

ISSN 2079-3928

Природо- пользование

ВЫПУСК 30



2016

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ»

Природо- пользование

Сборник научных трудов

Основан в 1996 г.

Выпуск 30



МИНСК

2016

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

РЕДКОЛЛЕГИЯ:

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

I. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Логинов В. Ф., Микуцкий В. С.	Оценка циклических составляющих в изменении глобальной температуры.....	5
Логинов В. Ф., Микуцкий В. С.	Динамика отрицательных аномалий зимней температуры воздуха на территории Беларуси за последний 60-летний период инструментальных наблюдений.....	13
Логинов В. Ф., Хитриков М. А.	Пространственно-временные особенности изменений суммарного испарения в Белорусском Полесье за 1977–2014 годы	18
Табальчук Т. Г.	Анализ пространственно-временных изменений температуры воздуха на территории Беларуси.....	24
Матвеев А. В., Нечипоренко Л. А.	Практические аспекты радионометрических исследований грунтов на территории Беларуси.....	33
Тановицкая Н. И., Ратникова О. Н.	Особенности гидрологического режима болота Ельня на участках с различной степенью нарушенности.....	41
Овчарова Е. П., Хомич В. С., Кадацкая О. В., Санец Е. В., Саркар С. К., Дашкевич М. М., Тищиков И. Г.	Методические подходы к оценке загрязнения донных отложений реки тяжелыми металлами (на примере р. Свислочи).....	50
Осадчая Н. Н., Клебанов Д. А., Осадчий В. И., Набиванец Ю. Б.	Ионный сток реки Дунай и оценка состояния его нижнего участка по общей минерализации воды.....	60
Пастухова М. А., Галуц О. А., Дашкевич М. М., Михальчук С. Н.	Особенности накопления тяжелых металлов в системе почва–растение–пчела–продукты пчеловодства.....	70
Коляда В. В.	Анализ факторов урожайности и оценка эффективности зернопроизводства по административным районам Беларуси.....	76
Струк М. И., Живнач С. Г.	Методика эколого-географического обоснования организации внешнего природного каркаса города.....	86
Краковецкий А. В.	Экономико-географическая оценка торфяных месторождений пригодных для комплексного освоения и производства различной продукции.....	96

II. БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Лиштван И. И., Абрамец А. М., Янута Ю. Г., Якута Е. А.	Массоперенос при сушке органогенных материалов.....	106
Лиштван И. И., Мулярчик В. В., Томсон А. Э., Курзо Б. В., Наумова Г. В., Жмакова Н. А., Царюк Т. Я., Соколова Т. В., Макарова Н. Л., Овчинникова Т. Ф., Сосновская Н. Е., Пехтерева В. С., Навоша Ю. Ю., Калилец Л. П., Фалюшина И. П.	Оценка торфа месторождения «Туршовка-Чертово» как сырья для глубокой комплексной переработки.....	113
Цыганов А. Р., Томсон А. Э., Мартыненко А. А., Соколова Т. В., Навоша Ю. Ю., Сосновская Н. Е., Пехтерева В. С.	Гранулированный сорбент на основе торфа для подстилочного материала при напольном выращивании цыплят-бройлеров.....	124

Шепелева Н. И., Марцуль В. Н., Использование биотестирования осадков сточных вод Войтов И. В. для сравнения вариантов их обработки.....	129
Иванов В. П., Дронченко В. А. Утилизация нефтесодержащих отходов вспомогательного производства нефтехимических предприятий.....	136

ХРОНИКА

Карабанов А. К., Лиштван И. И., Проблемы рационального использования природных Пугачевский А. В., Хомич В. С. ресурсов и устойчивое развитие Полесья: современное состояние и пути решения.....	146
---	-----

I. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 551.583:551.590

В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий

ОЦЕНКА ЦИКЛИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ В ИЗМЕНЕНИИ ГЛОБАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Анализируется динамика циклической структуры глобальной и полушарных температур для суши и поверхности океана в годовом и сезонном аспектах. Выделены периоды усиления и ослабления длинно- и короткопериодных составляющих температурных рядов, среди которых особое внимание уделено 19-летней составляющей. Выделенные особенности в изменениях глобальной температуры свидетельствуют о наличии модулирующего воздействия естественных климатообразующих факторов, формирующих скачки и паузы в изменении современного климата.

В подавляющем числе работ, посвященных исследованию глобальной температуры, большее внимание, как правило, уделяется изучению трендовых составляющих в изменении глобальной температуры, температуры суши и океана северного и южного полушарий Земли [3, 10, 12]. В то же время циклические составляющие в изменении сезонных температур не подвергались детальному анализу, хотя, например, особенно мощная 60–70-летняя составляющая в изменении температуры северного полушария выбирает до 25 % дисперсии ряда [3, 8]. Недостаточное внимание к циклическим составляющим рядов температуры связано, вероятно, с тем обстоятельством, что мощность их, как правило, все же уступает мощности трендовых составляющих, а также, вероятно, и тем, что их природу труднее интерпретировать.

Наличие трендовой составляющей в изменении глобальной температуры почти всегда приписывается влиянию роста содержания парниковых газов в атмосфере и уменьшению поглощающей способности (стока) лесов в результате их вырубки, а также болот в результате их осушения. Осушенные болота, как известно, становятся не стоком, а источником углекислого газа. В силу большой мощности трендовой составляющей в изменении глобальной температуры в качестве основной причины современного потепления климата принимается антропогенный фактор. Однако величина, а зачастую и знак трендовой составляющей в изменении температуры отличается определенной неустойчивостью. Так, в отдельные периоды времени, например, в 1908–1945 и 1976–1998 гг. скорость роста глобальной температуры превысила 0,1 °C за десятилетие, тогда как в другие периоды величина положительного тренда температуры уменьша-

лась в 2,5 раза (период с 1998 по 2013 г.), либо знак тренда становится даже отрицательным (1946–1975 гг.). Это означает, что в изменении современного климата отмечаются скачки, когда глобальная температура быстро растет, либо паузы, когда она флюктуирует вокруг какого-то среднего значения, либо даже уменьшается. Это особенности в изменении глобальной температуры до сих пор не получили должного объяснения, а их причины являются предметом острых дискуссий [4, 5, 9, 11, 15].

Известно, что атмосфера и океан обладают разной тепловой инерционностью. С учетом этого исследование циклической структуры глобальной (полушарной) температуры было осуществлено раздельно для атмосферы и океана, принимая во внимание существенно большую океаничность южного полушария.

Данные и метод. В качестве материала для исследований циклических составляющих в изменении глобальной температуры были использованы ряды месячных аномалий глобальной и полушарных температур как отдельно для суши и поверхности океана, так и совместно, за период 1880/81–2015/16 гг., подготовленные Национальным климатическим центром данных Национального управления океанических и атмосферных исследований США (NCDC NOAA) [13].

При исследовании динамики устойчивости циклов, т. е. изменений временной структуры спектра ряда температуры, целесообразным представляется использование так называемого спектрально-временного анализа (СВАН-анализа) [1, 2] с построением соответствующих диаграмм. При построении последних функция амплитудного спектра процесса $A = A(v)$ подвергается временной развертке $A = A(v, t)$, где v – частота, t – середина скользящего временного ок-

на, для которого проводится спектральный анализ. Визуализация результатов СВАН-анализа возможна в виде графика поверхности функции A либо в виде контурной диаграммы этой же поверхности. Последнее представление и носит название спектрально-временной диаграммы, СВАН-диаграммы. Ось Ox представляет середину скользящего окна, ось Oy – длину периода (либо частоту).

Стандартным «режимом» при расчете спектров временного ряда являются предварительные преобразования ряда путем вычитания среднего для устранения ложного пика на нулевой частоте, а также удаления тренда для исключения эффекта «ложной корреляции» и появления фиктивных периодичностей на низких частотах.

Моделируя рост температуры последних десятилетий восходящей вогнутой гладкой кривой, например, параболой или экспонентой, легко видеть, что, с одной стороны, удаление линейного тренда внесет меньшие искажения в полученные остатки при меньшей длине окна, а с другой – эти остатки, сохраняя вогнутую конфигурацию, будут провоцировать появление ложных длиннопериодных колебаний в текущем скользящем окне. Поэтому, надо предполагать, выделение длиннопериодных колебаний будет более достоверным при меньшей длине окна, хотя формально статистическая значимость полученных результатов будет ниже, чем в случае использования большей длины окна. Имея в виду вышесказанное, а также с учетом интереса в нашем случае к колебаниям определенной продолжительности, скользящие окна были выбраны длиной 56 и 38 лет.

Спектральный анализ в скользящих окнах температурных рядов проводился с использованием возможностей Фурье-анализа временных рядов, предоставляемых системой Statistica.

При наличии 36 рядов температуры, а также с учетом того, что при длине ряда в 136 лет и длине скользящего окна в 56 лет необходимо провести такой анализ 81 раз, очевидна необходимость автоматизации данной процедуры. Для этих целей на основе открытой СОМ-архитектуры системы Statistica [14] была разработана специализированная VBA-программа.

Наряду с методами спектрального анализа были использованы также методы автокорреляционного анализа.

Результаты. СВАН-диаграммы температуры Земного шара (суши и океана), отдельно температуры суши и океана Земного шара, температуры суши и океана в северном и южном полушариях Земли представлены на рис. 1 и 2.

Сравнительный анализ СВАН-диаграмм для температуры суши и океана показывает, что в большинстве случаев наибольшая мощность короткопериодных колебаний характерна для температуры суши, нежели океана. Долгопериодные колебания, напротив, более свойственны температуре океана.

