежей и глубины залегания. Образцы торфа верхового типа имеют сильноокислую реакцию среды (рН солевой 2,30–2,75) и низкую зольность (1,64–7,40 %), образцы торфа низинного типа – слабоокислую реакцию среды (рН солевой 5,35–5,90) и высокую зольность (9,50–32,95 %). Образцы верхового торфа отличаются гораздо меньшим содержанием общего азота (1,05–1,32 %) от торфа низинного типа (2,98–4,51 %). Поскольку по содержанию органического углерода образцы торфа разного генезиса различаются в меньшей степени, отношение С/Н в верховых видах торфа в несколько раз выше, чем в низинных.

Верховой торф низкой степени разложения (месторождение Ореховский Мох) имеет наименьшее содержание ГВ (17,4–22,4 %) и НГО (37,6–45,1 %) и самое высокое количество ЛГВ и трудногидролизуемых веществ (ТГВ) (25,2–29,1 и 15,9–17,0 %, соответственно).

Наибольшим содержанием ГВ характеризуется верховой торф средней степени разложения месторождения Дукора (32,5–40,0 %), а наиболее высокое количество НГО (51,7–70,0 %) характерно для образцов осокового и тростникового торфа безымянных месторождений низинного типа у д. Дукора и д. Русаковичи.

Зольность образцов торфа из поверхностного слоя (0–25 см) всех исследуемых месторождений в несколько раз выше, чем зольность образцов торфа из глубинных слоев залежи. Кислотность среды определяется главным образом типом торфяной залежи и не зависит от глубины (см. табл. 1).

Торф из глубинного слоя исследуемых залежей (75–100 см) характеризуется повышенным содержанием органического углерода и более низким количеством общего азота по сравнению с торфом из поверхностного слоя (0–25 см), в результате чего имеет более широкое отношение С/Н (см. табл. 2). Увеличение содержания углерода с увеличением глубины залегания торфа связано, вероятно, с медленно протекающими вторичными процессами дегидратации, декарбоксилирования, конденсации, а также с миграцией некоторых высокообуглероженных компонентов торфа по профилю залежи [9, 11].

Уменьшение содержания азота с увеличением глубины может быть обусловлено минерализацией органического вещества верхних слоев и переносом азотсодержащих соединений [11].

Компонентный состав торфа зависит в основном от его ботанического состава и степени разложения, однако даже для генетически однородной залежи он изменяется с глубиной залегания [2, 11]. В компонентном составе торфа с раз-

ной глубины исследуемых залежей также наблюдаются различия, наиболее отчетливо выраженные для торфяных залежей низинного типа. Торф из глубинного слоя всех залежей имеет более низкое содержание ГВ и более высокое количество НГО по сравнению с торфом из поверхностного слоя. Изменений содержания ЛГВ в торфе не обнаружено. Содержание ТГВ в торфе из промежуточного слоя залежи заметно ниже, чем в торфе как поверхностного, так и глубинного слоя (см. табл. 3).

Содержание суммы кислых функциональных групп в образцах торфа верхового типа (3,23–4,00 мг-экв/г) выше, чем в торфе низинного типа (2,45–3,17 мг-экв/г). При этом в торфе верхового типа содержание карбоксильных групп (1,35–1,87 %) несколько ниже содержания фенольных гидроксильных групп (1,80–2,13 %), а в образцах торфа низинного типа количество фенольных гидроксидов (1,99–2,35 %) в 2–5 раз превышает количество карбоксильных групп (0,44–0,96 %). Содержание как карбоксильных, так и фенольных групп уменьшается с глубиной залегания торфа во всех залежах (за исключением фенольных групп в торфе месторождения Ореховский Мох). При этом в залежах низинного типа наблюдается очень резкое (в 2 раза) уменьшение количества карбоксильных групп в торфе глубинного слоя по сравнению с торфогенным, в то время как содержание фенольных гидроксидов уменьшается незначительно. Первое, по-видимому, объясняется резким (в 1,8–2 раза) снижением содержания богатых карбоксильными группами ГВ, а второе может быть связано с компенсирующим увеличением содержания НГО, в состав которого входит лигнин с высоким содержанием фенольных групп.

Как следует из данных табл. 4, в составе ГВ преобладают ГК, доля которых во всех образцах, за исключением ангустиполиум торфа, в 2–4 раза выше, чем ФК. Наивысшее содержание ГК (27–31 %) характерно для образцов верхового торфа месторождения Дукора.

Фракция ГК1, выделяемая из торфа нейтральным раствором пирофосфата натрия, является наиболее химически зрелой, в то время как фракция ГК2, выделяемая в дальнейшем щелочью, в большей степени представлена промежуточными продуктами гумификации [1]. Судя по отношению ГК1/ГК2, доля ГК1 в ГВ торфа из верховых залежей ниже, чем из залежей низинного типа. Наименьшее содержание этой фракции (1,4–4,1 %) характерно для образцов верхового торфа низкой степени разложения (Ореховский Мох), наиболее высокое (15,3–16,0 %) – для осокового ( $R = 30\%$ ) и древесно-осокового ( $R = 40–45\%$ ) видов торфа поверхностного и промежуточного слоев безымянного месторождения у д. Дукора.

**Таблица 4. Фракционно-групповой состав гуминовых веществ торфа из различных слоев торфяных залежей, С, % от С<sub>опр</sub>**

№	Вид торфа, степень разложения, %	Глубина, см	Сумма ГВ	ГК <sub>общ</sub>	ГК <sub>1</sub>	ГК <sub>2</sub>	ФК	ГК/ФК	ГК <sub>1</sub> /ГК <sub>2</sub>
Верховой торф, месторождение Ореховский Мох									
1	Ангустифолиум, 15	0–25	22,37	12,87	4,10	8,77	9,50	1,35	0,47
2	Магелланикум, 10	30–50	21,23	14,77	3,39	11,38	6,46	2,29	0,30
3	Магелланикум, 15–20	75–100	17,40	11,97	1,40	10,57	5,43	2,20	0,13
Берховой торф, месторождение Дукора									
4	Сосново-сфагновый, 30	0–25	36,76	28,52	11,70	16,82	8,24	3,41	0,70
5	Пушицево-сфагновый, 30–35	30–50	39,98	30,68	12,04	18,64	9,30	3,30	0,65
6	Пушицево-сфагновый, 30	75–100	32,54	26,66	7,54	19,12	5,88	4,53	0,39
Низинный торф, безымянное месторождение у д. Дукора									
7	Осоковый, 30	0–25	32,50	25,47	15,29	10,18	7,03	3,69	1,50
8	Древесно-осоковый, 40–45	30–50	37,72	29,26	16,03	13,23	8,46	3,46	1,21
9	Осоковый, 25	75–100	15,25	10,88	3,42	7,46	4,37	2,49	0,46
Низинный торф, безымянное месторождение у д. Русаковичи									
10	Древесно-тростниковый, 60–65	0–25	28,95	19,47	10,90	8,57	9,48	2,05	1,27
11	Тростниковый, 40–45	30–50	29,52	20,70	6,65	14,05	8,82	2,35	0,47
12	Тростниковый, 40	75–100	16,13	12,53	5,52	7,01	3,60	3,48	0,78

Как видно из полученных данных, содержание ГВ и их фракционно-групповой состав заметно различаются для торфа из поверхностного слоя и нижележащих слоев всех торфяных залежей. Особенно резкие различия наблюдаются для залежей низинного типа. Содержание ГВ в торфе из глубинного слоя залежей значительно ниже, чем в поверхностном слое. При этом уменьшается содержание как ГК, так и ФК. Однако содержание ФК снижается в большей степени, поскольку отношение ГК/ФК в торфе из глубинных слоев залежей обычно выше (за исключением низинной торфяной залежи у д. Дукора). Отношение ГК<sub>1</sub>/ГК<sub>2</sub> также значительно уменьшается по сравнению с торфом поверхностного слоя, что связано с уменьшением количества прежде всего наиболее зрелой пирофосфатной фракции ГК<sub>1</sub>. Однако в залежах верхового типа наблюдается

некоторое повышение количества ГК<sub>2</sub>, а в залежах низинного типа, наряду с резким (в 2–4 раза) падением количества ГК<sub>1</sub>, происходит небольшое уменьшение содержания ГК<sub>2</sub>.

Таким образом, торф из глубинных слоев торфяных залежей различного генезиса содержит меньше ГВ, чем торф из поверхностного слоя, прежде всего за счет наиболее окисленных соединений — пирофосфатной фракции ГК<sub>1</sub> и ФК. По-видимому, в течение длительного времени пребывания в анаэробных условиях они декарбоксилируются, что ведет к потере их растворимости в щелочах и увеличению содержания НГО в торфе.

Как следует из данных табл. 5, содержание ИУК в торфе различного генезиса варьирует в широких пределах – от 57,9 до 210,2 мг/кг.

**Таблица 5. Содержание ИУК в торфе из различных слоев торфяных месторождений**

№ образца	Вид торфа, степень разложения, %	Глубина, см	Содержание ИУК, мг/кг
Верховой торф, месторождение Ореховский Мох			
1	Ангустифолиум, 15	0–25	124,4±4,7
2	Магелланикум, 10	30–50	144,2±4,6
3	Магелланикум, 15–20	75–100	115,3±4,4
Верховой торф, месторождение Дукора			
4	Сосново-сфагновый, 30	0–25	203,4±7,7
5	Пушицево-сфагновый, 30–35	30–50	210,2±7,6
6	Пушицево-сфагновый, 30	75–100	185,2±7,0
Низинный торф, безымянное месторождение у д. Дукора			
7	Осоковый, 30	0–25	131,2±4,6
8	Древесно-осоковый, 40–45	30–50	128,4±4,4
9	Осоковый, 25	75–100	134,3±4,7
Низинный торф, безымянное месторождение у д. Русаковичи			
10	Древесно-тростниковый, 60–65	0–25	133,3±5,1
11	Тростниковый, 40–45	30–50	108,6±3,8
12	Тростниковый, 40	75–100	57,9±1,9

Наибольшее содержание ИУК определено в образцах сосново-сфагнового и пущево-сфагнового торфа месторождения Дукора (185,2–210,2 мгк/кг), что согласуется с данными о высокой ростостимулирующей активности образцов торфа сосново-сфагнового и сосново-пушицевого видов [12, 16].

Наименьшее количество ИУК содержится в тростниковом торфе с  $R = 40\%$  из глубинного слоя безымянного месторождения у д. Русаковичи (57,9 мгк/кг). Содержание ИУК в остальных образцах торфа изменяется от 108,6 до 144,2 мгк/кг.

Содержание ИУК в образцах торфа из глубинного слоя исследуемых месторождений ниже, чем в образцах торфа из поверхностного слоя, что согласуется с результатами, полученными для других торфяных месторождений [18]. Исключением являются образцы торфа из безымянного низинного месторождения у д. Дукора, содержание ИУК в которых практически не зависит от глубины залегания торфа. Интересно отметить, что содержание ИУК в торфе промежуточного слоя (30–50 см) исследуемых верховых залежей выше, чем в торфе поверхностного слоя.

Содержание ИУК *in vivo* определяется ее синтезом и ферментативным окислением, катализируемым ИУК-оксидазами, из которых многие являются пероксидазами, и приводящим к образованию неактивных соединений [10]. Известно, что на микробиологический синтез ИУК из триптофана влияет присутствие аминокислот, сахаров, органических кислот, витаминов, а также реакция среды [17]. Ферментативное окисление ИУК регулируется, в свою очередь, природными ингибиторами данной реакции, к которым относится ряд фенольных соединений [10], а также гумат натрия [14]. Предполагается, что данная реакция является ферментативной цепной разветвленной свободнорадикальной реакцией, а фенольные соединения и гумат натрия могут действовать в качестве ловушек для свободных радикалов, блокируя промежуточные реакции [6, 14].

Судя по приведенным в табл. 1 и 5 данным, кислотность торфа существенно не влияет на содержание в нем ИУК. Анализ зависимости

содержания ИУК от содержания в торфе различных химических компонентов показал, что заметная корреляция существует только с содержанием ГВ и суммы ГК (коэффициент линейной корреляции  $R$  в обоих случаях равен 0,7). При этом корреляция между содержанием в торфе ИУК и количеством ФК очень низкая ( $R = 0,4$ ). Известно, что в растениях ИУК легко вступает во взаимодействие с белками, аминокислотами, сахарами и фенолами, образуя физиологически инертные продукты [5]. Установлено, что ИУК присутствует также в препаратах ГВ, прежде всего в их низкомолекулярной фракции (до 3500 D), обогащенной кислыми функциональными группами, чем частично объясняются ауксиноподобные свойства ГВ [15]. Одной из причин корреляции между содержанием ГВ и ИУК в торфе может быть способность ГВ или их отдельных структурных элементов действовать в качестве ловушек для свободных радикалов, блокируя промежуточные звенья ферментативной цепной разветвленной свободнорадикальной реакции ферментативного окисления ИУК и являясь, следовательно, ингибитором этой реакции.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено следующее.

1. Торф из глубинных слоев торфяных залежей различного генезиса содержит меньше ГВ, чем торф из поверхностного слоя, прежде всего за счет наиболее окисленных соединений — пирофосфатной фракции ГК<sub>1</sub> и ФК, что можно объяснить их декарбоксилированием в течение длительного времени пребывания в анаэробных условиях, ведущим к потере растворимости в щелочах и увеличению содержания НГО в торфе.

2. Содержание природного фитогормона ИУК в образцах торфа с различной глубины торфяных месторождений варьирует от 57,9 до 210 мгк/кг. Количество ИУК в торфе из глубинного слоя торфяных месторождений (75–100 см) ниже, чем в торфе из верхнего слоя (0–50 см).

3. Установлена линейная зависимость с коэффициентом корреляции 0,7 между содержанием ИУК и ГВ, а также ИУК и суммы ГК в торфе, что может быть обусловлено способностью ГВ или их структурных элементов ингибировать реакции ферментативного окисления ИУК.

## Литература

1. Бамбалов Н. Н. Изменение физико-химических свойств гуминовых кислот в процессе гумификации торфов: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Минск, 1968.
2. Бамбалов Н. Н. Минерализация и трансформация органического вещества мелиорированных торфяных почв при их сельскохозяйственном использовании: Дис. ... д-ра с.-х. наук. Минск, 1983.
3. Бамбалов Н. Н., Беленская Т. Я. Фракционно-групповой состав органического вещества целинных и мелиорированных торфяных почв // Почвоведение. 1998. № 12. С. 1431–1437.
4. Дерфлинг К. Гормоны растений. Системный подход. М., 1985.
5. Кретович В. Л. Основы биохимии растений. М., 1971.
6. Крылов С. Н., Крылова С. М., Рубин Л. Б. Механизм ингибирующего действия фенолов на ферментативное окисление индолил-3 уксусной кислоты // Биохимия. 1993. Т. 58. Вып. 6. С. 953–961.
7. Лебедев К. К. Взаимосвязь лигнина и гуминовых кислот в низинных торфах // Генезис твердых горючих ископаемых. М., 1959. С. 31–50.
8. Орлов Д. С., Гришина Л. А. Практикум по химии гумуса: Учеб. пособие. М., 1981.
9. Пигулевская Л. В., Раковский В. Е. Изменение химического состава отдельных видов торфа в зависимости от их возраста // Тр. Ин-та торфа. Минск, 1967. Т. 6. С. 12–31.

10. Полевой В. В. Фитогормоны. Л., 1982.
11. Раковский В. Е., Пигулевская Л. В. Химия и генезис торфа. М., 1978.
12. Степченко Л. М., Седых Н. И. Критерии оптимального выбора торфов как сырья для производства биологически активных гуминовых препаратов // Гуминовые вещества в биосфере. Тр. V Всерос. конф. Ч. 1. 1–4 марта 2010 г. СПб., 2010. С. 455–459.
13. Сысков К. И., Кухаренко Т. А. Определение суммарного содержания фенольных гидроксилов и карбоксильных групп // Заводская лаборатория. 1947. Т. 13. № 1. С. 25–28.
14. Mato M. C., Mendez J. Inhibition of indol-acetic acid-oxidase by sodium humate // Geoderma. 1969/1970. Vol. 3. P. 255–258.
15. Muscolo A., Nardi S. Auxin or auxin-like activity of humic matter // The role of humic substances in the ecosystems and in environmental protection. Wroclaw, 1997. P. 987–992.
16. Stepchenko L. M., Yurchenko V. I., Krasnik V. G., Syedykh N. J. New approaches to estimation of peat deposits for production of biologically active compounds. Geophysical Research Abstracts. Vol. 11. EGU 2009-12407. Vienna. 2009.
17. Strzelczyk E., Pokojska A., Kampert M. The effect of pH on production of plant growth regulators by mycorrhizal fungi // Symbiosis. 1992. Vol. 14. P. 201–215.
18. Szajdak L., Maryganova V. Occurrence of IAA auxine in some organic soils // Agronomy Research. 2007. Vol. 5. No 2. P. 175–187.
19. Szajdak L. W., Maryganova V. Impact of the kind of soil and plant composition on the quantities of indole-3-acetic acid // Physical, chemical and biological processes in soils / Eds. L. W. Szajdak and A. K. Karabonov. Poznan, 2010. С. 237–248.
20. Zaccone C., Miano T. M., Shotyk W. Qualitative comparison between raw peat and related humic acids in an ombrotrophic bog profile // Org. Geochemistry. 2007. Vol. 38. P. 151–160.
21. Zaccone C., Cocozza C., D’Orazio V., Plaza C., Cheburkin A., Miano T. M. Influence of extractants on quality and trace elements contents of peat humic acids // Talanta, 2007. Vol. 73. P. 820–830.

**Институт природопользования НАН Беларуси,  
Институт сельскохозяйственной и лесной окружающей  
среды Польской академии наук, г. Познань, Польша**

**B. B. Maryganova, N. N. Bambalov, L. W. Szajdak**

### **ИЗМЕНЕНИЯ ФРАКЦИОННО-ГРУППОВОГО СОСТАВА ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ И СОДЕРЖАНИЯ ИНДОЛИЛ-3-УКСУСНОЙ КИСЛОТЫ С ГЛУБИНОЙ ЗАЛЕГАНИЯ ТОРФА**

Исследованы фракционно-групповой состав гуминовых веществ (ГВ) и содержание фитогормона индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) по глубине торфяных залежей различного генезиса. Торф из глубинных слоев торфяных залежей содержит меньше ГВ, чем торф из поверхностного слоя, прежде всего за счет наиболее окисленных соединений – пирофосфатной фракции гуминовых кислот и фульвокислот, что можно объяснить их декарбоксилированием в течение длительного времени пребывания в анаэробных условиях, ведущим к потере растворимости в щелочах и увеличению содержания негидролизуемого остатка в торфе. Содержание ИУК в образцах торфа варьирует от 57,9 до 210 мг/кг. Количество ИУК в торфе из глубинного слоя торфяных месторождений ниже, чем в торфе из верхнего слоя.