Большая мощность долгопериодных океанических колебаний температуры может быть связана с большей термической инерционностью океана по сравнению с поверхностью суши. Такая инерционность подтверждается результатами автокорреляционного анализа температур суши и океана (см. таблицу). Притом, что значения автокорреляционных функций являются статистически значимыми, первые три члена автокорреляционной функции температуры океана южного полушария выше, чем соответствующие значения для суши. Для северного полушария термическая инерционность океана выражена несколько слабее – значения океанической автокорреляционной функции превышают соответствующие значения для суши только при однодневом лаге.

Значения автокорреляционных функций температуры океана и суши северного и южного полушарий

Лаг	Значения автокорреляционных функций			
	Северное полушарие		Южное полушарие	
	Океан	Суша	Океан	Суша
1	0,888	0,843	0,921	0,892
2	0,793	0,819	0,857	0,839
3	0,766	0,774	0,835	0,823
4	0,737	0,778	0,809	0,819
5	0,712	0,744	0,770	0,788
6	0,682	0,693	0,732	0,770
7	0,657	0,677	0,716	0,753
8	0,640	0,662	0,702	0,740
9	0,627	0,610	0,665	0,694
10	0,596	0,604	0,651	0,696

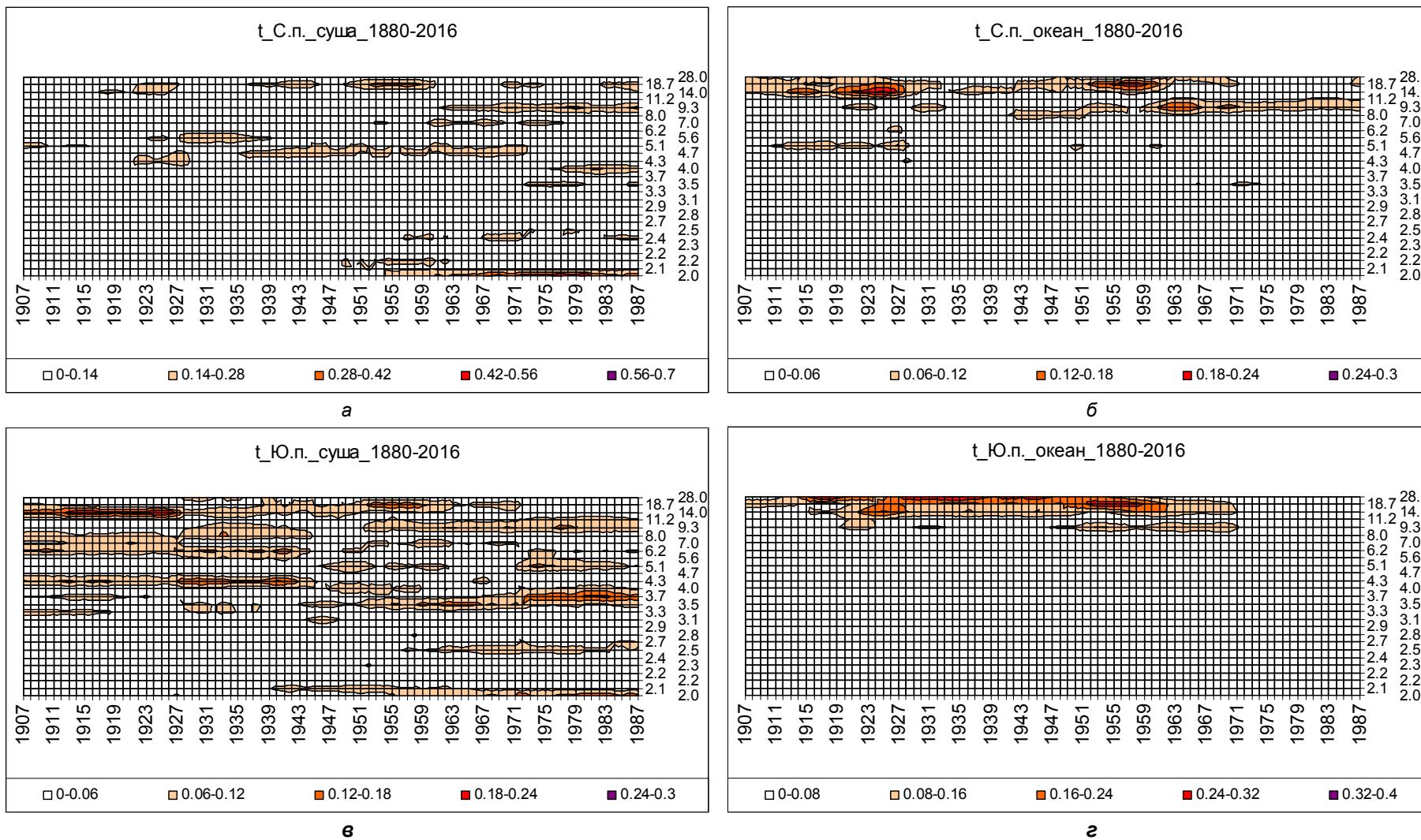


Рис. 1. СВАН-диаграммы рядов температуры суши (а, в) и поверхности океана (б, г) для северного (а, б) и южного (в, г) полушарий, 1880–2016 гг. Ширина скользящего окна – 56 лет

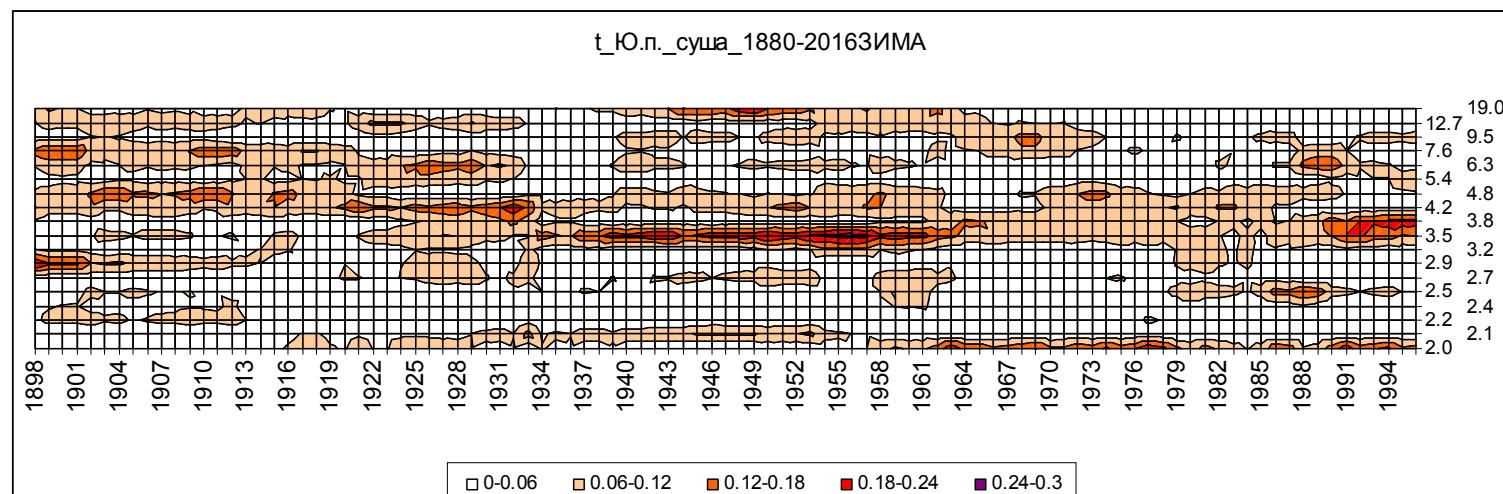
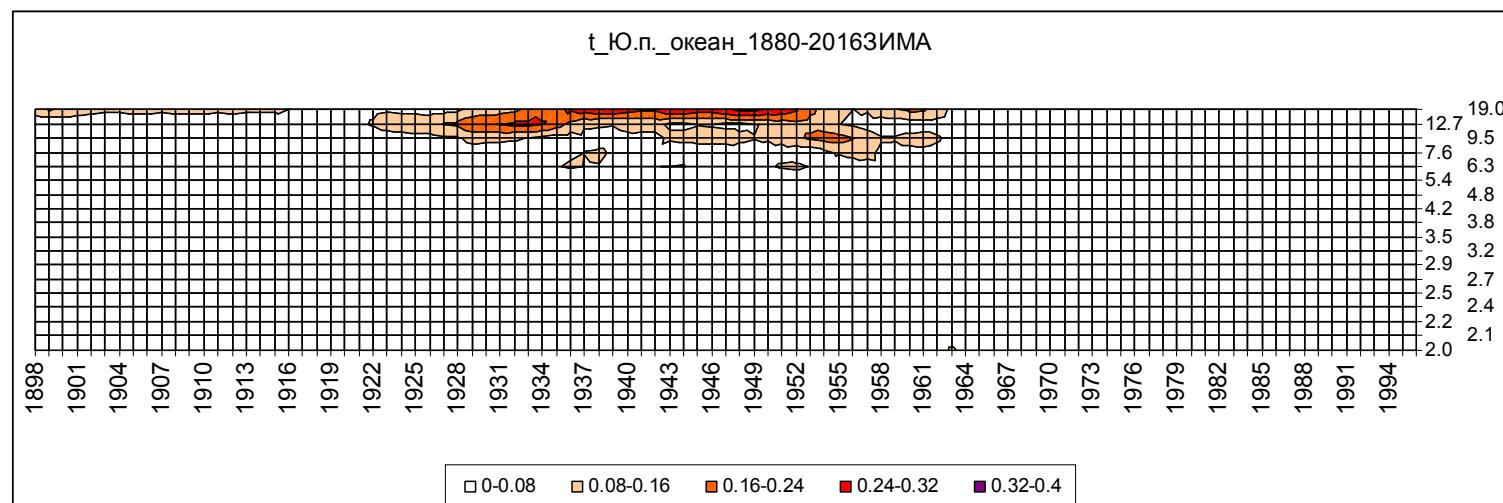
**a****б**

Рис. 2. СВАН-диаграммы рядов температуры суши (а) и поверхности океана (б)
для южного полушария, 1880–2016 гг. Ширина скользящего окна – 38 лет

С одной стороны, внутрирядная связь температуры для океана действительно выше, чем для суши. Указанные особенности в большей степени заметны при анализе температур суши и океана в южном полушарии, где площадь океанов существенно превышает площадь суши.

С другой стороны, более долгопериодные колебания температуры характерны в большей степени для океана, чем для суши. Другими словами, низкочастотные колебания темпера-

туры характерны, в большинстве своем, для рядов, имеющих большую внутрирядную связь. Иллюстрацией сказанному служат диаграммы (рис. 3) разброса периодов циклических компонент рядов температуры (ось Oy) и коэффициентов автокорреляции соответствующих компонент (ось Ox). Указанные циклические компоненты представлены значениями периодограмм, рассчитанными для последовательных 56-летних скользящих окон.

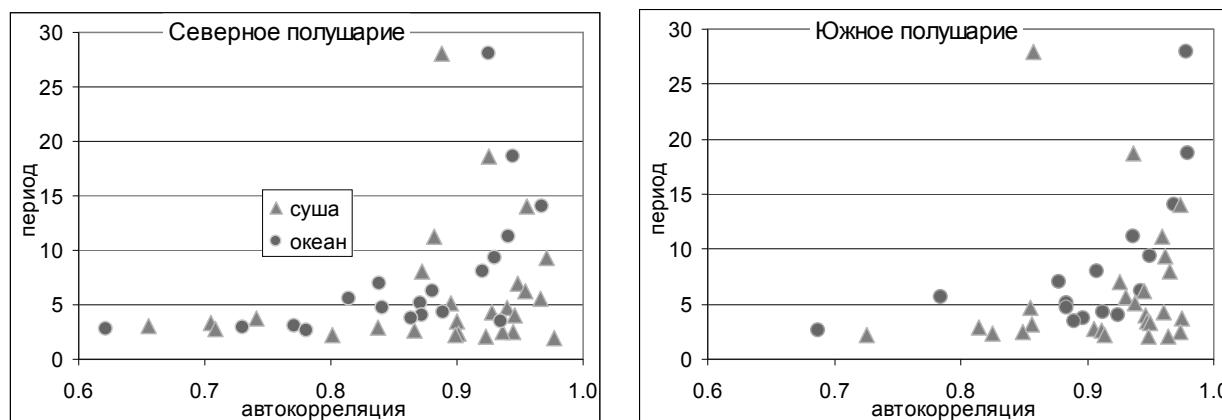


Рис. 3. Диаграммы разброса периодов циклических компонент рядов температуры и коэффициентов автокорреляции последних (суша и океан северного и южного полушарий)

Рассмотрим изменения циклической структуры температуры в северном и южном полушарии в различные сезоны года.

Северное полушарие. При анализе циклических составляющих по мощности резко выделяются спектры температуры зимнего сезона суши северного полушария. Они заметно превышают таковые для других вариантов (других сезонов и для суши, и для океана). Весной картина менее выражена. Это объясняется существенно большим разбросом зимних температур над сушей по сравнению с разбросом температур в остальные сезоны. Стандартное отклонение σ для всего доступного ряда для зимы и лета над сушью северного полушария составляет 0,69 и 0,40 соответственно. Спектры остальных рядов сопоставимы.

В северном полушарии, где площадь суши соизмерима с площадью океанов, продолжительность доминирующих циклов в изменении температуры на суше и в океане практически не различается.

Над океаном большая мощность и времененная устойчивость циклических колебаний характерна для долгопериодной части спектра: 28,0; 18,7; 14,0; 11,2; 9,3 года. Появляющиеся короткопериодные колебания в изменении температуры крайне неустойчивы.

В изменении температуры на суше начинают, в основном, доминировать короткопериод-

ные колебания (менее 8 лет), но весной и особенно зимой в спектре температуры заметны и долгопериодные колебания (18,7; 11,2; 9,3 года). Летом и осенью отмечаются колебания продолжительностью 3,5–5,1 года. Иногда их устойчивость во времени составляет до 3–4 десятилетий (см. рис. 1).

Южное полушарие. В изменении температуры над океаном, по крайней мере до середины 1970-х годов, прослеживается два устойчивых колебания: 18,7 и 28,0 лет. Это заметно во все сезоны года и, как следствие, для года в целом (см. рис. 1). В последние 35–40 лет указанные долгопериодные колебания в изменении температуры над океаном и сушей не проявляются. Исключение составляет изменение температуры над сушей осенью.

Природа 18,7-летнего (квазидевятнадцатилетнего) колебания в океане неоднократно обсуждалась в работах И. В. Максимова [7], который считал, что это колебание вызвано долгопериодным приливом в океане.

Динамика 18,7-летних колебаний (для скользящего окна 56 лет) и 19-летних колебаний (для скользящего окна 38 лет) представлена на рис. 4. Как отмечалось выше, результаты, полученные с использованием 38-летнего скользящего окна, представляются, в определенном смысле, более достоверными. В обоих случаях, однако, отмечается двумодальное усиление данной

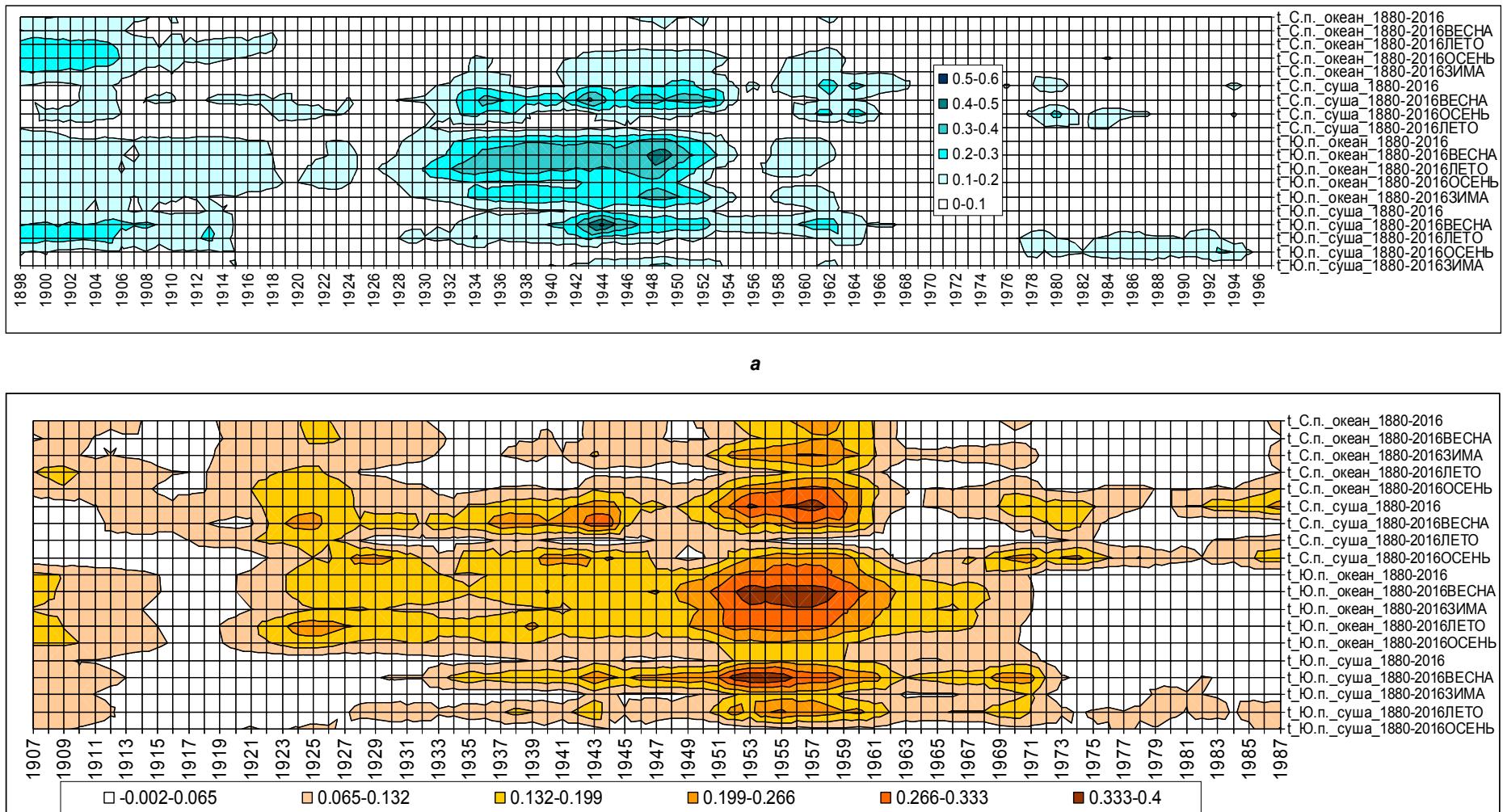


Рис. 4. Диаграмма периодограмм для различных рядов температуры (ось Oy):
а – 19-летнего колебания температур при 38-летнем скользящем окне;
б – 18,7-летнего колебания при 56-летнем скользящем окне

циклической составляющей. Один из пиков приходится на середину 1950-х – середину 1960-х годов, другой пик идентифицируется различно, в зависимости от длины скользящего окна: либо он относится к 1920-м годам (окно 56 лет), либо почти сливаются с первым пиком (окно 38 лет). В первом случае отмеченные периоды двумодального усиления указанной циклической составляющей совпадают с периодами низкой температуры Земного шара. Квазисорокалетняя циклическость отмечалась нами в изменении яркости солнечного диска (солнечной постоянной), хотя синхронность в изменении последней и наиболее мощными 18,7-летними колебаниями отсутствует [5]. Интересно также отметить, что северная асимметрия активности полушарий Солнца (пробладание пятен в северном полушарии Солнца) была максимальной в 1914–1923 и 1955–1964 гг., т. е. в указанные выше периоды самой большой мощности 18,7-летних колебаний [5, 6].