Установлена линейная зависимость между содержанием ИУК и ГВ в торфе, что может быть обусловлено способностью ГВ или их структурных элементов ингибировать реакции ферментативного окисления ИУК.

**V. V. Maryganova, N. N. Bambalov, L. W. Szajdak**

### **CHANGES OF FRACTION-GROUP COMPOSITION OF HUMIC SUBSTANCES AND THE INDOL-3-ACETIC ACID CONTENT DEPENDING ON THE DEPTH OF PEAT DEPOSIT**

*Fraction-group composition of humic substances (HS) and the content of phytohormone indol-3-acetic acid (IAA) along the depth of peat deposits of different genesis have been studied. Peat from deep layers of peat deposits contains less HS than peat from the upper layer mainly at the expense of the most oxidized compounds namely pyrophosphate fraction of humic acid and fulvic acid. It can be explained by their decarboxylation during a long duration of stay in aerobic conditions which leads to the loss of their solubility in alkalis and an increase in non-hydrolyzable residue in peat. The content of IAA in the peat samples ranged from 57,9 to 210,2  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ . The amount of IAA in peat from deep layers of peat deposits is lower than in that from the upper layer.*

*The linear correlation between the contents of IAA and HS in peat has been determined. It can be caused by the ability of HS or their structural elements to inhibit reactions of enzymatic oxidation of IAA.*

**А. Г. Бровка, И. И. Лиштван**

## ВЛИЯНИЕ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ВОДЫ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

*Представлены методики и результаты экспериментального исследования влияния горного давления на коэффициент теплопроводности и фазовый состав воды горных пород при отрицательных температурах.*

При проектировании инженерных сооружений на больших глубинах с применением искусственного замораживания, как правило, учитываются теплофизические характеристики горных пород, определяемые с помощью приборов не предусматривающих создания больших гидростатических давлений на испытываемые образцы. В то же время на глубине более 500 м горные породы подвергаются статическим нагрузкам превышающим 10 МПа. Такие нагрузки могут оказывать влияние на процессы установления фазового равновесия воды и перенос тепла в горных породах.

Следует отметить, что создание статических давлений свыше 10 МПа в известных конструкциях теплофизических приборов связано с большими трудностями технического и методического характера.

В литературе имеются весьма ограниченные сведения о влиянии гидростатических и механических нагрузок на фазовый состав воды при отрицательных температурах [5]. Несколько больше имеется работ по исследованию влияния давления на коэффициенты теплопроводности горных пород [1, 3–4]. Однако, эти данные касаются в основном горных пород в обезвоженном состоянии.

Учитывая необходимость совершенствования методов исследования теплофизических характеристик горных пород в указанном направлении, в лаборатории физико-химической механики природных дисперсных систем ГНУ «Институт природопользования НАН Беларусь» разработаны калориметр и устройство для определения коэффициента теплопроводности грунтов, позволяющие проводить измерения при повышенных статических нагрузках на испытываемые образцы.

**Калориметрическая установка для исследования фазового состава воды при повышенном давлении.** Конструкция данного калориметра (рис. 1) разработана на базе калориметра, не предусматривающего создания избыточного давления на образец и описанного ранее в статье [2]. Основные отличия конструкции заключаются в герметичном соединении калориметрического стакана с помощью тонкой стальной трубы с системой высокого давления азота.

Для устранения теплообмена калориметрического стакана через трубку подачи давления с корпусом калориметра в крышке калориметра предусмотрен охранный блок крышки. В этом блоке с помощью датчика разности температуры и охранного нагревателя поддерживается с точностью 0,01 °С температура, равная температуре основного охранного стакана. Таким образом, удается устраниить неконтролируемые тепловые утечки из рабочей камеры калориметра. На рис. 1 представлен модифицированный калориметр в сборе. Основными элементами его являются корпус калориметра 1 и крышка 2, калориметрический стакан 3, охранный стакан 4, датчик температуры калориметра 5, датчик разности температур 6, основной охранный нагреватель 7, охранный блок крышки 8, охранный нагреватель крышки 9, датчик разности температур крышки 10, трубка подачи давления 11, заглушка с уплотняющей втулкой 12.

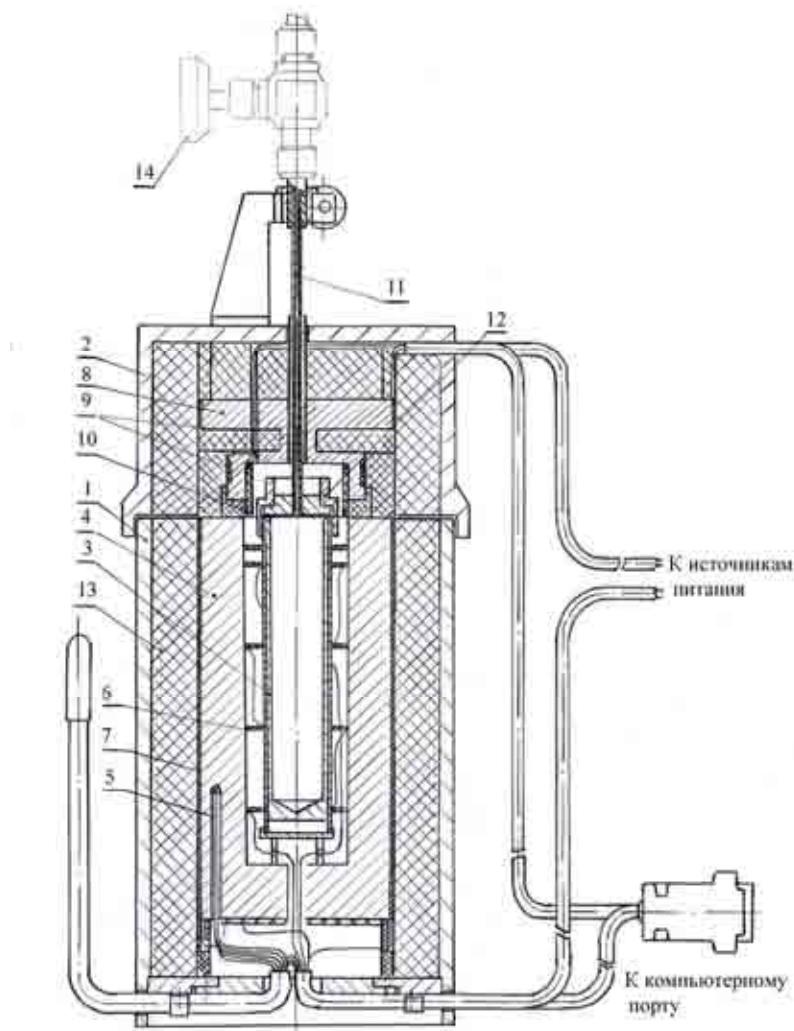
Калориметрический стакан состоит из двух гильз, плотно входящих друг в друга с зазором порядка 0,05 мм, что обеспечивает необходимый тепловой контакт. Внутренняя гильза выполнена из нержавеющей стали, а внешняя гильза – из латуни. Стальная гильза герметично закрывается заглушкой на резьбе 20x1,5 с уплотняющей втулкой, в которую впаяна трубка подачи давления 11. В нижнем торце внутренней гильзы сделана фаска под ключ на 19 для герметичного соединения гильзы с заглушкой путем заворачивания. Диаметр гильзы калориметрического стакана составляет 20 мм, а длина его – 100 мм, что позволяет помещать в него до 30 мл исследуемого образца.

Для измерения температуры калориметра в корпус охранного стакана вмонтирована батарея из пяти медьюконстантановых термопар. Нулевые спаи термопар сведены в отдельный кабель, заканчивающийся металлическим наконечником, который помещается в термос, заполненный смесью дистиллированной воды со льдом.

Измерение и регулирование температуры калориметра осуществляется также, как и базового калориметра, с помощью компьютерной системы, включающей компьютерный порт, выполненный в виде отдельного модуля, имеющего предуслитель, АЦП и ЦАП, и соединенный с компьютером через принтерный порт.

В дополнение к известной системе регулирования температуры [5] на четвертый канал АЦП подается сигнал от датчика разности температур крышки, по величине которого формируется управляющий сигнал ЦАП, регулирующий

напряжение питания охранного нагревателя крышки таким образом, чтобы величина сигнала на четвертом канале поддерживалась на нулевом уровне. Это позволяет избежать утечек тепла через крышку.



**Рис. 1. Схема калориметра-барокамеры:** 1 – корпус калориметра; 2 – крышка калориметра; 3 – стакан калориметрический; 4 – стакан охранный; 5 – датчик температуры калориметра; 6 – датчик разности температур; 7 – основной охранный нагреватель; 8 – охранный блок крышки; 9 – охранный нагреватель крышки; 10 – датчик разности температур крышки; 11 – трубка подачи давления; 12 – заглушка с уплотняющей втулкой; 13 – теплоизоляция; 14 – вентиль

В процессе опытов компьютерная система периодически, с интервалом в 100 с, ведет регистрацию данных и графически визуализирует текущее состояние процесса на мониторе. При этом в файл данных записываются температура образца, интенсивность и интегральная теплота теплообмена.

*Проведение опытов при повышенном давлении.* Проведение опытов при воздействии постоянной статической нагрузки на горную породу может осуществляться в двух вариантах.

В первом варианте сжатый азот непосредственно контактирует с исследуемым материалом.

Во втором варианте исследуемый материал помещают в герметично запаянную тонкую эластичную оболочку из лавсана или под заглушку помещают эластичную мембрану, что, в определенных условиях, позволяет смоделировать механическое воздействие на скелет испытуемого материала без непосредственного гидростатического воздействия на влагу в материале, как это происходит в первом случае.

Независимо от вариантов опыты проводятся в следующем порядке. Заполненный исследуемым материалом калориметрический стакан герметично закрывается заглушкой, помещается в охранный стакан и закрывается крышкой калориметра. Трубка подачи давления пропускается

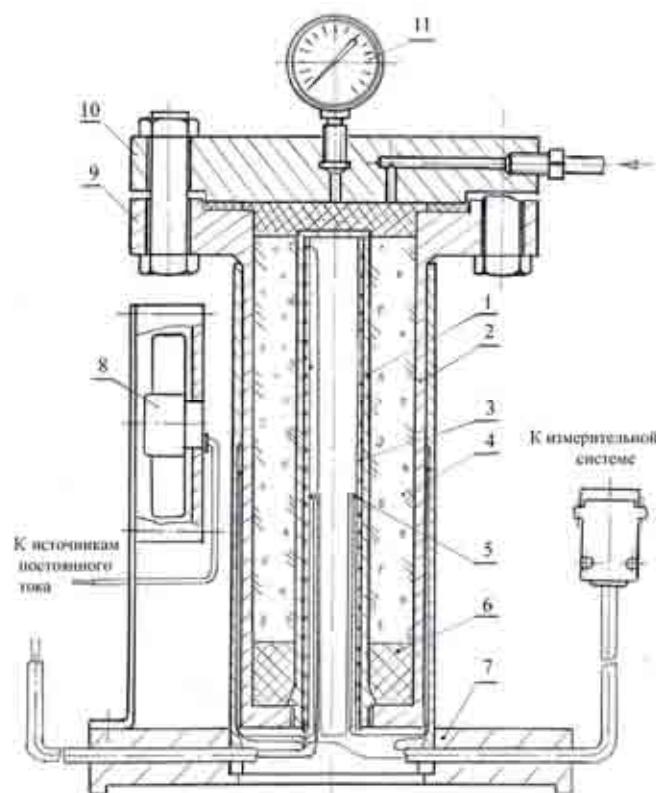
через отверстие в крышке калориметра и фиксируется с помощью держателя. С целью безопасного производства работ давление в трубку калориметрического стакана подается из буферной емкости объемом не более 3 дм<sup>3</sup>, которая предварительно заполняется сжатым азотом из промышленного баллона.

Эксперименты по определению фазового состава влаги, а также тепловых эффектов при наличии повышенного давления газа проводятся по описанной ранее методике.

**Устройство для исследования коэффициента теплопроводности пород при повышенном давлении.** Устройство представляет собой цилиндрическую барокамеру (рис. 2), образованную двумя коаксиальными цилиндрами (1 и 2) из металла. Внутренний цилиндр 1 заглушен со стороны камеры и открыт в нижней части наружу. Внутри этого цилиндра в тесном тепловом контакте с его поверхностью расположен нагреватель 3, а также батарея дифференциальных термопар 5. В нижней части оба цилиндра герметично соединены с помощью сварки кольцеобразным фланцем. Пространство между цилиндрами в нижней половине заполнено теплоизолятором 6. В данном устройстве в качестве теплоизолятора используется эпоксидная смола. Пространство между цилиндрами в верхней половине предназначено для помещения исследуемого материала 4. К верхней части внешнего цилиндра 2 приварен массивный фланец 9, который с помощью болтов через резиновую прокладку пристыковывается к крышке 10. Таким образом, исследуемый материал, помещенный между двумя цилиндрами, удается герметично изолировать от внешнего пространства. В крышке 10 предусмотрены каналы для подачи в камеру сжатого газа. Для контроля давления в крышке ввинчен манометр 11. В нижней части камера соединена с помощью латунного стакана с дискообразным основанием 7. На основании закреплен вентилятор 8, а также закреплены и выведены провода от термопар к измерительной компьютерной системе и к источникам постоянного тока провода от нагревателей и вентилятора.

**Основные размеры устройства.** Внешний диаметр внутреннего цилиндра – 23 мм; внутренний диаметр внешнего цилиндра – 51 мм; высота рабочей камеры – 100 мм; диаметр верхнего фланца и крышки – 140 мм.

При определении коэффициента теплопроводности с помощью данного устройства используется принцип фиксации в стационарном состоянии разницы температуры между внутренним и внешним цилиндрами при постоянной мощности нагревателя. Вентилятор в процессе опыта обеспечивает необходимую мощность теплообмена в терmostатируемой камере.



**Рис. 2. Устройство для исследования коэффициента теплопроводности пород при повышенном давлении:** 1 – цилиндр внутренний; 2 – цилиндр внешний; 3 – нагреватель; 4 – образец исследуемого материала; 5 – батарея термопар; 6 – теплоизолятор; 7 – основание; 8 – вентилятор; 9 – фланец; 10 – крышка; 11 – манометр

Опыты по определению коэффициента теплопроводности в породах, находящихся под давлением газа, можно, как и с калориметром, проводить в двух вариантах.

В первом варианте сжатый азот непосредственно контактирует с исследуемым материалом.

Во втором варианте газовое пространство под крышкой отделяется от материала эластичной газонепроницаемой мембраной.

Опыты проводят в такой последовательности. Рабочее пространство камеры заполняют исследуемым материалом. Закрывают камеру крышкой (при втором варианте под крышку помещают мембрану) и скрепляют четырьмя болтами, последовательно затягивая гайки для избежания перекоса. После этого устройство помещают в терmostатируемую камеру и подсоединяют к системе избыточного давления. Медленно открывая вентиль, поднимают давление в камере до необходимой величины. Убедившись, что в системе нет утечек, включают нагреватель, вентилятор и систему измерения температуры. Мощность нагревателя подбирается такой, чтобы перепад температуры между внутренним и внешним цилиндром составлял 2–4 °С.

Для измерения и регулирования температуры используется компьютерная система такая же, как и для калориметра, но с другой программой.

После выхода системы на стационарный режим, о чем будет свидетельствовать неизменность температуры на протяжении 30 мин, записывают установившуюся разность Э.Д.С. основной термопары, соответствующую разности температур внутреннего и внешнего цилиндров, напряжение питания нагревателя, давление в камере и температуру терmostатируемой камеры.

Обработку результатов эксперимента осуществляют следующим образом. Э.Д.С. батареи термопар, выраженную в милливольтах делают на квадрат напряжения питания основного нагревателя, выраженного в вольтах. По значению полученного параметра на номограмме определяют величину обратную значению теплопроводности исследуемого материала и далее соответствующим образом находят значение коэффициента теплопроводности. При необходимости тарировочные параметры могут быть введены в компьютерную программу, под управлением которой работает компьютерное устройство, регистрирующее и регулирующее температурный режим опыта, и обработка результатов будет автоматизирована.

Для получения тарировочной номограммы используют эталонные материалы в виде паст с определенными с погрешностью не более 3% коэффициентами теплопроводности при температурах близких к режиму испытаний исследуемых материалов. Тарировочные опыты проводят без наличия в барокамере избыточного давления с тремя эталонными образцами, имеющими коэф-

фициенты теплопроводности в диапазоне от 0,3 до 3,0 Вт/мК.

Разработанные приборы прошли испытания на предельное давление 14 МПа. Эксплуатационное давление рекомендуется в пределах до 10 МПа.

#### **Исследование влияния избыточного давления на фазовый состав воды в горных породах**

С помощью вышеупомянутого калориметра для отработки методики и выявления общих закономерностей проведена серия опытов на модельных системах грунтов различной природы по определению фазового состава воды и сдвига температуры фазового равновесия вода–лед при повышенном гидростатическом давлении. При этом в образцы были внесены различные минеральные водорастворимые соединения. Полученные данные представлены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что сдвиг температуры начала замерзания всех исследованных капиллярно-пористых сред с различной жесткостью скелета и наличием минеральных водорастворимых соединений при гидростатическом давлении 9 МПа в жидкой и газообразной фазах составляет 0,60–0,64 °С. Это в первом приближении соответствует уравнению Клапейрона–Клаузиуса для воды в объеме. Наличие в поровом растворе грунтов минеральных соединений нейтральной, кислотной или щелочной природы не вносит в пределах погрешности опыта изменений в величину сдвига температуры начала замерзания всех исследованных капиллярно-пористых сред.

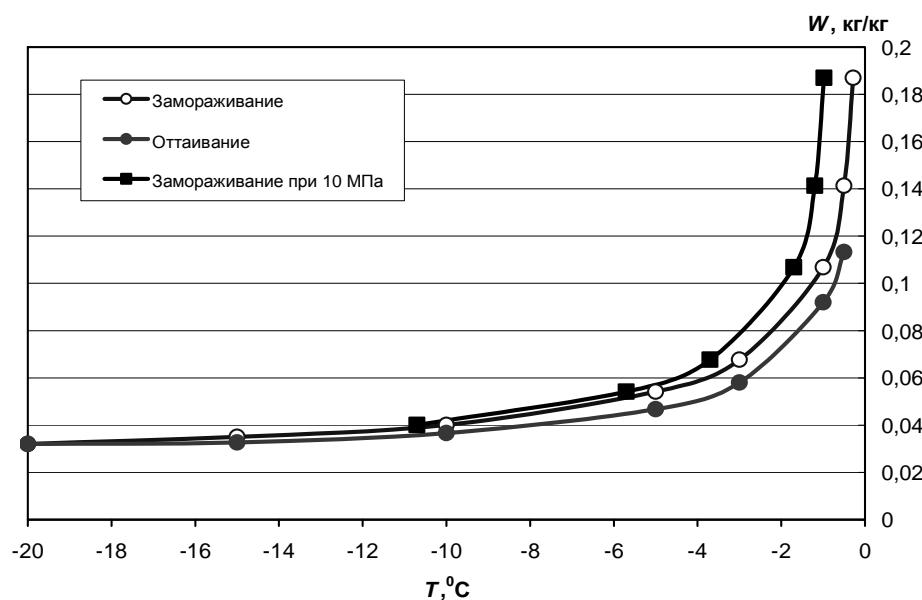
Учитывая трудоемкость опытов, для исследования влияния гидростатического давления на изменение температуры начала замерзания горных пород Гарлыкского месторождения калийных солей было выбрано три типичных представителя с различной жесткостью скелета породы и проведены соответствующие опыты при наличии избыточного давления азота в рабочей камере калориметра 10 МПа. Из полученных данных (табл. 1) видно, что аналогично, как и для модельных капиллярно-пористых сред, сдвиг температуры замерзания в первом приближении соответствует уравнению Клапейрона–Клаузиуса для воды в объеме.