Указанное усиление циклической составляющей в изменении температуры более существенно на поверхности океана и особо заметно для весенних и летних рядов температуры. Интересным представляется тот факт, что последние 40 лет эти колебания, причем в более слабой форме, проявляются только на суше, сменившись, в основном, на осень.

Мощность короткопериодных колебаний температуры в океане (около 4 лет) мала. Несколько большую мощность и существенную устойчивость во времени имеет 9,3-летнее колебание, которое, вероятно, является обертоном 18,7-летнего приливного колебания.

В изменении температуры над сушей южного полушария обнаруживаются как долгопериодные (18,7; 11,2; 8,0-летние), так и короткопериодные колебания (от 2 до 7 лет). Долгопериодные колебания температуры особенно заметны весной и, в меньшей мере, зимой и летом. Короткопериодные колебания температуры (2,5–5,6 лет) над океаном особенно выражены осенью. Для этого сезона мощность долгопериодных колебаний ($T > 11,2$ года) в изменении температуры минимальная. Весной в короткопериодной части спектра изменений некоторой устойчивостью во времени обладает квазидвухлетнее колебание температуры.

Отметим, что частоты короткопериодных составляющих в изменении температуры, приходящихся на интервалы от 4 до 6 лет, характерны для явлений Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) [15].

Если сопоставить циклическую структуру колебаний температуры в северном и южном полушариях, то можно отметить, что в более океаническом южном полушарии большая мощность колебаний приходится на долгопериодную часть спектра.

В заключение отметим, что Мировой океан, обладающий большей «памятью», чем суши, является мощным модулятором изменений климата в силу своей большей энергоемкости, которая, собственно, и формирует его большую «память». Океан способен обеспечить долгопериодные колебания (автоколебания) в климатической системе даже без влияния какого-либо внешнего фактора [9].

Восходящие ветви долгопериодных колебаний температуры, накладываясь на положительную трендовую составляющую в изменении климата, связанную с ростом содержания в атмосфере парниковых газов антропогенного происхождения, еще более увеличивают скорость потепления климата, формируя так называемые скачки в изменении климата. Нисходящие ветви долгопериодных колебаний температуры океана, накладываясь на указанный тренд температуры, формируют паузы в ее изменении. Так было, например, в период с 1945 г. до середины 1960-х годов, когда глобальная температура даже уменьшилась, и в период с 1998 по 2013 г., когда скорость роста глобальной температуры уменьшалась более чем в 2,5 раза по сравнению со скоростью в предшествующий период быстрого роста температуры (1976–1998 гг.).

Указанные особенности в изменениях глобальной температуры свидетельствуют о том, что динамика современного климата, характер которой в подавляющем числе работ связывают с ростом концентрации парниковых газов в атмосфере, испытывает модулирующие воздействия естественных климатообразующих факторов, формирующих скачки и паузы в изменении современного климата.

Литература

1. **Атлас** временных вариаций природных процессов / отв. ред. чл.-корр. РАН А. В. Николаев, А. Г. Гамбурцев. – М., 1994. – Т. 1 : Порядок и хаос в литосфере и других сферах
2. **Атлас** временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. – М., 2002. – Т. 3 : Природные и социальные сферы как части окружающей среды и как объекты воздействий.
3. **Географические** и сезонные особенности современного глобального потепления / Г. В. Груза [и др.] // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2015. – № 2. – С. 41–62.
4. Кондратьев, К. Я. Глобальные изменения климата: данные наблюдений и результаты численного моделирования / К. Я. Кондратьев // Исследования Земли из космоса. – 2004. – № 2. – С. 61–96.

5. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск, 2008.
6. Логинов, В. Ф. Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата / В. Ф. Логинов. – Минск, 2012.
7. Максимов, И. В. Океан и космос / И. В. Максимов, Э. И. Саруханян, Н. П. Смирнов. – Л., 1970.
8. О характере и причинах изменения климата Земли / З. М. Гудкович [и др.] // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2009. – № 1(91). – С. 15–23.
9. Покровский, О. И. Анализ факторов изменения климата по данным дистанционных и контактных наблюдений / О.И. Покровский // Исследования Земли из космоса. – 2010. – № 5. – С. 11–24.
10. Сильвер, Дж. Глобальное потепление / Дж. Сильвер. – М., 2009.
11. Шерстюков, Б. Г. Изменения, изменчивость и колебания климата / Б. Г. Шерстюков. – Обнинск, 2011.
12. Climate Change. Изменение климата, 2007 г. Обобщающий доклад. Доклад межправительственной группы по изменению климата [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_ru.pdf. – Дата доступа : 16.08.2016.
13. NOAA National Centers for Environmental information, Climate at a Glance: Global Time Series, published July 2016 [Electronic resource]. – Режим доступа : <http://www.ncdc.noaa.gov/cag/time-series/global/>. – Дата доступа : 16.08.2016.
14. STATISTICA. Обзор STATITICA [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://statsoft.ru/products/overview/index.php?phrase_id=52983. – Дата доступа : 16.08.2016.
15. Tollefson, J. The case of the missing heat / J. Tollefson // Nature. – 2014. – Vol. 505. – P. 276–278.

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 20.10.2016 г.

V. F. Loginov, V. S. Mikutsky

**ОЦЕНКА ЦИКЛИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ
В ИЗМЕНЕНИИ ГЛОБАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ**

Проведен анализ динамики циклической структуры глобальной и полушарных температур суши и поверхности океана в годовом и сезонном аспектах. Установлены периоды усиления и ослабления длинно- и короткопериодных составляющих температурных рядов. Выделенные особенности в изменениях глобальной температуры свидетельствуют о том, что динамика современного климата, характер которой в подавляющем числе работ связывают с ростом концентрации парниковых газов в атмосфере, испытывает модулирующие воздействия естественных климатообразующих факторов, формирующих скачки и паузы в изменении современного климата.

V. F. Loginov, V. S. Mikutsky

**THE ESTIMATION OF CYCLIC COMPONENTS
IN GLOBAL TEMPERATURE CHANGE**

The analysis of dynamics of cyclic structure of global and a hemisphere temperature of land and ocean surface in annual and seasonal aspects is carried out. The intensification and letdown periods of long- and short-period components of temperature series are established. The marked features in changes of global temperature indicate that dynamics of the modern climate which character in overwhelming number of works connects with growth of concentration of greenhouse gases in atmosphere, subject modulating influences natural climate-formative factors forming jumps and pauses in change of a modern climate.

УДК 551.583: 551.590

В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий

ДИНАМИКА ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ АНОМАЛИЙ ЗИМНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ ЗА ПОСЛЕДНИЙ 60-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Рассмотрен сезонный ход частоты случаев аномально низких среднесуточных зимних температур на территории Беларуси. Анализируется смена характера возникновения аномальных зимних холодов, произошедшая в период современного потепления климата. Отмечается, что наиболее существенные изменения относятся к концу января.

Использованные данные и применяемый метод. Как отмечается в работе [3], при анализе климатических аномалий важным является выбор соответствующего критерия. С одной стороны, применение мягкого критерия дает возможность получить статистически обоснованные результаты за счет достаточных объемов сформированных на основе критерия выборок. С другой стороны, использование мягких критериев выделения крупных аномалий температуры снижает информативность полученных рядов при анализе степени экстремальности климата. Таким образом, следует стремиться к определенному балансу между достаточной жесткостью критерия и объемом получаемой выборки повторяемости экстремальных температур и, как следствие, статистической обоснованностью результатов анализа.

Среди показателей, оценивающих аномальность температуры территории, хорошо известны индексы Н. А. Багрова и В. Г. Токарева [2, 3]. В отличие от первого второй из них позволяет оценивать не только величину аномалии, но и ее знак. Для оценки аномалий температуры одного знака представляется целесообразной следующая модификация указанных индексов:

$$K^+ = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\Delta T_i^+}{\sigma_i} \right)^2, \quad K^- = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \left(\frac{\Delta T_j^-}{\sigma_j} \right)^2,$$

где $\Delta T_i^{+/-}$ – положительные/отрицательные отклонения температуры от вычисленной за определенный период нормы в i -м пункте, σ_i – среднеквадратическое отклонение ряда температур в i -м пункте за тот же период; при этом выполняется суммирование аномалий температуры одного знака.

В качестве исходных данных нами были использованы среднесуточные температуры зимнего периода по 25 станциям сети метеонаблюдений Беларуси за 58-летний период – с 1955 по 2012 г. Принимая во внимание достаточно равномерное распределение станций по сравнительно небольшой территории Беларуси и гладкость поля суточных температур, данные были усреднены по всем станциям, что позволи-

ло дать оценку суточных температур для всей территории. С учетом этого использовался другой распространенный критерий аномальности температуры. В качестве такого критерия были выбраны условия $\Delta t \leq -\sigma$ и $\Delta t \leq -2\sigma$, где Δt – отклонение суточной температуры от вычисленной нормы $t_{ср}$ (средней за период 1955–2012 гг. температуры данных суток), а σ – вычисленное за тот же период среднеквадратическое отклонение ряда температур данных суток. Будем называть эти критерии σ - и 2σ -критерием соответственно. Первый критерий выделяет крупные, второй – очень крупные аномалии [1].

Результаты. Сезонный ход указанных температур $t_{ср}$ и отклонений σ представлен на рис. 1. Среднеквадратические отклонения (σ) отвечают модулям температур. Значения σ максимальны в январе – начале февраля. Обе кривые хорошо описываются квадратичными полиномиальными трендами.

Рассмотрим сезонный ход частот случаев аномально низких температур за различные периоды. На рис. 2 представлены результаты применения σ -критерия аномальности температуры за периоды 1955–1987, 1988–2012 и 1955–2012 гг., а также линейный тренд сезона хода для всего периода и 11-дневные скользящие средние для двух подпериодов. Приведенная разбивка соответствует периоду относительно стабильного климата (1955–1987 гг.) и периоду его современного потепления (1988–2012 гг.).

До потепления (период 1955–1987 гг.) число отрицательных аномалий было максимально во второй половине января – начале февраля. Для периода (1988–2012 гг.) современного потепления климата картина динамики возникновения отрицательных аномалий изменилась почти зеркально: с падением их числа вплоть до нулевого во второй половине января.

Период 1955–1987 гг. внес наибольший вклад в общее число аномальных случаев отрицательных зимних температур. Общее число аномалий в первом подпериоде существенно больше, чем во втором, а среднее за зиму число аномалий составляет 18,0 и 9,8 соответственно (табл. 1).

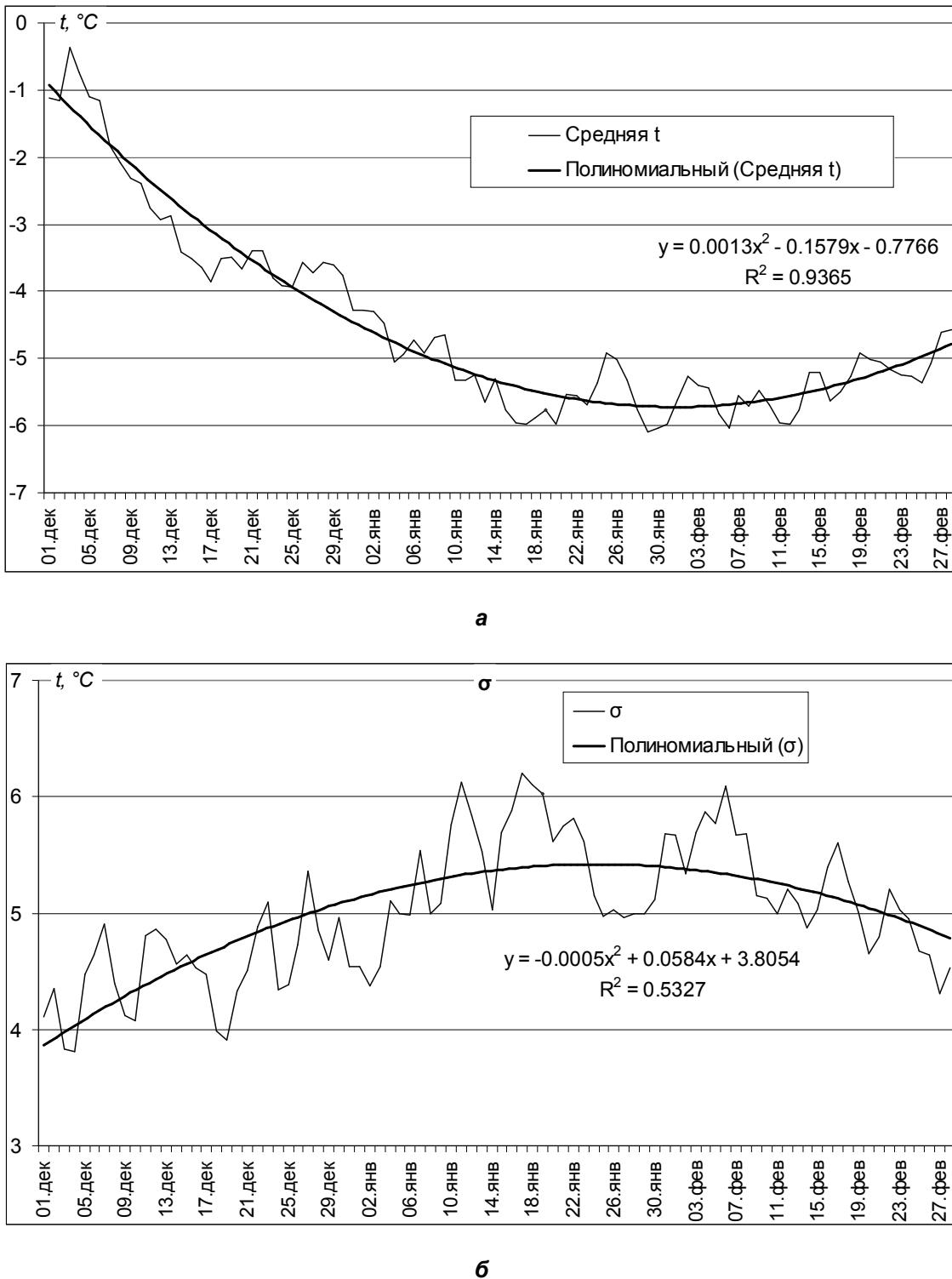


Рис. 1. Сезонная динамика усреднённых за период 1955–2012 гг. среднесуточных зимних температур воздуха на территории Беларуси (а) и их среднеквадратических отклонений σ (б), 1955–2012 гг.

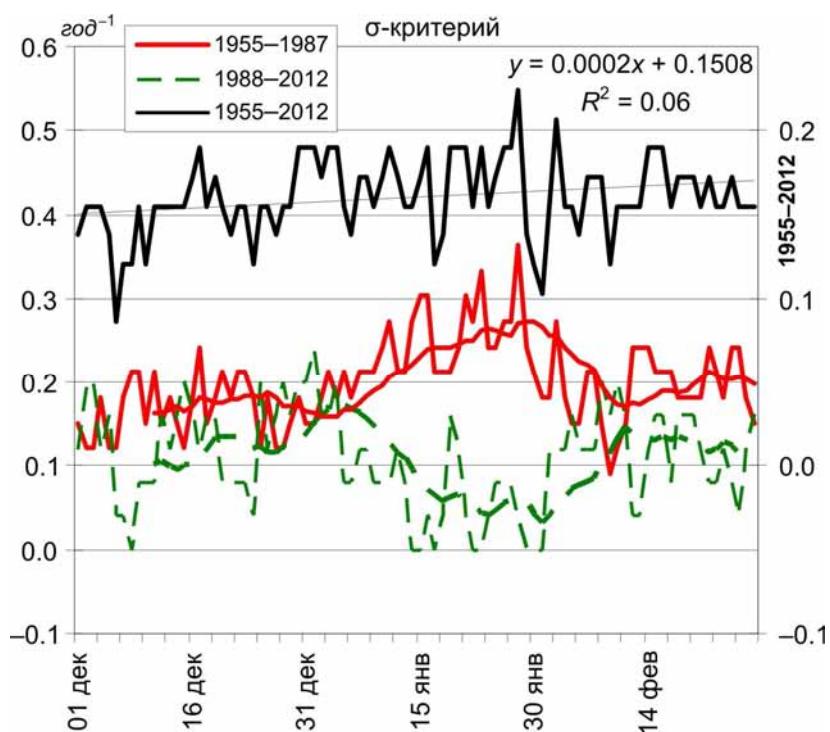


Рис. 2. Сезонный ход частоты случаев аномально низких среднесуточных зимних температур воздуха на территории Беларуси (σ -критерий) за различные периоды времени

**Таблица 1. Характеристики аномальности зимней температуры Беларуси
(σ -критерий) за различные периоды**

Характеристика	Период		
	1955–1987 гг.	1988–2012 гг.	1955–2012 гг.
Число нормальных зимних дней	0	9	0
Среднедневное число аномалий	6,6	2,7	9,3
СКО числа аномалий	1,71	1,52	1,35
Средняя частота аномалий	0,20	0,11	0,16
Среднее за зиму число аномальных дней	18,0	9,8	14,5
Тренд частот аномалий температуры (k/R^2)	0,0006*/0,087	-0,0003/0,012	0,0002*/0,060

* Статистически значимые тренды.

Вместе с этим в период современного потепления (1988–2012 гг.) в девять зимних дней не отмечалось аномальных холода, восемь из них приходятся на вторую половину января (см. рис. 2). Непропорционально длине периода, почти в 2,5 раза, сократилось среднее число крупных аномалий температуры, приходящихся на один день: с 6,6 до 2,7 случаев. Частота крупных аномалий температуры уменьшилась почти в 2,0 раза: от 0,20 до 0,11 год⁻¹. Другими словами, если в первый период аномальные холода в произвольный день возникали в среднем раз в 5 лет, то при потеплении климата такие ситуации стали возникать раз в 9 лет. Изменчивость числа аномалий температур (σ) для первого подпериода оказалась выше, чем для второго подпериода ($\sigma = 1,71$ и $1,52$ соответственно).

Отметим, что, несмотря на малые значения величин сезонных трендов частот аномалий (k) для всех трех рядов и весьма малые величины коэффициентов детерминации (R^2), положительные тренды являются статистически значимыми на уровне $p = 0,05$ (в табл. 1 выделены жирным шрифтом).

Результаты применения более жесткого 2 σ -критерия представлены в табл. 2, а также на рис. 3. Маркерами здесь помечены дни с отрицательными 2 σ -аномалиями, кривые представляют собой 11-дневные сглаженные средние сезонного хода числа аномалий для выбранных подпериодов (сплошная линия – для подпериода 1955–1987 гг., штрихпунктирная линия – для периода потепления климата – подпериода 1988–2012 гг.).