С помощью калориметрических исследований было установлено, что наличие гидростатического давления для всех исследованных капиллярно-пористых сред с различными водорасстворимыми соединениями сдвигает кривую зависимости количества незамерзшей воды по шкале температуры на величину, соответствующую сдвигу температуры начала замерзания под воздействием гидростатического давления. На рис. 3 представлены кривые зависимости количества незамерзшей воды от температуры для пробы суглинка из горизонта глубиной 78 м без

избыточного давления и при наличии избыточного давления 10 МПа. Как видно из приведенных данных, кривая незамерзшей воды смещена на  $0,7^{\circ}\text{C}$  в сторону понижения температуры, что в первом приближении соответствует понижению температуры начала замерзания образца суглинка, приведенному в табл. 1. Аналогичные изменения количества незамерзшей воды от температуры при воздействии гидростатического давления наблюдались для образцов песка и глины.

**Таблица 1. Изменение температуры начала замерзания воды в капиллярно-пористых материалах при наличии избыточного гидростатического давления**

Материал	Влаго-содержание, кг/кг	Водорастворимое соединение; концентрация в поровом растворе, г безводного вещества/100 г воды	Температура начала замерзания без избыточного гидростатического давления, $^{\circ}\text{C}$	Избыточное гидростатическое давление, МПа	Температура начала замерзания, $^{\circ}\text{C}$
Торф низинный	4,5	-	-0,02	9,0	-0,65
	3,38	-	-0,11	9,0	-0,75
	1,73	-	-0,55	9,0	-1,21
	2,91	KCl; 2,04	-1,19	9,0	-1,80
	2,89	HCl; 2,04	-1,78	9,0	-2,40
	2,79	NaOH; 3,09	-0,92	9,0	-1,50
Каолин	0,37	-	-0,09	9,0	-0,70
	0,21	-	-0,82	9,0	-1,47
	0,37	KCl; 2,04	-1,03	9,0	-1,66
	0,42	HCl; 2,04	-1,68	9,0	-2,29
	0,44	NaOH; 3,09	-2,57	9,0	-3,18
Песок кварцевый	0,10	-	-0,05	9,0	-0,68
	0,097	KCl; 2,04	-1,02	9,0	-1,69
	0,09	HCl; 2,04	-2,12	9,0	-2,72
	0,09	NaOH; 3,09	-2,03	9,0	-2,64
Глина	0,187	Природное засоление	-3,06	10,0	-3,80
Песок	0,120	Природное засоление	-1,15	10,0	-1,92
Песок	0,141	Природное засоление	-1,01	10,0	-1,74
Суглинок	0,174	Природное засоление	-0,35	10,0	-1,11



**Рис. 3. Зависимость количества незамерзшей воды от температуры и давления для суглинка**

Исследование влияния напряженно-деформированного состояния на формирование фазового состава воды при отрицательной температуре проведено на тех же образцах, что и на предыдущем этапе. Исследуемые образцы в калориметре подвергались воздействию давления через эластичную мембрану, что эквивалентно приложению механической нагрузки. Полученные данные представлены в табл. 2.

Из анализа полученных данных следует, что по степени воздействия давление на капиллярно-пористый материал, созданное с помощью механической нагрузки, отличается от аналогичной величины давления созданного с помощью сжатого газа. Это можно объяснить различным механизмом передачи гидростатического давления на воду в материале при чисто механическом воздействии и с помощью сжатого газа. Так, при чисто механическом воздействии часть нагрузки воспринимается твердым скелетом материала, а при воздействии сжатого воздуха давление передается жидкой фазе более полно. С таких позиций можно объяснить меньшие величины сдвига фазовых переходов воды в лед в

различных капиллярно-пористых материалах при механическом воздействии по сравнению с аналогичными величинами при воздействии сжатого газа. При механическом воздействии на капиллярно-пористые системы с легкодеформируемым скелетом при не полном влагонасыщении (нагрузка 9 МПа), такие, как торф и каолин, сдвиг температуры начала замерзания воды происходит на 0,34–0,49 °С, что составляет 50–75 % от соответствующего сдвига температуры фазового перехода для свободной воды. По мере приближения влажности образца к максимальной соответствующее смещение стремится к 80–90 %.

Можно предположить, что данный результат определяется частичным восприятием скелетом капиллярно-пористой системы механической нагрузки. Для капиллярно-пористой системы с более жестким скелетом, такой, как кварцевый песок, механическое воздействие компенсируется скелетом еще в большей степени. Об этом свидетельствуют полученные величины из которых видно, что сдвиг температуры начала замерзания для нагрузки 9 МПа составляет 0,21–0,25 °С.

**Таблица 2. Изменение температуры начала замерзания воды в капиллярно-пористых материалах под воздействием механической нагрузки**

Материал	Влаго-содержание, кг/кг	Водорастворимое соединение; концентрация в поровом растворе, г безводного вещества/100 г воды	Температура начала замерзания без избыточного давления, °С	Избыточное механическое давление, МПа	Температура начала замерзания, °С
Торф низинный	4,5	-	-0,02	9,0	-0,63
	3,38	-	-0,11	9,0	-0,60
	1,73	-	-0,55	9,0	-0,89
	2,91	KCl; 2.04	-1,19	9,0	-1,61
	2,89	HCl; 2.04	-1,78	9,0	-2,20
	2,79	NaOH; 3.09	-0,92	9,0	-1,38
Каолин	0,37	-	-0,09	9,0	-0,52
	0,21	-	-0,82	9,0	-1,17
	0,37	KCl; 2.04	-1,03	9,0	-1,45
	0,42	HCl; 2.04	-1,68	9,0	-2,16
	0,44	NaOH; 3.09	-2,57	9,0	-3,05
Песок кварцевый	0,10	-	-0,05	9,0	-0,26
	0,097	KCl; 2.04	-1,02	9,0	-1,24
	0,09	HCl; 2.04	-2,12	9,0	-2,35
	0,09	NaOH; 3.09	-2,03	9,0	-2,28
Глина	0,187	Природное засоление	-3,06	10,0	-3,60
Песок	0,12	Природное засоление	-1,15	10,0	-1,05
Песок	0,141	Природное засоление	-1,01	10,0	-1,16
Суглинок	0,174	Природное засоление	-0,35	10,0	-0,93

Следует отметить, что данные по изменению температуры начала замерзания воды в модельных капиллярно-пористых средах с различной жесткостью скелета и наличием водорасторимых соединений показывают, что водорасторимые соединения практически не влияют на величину сдвига температуры начала замерзания, определяемого механической нагрузкой.

Аналогичные закономерности получены для типичных представителей горных пород Гарлыкского месторождения с различной жесткостью скелета породы. Из табл. 2 видно, что в глине и суглинке изменение температуры начала замерзания под воздействием механической нагрузки происходит несколько в меньшей мере, чем при воздействии сжатого газа. Следует обратить внимание на то, что в песке при влагосодержании 0,120 кг/кг произошло аномальное изменение температуры начала замерзания в сторону повышения, что объясняется достаточно жестким каркасом скелета песка и неполным его насыщением. Так, при наличии свободной пористости часть влаги может отжиматься в незаполненные поры и за счет этого может происходить повышение температуры начала замерзания. При более полном влагонасыщении песка (0,141 кг/кг) температура начала замерзания понижается на 0,15 °С, что составляет порядка 20 % от аналогичной величины, полученной при воздействии сжатого газа.

Теоретический анализ показывает, что при полном влагонасыщении фазовый состав воды в горных породах на больших глубинах определяется воздействием избыточного давления, поверхностных сил и водорасторимых соединений (солей). Избыточное давление в прослойках воды горной породы формируется под воздействием горного давления слоя горной породы, гидростатического давления слоя воды и упругих сил скелета горной породы. В результате взаимодействия указанных сил избыточное гидростатическое давление  $\Delta P_{из}$  в прослойках воды в засоленной горной породе выражается формулой

$$\Delta P_{из} = K_{вн} [\rho_{вг} gh_r - \rho_v g(h_r - h_{тв})] + \rho_v g(h_r - h_{тв}), \quad (1)$$

где  $K_{вн}$  – коэффициент восприятия механической нагрузки поровой влагой;  $\rho_{вг}$  – плотность влажного грунта;  $g$  – ускорение свободного падения;  $h_r$  – глубина залегания горной породы;  $\rho_v$  – плотность воды;  $h_{тв}$  – уровень грунтовых вод.

Анализируя полученные экспериментальные результаты, можно предположить, что сдвиг температуры начала замерзания и кривой незамерзшей воды под воздействием избыточного гидростатического давления выразится формулой, аналогичной формуле Клапейрона-Клаузиуса:

$$\Delta T_3 = \Delta P_{из} \frac{T \left( \frac{1}{\rho_l} - \frac{1}{\rho_v} \right)}{L}, \quad (2)$$

где  $\rho_l$  – плотность льда;  $L$  – теплота фазового перехода вода–лед.

Используя формулы (1) и (2) можно оценить сдвиг температуры начала замерзания и кривой зависимости количества незамерзшей воды от температуры под воздействием горного давления на различных глубинах залегания горных пород с учетом жесткости их скелета. Выполненные оценки показывают, что для пород с легкодеформируемым скелетом при средней плотности влажных горных пород порядка 2000 кг/м<sup>3</sup> на каждые 100 м понижения глубины залегания сдвиг температуры  $\Delta T_3$  будет составлять -0,15 °С. В тоже время для горных пород с абсолютно жестким скелетом такой сдвиг будет в 2 раза меньше, т. е. -0,075 °С. Для большинства реальных горных пород сдвиг  $\Delta T_3$  будет находиться в интервале, ограниченном приведенными значениями, т.е. изменяться от -0,075 °С до -0,15 °С на каждые 100 м глубины. При наличии в поровом растворе горных пород солей сдвиг  $\Delta T_3$  определяется аддитивным воздействием указанных факторов, как это видно из табл. 1. К примеру, если на глубине 500 м в результате воздействия горного давления и наличия в поровом растворе хлорида калия концентрации порядка 2 % сдвиг температуры начала замерзания для легкодеформируемой горной породы составит -1,75 °С. При этом вклад горного давления в данную величину составит -0,75 °С, а соответствующий вклад засоления – около -1 °С. Для горных пород с более жестким скелетом соответствующий вклад горного давления будет снижен до 2 раз.

Следует отметить, что горные породы с легкодеформируемым скелетом, подверженные воздействию горного давления частично обезвоживаются и поровая влага в них находится под воздействием поверхностных сил, за счет которых температура замерзания может быть существенно понижена. Это понижение определяется непосредственно экспериментально при исследовании образцов горной породы стандартными методами при обычном атмосферном давлении, но со строго естественным влагосодержанием. Стандартными методами при обычном атмосферном давлении определяется также сдвиг  $\Delta T_3$  при наличии засоления с соблюдением соответствия влагосодержания и концентрации порового раствора естественным значениям. Для адекватной оценки суммарного сдвига температуры начала замерзания и кривой зависимости количества незамерзшей воды от температуры  $\Delta T_3$  стандартными методами необходимо к полученным значениям добавить соответствующие из-

менения  $\Delta T_3$  за счет горного давления на глубине отбора проб горных пород с учетом жесткости их скелета.

### Исследование влияния избыточного давления на коэффициенты теплопроводности горных пород

С помощью устройства для определения коэффициента теплопроводности грунтов на первом этапе проведены исследования влияния избыточного давления на коэффициент теплопроводности льда как одного из компонентов мерзлых горных пород. С этой целью рабочая камера установки заполнялась дистиллированной водой и замораживалась при воздействии сжатого азота и при воздействии давления газа

через резиновую мембрану. В результате проведенных исследований, это может показаться неожиданным, установлено, что при воздействии на лед давления в пределах до 10 МПа его теплопроводность с погрешностью не более 2 % остается неизменной.

Для дальнейших исследований было выбрано три типичных представителя с различной жесткостью скелета породы, аналогично как для исследования изменения фазового состава воды под воздействием избыточного давления, и проведены соответствующие опыты при наличии избыточного давления азота в рабочей камере устройства 10 МПа. Полученные данные находятся в табл. 3.

**Таблица 3. Изменение коэффициентов горных пород под воздействием избыточного давления**

Материал	Влагосодержание, кг/кг	Температура измерения, °C	Коэффициент теплопроводности без избыточного давления, Вт/мК	Избыточное давление, МПа	Коэффициент теплопроводности при избыточном давлении, Вт/мК
Глина	0,187	+10	1,23	10 *	1,25
	0,187	+10	1,23	10 **	1,28
	0,187	-10	1,63	10 *	1,67
	0,187	-10	1,63	10 **	1,70
Песок	0,149	+10	1,78	10 *	1,83
	0,149	+10	1,78	10 **	1,90
	0,149	-10	2,57	10 *	2,69
	0,149	-10	2,57	10 **	2,75
Суглинок	0,18	+10	1,80	10 *	1,89
	0,18	+10	1,80	10 **	1,98
	0,18	-10	2,39	10 *	2,52
	0,18	-10	2,39	10 **	2,62

\*Избыточное давление, обусловленное сжатым газом; \*\*избыточное давление, обусловленное механической нагрузкой.

Анализируя результаты, можно отметить, что избыточное давление, обусловленное сжатым газом, в меньшей степени влияет на коэффициент теплопроводности горных пород, чем механическая нагрузка. Это происходит, по-видимому, потому, что механическая нагрузка в отличие от давления, всесторонне передаваемого всем компонентам через сжатый газ, уплотняет образец, улучшая контакт твердых частиц горной породы. Поэтому воздействие механической нагрузки на коэффициент теплопроводности песчаных пород более существенно, чем на глинистые.

Следует отметить, что за счет непосредственного влияния избыточного давления на коэффициент теплопроводности его значение может увеличиться не более чем на 10 % при возрастании давления в пределах 10 МПа. Более существенное влияние на коэффициент теплопроводности мерзлых пород горное давление оказывает косвенным путем, влияя на формирование их плотности, влагосодержание и фазовый состав воды.

*В работе использованы материалы, полученные при финансовой поддержке БРФФИ (проект Х06Р-103) и ОАО «Белгорхимпром» (договор 111-10).*

### Литература

1. Бриджмен П. В. Физика высоких давлений. М.–Л., 1935.
2. Бровка А. Г., Романенко И. И. Приборы и методы исследования теплофизических характеристик и фазового состава воды горных пород при отрицательных температурах / А. Г. Бровка, И. И. Романенко // Горная механика. 2009. № 1. С. 71-79.

3. Вертоградский В. А., Попов Ю. А., Миклашевский Д. Е. Метод и установка для измерений теплопроводности горных пород при высоких давлениях и температурах // Известия высших заведений. Геология и разведка. 2003. № 5. С. 47-51.

4. Липаев С. А. Тепловые свойства горных пород Урала и их зависимости от температуры и давления: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Екатеринбург. 2005.

5. Лиштван И. И., Бровка Г. П., Давидовский П. Н. Измерение фазового состава воды в мерзлом торфе под действием постоянных статических нагрузок // ДАН БССР. 1984. Т. 28. № 10. С. 904–907.

## Институт природопользования НАН Беларуси

*A. Г. Бровка, И. И. Лиштван*

### **ВЛИЯНИЕ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ВОДЫ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

Представлены методики и результаты экспериментального исследования влияния горного давления на коэффициент теплопроводности и фазовый состав воды горных пород при отрицательных температурах.

Показано, что для оценки сдвига температуры начала замерзания и кривой зависимости количества незамерзшей воды от температуры под воздействием горного давления можно использовать формулу, соответствующую уравнению Клапейрона–Клаузиуса, с учетом жесткости скелета горных пород.

Установлено, что за счет непосредственного влияния избыточного давления на коэффициент теплопроводности его значение может увеличиться не более чем на 10 % при возрастании давления в пределах 10 МПа.

*A. G. Brovka, I. I. Lishtvan*

### **INFLUENCE OF MOUNTAIN PRESSURE ON HEAT CONDUCTIVITY INDEX AND WATER PHASE STRUCTURE IN ROCKS AT NEGATIVE TEMPERATURES**

*Techniques and results of an experimental research of mountain pressure impact upon heat conductivity index and water phase structure of rocks at negative temperatures have been presented.*

*It has been shown, that to estimate a shift of temperature of the beginning of freezing and curve dependence of the quantity of not frozen water on temperature under the influence of mountain pressure it is possible to use the formula corresponding to equation Klapejrona–Klauzius taking into account rigidity of a skeleton of rocks.*

*It has been found, that at the expense of direct effect of superfluous pressure on heat conductivity index its value can increase by no more than 10 % at the pressure rise within 10 MPa.*

**Т. Я. Царюк, И. П. Фалюшина, Л. Д. Шапорева,  
В. П. Стригуцкий, И. В. Дребенкова**

## **КОМПОЗИЦИОННЫЙ ЗАГУСТИТЕЛЬ ДЛЯ КОНСЕРВАЦИОННЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СМАЗОК**

*Изучены химическая структура, физико-химические и защитные свойства побочных и остаточных продуктов масляного производства ОАО «Нафтан» и обоснован выбор компонентов композиционного загустителя. Исследованы загущающая способность, морозостойкость и защитные свойства композиций этих компонентов и установлено их оптимальное соотношение. Определен тип и концентрация тугоплавкого компонента. В результате исследований разработан композиционный загуститель, находящийся на уровне или превосходящий петролатум.*

Согласно действующей нормативно-технической документации, для временной защиты металлоизделий от коррозии и коррозионно-механического изнашивания на периоды их изготовления, межоперационного или длительно-го хранения, транспортирования и эксплуатации применяются различные консервационные материалы: ингибиторы коррозии, масла, смазки и защитные тонкопленочные покрытия. Значительную долю этих материалов занимают консервационные смазки, предназначенные для защиты металлоизделий в жестких и особо жестких условиях при хранении на складах и открытых площадках.

Консервационные смазки, как и другие пластичные смазки, представляют собой структурированные тиксотропные дисперсии, образованные загустителями (40–90 %\*) в смазочном масле. Загуститель в процессе приготовления смазки образует трехмерный структурный каркас, пронизывающий масляную основу во всем ее объеме. Элементы структурного каркаса в двух, но чаще в одном, измерениях имеют коллоидные размеры, а в третьем – макроскопические [6]. В ячейках каркаса смазки 60–80 % масляной основы удерживается за счет адсорбционных связей, а остальная часть – механически [5]. Устойчивость структурированной системы зависит от прочности структурного каркаса, сил взаимодействия между его отдельными частицами, между элементами структурного каркаса и масляной основы на границе раздела фаз, числа контактов частиц каркаса в единице объема и других факторов.