Таблица 2. Характеристики аномальности зимней температуры Беларуси (2 σ -критерий) за различные периоды

Характеристика	Период		
	1955–1987 гг.	1988–2012 гг.	1955–2012 гг.
Число нормальных зимних дней	5	48	1
Среднедневное число аномалий	1,7	0,6	2,3
СКО числа аномалий	0,94	0,67	0,99
Средняя частота аномалий	0,05	0,02	0,04
Среднее за зиму число аномальных дней	4,8	2,0	3,6
Тренд частот аномалий температуры (k/R^2)	-0,0001/0,011	-0,0001/0,024	-0,0001/0,041

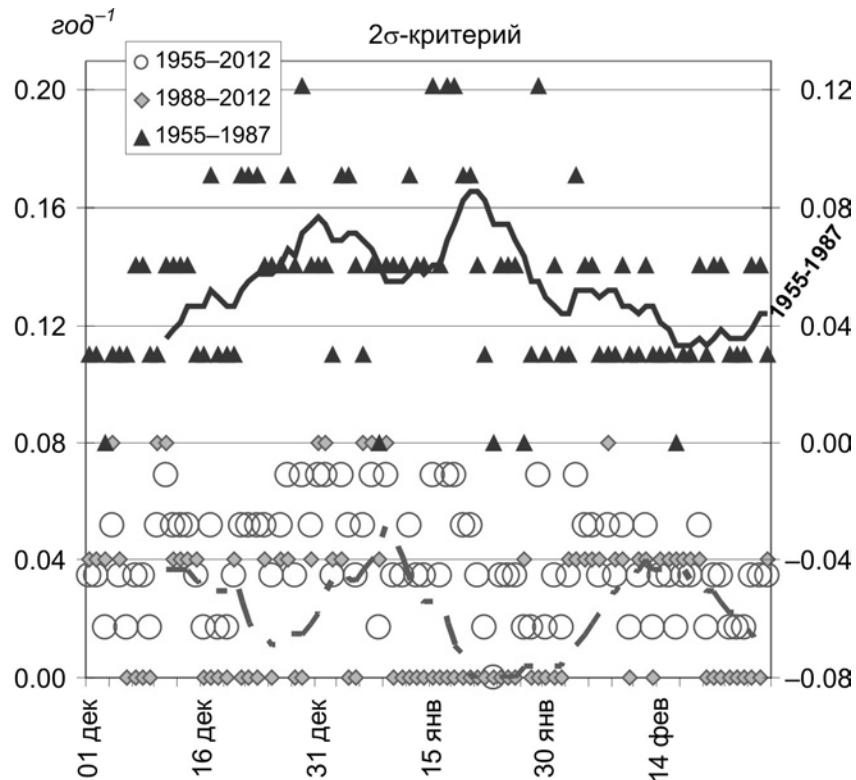


Рис. 3. Сезонная динамика частоты случаев аномально низких среднесуточных зимних температур воздуха на территории Беларуси за различные периоды (2 σ -критерий)

Качественно картина близка к динамике аномалий температур по σ -критерию (см. рис. 2). При этом, если в период 1955–1987 гг. было 5 дней, выходящих за рамки критерия, то после 1987 г. их число существенно возросло (до 48 дней). Такого же рода изменения характерны и для других характеристик (см. табл. 2). Так, если в первый период аномальные холода в произвольный день возникали в среднем раз в 20 лет, то с потеплением вероятность таких ситуаций уменьшилась в 2,5 раза (частоты – 0,05 и 0,02 $год^{-1}$ соответственно). Среднее за зиму число аномальных дней также уменьшилось во втором периоде почти в 2,5 раза (с 4,8 до 2,0 дней). Сезонные тренды частот аномалий температуры (k) вышли, практически, на ноль и потеряли статистическую значимость.

Выводы. На основе выбранного критерия аномально низкой среднесуточной температуры

проведен расчет и анализ числа случаев отрицательных аномалий зимних средних суточных температур в их сезонном ходе за различные подпериоды: 1955–2012, 1955–1987 и 1988–2012 гг.

Отмечается качественное сходство динамики аномалий температур по σ -критерию и более жесткому 2 σ -критерию. В обоих случаях для подпериодов до и после начала современного потепления климата характерен почти зеркальный сезонный ход частот случаев аномально низких среднесуточных зимних температур Беларуси. Если в первый подпериод (1955–1987 гг.) во второй половине января наблюдалось увеличение частот таких случаев, то в период современного потепления (1987–2012 гг.), напротив, происходит их падение.

Таким образом, если «классические» особенности зимы – аномальные холода во второй

половине января – до периода современного потепления еще существовали, то с наступлением потепления после 1987 г. этот отрезок зимы отличается минимальным числом крупных отрицательных аномалий температуры.

В целом основные количественные показатели аномальности суточной зимней температуры первого подпериода более чем в 2,0 раза превышают соответствующие характеристики последующего периода современного потепления. Потепление климата не только сказалось на

повышении средних значений зимней температуры, но и привело к уменьшению числа случаев экстремально низких зимних температур. Согласно более жесткому 2σ -критерию выделения аномалий температуры во втором подпериоде, в большинстве дней зимы (48 дней из 90) аномально низкие зимние температуры в Беларуси вообще отсутствуют, а повторяемость аномально низких температур, выходящих за σ -критерий, во вторую половину января стала минимальной.

Литература

1. Переведенцев, Ю. П. Современные глобальные и региональные изменения климата / Ю. П. Переведенцев, Э. П. Наумов, К. М. Шанталинский // Географический вестник. – 2006. – Вып. 2. – С. 25–32.
2. Токарев, В. Г. Об изменчивости и аномальности средней сезонной температуры воздуха в первую половину лета в Западной Сибири / В. Г. Токарев // Тр. ЗапСибНИИ. – 1983. – Вып. 59. – С. 20–26.
3. Чичасов, Г. Н. Технология долгосрочных прогнозов погоды / Г. Н. Чичасов. – СПб., 1991.

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 21.10.2016 г.

V. F. Логинов, V. S. Микуцкий

ДИНАМИКА ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ АНОМАЛИЙ ЗИМНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ ЗА ПОСЛЕДНИЙ 60-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

«Классические» особенности зимы – аномальные холода во второй половине января – с наступлением потепления после 1987 г. практически не наблюдаются: в этот отрезок зимы, наоборот, отмечается минимальное количество крупных отрицательных аномалий температуры. Потепление климата сказалось не только на повышении средних значений зимней температуры, но и привело к уменьшению числа случаев экстремально низких зимних температур.

V. F. Loginov, V. S. Mikutsky

THE DYNAMICS OF NEGATIVE ANOMALIES OF WINTER AIR TEMPERATURE ON THE TERRITORY OF BELARUS FOR THE LAST 60 YEARS' PERIOD OF INSTRUMENTAL OBSERVATIONS

"Classical" features of winter – occurrence of abnormal colds in second half of January – practically are not observed with the approach of warming after 1987: the minimum number of large negative anomalies of temperature are distinguished of this part of winter. Climate warming has affected not only increase of average values of winter temperature, but also has led to reduction of number of cases of extremely low winter temperatures.

В. Ф. Логинов, М. А. Хитриков

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ СУММАРНОГО ИСПАРЕНИЯ В БЕЛОРУССКОМ ПОЛЕСЬЕ ЗА 1977–2014 ГОДЫ

Для метеорологических станций белорусского Полесья были рассчитаны значения суммарного испарения за теплый период за 1977–2014 гг. Сравнительный анализ полученных результатов выявил синхронность многолетнего хода значений испарения в рассматриваемом регионе, ставшую менее выраженной в последние годы, и определил, что наиболее значимыми факторами, влияющими на значения испарения в Полесье, являются континентальность климата, степень урбанизации территории, а также ее общая заболоченность.

Изменения величины испарения по Полесскому региону за последние десятилетия представляют большой интерес в связи с наблюдаемыми изменениями климата и значительным влиянием осушительной мелиорации на микроклимат региона. Недавно проведенные работы [1] выявили, что отмечаемое улучшение микроклиматических условий на отдельных осушенных участках, в частности повышение испарения, является следствием проведения мелиоративных работ и не связано с происходящими изменениями регионального климата. Однако заболоченность земель Полесья изначально различалась и осушительной мелиорацией были затронуты не все территории, поэтому, чтобы оценить характер изменения величины испарения, необходимо рассмотреть ее по всем метеостанциям региона, расположенным в разных физико-географических условиях.

Для проведения исследования были отобраны станции, находящиеся непосредственно в Полесском регионе (Брест, Минск, Полесская, Ганцевичи, Житковичи, Лельчицы, Мозырь, Василевичи, Брагин, Гомель) и станции, расположенные в пограничных районах Полесья (Высокое, Прожаны, Ивацевичи, Октябрь, Жлобин). Изменения величины испарения рассматривались для всего исследуемого периода и трех подпериодов: I – 1977–1984 гг., когда потепление климата еще было слабым и проводилась осушительная мелиорация, хотя ее интенсивность к концу периода существенно упала; II – 1987–2000 гг., когда наступило отчетливо выраженное потепление климата, а осушительная мелиорация практически прекратилась; III – 2001–2014 гг., когда характер потепления климата изменился [3]. 1985 и 1986 г. исключены из рассмотрения, поскольку в эти годы отмечались значительные пропуски данных на большинстве станций.

Измерения испарения в Полесском регионе проводятся только на двух станциях (Василевичи и Полесская), поэтому значение испарения определяли путем расчетов. В связи с ограниченностью

доступных данных для расчетов был применен метод Пенмана [4]. Это преимущественно эмпирический метод, предназначенный для расчета испарения с поверхности небольших водоемов. Такие условия характерны для территории Беларуси, и, следовательно, указанный метод вполне применим. Расчетная формула выглядит следующим образом:

$$E = 0,89(1 + 0,15U)(e_h - e),$$

где E (мм/сут.) – суммарное испарение с поверхности водоема за сутки; U – средняя за сутки скорость ветра на высоте 2 м; e_h – упругость насыщенного пара для средней температуры за сутки; e – фактическое значение упругости водяного пара, среднее за сутки.