В середине 90-х гг. прошлого века Институтом природопользования НАН Беларуси была разработана серия консервационных смазок, производство которых организовано ОАО «Завод горного воска». В качестве загустителя смазок типа КС-У, СК-В, ЗС-Т был использован петрола-

тум, ресурсы которого полностью обеспечивали производство этих смазок в объемах, необходимых для удовлетворения потребностей отечественных металлообрабатывающих предприятий и экспорта смазок в Россию и Украину. Однако в последние годы в связи с углублением процессов переработки нефти для увеличения выхода светлых топлив на ОАО «Нафтан» и «Мозырский нефтеперерабатывающий завод» введены в эксплуатацию установки крекинга масляных фракций, что привело к резкому сокращению выхода петролатума и, как следствие, существенному снижению объемов выпуска ОАО «Завод горного воска» консервационных смазок.

В связи с изложенным целью работы являлось создания загустителя консервационных углеводородных смазок на основе доступного и недорого отечественного сырья.

Объектами исследования являлись побочные и остаточные продукты масляного производства ОАО «Нафтан»: твердые углеводороды, остатки термокрекинга, висбрекинга, гидрокрекинга и их изопроцентные композиции, а также высокомолекулярные углеводороды синтетического происхождения.

Оценку физико-химических свойств данных продуктов проводили стандартными методами испытания нефтепродуктов.

О загущающей способности композиционных загустителей судили по температурам каплепадения – ГОСТ 6793-74 и сползания – ГОСТ 6037-75.

Для определения толщины пленки, исследуемые композиции наносили на стальные пластины методом погружения в расплав на 3 мин при температуре 100 °С. Толщину пленки рассчитывали по формуле

$$h = \frac{(p_2 - p_1) \cdot 10^6}{\rho \cdot S},$$

где  $h$  – толщина пленки, мкм;  $p_2$  – масса пластины с пленкой продукта, кг;  $p_1$  – масса пластины без продукта, кг;  $\rho$  – плотность пленки после вы-

\* Здесь и далее % мас.

сыхания консервационного материала, кг/м<sup>3</sup>;  $S$  – площадь пластиинки, м<sup>2</sup>.

Поведение композиций при низких температурах (морозостойкость) изучали следующим образом. Композиции наносили на пластины указанным выше способом и выдерживали на воздухе при комнатной температуре 24 ч для формирования защитной пленки, после чего пластины помещали в морозильную камеру, где их выдерживали при -30 °С в течение 5 ч, а затем осматривали поверхность пленки на наличие трещин.

Защитную эффективность определяли по ГОСТ 9.054-75 в сернистом ангидриде, камере влажности и электролите (искусственная морская вода). Испытания в сернистом ангидриде проводят циклами, которые состоят из двух частей: в первой части образцы подвергают воздействию сернистого ангидрида в концентрации 0,015 % объемных при температуре 40±2 °С и относительной влажности воздуха 95–100 % в течение 7 ч; во второй – создают условия конденсации влаги на образцах их охлаждением путем выключения нагрева камеры. Продолжительность – 17 ч. Критериями оценки защитной эффективности служили время до появления первых признаков коррозии (ППК) и потеря массы стали после удаления продуктов коррозии.

Для установления механизма усиления защитных свойств композиционного загустителя использовали метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР-спектроскопии), поскольку в [8, 9] было показано, что парамагнетизм нефтяных систем обязан не свободным радикалам примесной природы, как это считается в литературе [1], а обусловлен принципиальными особенностями их молекулярной структуры как образований в целом. Регистрацию спектров ЭПР осуществляли на серийном радиоспектрометре РЭ-1301, снабженном источником повышенной СВЧ-мощности (50 мВт). Чтобы избежать насыщения сигнала ЭПР СВЧ-мощностью, его интенсивность (концентрация ПМЦ) и параметры (ширина  $\Delta H$  и положение по полю –  $g$ -фактор) определяли при низком уровне СВЧ-мощности (0,1 мВт). Для углубления структурной информации [8, 9] проводилась также регистрация спектров ЭПР при высоких уровнях СВЧ-мощности (50 мВт).

Анализ составов отечественных и зарубежных консервационных смазок показал, что в качестве компонентов загустителей углеводородных смазок этого типа используют петролатумы, парафины, церезины, технические вазелины, озокериты, нефтяные битумы, а также природные и синтетические воски и восковые смеси [7, 11–13, 17]. Иногда для этих целей применяют

продукты переработки твердых горючих ископаемых: бурых углей, торфа, сланцев.

От природы загустителя смазки зависят температурные пределы ее применения, антифрикционные и защитные свойства, водостойкость, агрегативная, механическая и антиокислительная стабильность [16].

Твердые углеводороды, наиболее часто применяемые в качестве загустителей консервационных смазок, согласно классификации Д.С. Великовского [4], относятся к загустителям, не характеризующимся полиморфизмом. При повышении температуры такие загустители не претерпевают фазовых превращений, плавятся при относительно невысоких температурах и образуют гомогенные растворы с масляной основой при температуре, превышающей температуру их плавления. При охлаждении такого расплава (раствора) образуются центры кристаллизации (зародыши), происходит рост кристаллов, образование структурного каркаса и превращение системы в пластичную смазку. Образовавшиеся при охлаждении кристаллические частицы твердых углеводородов анизометричны. В зависимости от состава масляной основы и загустителя, наличия третьего компонента и способа охлаждения изменяются дисперсность и анизометричность частиц и, как следствие, загущающий эффект углеводородного загустителя. Смазки, полученные на этих загустителях, гидрофобны, термически обратимы и характеризуются невысоким верхним температурным пределом применения, который ограничен температурой плавления загустителя и его высокой растворимостью в углеводородной основе при повышенных температурах.

Исследованиями, выполненными в направлении подбора заменителя петролатума, установлено, что из числа выпускаемых в стране твердых углеводородов наиболее обеспеченным сырьевой базой является гач нефтяной, производимый ОАО «Нафттан».

Гач получают в результате процессов депарафинизации масел из 1–3 погонов вакуумных дистиллятов масляных фракций. Он представляет собой смесь парафиновых углеводородов нормального строения молекулярной массой 300–450 с примесями ароматических и нафтеновых углеводородов. В зависимости от содержания масла различают четыре марки гача: гач марки 1 содержит менее 5 % масла, марки 2 – от 5,1 до 10 %, марки 3 – 10,1–15,0 %, марки 4 – 15,1–20,0 %. Результаты экспериментальной оценки основных физико-химических и защитных свойств гача различных марок в сравнении с петролатумом представлены в табл. 1.

**Таблица 1. Физико-химические и защитные свойства гача и петролатума**

Показатель	Гач, марка				Петролатум
	1	2	3	4	
Массовая доля масла, %	4,3	7,6	11,4	17,8	8,6
Температура каплепадения, °С	65	65	64	49	65
Температура сползания, °С	50	48	48	44	50
Температура вспышки в открытом тигле, °С	245	240	240	220	250
Массовая доля механических примесей, %	0,08	0,06	0,06	0,10	0,03
Массовая доля воды, %	С л е д ы				Отс.
Низкотемпературные свойства при -30 °С, наличие трещин	Т р е щ и н ы п о в с е й п о в е р х н о с т и				Отс.
Защитные свойства, потеря массы стали 10, г/м <sup>2</sup>					
в сернистом ангидриде, 3 цикла	12,6	13,5	14,0	17,6	9,3
в электролите, 10 сут	3,2	3,4	3,6	5,4	2,0

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что гачи марок 1, 2 и 3 по температурам каплепадения, сползания и вспышки близки к петролатуму, и при разработке консервационной смазки они могут быть использованы в качестве базы для создания композиционного загустителя. Оценкой их защитных свойств установлено, что эти же марки равноценны между собой и по данной характеристике, и в условиях воздействия сернистого ангидрида, и электролита они уступают петролатуму в 1,3–1,8 раза. Гач марки 4 отличается от гачей других марок значительно более низкими температурами каплепадения и сползания, а также защитными свойствами, что негативно скажется на его загущающей способности и способности смазки защищать металлоизделия от коррозии.

В то же время гачи всех марок характеризуются низкой пластичностью и невысокой адгезией к металлу, что обусловлено, прежде всего, их химической структурой, представленной в основном парафиновыми углеводородами нормального строения, в отличие от петролатума, основу которого составляют парафиновые углеводороды изомерного строения. В связи с изложенным прямая замена петролатума на гач не позволит получить смазку с требуемым уровнем перечисленных свойств. Улучшить эти параметры можно путем сочетания гача с компонентами, в состав которых входят маслорастворимые ПАВ, обладающие способностью к адсорбционно-хемосорбционному взаимодействию с металлом.

Ценным источником естественных маслорастворимых ПАВ, к которым могут быть отнесены кислород-, серо- и азотсодержащие соединения, а также полициклические ароматические соединения, смолисто-асфальтовые и другие вещества, являются продукты переработки нефти, представляющие собой сложные смеси углеводородных и гетероорганических соединений [20]. Количество гетероорганических соединений значительно возрастает с увеличением температуры кипения и молекулярной массы продуктов переработки нефти. Основная масса их сосредотачивается в остаточных продуктах переработки.

При высоких температурах в результате различной глубины деструкции в окислительной или восстановительной среде происходит формирование химических соединений нового строения. При этом в нефтяных фракциях часть гетероорганических соединений имеет вторичное происхождение. Строение углеводородных радикалов данных соединений обычно бывает близким к строению радикалов углеводородов, в смеси с которыми они обнаруживаются [19].

На ОАО «Нафттан» действуют установки по термической деструкции нефтяного сырья – вакуумных дистиллятов, мазутов и гудронов: установки термического крекинга, висбрекинга и мягкого гидрокрекинга. Технологические процессы термической переработки нефтяного сырья сопровождаются образованием тяжелых остатков, которые используются как котельное топливо [14, 2]. Однако в [18] показано, что химическая структура и комплекс физико-химических, коррозионных, высокотемпературных и защитных свойств этих остатков позволяет рассматривать их в качестве базовых и функциональных компонентов консервационных и смазочных материалов.

С целью обоснования выбора модификатора гача были изучены групповой состав, физико-химические и функциональные свойства остатков различных процессов крекинга ОД-1, ОД-2, ОД-4 и товарного продукта ОД-3, получаемого компаундингом данных остатков.

Остатки крекинга содержат 81–95 % углеводородов, в том числе 28–37 парафино-нафтеновых и 53–61 ароматических, 3,5–10,5 % смол и 0,8–8,5 % асфальтенов, при этом если углеводородный состав остатков процессов крекинга отличается незначительно, то содержание смол и асфальтенов в зависимости от технологического процесса различается на порядок.

Выполненными исследованиями установлено, что остатки крекинга характеризуются высокой термоокислительной стабильностью, не являются коррозионно-активными по отношению к стали и меди, а по защитной эффективности ОД-1, ОД-2 и ОД-3 равнозначны товарному консервационному маслу К-17 (рис. 1).

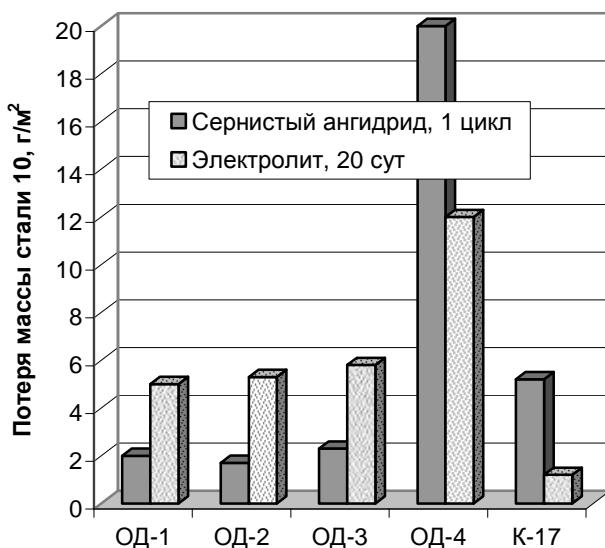


Рис. 1. Защитные свойства остатков крекинга

Проведенный анализ показал, что по комплексу эксплуатационных характеристик, в том числе и органолептических, из остатков крекинга для использования в качестве компонентов композиционного загустителя наиболее приемлемыми являются ОД-1 или его заменитель ОД-3.

С целью установления оптимального соотношения компонентов в композиционном загустителе для консервационной смазки были иссле-

дованы изопроцентные композиции гача марки 2 и остатка ОД-1.

Оценкой поведения композиций гача и ОД-1 при отрицательных температурах установлено (табл. 2), что введение более 20 % ОД-1 существенно улучшает морозостойкость композиций (трещины на поверхности слоя смазки полностью отсутствуют), что делает их по этому показателю равноценными петролатуму.

Таблица 2. Морозостойкость композиций гача и остатка ОД-1

Содержание компонентов в композиции, %		Толщина пленки, мкм	Низкотемпературные свойства при -30 °C, наличие трещин на пленке
Гач	ОД-1		
100	0	37,4	Трещины по всей поверхности
80	20	39,8	Три трещины
60	40	41,7	Отсутствуют
40	60	47,2	»
20	80	58,6	»
0	100	77,8	»

Результаты оценки загущающей способности композиционных загустителей показали (рис. 2), что введение до 40 % ОД-1 не оказывает существенного отрицательного влияния на температуру каплепадения загустителя и несколько повышает его температуру сползания.

Изучением защитных свойств композиций гача и ОД-1 установлено, что эффективность всех исследованных композиций в условиях сернистого ангидрида и электролита выше, чем у исходных компонентов (рис. 3). Это связано, по-видимому, с образованием в результате межмолекулярного взаимодействия компонентов акти-

вированных комплексов, обладающих повышенной способностью к адсорбционно-хемосорбционному взаимодействию с металлом. Максимальный уровень защитной эффективности наблюдается при содержании 40 % ОД-1 в композиции, при этом уровень защитных свойств в электролите повышается в 2 раза, в сернистом ангидриде – в 3 раза.

Для установления механизма синергетического усиления защитных свойств композиций гач и ОД-1 было проведено их исследование методом ЭПР-спектроскопии (табл. 3).

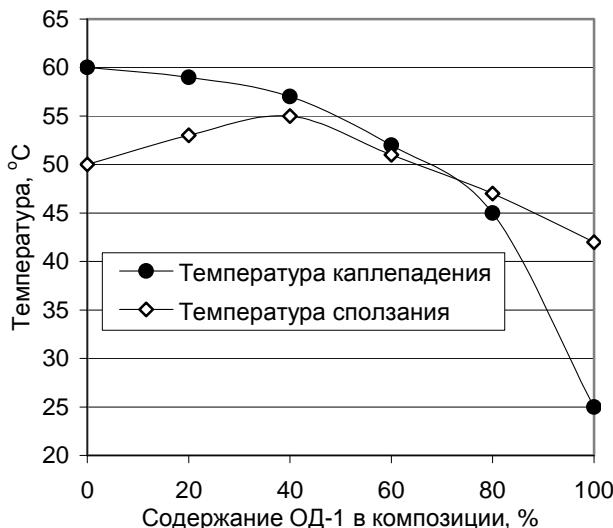


Рис. 2. Загущающая способность композиций гача и остатка ОД-1

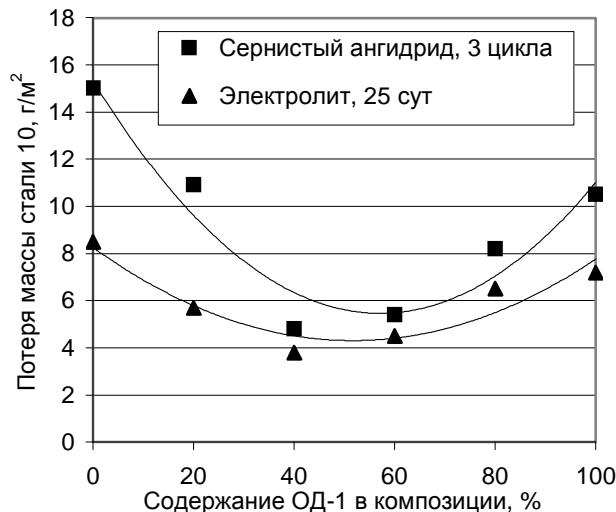


Рис. 3. Защитные свойства композиций гача и остатка ОД-1

Таблица 3. Параметры спектров ЭПР композиций гача и остатка ОД-1

Соотношение гач:ОД-1, %	$\Delta H_{0,1\text{мВт}}$ , Гс	$\Delta H_{50\text{мВт}}$ , Гс	$g_{0,1\text{мВт}}$	$g_{50\text{мВт}}$	$I, 10^{17}$ сп/г	$A/A_0^*$	VO <sup>2+</sup>			
							$\Delta H_{0,1\text{мВт}}$ , Гс	$\Delta H_{50\text{мВт}}$ , Гс	$I, 10^{17}$ сп/г	$A/A_0$
С и г н а л   о т с у т с т в у е т										
100:0										
80:20	6,5	6,7	2,0029	2,0032	4,8	4,44	10,3	11,5	0,62	9,6
60:40	6,5	7,2	2,0031	2,0033	9,7	4,23	10,3	11,5	1,4	12,57
40:60	6,6	6,5	2,0031	2,0033	25,0	5,55	10,4	11,7	4,1	11,74
20:80	6,7	6,7	2,0030	2,0030	23,1	5,11	11,7	11,7	5,1	17,24
0:100	6,2	6,3	2,0029	2,0030	20,6	4,46	10,9	12,3	5,3	14,91

\*  $A/A_0$  – отношение амплитуд сигналов, снятых при 50 и 0,1 мВт.

В образце гач сигнал ЭПР не регистрируется, что свидетельствует о практическом отсутствии ароматических структур. В образце ОД-1 регистрируется довольно сильный сигнал органических парамагнитных центров (ПМЦ), параметры которого свидетельствуют, что он обусловлен в основном углеводородными ароматическими системами полисопряжения. Помимо синглетного сигнала органических ПМЦ, в ОД-1 регистрируется также слабонасыщающийся СВЧ-мощностью (высокое значение параметра  $A/A_0$ ) 8-компонентный спектр ионов ванадила  $VO^{2+}$ , обусловленный сверхтонким взаимодействием неспаренного электрона с магнитным моментом ядра  $V^{51}$ . Аномально высокая интенсивность компонента сверхтонкой структуры  $m = 1/2$ , расположенного в меньших полях по сравнению с сигналом органических ПМЦ, свидетельствует, что он обусловлен ванадилпорфириновыми структурами, характерными для тяжелой нефти [1]. Поскольку часть их «связана» с ароматическими слоями органического вещества нефти, то было проанализировано и поведение спектра ЭПР ванадила.

Введение в ОД-1 20–40 % гача приводит к повышению концентрации органических ПМЦ, что свидетельствует о молекулярном ужесточе-

нии полисопряженных систем. При этом наблюдается и некоторое повышение регистрируемой интенсивности спектра ионов ванадила (в пересчете на ОД-1), что может быть объяснено изменением релаксационных характеристик их неспаренного электрона вследствие трансформации эффективных размеров ванадилпорфириновых комплексов [15].

Таким образом, данные ЭПР свидетельствуют, что при добавлении гача имеет место его эффективное межмолекулярное взаимодействие с соединениями ОД-1, приводящее к увеличению размеров надмолекулярных ассоциатов последнего и их ужесточению.

При дальнейшем повышении содержания гача происходит существенное падение интенсивности спектров ЭПР. Причем если концентрация органических ПМЦ в пересчете на ОД-1 практически сопоставима с мазутом, то регистрируемая интенсивность спектра ванадила ниже. Непрерывное возрастание отношения амплитуд сигналов органических ПМЦ и ионов ванадила может свидетельствовать о разрушении связи между ванадилпорфириновыми комплексами и ароматическими структурами.

Повышение защитной эффективности композиций гача и ОД-1 может быть объяснено уве-

личение степени полисопряжения ароматических структур [8, 9]. Скачкообразное ослабление сигнала органических ПМЦ при переходе от точки с содержанием 40 % гач к 60 % указывает на образование лабильных систем, обладающих повышенной эффективностью адсорбционно-хемосорбционного взаимодействия с поверхностью металла [8], что подтверждается наибольшим синергизмом защитных свойств в данном диапазоне содержания гач (см. рис. 3) и повышением температуры сползания (см. рис. 2). При этом впервые установлено, что подобное поведение может иметь место и для спектров ванадилпорфириновых соединений. Поскольку последние в значительной мере связаны с ароматическими структурами, то могут влиять на функциональные свойства композиций на основе продуктов нефтехимии.

Таким образом, выполненными исследованиями установлено, что повысить пластичность, адгезию и защитную эффективность гача можно путем его сочетания с ОД-1. Однако эта композиция не позволяет получить загуститель с требуемым уровнем температур сползания и каплепадения, в связи с чем потребовалось ввести в

его состав специальную добавку – тугоплавкий компонент.

Тугоплавкие компоненты представляют собой полимерные вещества, обладающие, как правило, низкой защитной эффективностью, но положительно влияющие на адгезионно-когезионные взаимодействия в пленках и повышающие температуру каплепадения смазок [3, 10]. В качестве таких компонентов используют полимеры, воски, восковые композиции.

На основании результатов технико-экономического анализа и с учетом имеющегося опыта создания консервационных углеводородных смазок в качестве тугоплавких компонентов были выбраны низкомолекулярные полиэтилены НП-1, НП-2 и полиэтиленовые воски ВП-1, ВП-2 отечественного производства.

В результате изучения влияния концентрации тугоплавких компонентов на температуру каплепадения загустителя установлено, что наиболее эффективно улучшают эту характеристику загустителя полиэтиленовые воски. Так ВП-2 в концентрации 1 % повышает температуру каплепадения на 15 °С. Влияние низкомолекулярных полиэтиленов на температуру каплепадения загустителя не столь заметно (рис. 4).

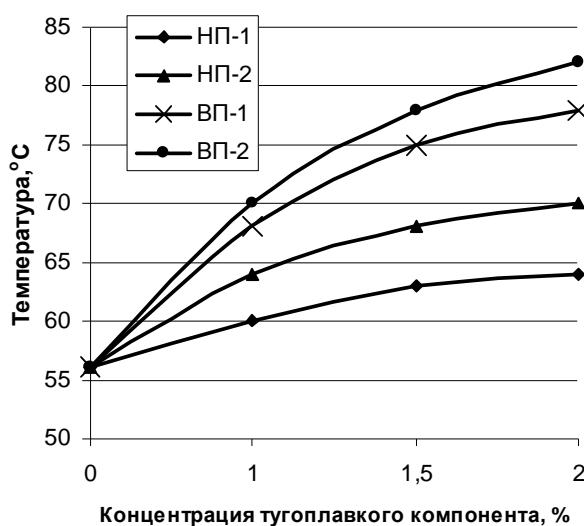


Рис. 4. Влияние концентрации тугоплавкого компонента на температуру каплепадения загустителя

Оценкой зависимости температуры сползания композиционного загустителя от содержания тугоплавких компонентов показано, что только полиэтиленовые воски оказывают влияние на данную характеристику (рис. 5), при этом лучшим также является ВП-2, использование которого в концентрации 2 % позволяет повысить температуру сползания загустителя на 7 °С.

Выполненные исследования позволили оптимизировать состав композиционного загустителя для консервационных углеводородных сма-

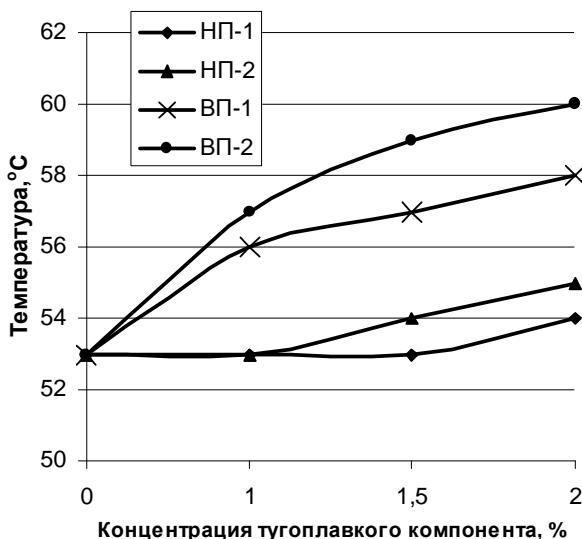


Рис. 5. Влияние концентрации тугоплавкого компонента на температуру сползания загустителя

зок. С целью установления уровня эксплуатационных свойств разработанного загустителя был изготовлен его лабораторный образец и проведена оценка свойств загустителя в сравнении с петролатумом (табл. 4). Анализ полученных результатов показал, что композиционный загуститель по основным физико-химическим свойствам находится на уровне аналога – нефтяного петролатума, а по температурам каплепадения, сползания и защитным свойствам превосходит его.

**Таблица 4. Результаты сравнительных испытаний композиционного загустителя**

Показатель	Композиционный загуститель	Петролатум
Внешний вид	Однородный твердый продукт темно-коричневого цвета	Однородный твердый продукт светло-коричневого цвета
Температура каплепадения, °C,	78	65
Температура сползания, °C	59	52
Коррозионное воздействие на сталь	Выдерживает	Выдерживает
Массовая доля механических примесей, %	0,025	0,030
Массовая доля воды, %	Отсутствует	Отсутствует
Время защиты стали 10 от коррозии, циклы		
камера влажности	35	17
сернистый ангидрид	3	0,8
электролит	12	5
Низкотемпературные свойства при -30 °C	Выдерживает	Выдерживает

Таким образом, в результате выполненных исследований на основе доступного отечественного сырья разработан композиционный загуститель для консервационных углеводородных смазок, который по эксплуатационным пара-

метрам находится на уровне петролатума, а по ряду характеристик и превосходит его. Кроме того, использование побочных и остаточных продуктов масляного производства позволило снизить стоимость загустителя на 10–15 %.

### Литература

1. Алексеев Б. Ф., Белоногов А. М., Богачев Ю. В. и др. Магнитный резонанс при изучении природных образований. Л., 1987.
2. Афанасьева И. В. Опыт проектирования установок гидрокрекинга // Химия и технология топлив и масел. 2004. № 2. С. 32–35.
3. Богданова Т. И., Шехтер Ю. Н. Ингибиционные нефтяные составы для защиты от коррозии. М., 1984.
4. Великовский Д. С., Поддубный В. Н., Вайншток В. В., Готовкин Б. Д. Консистентные смазки. М., 1966.
5. Ищук Ю. Л. Состав, структура и свойства пластичных смазок. Киев, 1996.
6. Ищук Ю. Л. Технология пластичных смазок. Киев, 1986
7. Кламман Д. Смазки и родственные продукты. Синтез, свойства, применение, международные стандарты.: Пер. с англ. / Под ред. Ю. С. Заславского. М., 1988.
8. Лиштван И. И., Майко Л. П., Стригунский В. П., Царюк Т. Я. Физико-химические основы синергизма защитных свойств композиций маслорастворимых поверхностно-активных веществ / Доклады АН Беларуси. 2008. Т. 52, № 6. С. 59–62.
9. Лиштван И. И., Царюк Т. Я., Майко Л. П. и др. О взаимосвязи между физико-химическими параметрами и эффективностью маслорастворимых ингибиторов коррозии // Изв. НАН Б, сер.хим.наук. 2000, № 1. С. 30–37.
10. Самгин В. В., Фукс И. Г., Бакалейников М. Б. Влияние способа введения полимерных добавок на их эффективность в пластичных смазках // В кн. Пластичные смазки. М., 1975.
11. Синицин В. В. Пластичные смазки за рубежом: Справ. М., 1983..
12. Синицин В. В. Пластичные смазки и оценка их качества (зарубежные стандарты и специификации). М., 1975.
13. Синицин В. В. Подбор и применение пластичных смазок. М., 1969.
14. Сотникова Т. А., Соснова Н. А. Опыт проектирования установок висбреекинга // Химия и технология топлив и масел. 2004. № 2. С. 38–39.
15. Стригунский Л. В. Влияние магнитных центров с короткими временами релаксации на спектры ЭПР углеродных материалов: Дис. ... канд. техн. наук: 01.04.10. Минск, 1999.
16. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости: Справ. / Под ред. В. М. Школьникова. М., 1999.
17. Химмотология пластичных смазок: Учеб. пособие / Под ред. И. Г. Фукса. М., 1994.
18. Царюк Т. Я., Фалюшина И. П., Дребенкова И. В. и др. Использование промежуточных и остаточных продуктов масляного производства в качестве компонентов консервационных материалов // Природопользование. 2008. Вып. 14. С. 208–214.
19. Чертков Я. Б. Неуглеводородные соединения в нефтепродуктах. М., 1964.
20. Шехтер Ю. Н., Крейн С. Э., Тетерина Л. Н. Маслорастворимые поверхностно-активные вещества. М. 1978.

Т. Я. Царюк, И. П. Фалюшина, Л. Д. Шапорева,  
В. П. Стригуцкий, И. В. Дребенкова

**КОМПОЗИЦИОННЫЙ ЗАГУСТИТЕЛЬ ДЛЯ  
КОНСЕРВАЦИОННЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СМАЗОК**

По результатам изучения химической структуры, физико-химических и защитных свойств побочных и остаточных продуктов масляного производства ОАО «Нафтан» обоснован выбор гача и остатка крекинга Од-1 в качестве компонентов композиционного загустителя для консервационных смазок. Исследованием загущающей способности, морозостойкости и защитных свойств композиций этих компонентов установлено их оптимальное соотношение. Методом ЭПР-спектроскопии показано, что зафиксированный эффект синергетического усиления защитных свойств композиций обусловлен эффективным межмолекулярным взаимодействием гача с соединениями Од-1, приводящим к увеличению размеров надмолекулярных ассоциатов последнего и их ужесточению. При соотношении компонентов со скачкообразным изменением спектральных параметров наблюдается и наибольший синергизм защитных свойств, а также повышение загущающей способности. Экспериментально обоснованы тип и концентрация тугоплавкого компонента.

В результате проведенных исследований на основе доступного и недорогого отечественного сырья разработан загуститель консервационных углеводородных смазок, находящийся на уровне петролатума, а по ряду характеристик и превосходящий его.

T. Ya. Tsaruk, I. P. Falushina, L. D. Shaporeva,  
V. P. Strigutsky, I. V. Drebenkova

**COMPOSITE THICKENER FOR  
RUST-PREVENTIVE HYDROCARBON LUBRICANTS**

Results of studying of chemical structure, physical and chemical and protective properties of by-products and residual products of oil industry of the Open Society «Naftan» provided the basis to choose slack wax and cracking rest OD-1 as components of a composite thickener for rust-preventive lubricants. Research of thickening ability, frost resistance and protective properties of compositions of these components proved their optimal ratio. The EPR-spectroscopy method has shown, that the fixed effect of synergetic strengthening of protective properties of compositions is caused by effective intermolecular slack wax interaction with OD-1 compounds, resulting in sizes increase of above-molecular associates of the last and their toughening. At the components ratio along with spasmodic change of spectral parameters the greatest synergism of protective properties is also observed, as well as an increase of thickening ability. The type and concentration of a refractory component were experimentally proved.

Due to researches done on the basis of accessible and inexpensive domestic raw materials the thickener of rust-preventive hydrocarbon lubricants has been developed to be compared to petrolatum, or can out-perform it by number of indices.

**П. Л. Фалюшин**

## О МЕХАНИЗМЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОЧАГА ГОРЕНИЯ В ТОРФЕ

*Показано, что распространение очага горения в осущеной торфяной залежи, в складочной единице фрезерного торфа обусловлено экзотермическим эффектом в зоне пиролиза, равном около 1048 кДж/кг, и каталитическим влиянием на процесс горения минеральных соединений.*

Тушение пожаров на болотах, торфяных месторождениях, на полях добычи фрезерного торфа, в складочных единицах представляет определенные трудности вследствие специфических свойств торфа и условий горения, особенно в случае заглубления очагов в скоплении на значительную глубину.

Лесные и торфяные пожары летом 2010 г. в очередной раз показали, что их не только сложно тушить, но при этом выделяются летучие экологически опасные соединения, которые загрязняют атмосферу и переносятся ветром на большие расстояния. Это летучие продукты неполного горения и пиролиза торфа, растительной биомассы – туманообразная смола, фенолы, органические кислоты, газы ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ), полихроматические ароматические углеводороды (ПАУ), твердые микрочастицы. При моделировании пожаров на торфяной залежи было показано, что выбросы ПАУ зависят от режимов горения, преобладают фенантрен, антрацен, флуорен, аценафтилен, флуорантен [2].

Как известно, торфяные пожары могут быть как результатом человеческой деятельности, так и следствием самовозгорания торфа, которые возникают при добыче и хранении фрезерного торфа в крупных складочных единицах, сопровождаются выгоранием торфа и продвижением очагов горения в глубину скопления или в горизонтальном направлении.

Горение торфа после заглубления очага при высокой влажности залежи и недостатке воздуха происходит в режиме тления при более низкой температуре по сравнению с обычным горением. Глубина выгорания (прогара) достигает 0,5 иногда 2 м, зависит от условий горения, состава и свойств торфа, однако причины этого явления слабо изучены.

Исследования в области автоокисления и саморазогревания фрезерного торфа при хранении в штабелях проводились в течение многих лет. Изучено изменение его химического состава и свойств, установлен механизм образования пирофорных веществ при саморазогревании, разработаны технологии складирования, способы торможения и хранения, прогнозирования склонности торфа к самовозгоранию [1, 4, 5, 7–9]. В то же время изучению процессов горения и

распространению очагов по глубине скопления уделялось мало внимания, что явилось целью настоящего исследования.

Горение торфа на поверхности осущеной залежи или на штабеле не всегда приводит к его распространению на большую глубину. Анализ проблемы показал, что движущей силой очага подземного горения является экзотермический эффект в зоне пиролиза, обусловленный химическим составом торфа и условиями горения.

Экзотермические процессы, протекающие самопроизвольно при термическом разложении без доступа воздуха в твердых топливах и растительной биомассе, как известно, зависят от строения кислородсодержащих соединений и содержания в их составе кислорода. Эти процессы обусловлены реакциями изомеризации соединений органического вещества, когда при нагревании происходит изменение структуры без изменения химического состава (изомеризация гетероциклов в линейные соединения), а также процессами конденсации – синтезом новых термически устойчивых соединений на основе продуктов термического распада основных компонентов исходного вещества [3, 6].

В древесине, содержащей 44,5 % кислорода, тепловой эффект максимальный и составляет 1173 кДж/кг. Этой энергии достаточно на 80 % для получения древесного угля при ее пиролизе.

В торфе при 35 %-ном содержании кислорода экзотермический эффект равен 1048 кДж/кг, с увеличением степени разложения он снижается, зависит от содержания легкогидролизуемых соединений (диаграмма Штраке). Для бурых углей тепловой эффект не превышает 419 кДж/кг, а для каменных углей отсутствует [3].

Экзотермические эффекты при пиролизе топлив фиксируются методом термического анализа в интервале температур 180–450 °С. Для торфа и торфообразователей максимум теплового эффекта обнаруживается в области 300 °С (рис. 1). Энергии, выделяемой при термическом разложении торфа, достаточно для того, чтобы испарить около 350 г воды, и она (тепловая энергия) расходуется в основном на поддержание температуры в зоне пиролиза и на сушку торфа вблизи очага горения.

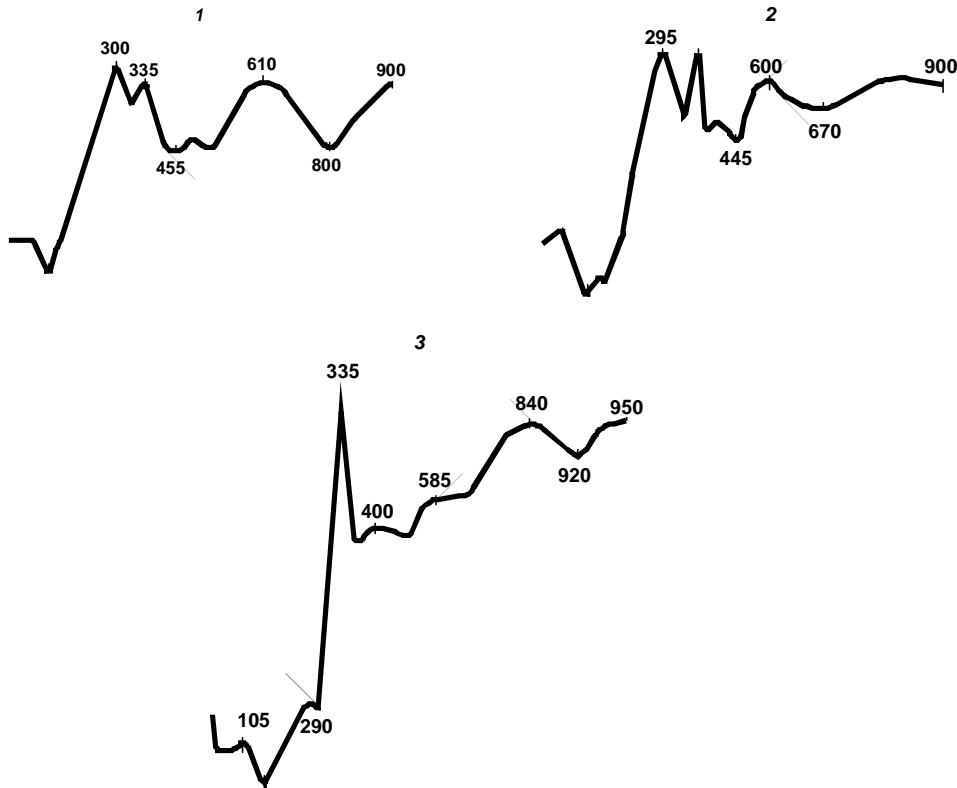


Рис. 1. Кривые дифференциального-термического анализа осокового торфа (1), осоки (2), лишайника (3)

В очаге горения при его заглублении в залежи или штабеле торфа формируются три зоны: зона окисления, где воздух взаимодействует в начальный период с торфом, а в дальнейшем – с коксом и летучими продуктами. При этом температура горения достигает 800–900 °С, а по мере заглубления очага она снижается; зона пиролиза – формируется в интервале 200–500 °С, где появляется экзотермический эффект, за счет энергии которого протекает процесс термораспада и сушки торфа в ближайшем окружении очага горения (третья зона), что в конечном итоге способствует его продвижению в глубь скопления или в горизонтальном направлении (рис. 2) в зависимости от химического состава торфа.