Сравнение значений испарения, полученных расчетным путем, с измеренными значениями показало, что расчетные значения испарения оказываются завышенными. В связи с этим расчетная формула была адаптирована с учетом метеорологических условий белорусского Полесья. Расчетные и измеренные значения испарения становятся согласованными при уменьшении первого коэффициента пропорциональности с 0,89 до 0,40.

Абсолютное большинство испарения (согласно данным расчетов, в среднем порядка 86 %) приходится на теплый период года, поэтому наши результаты относятся к этому периоду года (см. таблицу, рис. 1–5).

Как видно из рис. 1, в распределении значений испарения по территории Полесья четко прослеживаются три характерные особенности. Первая особенность заключается в том, что испарение увеличивается при продвижении с запада на восток, в районы с более континентальным климатом. Вторая особенность состоит в том, что максимальные значения испарения (на 30–70 мм больше, чем на соседних станциях) отмечаются в крупных городах. Это объясняется тем, что в крупных городах из-за наличия «островов тепла» наблюдаются более высокие значения температуры, что, в свою очередь, приводит к тому, что

значения упругости водяного пара тоже оказываются выше. Третья особенность связана с тем, что минимальные значения испарения характерны для наиболее заболоченных регионов. Заболоченные земли отличаются пониженными тем-

пературами и, таким образом, меньшими значениями упругости водяного пара в атмосфере.

На рис. 2 представлены средние значения испарения по Полесскому региону за 1987–2000 гг.

Средние значения испарения (мм) по станциям Полесья за рассматриваемые периоды

Метеостанции	Весь период	Подпериод I	Подпериод II	Подпериод III
Брагин	524,13	519,60	555,95	492,64
Брест	629,08	560,80	613,47	683,71
Василевичи	544,37	535,47	526,12	567,69
Высокое	542,31	503,54	558,95	547,82
Ганцевичи	509,51	461,69	510,49	537,92
Гомель	636,46	616,06	626,72	657,86
Житковичи	549,66	508,25	551,95	571,04
Жлобин	577,19	538,07	565,77	610,97
Ивацевичи	545,29	497,44	552,08	567,45
Лельчицы	598,15	566,56	597,43	618,37
Мозырь	604,13	580,60	562,34	659,37
Октябрь	611,34	548,52	621,83	636,75
Пинск	577,80	518,50	599,51	589,98
Полесская	554,69	—	547,37	562,02
Пружаны	555,83	470,31	558,43	605,66

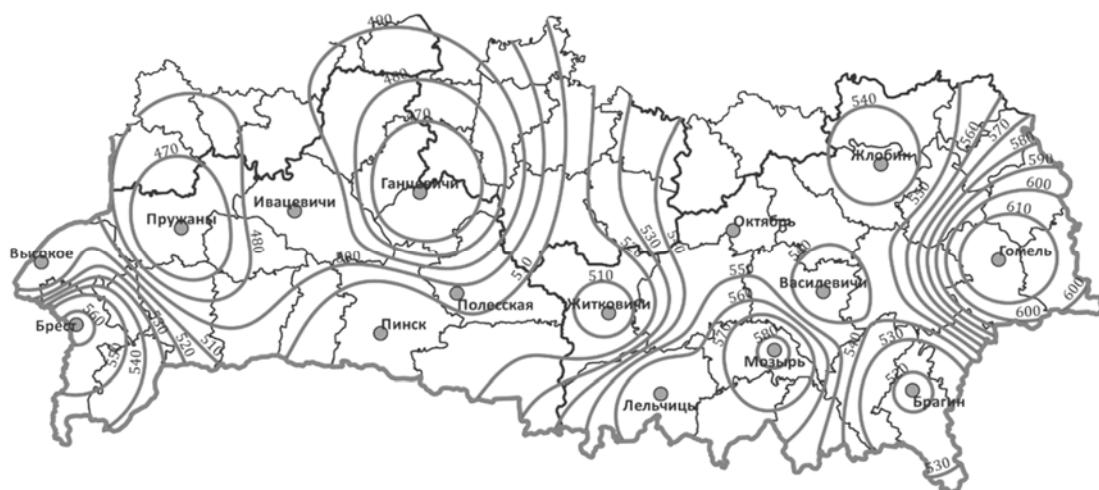


Рис. 1. Значения испарения по Полесскому региону за I подпериод (1977–1984 гг.)

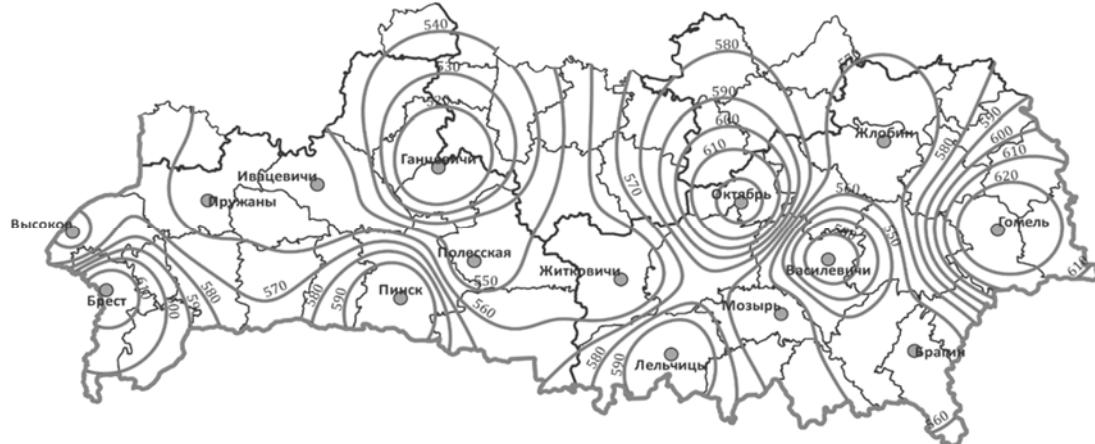


Рис. 2. Значения испарения по Полесскому региону за II подпериод (1987–2000 гг.)

Из рис. 2 следует, что прекращение осушительной мелиорации и начало выраженного потепления климата не вызвали существенных изменений найденных ранее особенностей распределения величины испарения. Однако, начиная с этого подпериода, появляются отдельные аномалии в распределении значений испарения. Наиболее крупная из них характерна для метеостанции Октябрь, где средние значения испаре-

ния практически достигли уровня крупных городов. Это связано с тем, что за 1987–2000 гг. на данной метеостанции заметно возросло количество осадков, а средние скорости ветра оказались выше, чем на соседних станциях.

На рис. 3 представлены значения испарения по Полесскому региону за последний период времени (2001–2014 гг.).

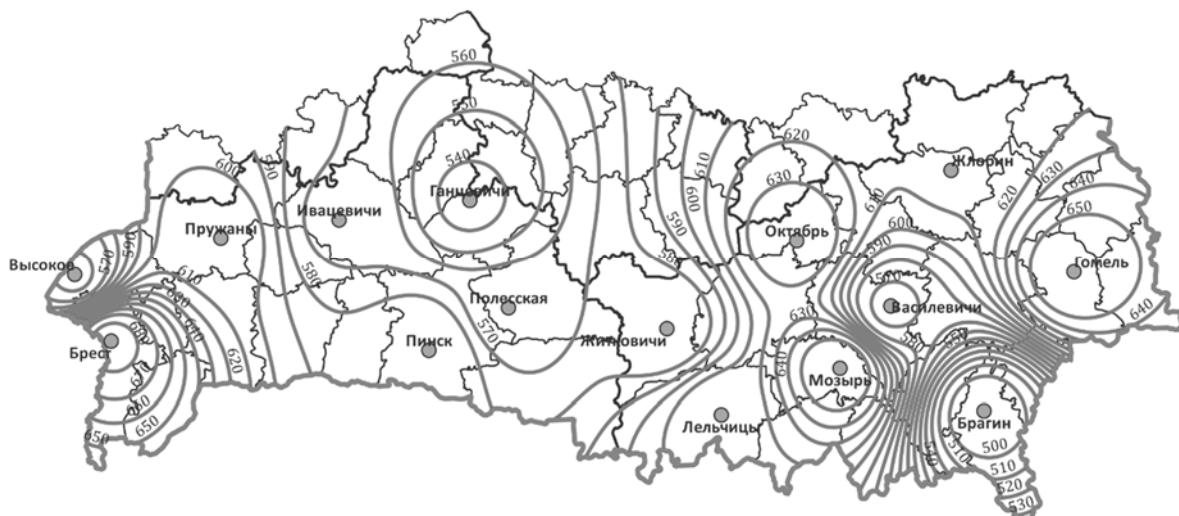


Рис. 3. Значения испарения по Полесскому региону за III подпериод (2001–2014 гг.)

Как видно на рис. 3, изменение характера потепления привело к тому, что вторая из ранее найденных особенностей в распределении значений испарения стала более выраженной – разница в величине испарения между станциями в крупных городах и в сельской местности увеличилась до 70–110 мм. Аномалия величины испарения на станции Октябрь сохранилась, и возникла еще одна область аномальных значений испарения на станции Брагин, для которой были характерны очень низкие значения испарения. Ее возникновение объясняется тем, что в 2001–2014 гг. для данной станции было характерно сильное снижение количества осадков (минимальные значения по территории всего Белорусского Полесья).