В зоне сушки, где происходит перенос влаги за счет градиента температур и ее концентрации вокруг очага, появляется сухая, а затем влажная прослойка, изменяется газопроницаемость торфа, что позволяет отводить летучие продукты горения через его сухую прослойку, а воздух проходит через слой золы, там подогревается и поступает в зону горения полуоксида и кокса, обладающего высокой реакционной способностью. За счет процессов термовлагопереноса в скоплении торфа формируется «реактор», где автономно осуществляется процесс горения.

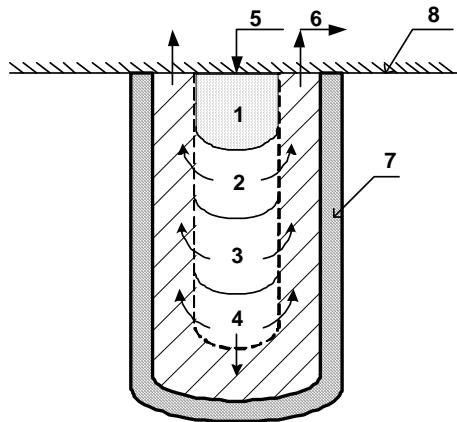
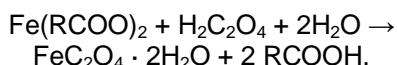


Рис. 2. Схема очага горения в скоплении торфа:  
1 – зона; 2 – зона горения; 3 – зона пиролиза;  
4 – зона сушки; 5 – поступление воздуха;  
6 – канал для отвода летучих продуктов горения;  
7 – увлажненная прослойка торфа;  
8 – поверхность торфяного месторождения

Горение торфяного кокса при его контакте с воздухом интенсифицируется металлами переменной валентности, главным образом пирофорными соединениями железа. Ранее нами было установлено образование пирофорных веществ в торфе при автоокислении и саморазогревании [7]. Как известно, пирофорные соединения железа могут быть получены восстановлением в присутствии

CO, H<sub>2</sub> или термическим разложением солей карбоновых кислот, которые образуются в торфе при окислительной деструкции легко-гидролизуемых углеводов [4]. Щавелевая кислота реагирует с органоминеральными и минеральными соединениями, в том числе с соединениями кальция и железа с образованием оксалатов:



где R – органический радикал. Эта реакция с образованием оксалата железа протекает в зоне пиролиза, там происходит окислительная деструкция органического вещества торфа. Далее, после дегидратации при температуре 200–230 °C ( $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{FeC}_2\text{O}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ) происходит разрушение кристаллической решетки оксалата железа в области 400–500 °C ( $\text{FeC}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} + \text{CO} + \text{CO}_2$ ) с образованием

пирофорного вьюстита, окисляющегося при взаимодействии с воздухом с выделением энергии ( $2\text{FeO} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Q}$ ), что приводит к повышению реакционной способности кокса по отношению к кислороду воздуха.

Таким образом, продвижению очага горения с поверхности торфяной залежи или штабеля фрезерного торфа в глубину или по горизонтам при подземных пожарах способствуют экзотермические процессы, протекающие в зоне пиролиза с выделением энергии в количестве около 1048 кДж/кг, а в зоне горения процессы интенсифицируются катализитическим влиянием минеральных соединений, прежде всего соединениями железа в пириорном состоянии.

Тушение подземного торфяного пожара производится согласно инструкции [10] двумя способами: затоплением водой или введением через специальный ствол после его заглубления водного раствора смачивателя.

### Л и т е р а т у р а

1. Гаврильчик А. П. Превращения торфа при добыче и переработке. Минск, 1992.
2. Какарека С. В., Кухарчик Т. И., Хомич В. С. Стойкие органические загрязнители. Источники и оценка выбросов / Под ред. академика В. Ф. Логинова. Минск, 2003. С. 105–110.
3. Козлов В. Н., Нимвицкий А. А. Технология пирогенетической переработки древесины. М.–Л., 1954.
4. Маль С. С. Углеводы и азотсодержащие вещества торфа. Минск, 1982.
5. Превращения торфа и его компонентов в процессе саморазогревания // Под ред. Н. С. Панкратова. Минск, 1972.
6. Раковский В. Е., Филимонов В. А. Природа тепловых эффектов термического разложения торфа // Химия и генезис торфа и сапропелей / Под ред. П. И. Бельковича. Минск, 1962. С. 132–140.
7. Фалюшин П. Л. Ионообмен в торфе при саморазогревании // ХТТ, 1976, №3.
8. Фалюшин П. Л., Лиштван И. И., Кашинская Т. Я. К вопросу образования пириорных веществ при саморазогревании торфа // Известия Академии наук БССР. Сер. хим. наук, 1978, № 4. С. 103–107.
9. Фалюшин П. Л. Самовозгорание торфа при хранении: Дис. ... д-ра техн. наук. Минск, 1992.
10. Методические рекомендации по тушению торфяных пожаров. Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций. Минск, 2005.

**Институт природопользования НАН Беларуси**

**П. Л. Фалюшин**

### О МЕХАНИЗМЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОЧАГА ГОРЕНИЯ В ТОРФЕ

Показано, что распространение очага горения в осущененной торфяной залежи, в складочной единице фрезерного торфа обусловлено экзотермическим эффектом в зоне пиролиза, равном около 1048 кДж/кг и каталитическим влиянием на процесс горения минеральных соединений. За счет процессов термовлагопереноса в скоплении торфа формируется «реактор», где автономно осуществляется процесс горения. Предложено схематическое изображение очага горения.

**P. L. Falushin**

### ON THE MECHANISM OF BURNING CENTRE DISTRIBUTION IN PEAT

*It has been shown that distribution off burning place in the drained peat deposit in a storage unit of milled peat is caused by exothermal effect in the pyrolysis zone, equal to about 1048 kDj/kg and catalytic effect on the process of burning of mineral compounds. Due to the processes of thermal-moisture transfer in a peat congestion a «reactor» is formed wherein the burning process is running independently. The schematic image of burning place is offered.*

**В. Ф. Логинов, Г. А. Камышенко**

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ОРИЕНТИРОВАННЫХ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ «ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ», 2006–2010 гг.

Представлены основные научные результаты, полученные в рамках государственной программы ориентированных фундаментальных исследований «Геоэкологические основы природопользования и технологии биосферносоставимого освоения возобновляемых природных ресурсов» (ГПОФИ «Природопользование») в 2006–2010 гг., отражена практическая реализация важнейших разработок. Сформулированы направления по дальнейшему практическому использованию результатов исследований.

### Введение

2010 г. явился завершающим годом выполнения ГПОФИ «Природопользование». Правовой базой формирования программы послужили постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28.11.2005 г. № 1339 «Об утверждении перечня государственных программ фундаментальных и прикладных научных исследований в области естественных, технических, гуманитарных и социальных наук на 2006–2010 годы» и постановление Президиума НАН Беларуси от 24.02.2006 № 20. Государственные заказчики программы – Национальная академия наук Беларусь и Министерство образования Республики Беларусь. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 1117 от 31 августа 2006 г. ГПОФИ «Природопользование» была включена в Государственную комплексную целевую научно-техническую программу «Природопользование», государственный заказчик-координатор которой – Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Цель ГПОФИ «Природопользование» – разработка теории и методов биосферносоставимого использования, охраны и воспроизводства природных ресурсов (торф, сапропели, бурый уголь, растительное сырье); разработка технологических основ и нормативов их потребления; оценка экологической составляющей устойчивого развития Республики Беларусь.

В ходе выполнения программы решались следующие задачи:

- разработка методологии прогнозирования изменений природных комплексов, биосферносоставимого природопользования и охраны окружающей среды;
- разработка технологических основ производства новых материалов и препаратов с применением торфа, сапропеля, бурого угля, растительного сырья для использования в сельском хозяйстве, топливной энергетике и охране окружающей среды;
- разработка методологии и оборудования для мониторинга загрязнения природной среды

за счет местных источников и трансграничного переноса загрязнителей.

В соответствии с целью и решаемыми задачами программа структурно состояла из 3 взаимосвязанных блоков: ландшафтно-экологического, экотехнологического блоков и блока методов мониторинга.

Задания «ландшафтно-экологического блока» были направлены на разработку методологии прогнозирования изменений природных комплексов, биосферно-составимого природопользования и охраны окружающей среды.

В рамках «экотехнологического блока» разрабатывались новые технологические методы производства материалов и препаратов на основе торфа, сапропеля, бурого угля, растительного сырья для использования в сельском хозяйстве, топливной энергетике и охране окружающей среды.

Задания блока методов мониторинга были ориентированы на разработку методологии и оборудования для мониторинга загрязнения природной среды за счет местных источников и трансграничного переноса загрязнителей.

С начала выполнения ГПОФИ «Природопользование» количество заданий менялось: в 2006 г. – 24; 2007–2008 гг. – 22; 2009–2010 гг. – 19 заданий. Из 19 заданий 15 выполнялись учреждениями НАН Беларусь, 4 – Белгосуниверситетом Министерства образования Республики Беларусь. Среди учреждений НАН Беларусь 9 заданий выполнялись Институтом природопользования НАН Беларусь, из них одно совместно с Институтом экспериментальной ботаники НАН Беларусь, одно – с Институтом математики НАН Беларусь. Институтом физики им. Б.И. Степанова выполнялись три задания, по одному заданию выполняли Центральный ботанический сад, Научно-практический центр по биоресурсам и Полесский аграрно-экологический институт.

Цель представленного исследования – подведение итогов выполнения заданий ГПОФИ «Природопользование» в 2006–2010 гг., определение перспектив развития полученных результатов.

### **Итоговый анализ выполнения программы**

За весь период выполнения программы (2006–2010 гг.) выявлены и исследованы 52 новых явления и закономерности функционирования и взаимодействия природных и техногенных элементов экосистем, разработаны 52 новых метода и методик исследований. Создано 166 объектов новой техники, в том числе: машины, оборудование, приборы – 14 (малогабаритный измеритель концентрации приземного озона, макет ВКР-лазера, многоволновый Рамановский лидар, устройство по оценке степени поражения коррозией металла, лабораторная установка для термохимической переработки твердых горючих материалов методом пиролиза и др.); материалы, вещества, инструменты – 35 (торфяное модифицированное волокно, крошка, паста гуминовая, препарат «Геомат торфяной», жидкие гуминовые удобрения, составы грунтов растительных и др.); технологические процессы – 21 (технологии производства грунтов растительных и смесей органоминеральных; кускового композиционного топлива; торфяных горшочков; жидких гуминовых удобрений с микроэлементами «ЭлеГум»; новой биологически активной кормовой добавки «Гуметан»; способы получения синтез-газа, кормовых добавок, определения поглощающей массы диоксида азота и др.); системы, комплексы, АСУ, АБД, САПР – 34 (АСУ «Управление срочными метеоданными», программный пакет для проведения многоволнового лидарного зондирования атмосферы, специализированный интерактивный программный комплекс «Система, обеспечивающая работу с базой знаний, содержащей варианты расчетов по математическим моделям лесных пожаров», СУБД и ГИС насаждений городов Беларусь, базы данных: «Выработанные торфяные месторождения Полесья», «Антropогенная трансформация ландшафтов», база данных по ресурсам сапропеля разведанных месторождений, электронная база гидроклиматических характеристик за период инструментальных наблюдений по территории Белорусского Полесья и др.); сорта растений, препараты – 4 (кормовая добавка для животноводства, гидролизат ростков солода, кормовая добавка на основе сапропеля, биологически активный гуминовый препарат для производства торфяных горшочков); прочие объекты – 58 (2 технических кодекса установившейся практики; 2 государственных стандарта; 9 методических документов; карты, в том числе комплект экологических карт г. Минска, интегрированная цифровая карта лесной растительности Беларусь, геохимическая карта выработанных торфяных месторождений Брестского Полесья и др.). Постоянно велись поиски возможностей и способов эффективного использования разработок в народном хозяйстве страны.

Исполнителями заданий программы опубликовано 110 книжных изданий, в том числе 30

монографий (из них 2 в странах СНГ), 28 учебников и учебных пособий, 1 справочник, 35 брошюр и 16 сборников научных трудов; 996 статей, из них 105 в изданиях дальнего зарубежья (42 – в периодических изданиях, 63 – в материалах конференций и сборниках трудов). Подготовлено 111 заключений на обращения республиканских органов государственного управления, 15 научно-аналитических докладов и обзоров.

Научная новизна результатов исследований подтверждена 20 патентами на изобретение, из них 19 патентов Республики Беларусь, 1 – Евразийский; в 2010 г. подано 6 заявок на изобретения.

По материалам научных исследований в 2006–2010 гг. защищено 7 докторских, 21 кандидатская и 10 магистерских диссертаций.

К важнейшим результатам научных исследований можно отнести следующие разработки.

#### **Ландшафтно-экологический блок**

Разработаны теоретические и методологические основы научного обеспечения решения ряда экологических проблем, в том числе обусловленных экстремальными климатическими явлениями, выбросами стойких органических загрязнителей, воздействием потребления природных ресурсов на качество окружающей среды [5, 11, 16, 26].

Выполнено обобщение по проблемам изменений глобального и регионального климата (на примере Беларуси, Украины и России) с детальным анализом внешних и внутренних факторов климатических изменений [19, 20, 22]. Предложены стратегия и меры, необходимые на международном и национальном уровнях, по уменьшению антропогенного воздействия на климат. Полученные результаты использованы при разработке Государственной климатической программы и концепции Национальной безопасности Республики Беларусь, перспективны для использования при планировании деятельности в отраслях, уязвимых к изменяющемуся климату.

Выявлено квазиполугодовое колебание температуры воздуха, модулируемое адвекцией тепла течениями системы Гольфстрим, что свидетельствует о связи современного потепления климата не только с ростом парниковых газов в атмосфере, но и с взаимодействием океана и атмосферы [21].

Построена модель урожайности, обобщающая обширную статистическую информацию о территориально-временных особенностях изменчивости продуктивности комплекса основных сельскохозяйственных культур, возделываемых в Беларуси [24]. Исследована проблема оптимизации структуры посевных площадей в условиях изменяющегося климата, разработаны предложения по оптимальному размещению посевов сельскохозяйственных культур.

Подготовлен прогноз динамики природного растительного покрова в результате изменения климатических условий и антропогенных воздействий; разработан комплекс предложений по минимизации негативных последствий и извлечению выгод из изменений в природном растительном покрове, обусловленных динамикой климатических условий [7].

Разработаны научно обоснованные подходы и территориально-организационные решения с использованием ГИС-технологий оптимального пространственного размещения и использования сельскохозяйственных земель с учетом региональных и локальных ландшафтных различий и неоднородности почвенно-геоморфологических условий, обеспечивающих эффективное использование и охрану агроландшафтов [4]. Создана и апробирована структурно-логическая модель оптимизации территориальной структуры аграрного землепользования на ландшафтной основе на региональном (Белорусское Полесье), субрегиональном (группа административных районов), локальном (отдельные сельскохозяйственно-промышленные комплексы) уровнях организации природной среды. Предложен и апробирован метод автоматизированного установления экологических ограничений землепользования в агроландшафтах с применением ГИС-технологий. Полученные результаты использованы для научного обоснования и составления Региональной системы рационального использования и охраны земельных ресурсов исследованной территории площадью свыше 850,0 тыс. га, схем землеустройства Пинского и Браславского административных районов, проектов внутрихозяйственно-го землеустройства КСУП «Видзовский» Браславского района и СПК «Лопатино» Пинского района. Разработаны и утверждены НТС Минсельхозпра-да «Методические указания по дифференцированному использованию и охране агроландшафтов Полесья с органогенными почвами».

Разработана концепция и методика комплексной оценки антропогенной трансформации ландшафтов [27, 28]. Для проблемных регионов Беларуси (Поозерская и Полесская провинции) выявлены закономерности и факторы трансформации ландшафтов под влиянием хозяйственной деятельности человека, создана ГИС «Комплексная оценка антропогенной трансформации ландшафтов проблемных регионов Беларуси» и построена серия карт, отражающих типы, виды и степень антропогенной трансформации ланд-шафтов. Результаты исследований позволили разработать рекомендации по экологически-сбалансированному природопользованию в проблемных регионах страны, которые перспективны для использования землеустроительными службами.

Разработаны правила эксплуатации водоемов с различным природно-ресурсным потен-

циалом с целью поддержания естественного ландшафта и охраны природы, рационального использования водных, биологических, минеральных, рекреационных и других ресурсов водоемов, обеспечения в них качества воды, соответствующего требованиям водно-санитарного законодательства; рекомендации по восстановлению или оздоровлению экологического состояния озер, утративших естественный природно-ресурсный потенциал в результате негативного антропогенного воздействия. Предложены краткий и долгосрочный прогнозы изменения основных характеристик озер в условиях многолетних изменений климата и хозяйственной деятельности человека [30].

Исследованы природные факторы окружения, генезиса и состава сапропеля на озерных и торфяных месторождениях, что позволило дифференцировать территорию республики на участки со схожими процессами озерного осадкона-копления, провести их районирование и составить карту сапропелевых месторождений Бела-руси. Разработаны инструкции по использованию сапропеля в отраслях народного хозяйства [1, 14].

Предложена методика комплексной оценки состояния городской среды, предназначенная для крупномасштабного картографирования и про-странственного анализа экологической ситуации на территории города, основанная на эколого-геохимической характеристике территориальных выделов – ландшафтно-экологических районов и подрайонов с использованием интегральных по-казателей состояния природных компонентов (ат-мосферного воздуха, подземных вод, почв и рас-тительности), ранжированных по интенсивности проявления (степени опасности) [31].

Впервые в странах СНГ выполнено обобщение по проблемам, связанным с одной из приоритетных групп загрязнителей окружающей среды – полихлорированным бифенилам (ПХБ). Установлены региональные фоновые концентрации ПХБ в почвах различных природных ланд-шафтов, выполнена оценка уровня загрязнения почв ПХБ и полициклическими ароматическими углеводородами на урбанизированных террито-риях, в зонах локальных источников воздействия; определены факторы и закономерности формиро-вания педогеохимических аномалий опасных химических веществ на региональном, местном и локальном уровнях [15].

Для административных областей Беларуси получены оценки выбросов тяжелых металлов и стойких органических загрязнителей, а также точечных источников. Установлено, что основная часть выбросов всех тяжелых металлов, кроме никеля, приходится на долю ограниченного коли-чества крупных точечных источников, суммарный вклад которых составляет, в зависимости от ме-талла, от 52 до 87 %. Получены новые сведения

об источниках воздействия, уровнях и трендах техногенных нагрузок, пространственном распределении выбросов загрязняющих веществ, а также об уровнях и опасности загрязнения природных компонентов [10]. Результаты использованы при разработке Национального плана выполнения Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях, а также при планировании природоохранной деятельности на предприятиях концерна «Белэнерго», Министерства промышленности, Минсельхозпрада.

Выполнена дифференцированная оценка основного показателя уровня структурно-функциональной организации ландшафтно-рекреационного комплекса (ЛРК) (обеспеченности населения ландшафтно-рекреационными территориями) в городах Беларуси с использованием специализированных ГИС и модуля расчета. Установлены дефициты ландшафтно-рекреационных территорий различного значения и численность населения, проживающего в условиях дефицита, оценен рекреационный потенциал ЛРК ряда городов и проведено моделирование его развития при различных сценариях освоения резервных территорий [13].

Установленные закономерности трансформации природной среды, особенности функционирования природных и природно-техногенных комплексов в городах и разработанные новые методические подходы изучения, оценки и картографирования состояния городской среды важны для понимания и прогнозирования развития природно-техногенных процессов, происходящих на урбанизированных территориях, а также развития нового научного направления – экогеохимии городских ландшафтов.

Разработаны и реализуются в натурных условиях научные обоснования экологической реабилитации нарушенных болот, что способствует снижению количества торфяных пожаров, восстановлению местообитания болотных птиц и других животных, возрождению ценных видов болотной растительности. Международное сообщество признало целесообразным распространение положительного опыта Беларуси по восстановлению нарушенных болот в России, Украине, Польше и прибалтийских государствах [12].

Получены новые научные данные об объемах поглощения и эмиссии диоксида углерода, необходимые для разработки технических нормативных документов по учету эмиссии и поглощения диоксида углерода естественными и нарушенными болотными экосистемами [23].

Получили развитие и практическое применение технологии создания и анализа компьютерных моделей прогнозирования развития природных риск-ситуаций. Созданы библиотека модулей для автоматизации вычислительных экспериментов и геовизуализации результатов, а также программный комплекс по моделированию

верховых лесных пожаров, переданный в эксплуатацию в Государственное учреждение «Республиканский центр управления и реагирования на чрезвычайные ситуации» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь.

Разработаны методические приемы оценки рисков, обусловленных опасными метеорологическими явлениями, применительно к точкам пространства и территориальным выделам, что позволило выявить пространственное распределение метеорологических рисков для населения, лесов и транспорта на территории Беларуси.

Таким образом, результаты фундаментальных геоэкологических исследований послужили основой для разработки рекомендаций по организации ландшафтно-рекреационных комплексов в городах, эколого-сбалансированному природопользованию в проблемных регионах страны, корректировке стратегии адаптации сельского хозяйства к изменяющемуся климату и др.

### **Экотехнологический блок**

Комплексные исследования по оценке состояния и использования торфяных и сапропелевых ресурсов, их химической переработке позволили выявить новые потенциальные возможности направленного преобразования органического вещества (торфа, бурого угля, сапропеля и растительного сырья), открыли широкие перспективы его использования в различных сферах производства [29]. Обоснован выбор торфа, пригодного для производства высокоеффективных гуминовых удобрений с микроэлементами. Создана научная база производства новых материалов и препаратов на основе органического сырья, ориентированных на использование в сельском хозяйстве, топливной энергетике и охране окружающей среды.

Разработан ряд составов новых жидких гуминовых удобрений с микроэлементами «Эле-Гум», технические условия, технологический регламент производства и рекомендации по их применению [25]. Четыре марки созданных удобрений внесены в Государственный Реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь для их использования в агропромышленном комплексе и личных подсобных хозяйствах. В рамках инновационного проекта на ОАО «Зеленоборское» Смолевичского района организовано производство удобрений «ЭлеГум» с микроэлементами (выпуск – 10 000 л в год). Действует лицензионный договор «ноу-хау» на технологию производства и составы жидких гуминовых удобрений с микроэлементами «Эле-Гум». Производство и использование жидких гуминовых микроудобрений обеспечивают наивысшие коэффициенты энергетической эффективности с результатами от 54 для озимой пшеницы до 188 для зерна кукурузы, обусловленные

их высокой концентрацией и минимальным расходом на единицу обрабатываемой площади.

Разработана и освоена на ОАО «Зеленоборское» Смолевичского района новая в стране технология производства торфяных горшочков с добавками биологически активного гуминового препарата (выпуск – 9,6 млн шт. в год).

Впервые выявлена высокая антиоксидантная активность отдельных химических соединений торфа, что позволяет рассматривать его в качестве потенциального сырья для получения биологически активных препаратов, необходимых в животноводстве. Разработаны способы получения и комплекс эффективных кормовых добавок иммунозащитного действия, оказывающих положительное влияние на продуктивность и резистентность организма животных, сохранность поголовья молодняка, в которых остро нуждается современное животноводство и птицеводство.

На основе торфа и дубового экстракта получена опытная партия кормовой добавки «Гуметан», препарат испытан РУП «НПЦ НАН Беларусь по животноводству» и Гродненским государственным аграрным университетом на поголовье крупного рогатого скота, установлена его высокая эффективность как иммуномодулятора, способствующего повышению резистентности животных.

На опытно-промышленной установке ОАО «Минскоблагосервис» внедрена технология производства гуматсодержащей кормовой добавки, обогащенной микроэлементами «Гумосил», предназначеннной для использования в птицеводстве в качестве гомеостатического, иммуностимулирующего, антиоксидантного и антистресового средства, повышающего естественную резистентность организма, сохранность поголовья, продуктивность и качество мяса и яиц.

Разработан способ получения нового композиционного материала на основе торфа, обладающего фунгитоксичными свойствами по отношению к плесневой микрофлоре и дереворазрушающим грибам, способного регулировать воздушно-влажностный режим в замкнутом пространстве. Наработана опытная партия композиционного материала в количестве 30 кг в соответствии с лабораторным регламентом и передана для испытания в Белорусский государственный музей народной архитектуры и быта в качестве буферного материала с целью превентивной консервации музеиных экспонатов.

Получен сложнопрофильный биозоктекс-стильный материал «Геомат», перспективный для использования в дорожном (крепление откосов) и жилищном строительстве, для улучшения комфортных условий содержания сельскохозяйственных животных и птицы и т. п.

Предложены ресурсосберегающие экологосовместимые технологии освоения торфяных

месторождений, обоснованы критерии выделения последних в соответствующие целевые фонды, выбраны оптимальные направления использования, перераспределения торфяного фонда, что способствует решению проблемы увеличения объемов добычи и использования торфяного топлива в топливно-энергетическом балансе республики.

Модернизирована калориметрическая установка, используемая при выполнении научно-изыскательских работ для определения фазового состава воды и эффективной теплоемкости в горных породах с целью проектирования проходки шахтных стволов в сложных гидрогеологических условиях с применением искусственного замораживания [2].

Выявлено влияние химических реагентов на процессы перераспределения влаги и пучения в дерново-подзолистой и торфяной почвах, что создает предпосылки для разработки способов минимизации потерь сельскохозяйственной продукции от заморозков и циклических процессов промерзания–оттаивания почв [3].

Выявлены закономерности трансформации физико-химических свойств природных каустобиолитов в процессе их структурной модификации, что позволило разработать новые материалы экспортноориентированного назначения для рекультивации земель, нарушенных хозяйственной деятельностью человека, засоленных и пустынных территорий.

Методом скоростного пиролиза торфополимерных смесей в подвижном слое получен горючий газ с теплотой сгорания, превышающей данный показатель для торфа на 30–40 % и достигающей 5000 ккал/нм<sup>3</sup> с выходом газа 50–55 % на сухое вещество, что обусловлено увеличением доли углеводородов за счет термического разложения полиэтилена. При этом решается актуальная задача утилизации полимерных отходов. Получаемый пиролизный газ по своему качеству может рассматриваться как импортозамещающий энергоноситель при использовании в смеси с природным газом либо как самостоятельный энергоноситель при сжигании в энергостанциях и двигателях внутреннего сгорания [17, 18].

#### **Блок методов мониторинга**

Разработана методология мониторинга процессов крупномасштабного переноса взвешенных в атмосфере частиц, что позволило выявить очаги формирования отрицательных озонаевых аномалий и предшествующие их формированию метеоусловия, определить типичные пути трансграничного поступления загрязняющих веществ, создать сеть мониторинга стран СНГ аэрозольного загрязнения атмосферы с использованием современных дистанционных методов.

Знание основных территорий–источников загрязнений, степени их влияния и типичных пу-

тей трансграничного поступления загрязняющих веществ способствует улучшению контроля экологической обстановки в Республике Беларусь, укрепляет экологическую безопасность государства, позволяет грамотно строить экологические взаимоотношения с соседними странами.

Впервые в республике разработан комплекс методик и процедур проведения радиометрических и лидарных измерений в атмосфере, сбора и анализа локальных и дистанционных, наземных и спутниковых данных с целью оперативного контроля трансграничного переноса взвешенного вещества в регион Беларуси. Его использование позволило оценить изменение параметров взвешенных частиц и выявить закономерности изменения соотношения концентрации мелкодисперсной и крупной фракций взвешенных частиц в загрязненных дымами воздушных массах при их переносе на большие расстояния [8, 9].

Разработаны метод и алгоритм для восстановления аэрозольной оптической толщины атмосферы Земли по многоспектральным спутниковым данным на основе прецизионных расчетов переноса радиации в атмосфере с использованием статистической оптимизации. Полученные результаты будут способствовать повышению эффективности использования спутниковой информации для решения хозяйственных и природоохранных задач в Беларуси.

Предложен принципиально новый способ калибровки спутникового сенсора высокого пространственного разрешения по тестовому участку, в котором влияние атмосферы учитывается автоматически, что позволяет существенно повысить точность калибровки. Предполагается использование разработанного способа для полетной калибровки целевой аппаратуры Белорусского космического аппарата по тестовым участкам, выбранным на территории Республики Беларусь [6].

Созданы новые образцы лидарной аппаратуры, в том числе ВКР-лазер с кольцевым резонатором в ультрафиолетовом диапазоне спектра, многофункциональный Рамановский лидар для дистанционного контроля трансграничного переноса загрязнения, соответствующий требованиям базовых станций Европейской лидарной сети *EARLINET*. Успешно выполнена международная программа интеркалибровочных испытаний нового лидара в г. Лейпциге (Германия) с участием научных групп и приборов из Германии, Италии, Голландии, Франции и Румынии. Данные разработки позволяют обеспечить технический и методический уровень измерений, соответствующий требованиям международных лидарных сетей [32, 33].

Рассчитаны вклады окружающих территорий в среднегодовые концентрации основных загрязняющих примесей в воздушном бассейне

Березинского заповедника, что будет способствовать решению задачи улучшения экологической обстановки в Республике Беларусь [9].

Анализ результатов измерения общего содержания и приземных концентраций атмосферного озона в районе антарктической станции «Молодежная» (базы «Гора Вечерняя») во время белорусских сезонных экспедиций (2006–2009 гг.) выявил суточный ход концентрации приземного озона, отличающийся от типичной зависимости, наблюдалась для средних широт, в частности для территории Беларуси.

Разработаны автоматизированные методы индикации и классификации земельного покрова на основе спутниковых данных высокого разрешения, позволяющие решать задачи мониторинга по оценке состояния (текущий контроль) посевов сельскохозяйственных культур, темпов уборки урожая, продуктивности сенокосов и пастбищ, оценке состояния деградированных земель.

Разработаны методология и математическое описание конвекционно-диффузного переноса растворимых соединений в почвах, грунтах, горных породах, позволяющие прогнозировать сценарии экстремальных состояний природных комплексов, подвергающихся загрязнению техногенными водорастворимыми соединениями (тяжелыми металлами, радионуклидами, комплексными минеральными удобрениями).

#### **Использование полученных научных разработок**

Актуальные научные разработки нашли свое развитие в ряде государственных научно-технических программ на 2006–2010 гг.: выполнено 22 задания в рамках различных государственных научно-технических программ, 18 проектов в рамках программы Союзного государства, инновационный проект по заказу Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. На базе результатов, полученных при выполнении программы, сформировано и реализовано 9 заданий в рамках Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь на 2007–2010 годы.

В развитие научно-исследовательских работ по заданиям программы организациями-исполнителями заданий в 2006–2010 гг. выполнен 21 международный проект, включая гранты физическим лицам.

Решение экологических проблем в рамках программы внесло существенный вклад в развитие системы национальной безопасности страны. Ряд научно-методических разработок, касающихся изучения и оценки состояния природных комплексов, загрязнения окружающей среды опасными химическими веществами использован с социально-экологическим эффектом органами управления, проектными учреждениями, в учебном процессе, о чем свидетельствуют 88 актов о внедрении результатов.

Экономическим эффектом обладают созданные в рамках экотехнологического блока и блока методов мониторинга передовые технологии: на предприятиях страны производится и реализуется новая и усовершенствованная высокотехнологичная продукция (регуляторы роста растений, грунты и субстраты питательные, удобрения, мелиоранты почв и др.), по контракту с *National Institute of Research and Development for Optoelectronics – INOE 2000* (Румыния) отправлена на экспорт высокотехнологичная продукция (блоки лидарной системы). Экономическая эффективность от внедрения научных результатов составила 7,4 руб. на 1 руб. бюджетных ассигнований на программу.

#### **Дальнейшая реализация полученной в рамках программы научно-технической продукции**

Развитие полученных научных результатов будет реализовано в рамках подпрограммы «Геоэкологические и экотехнологические основы комплексного использования природно-ресурсного потенциала Беларуси» («Природопользование-2»), входящей в состав государственной программы научных исследований «Природно-ресурсный потенциал» (2011–2015 гг.), утвержденной постановлением Президиума НАН Беларуси от 23.12.2010 г. № 71. Цель подпрограммы «Природопользование-2» – теоретическое обоснование и разработка геоэкологических и экотехнологических инновационно-ориентированных подходов экономически эффективного биосферносовместимого использования минерально-сырьевых, климатических, водных, биологических и земельных ресурсов, направленных на обеспечение устойчивого развития экономики Республики Беларусь.

В рамках указанной подпрограммы будут решаться следующие задачи: изучение, всесторонняя оценка и более полное вовлечение в хозяйственный оборот природно-ресурсного потенциала страны, научное обеспечение комплексной переработки сырьевых ресурсов; разработка приемов и методов ландшафтного планирования, управления устойчивым использованием территорий различного иерархического уровня и функционального назначения с учетом их природно-ресурсного потенциала; научное обеспечение предотвращения деградации природных и природно-хозяйственных систем; разработка методов восстановления нарушенных и деградиро-

ванных земель; разработка подходов, приемов и средств адаптации отраслей народного хозяйства к изменениям окружающей среды и климата; получение новых знаний в области структурообразования в органоминеральных системах на основе торфа, сапропеля, бурого угля и разработка технических решений получения композиционных материалов широкого назначения, обладающих свойствами сорбентов, удобрений, антисептиков, премиксов, являющихся основой получения вос требованной в стране и ориентированной на экспорт продукции сельскохозяйственного, топливного, природоохранного и бальнеологического назначения; разработка новых устойчивых форм жидких комплексных удобрений с микроэлементами и биологически активными веществами, снижающих энерго- и материальные затраты на получение растениеводческой продукции и обеспечивающих импортозамещение.

Кроме того, на 2011–2015 гг. по результатам выполнения программы сформированы 12 проектов заданий ГНТП «Природные ресурсы и окружающая среда», по одному заданию в ГНТП «Химические технологии и производства», «Леса Беларуси...», «Строительные конструкции...», два задания в Программу Союзного государства, два проекта в Межгосударственную целевую программу Евразийского экономического сообщества «Инновационные биотехнологии».

#### **Заключение**

Цели программы достигнуты: разработаны теоретические, методологические и технологические основы биосферносовместимого использования, охраны и воспроизводства природных ресурсов; выполнена оценка экологической составляющей устойчивого развития Республики Беларусь.

Заявленные задачи решены полностью: получены новые знания, способствующие биосферносовместимому природопользованию и охране окружающей среды, дополнительному вовлечению местных природных ресурсов в экономику страны и созданию благоприятных условий проживания населения.

Средства республиканского бюджета использованы эффективно и по целевому назначению. Все организации-исполнители успешно выполнили задания и внесли определенный вклад в достижение цели программы и решение поставленных задач.

#### **Литература**

1. Бамбалов Н. Н., Соколов Г. А., Курзо Б. В. и др. Инструкция по использованию сапропеля в сельскохозяйственном производстве. Минск, 2007.
2. Бровка А. Г., Романенко И. И. Приборы и методы исследования теплофизических характеристик и фазового состава воды горных пород при отрицательных температурах // Горная механика. 2009. № 1. С. 71–79.
3. Бровка Г. П., Дедюля И. В., Агутин К. А. Исследования механизма переноса и моделирование

- процессов криогенного пучения грунтов // VII Международный симпозиум по проблемам инженерного мерзлотоведения. Материалы междунар. конф. Чита, 2007. С. 120–124.
4. **Быль В. С., Дудко Г. В., Яцухно В. М.** и др. ТERRITORIAL'NOE PLANIROVANIE V RESPUBLIKE BELARUS'. Минск, 2007.
  5. **Волчек А. А., Шпендинк Н. Н., Рябова Л. Н.** и др. AKTUAL'NYYE PROBLEMY PРИРОDOPOL'ZOVANIA BRESTSKOY OBLASTI. Минск, 2010.
  6. **Губин В. Н., Ковалев А. А.** KOSMICHESKAYA GEOLOGIYA BELARUSI. Минск, 2008.
  7. **Ермохин М. В., Пугачевский А. В.** SOVREMENNAYA DINAMIKA YUZHNOY GRANICI SPLOSHNOGO RASPROSTRANENIYA ELI (Picea abies Karst.) V BELARUSI // VESCI NAH BELARUSI. Ser. bial. navuk. 2009. №1. C. 51–55.
  8. **Иванов А. П., Чайковский А. П., Зеге Э. П.** и др. ISSELEDOVANIE TANSGRANICHNogo PERENOsa ZAGRYAZNENIY V ATMOSFERE V REGIONE BELARUSI // OPTIKA ATMOSFERY I OKEANA. 2007. T. 20. № 12. C. 1048–1058.
  9. **Кабашников В. П., Кузьмин В. Н., Петручук А.** и др. VYAVLENIE ISTOCHNIKOV AEROSOL'NOGO ZAGRYAZNENIYA ATMOSFERY NA OSNOVE DANNYX DISTANCIIONNOGO ZONDIROVANIIA I STATISTIKI OBRAZHNYX TRAEKTORIJ // OPTIKA ATMOSFERY I OKEANA. 2008. T. 21. № 1. C. 48–52.
  10. **Какарека С. В.** TANSGRANICHNOE ZAGRYAZNENIE ATMOSFERNOGO VODZHA I EGOREGULIROVANIE. Минск, 2009.
  11. **Калинин М. Ю., Волчек А. А., Шведовский П. В.** CHREZYVAYCHAYNE SITUACIYI I IH POSLEDSTVIIA: MONITORING, OCENKA, PROGNOZ I PREDUPREZHDENIE. Минск, 2010.
  12. **Козулин А. В., Тановицкая Н. И., Вершицкая И. Н.** METODICHESKIE REKOMENDACIJI PO EKOLOGICHESKoj REABILITACIJI NARUSHENNYX BOLOT I PO PREDOTVRAZHENIU NARUSHENIJ HIDROLLOGICHESKOGO REJIMa BOLOTNYX EKOSETIM PRi OSUShTETEL'NYX RABOTAX. Минск, 2010.
  13. **Кравчук Л. А.** OSNOVНЫE KRITERII I METODICHESKIE PODKHODY K OZENKE UROVNIYA STRUKTURNO-FUNKCIONAL'NOY ORGANIZACIJI LANDSHAFTNO-REKREACIONNYX TERRITORIJ GORODOV. LANDSHAFTOWEDENIE: TEORIJA, METODY, REGIONAL'NYYE ISSELDOVANIJA, PRAKTIKA // MATERIALY XI MEJDUJNAR. LANDSHAFTNOY KONF. MOSKVA, 2006. – C. 106–108.
  14. **Курзо Б. В., Молочко Л. Г., Васкевич А. Ю.** i dr. INSTRUKCIJA PO ISPOL'ZOVANIU SAPROPEL'EVYX LECHEBNYX GRAYZJ Dlya OZDOROVLENIJA I SANATORNO-KURORTNOGO LECHENIJA. Минск, 2008.
  15. **Кухарчик Т. И.** POLIXLORIRUVANNYE BIFENILY V BELARUSI. Минск, 2006.
  16. **Липский В. К., Лиштван И. И.** TECHNICHESKIE SREDSTVA ZASHITY VODNYX OBJEKTOV PRi AVARYIYNYX RAZLIVAX NEFTI. Новополоцк, 2009.
  17. **Лиштван И. И., Гаврильчик А. П., Фалюшин П. Л.** TVERDYE GORYUCHIE ISKOPAEMYE BELARUSI I IH PRACTICHESKOE ISPOL'ZOVANIE // XIMIJA TVERDGO TOPLIVA. 2006. № 1. C. 3–11.
  18. **Лиштван И. И., Фалюшин П. Л., Дударчик В. М.** PIROLIZ BURYH UGLEJ BRINEVSKOGO MESTOROZHENIJA REPUBLIKI BELARUSI // XIMIJA TVERDGO TOPLIVA. 2009. № 3. C. 20–25.
  19. **Логинов В. Ф.** GLOBAL'NYYE I REGIONAL'NYYE ISMENENIJA KLIMATA: PRICHINY I SLEDSTVIIA. Минск, 2008.
  20. **Логинов В. Ф.** ISMENENIJA KLIMATA V BELARUSI I IH POSLEDSTVIIA Dlya KLYUCHEVYX SEKTOROV EKOONOMIKI (SEL'SKOE, LESNOE I VODNOE HOZAJSTVO). Минск, 2010.
  21. **Логинов В. Ф.** VLIYANIE ATLANTICHESKOGO OKEANA NA VELICHINU TRENDOV TEMPERATURY V PERIOD SOVREMENNogo POTEPLENIJA // GEOGRAFIJA I PРИRONDNYE RESSURSY, CO RAN, Novosibirsk. 2010. № 3. C. 10–19.
  22. **Логинов В. Ф., Волчек А. А., Шпока И. Н.** OPASNyye HIDROMETEOROLOGICHESKIE JAVLENIJA NA TERRITORII BELARUSI. Минск, 2010.
  23. **Ракович В. А., Молокова Н. В., Селивончик Т. В.** OCENKA POTERI UGLERODA I EMISSIJI DIOKSIDA UGLERODA S VYRABOTANNYX TORFYAIX MESTOROZHENIJI // PRIRODOPOL'ZOVANIE. 2010. C. 85–90.
  24. **Сачок Г. И., Камышенко Г. А.** FAKTORy I MODELI ISMENCHIVOSTI UROZHAIJNOSTI SEL'SKOHZOJAJSTVENNYX KULTYUR BELARUSI / POD RED. V. F. LOGINOVa. Минск, 2006.
  25. **Соколов Г. А., Бамбалов Н. Н., Гаврильчик А. П., Назаров В. Н.** i dr. PRIMENENIE JIDKIH KOMPLEKSNYX GUMINOVYX UDObRENIJ S MIKROELEMENTAMI ELEGBUM: REKOMENDACIJI. Минск, 2009.
  26. **Струк М. И.** REGIONAL'NYYE OSOBEHNOSTI OPTIMIZACIJI OKRUZHAJUJCEJ SREDY BELARUSI. Минск, 2007.
  27. **Структура prirodnoj sredy i lanshaftnoe raznoobrazie belarusi / Pod red. I. I. Pirozhnika, G. I. Marcinkevich.** Минск, 2006.
  28. **Теоретические и прикладные проблемы геоэкологии / Pod nauch. red. A. N. Vitchenko. / Dep. v BelISA 09.04. 2008 g., № D200816.** Минск, 2008.
  29. **Томсон А. Э., Наумова Г. В.** TORF I PRODUKTY EGOREPRAVOTKI. Минск, 2009.
  30. **Углынец А. В., Власов Б. П., Хмелевский В. И.** i dr. VODNYE RESSURSY NACIONAL'NOGO PARKA «PRIPIATSKIJ», IH VLIYANIE NA SOSTOYANIE LESNYX EKOSETIM. Минск, 2007.
  31. **Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И.** i dr. SOSTOYANIE OKRUZHAJUJCEJ SREDY I PRIRODOPOL'ZOVANIE GORODA MINSKA. Минск, 2007.
  32. **Lisinetskii V. A., Riesbeck Th., Rhee H., Eichler H. J., Orlovich V. A.** HIGH AVERAGE POWER GENERATION IN BARIUM NITRATE RAMAN LASER // APPL. PHYS. B. 2010. V. 99. № 1–2. P. 127–134.
  33. **Shcherbakov V.** REGULARIZATION ALGORITHMS FOR LIDAR RAMAN DATA PROCESSING // APPLIED OPTICS. 2007. Vol. 46. Issue 22. P. 4879–4889.

**В. Ф. Логинов, Г. А. Камышенко****ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ОРИЕНТИРОВАННЫХ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ «ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ», 2006–2010 гг.**

Представлены основные результаты выполнения ГПОФИ «Природопользование», перспективы их дальнейшего практического применения.

В ходе выполнения программы разработаны теоретические и методологические основы научного обеспечения решения комплекса экологических проблем, в том числе обусловленных экстремальными климатическими явлениями, высокими техногенными нагрузками на природную среду в городах, выбросами стойких органических загрязнителей, воздействием потребления природных ресурсов на качество окружающей среды.

Результаты фундаментальных исследований позволили существенно повысить экологическую эффективность градостроительного проектирования при разработке территориальных схем охраны окружающей среды и генеральных планов городов, послужили основой для разработки рекомендаций по эколого-сбалансированному природопользованию в проблемных регионах страны, корректировки стратегии адаптации сельского хозяйства к изменяющемуся климату и др.

Создана научная база производства новых материалов и препаратов на основе органического сырья, ориентированных на использование в сельском хозяйстве, топливной энергетике и охране окружающей среды. Получены твердые, жидкые и газообразные энергоносители и продукты нетопливной группы, новые вещества на основе торфяного сырья.

Предложены ресурсосберегающие экологосовместимые технологии освоения торфяных месторождений, обоснованы критерии выделения торфяных месторождений в соответствующие целевые фонды, выбраны оптимальные направления использования, перераспределения торфяного фонда, что способствует решению проблемы увеличения объемов добычи и использования торфяного топлива в топливно-энергетическом балансе республики. Создана электронная карта месторождений сапропеля Беларуси по вещественно-генетическим типам озерного осадконакопления (включена в Государственный регистр информационных ресурсов республики) и создана концепция рационального освоения ресурсов сапропеля.

Разработана методология мониторинга процессов крупномасштабного переноса взвешенных в атмосфере частиц, что позволило выявить очаги формирования отрицательных озоновых аномалий и предшествующие их формированию метеоусловия, определить типичные пути трансграничного поступления загрязняющих веществ, создать сеть мониторинга стран СНГ аэрозольного загрязнения атмосферы с использованием современных дистанционных методов.

Предложена методология и математическое описание конвекционно-диффузного переноса растворимых соединений в почвах, грунтах, горных породах. Созданы 14 новых приборов, из которых 9 предназначены для мониторинга загрязнения природной среды за счет местных источников и трансграничного переноса загрязнителей. Разработанное оборудование перспективно для производства источников лазерного излучения применительно к различным областям науки и практики, включая дистанционное зондирование, спектроскопию, медицину и биологию.

Поставленные в рамках программы на 2006–2010 гг. цели достигнуты, задачи выполнены, средства республиканского бюджета использованы эффективно и по целевому назначению.

**V. F. Loginov, G. A. Kamysheenko****MAIN RESULTS OF STATE PROGRAM OF ORIENTED FUNDAMENTAL RESEARCHES «NATURE MANAGEMENT», 2006–2010**

*The basic results of implementation of the SPFFR «Nature management», prospects of their further practical application are presented.*

*During the program performance theoretical and methodological bases of scientific provision to solve a complex of environmental problems, including caused by the extreme climatic phenomena, high technogenic loadings on an environment in cities, by persistent organic contaminants, influence of use of natural resources on the quality of environment are developed.*

*Results of basic researches have allowed to enhance essentially ecological efficiency of town-planning designing by working out territorial schemes of preservation of the environment and general plans of cities, have formed a basis for working out recommendations about the ecology-balanced nature man-*

*agement in problematic regions of the country, updating of adaptation strategy of agriculture to a changing climate, etc.*

*The scientific basis to produce new materials and preparations on the basis of organic raw materials, focused on use in agriculture, fuel power and environment protection has been created. Firm, liquid and gaseous energy carriers and products of non-fuel group, new substances on the basis of peat raw materials have been obtained.*

*Resource-saving ecology-friendly technologies of peat deposits development have been proposed, criteria to single out peat deposits into corresponding trust funds have been proved, optimum trends of use, redistribution of peat fund that promotes the decision of a problem of increase in volumes of extraction and use of peat fuel in fuel and energy balance of the republic have been chosen. The electronic card of Belarus sapropel deposits regarding a matter-genetic types of lacustrine sedimentation (included in the State register of information resources of the Republic) and the concept of rational development of resources of sapropel has been created.*

*The methodology to monitor processes of large-scale transfer of the particles weighed in the atmosphere that has allowed to reveal the formation centers of negative ozone anomalies and meteo-conditions prior to their formation has been developed, to define typical ways of trans-boundary income of pollutants, to create a network of monitoring of the CIS countries of aerosol pollution of atmosphere with use of modern remote methods.*

*The methodology and the mathematical description of convection-diffusive transfer of soluble compounds in soils, grounds and rocks has been offered. 14 new devices have been designed of which 9 are intended to monitor the environment pollution at the expense of local sources and trans-boundary contaminants transfer. The developed equipment is perspective to manufacture sources of laser radiation with reference to various areas of science and practice, including remote sounding, spectroscopy, medicine and biology.*

*The goals set within the limits of the program for 2006–2010 are reached, problems are executed, funds of the republican budget are used effectively and on a special-purpose target.*

## ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФЯНЫХ РЕСУРСОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ РОССИИ

Российская Федерация, обладающая большими запасами различных энергоносителей, тем не менее, проводит 27–28 апреля 2011 г. в г. Твери Всероссийский торфяной форум с участием ученых и специалистов из других стран (Беларусь, Финляндии, Швеции, Эстонии, Латвии, Украины и др.). Форум организован администрацией Тверской области и Ассоциацией менеджеров России при официальной поддержке Министерства энергетики Российской Федерации. В форуме приняли участие более 300 человек.

Заслушав выступления докладчиков (около 30) и обсудив перспективы использования торфяных ресурсов в экономике страны (Д. В. Зеленин – губернатор Тверской области, А. Макконен – полномочный министр, временный поверенный в делах Посольства Финляндии, П. А. Чекмарев – директор департамента растениеводства Минсельхоза России, Т. Вебер – исполнительный директор AS «Giga», Финляндия, Ю. Т. Минаева – координатор проектов Международной организации по сохранению водно-болотных угодий Wetlands International, В. И. Никитин – генеральный директор, «Тверская топливно-энергетическая компания», К. М. Манков – директор ООО НПО «Экомат-групп», И. Н. Барановский – заведующий кафедрой агрохимии, почвоведения и агрэкологии, д.с.-х.н., профессор, Тверская ГСХА, С. М. Лукин – зам. директора по научной работе, Россельхозакадемия, Б. В. Палюх – ректор Тверского государственного технического университета, И. И. Лиштван – главный научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь и др.) участники форума подчеркнули значимость проблем и отметили следующее:

Торф относится к числу местных и широко распространенных возобновляемых энергетических ресурсов, ценность которого обусловлена его уникальными свойствами, способными повышать энерго- и экономическую безопасность регионов. Россия является важнейшим поставщиком энергоносителей с общей долей 32 % в нефтяных поставках, 40 % в импорте газа. Для решения стратегии Евросоюза в энергоисточниках необходимо внимание к российским запасам торфа.

Многообразие свойств торфяного сырья позволяет широко использовать продукцию на его основе не только в энергетике, но и в других сферах экономики, в том числе в химической промышленности, сельском хозяйстве, строительстве, медицине, снизить выбросы серы, пыли, оксидов азота, тяжелых металлов.

Расширение использования торфа в энергетических целях будет способствовать обеспечению энергетической и экологической безопасности многих регионов Российской Федерации и повышению энергоэффективности в условиях стабильного роста спроса и цен на невозобновляемое углеводородное сырье, а также увеличения тарифов на тепло- и электроэнергию. Все это обуславливает необходимость возрождения торфяной отрасли России.

Участники форума отметили постоянное внимание со стороны законодательных и исполнительных органов Российской Федерации к вопросам повышения энергоэффективности, что нашло отражение в поручении Правительства России о принятии мер по расширению использования местных ресурсов, в том числе торфа в энергетических целях.

Участники форума были единодушны в необходимости консолидации усилий всех уровней в целях расширения использования торфа в энергетических целях в рамках единой организационной структуры, проведения ежегодного форума по данной тематике с привлечением отечественных и зарубежных ведомств и организаций для обсуждения процессов, содействующих расширению использования торфа в энергетике и выработки предложений по корректировке государственной политики в данной сфере.

Проблема использования торфяных ресурсов в энергетических целях является многосторонней и требует выработки механизмов государственной поддержки не только в сфере энергетики, но и в сфере недропользования, экологии, а также в области разработки технологии и оборудования для добычи, переработки и использования торфа. Кстати, именно на решение этих вопросов и направлена в Республике Беларусь Государственная программа «Торф».

В настоящее время выбывшие из эксплуатации торфяные месторождения, в лучшем случае, используются для сельскохозяйственных и лесных нужд. Проблема обводнения таких земель если и не является сложной, то заслуживает пристального внимания в связи с сохранением торфяных и земельных ресурсов. На форуме отмечалось несовершенство нормативной правовой базы в сфере торфопользования, имеются различия в определении терминов «болото», «торфяное болото», «торфяное месторождение», «торфяно-болотные угодья». Необходим единый ГОСТ для торфяной терминологии. Требуют совершенствования нормативные правовые акты, регламентирующие использование торфа-

ных месторождений в естественном состоянии. Необходимо в максимально сжатые сроки разработать современные требования к разведке торфяных месторождений, утверждению запасов торфа и проектированию торфодобывающих многоотраслевых предприятий. Это весьма актуально и для нашей страны.

Расширение добычи, переработки и использования торфа в энергетических и других целях невозможно без возобновления и развития отечественного торфяного машиностроительного комплекса. В связи с этим, необходимо активизировать проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области технологий промышленной добычи и переработки торфа, использования продукции на его основе, в том числе, в энергетике, а также в области проектирования и изготовления торфяного оборудования для этих целей. Приоритетной задачей является разработка и утверждение программы развития торфяного машиностроения. Вместе с тем, сохраняется проблема низкой инвестиционной привлекательности инновационных разработок в торфяном деле, использования продукции на его основе, в том числе в энергетике, сельском хозяйстве, машиностроении, химической технологии, охране окружающей среды. За последние десятилетия Россия, как отмечено на форуме, существенно сдала свои позиции ведущей страны в мире в области торфяного дела, резко сократила свое присутствие и участие в международной кооперации и научно-техническом сотрудничестве.

В связи с изложенным, участники Всероссийского торфяного форума обратились в Правительство Российской Федерации, Государственную Думу, субъектам Российской Федерации с предложениями, касающимися развития энергетики на местных и широко распространенных топливно-энергетических ресурсах, в том числе торфа. На федеральном и местном уровнях необходимо разработать и принять в установленном порядке программы развития энергетической инфраструктуры на торфе в составе программы комплексного социально-экономического развития регионов. В программах предусмотреть задания по комплексной переработке торфяных ресурсов и производству торфяной продукции. Разработать систему мер поддержки организаций, занимающихся добычей, переработкой торфа и использованием продукции на его основе в энергетических целях, а также организаций, осуществляющих научно-исследовательские работы, проектирование и изготовление оборудования для подготовки торфяных месторождений к эксплуатации, добыче и переработке торфа.

В решении Всероссийского торфяного форума записано много других сугубо прикладных вопросов по развитию работ в отношении оценки торфяных запасов, выбывших из эксплуатации торфяных месторождений, добычи, переработки, комплексного использования торфяных ресурсов и расширению энергетической инфраструктуры на торфяном топливе в регионах.

*Академик И. И. Лиштван – участник и модератор  
Всероссийского торфяного форума*

Научное издание  
**ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**

Сборник научных трудов  
Выпуск 19

Редактор *А. В. Новикова*  
Компьютерная верстка *Н. В. Данькова, Т. Н. Козловская*

---

Подписано в печать 08.07.2011. Формат 60x90/8. Бумага офсетная.  
Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. 25,58. Уч.-изд. л. 19,44.  
Тираж 150 экз. Заказ № 2076.

Издатель А. Н. Вараксин  
ЛИ № 02330/0131774 от 06.03.2006 г.

Отпечатано в типографии ООО «Эволайн».  
ЛП № 02330/0552717 от 25.04.2009 г.  
ул. Рыбалко, 9, 220033 г. Минск