Рассмотрим пространственную изменчивость испарения для всех трех подпериодов. Данные рис. 4 подтверждают раннее обнаруженные особенности и аномалии в распределении значений испарения, в частности тяготение максимумов к крупным городам. Сравнение данных, приведенных на диаграммах, выявляет еще одну особенность изменений значений испарения: в среднем для всей территории Полесья характерен рост значений испарения на протяжении всего рассматриваемого периода, хотя отмечаются и исключения для отдельных станций и периодов времени. Так, для станций Мозырь и Василевичи

средние значения за второй подпериод оказались меньшими, чем за первый, а на станциях Брагин, Высокое и Пинск средние значения испарения за третий подпериод – меньше, чем за предыдущий.

Многолетние изменения испарения на метеостанциях Полесья за теплый период представлены на рис. 5.

График многолетнего хода значений испарения подтверждает обнаруженный ранее рост значений испарения и показывает, что на протяжении всего рассматриваемого периода испарение по территории Полесья изменялось в широких пределах: максимальные значения в среднем в 1,76 раз превышают минимальные. Он также демонстрирует, что изменения значений испарения по Полесью от года к году преимущественно синхронны, однако в последние годы данная особенность становится менее выраженной. Возможно, это связано с большей пространственной неоднородностью в распределении метеорологических элементов, оказывающих влияние на величину испарения (скорость ветра, температура). Теснота пространственной корреляции названных метеорологических элементов уменьшилась. Если это действительно так, то требуется большая плотность метеорологической сети, чтобы отследить наметившиеся тенденции.

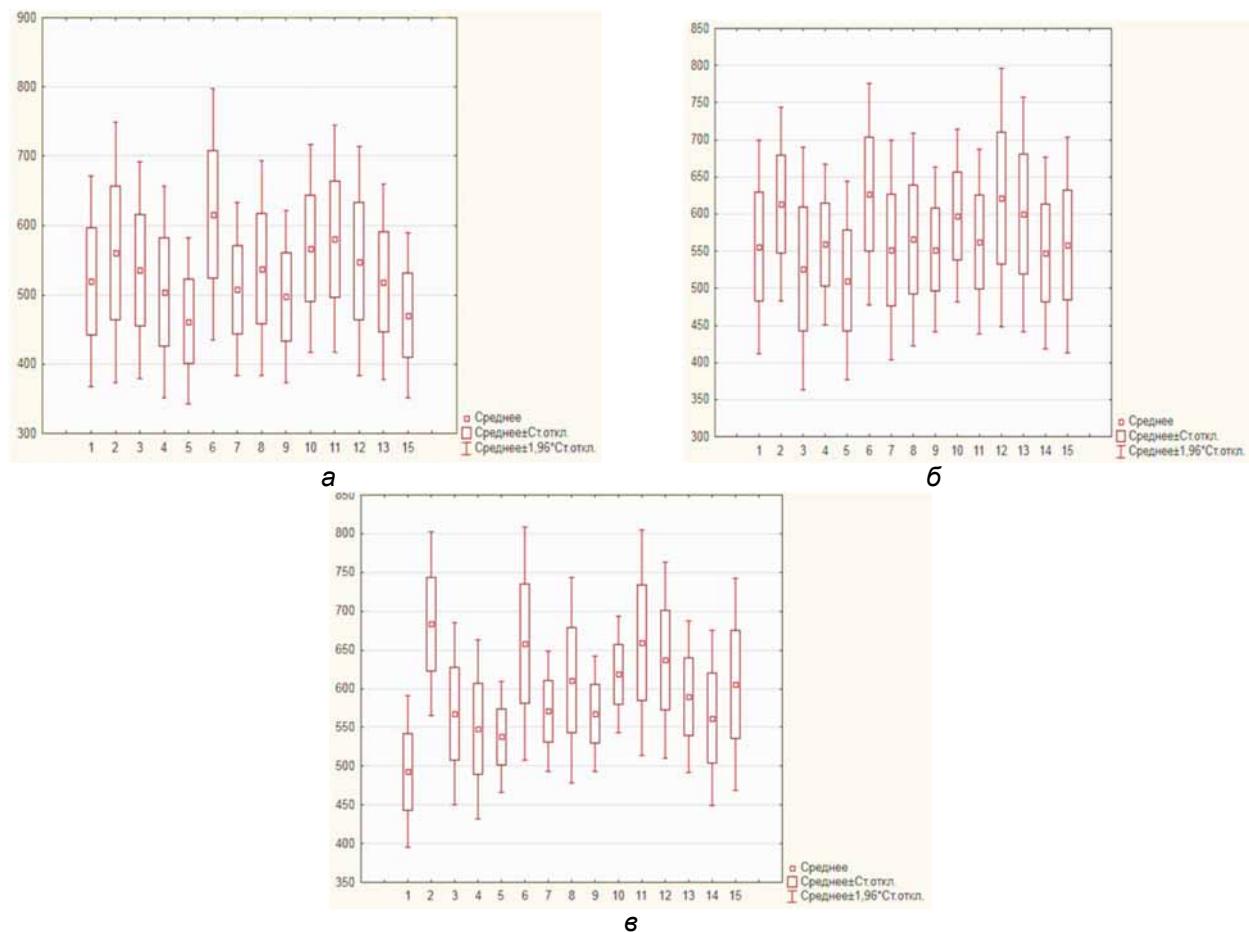


Рис. 4. Диаграммы (размаха) изменчивости испарения на различных станциях (1 – Брагин, 2 – Брест, 3 – Василевичи, 4 – Высокое, 5 – Ганцевичи, 6 – Гомель, 7 – Житковичи, 8 – Жлобин, 9 – Ивацевичи, 10 – Лепель, 11 – Мозырь, 12 – Октябрь, 13 – Пинск, 14 – Полесская, 15 – Пружаны) для подпериода I (а), II (б), III (в)

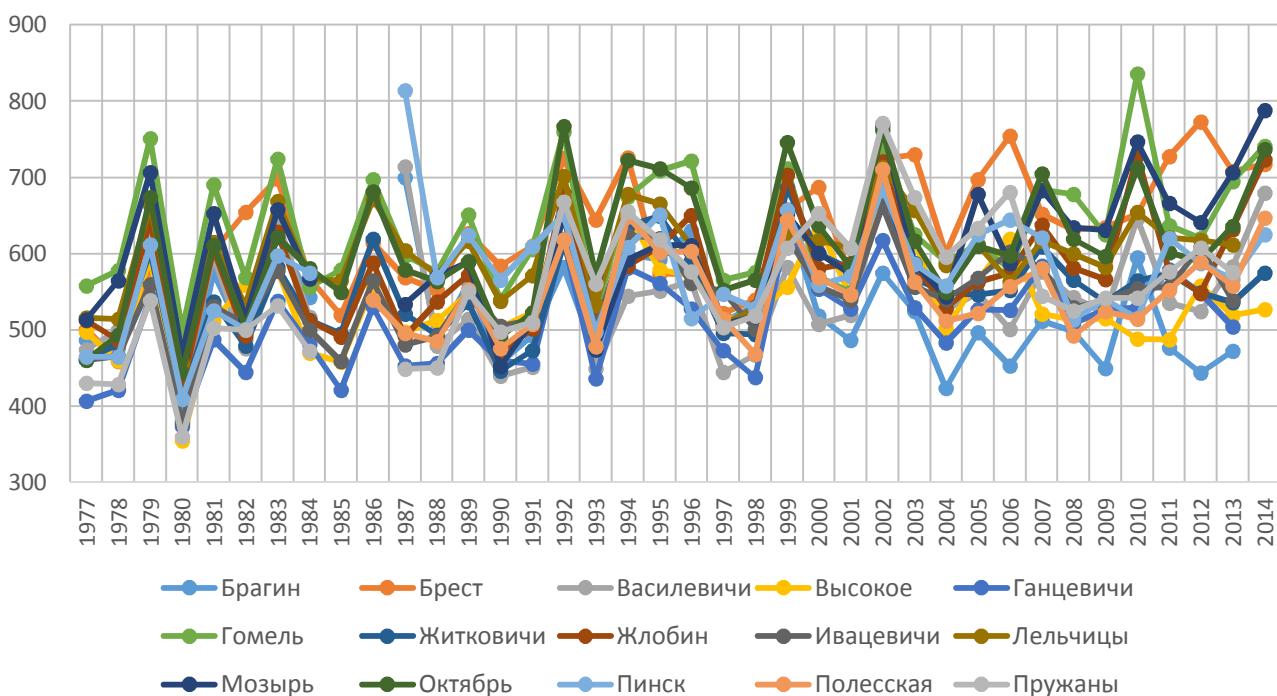


Рис. 5. Многолетний ход значений испарения по метеостанциям Полесья за теплый период за 1977–2014 гг.

Географические особенности распределения величины испарения по территории Полесья за более ранние годы (1947–1981 гг.) представлены на рис. 6 [2], из которого следует, что потепление климата и проведение осушительной мелиорации существенно не повлияли на первую из ранее обнаруженных особенностей распределения величины испарения. Однако иные особенности в распределении значений испарения

здесь не прослеживаются: на метеорологических станциях в крупных городах экстремальные значения не выделяются. Повышенные значения испарения тяготеют к наиболее заболоченным территориям. Причина этого заключается в том, что для расчета значений испарения в работе [2] был использован иной метод – гидрологиклиматических расчетов, являющийся более комплексным.



Рис. 6. Значения величины испарения за период 1947–1981 гг. по данным работы [2]

Среднее значение испарения за теплый период по всему Полесскому региону за рассмотренный период составило 570,73 мм. Значения за I (1977–1984 гг.), II (1987–2000 гг.) и III (2001–2014 гг.) подпериоды достигли 530,37, 570,32 и 596,6 мм соответственно. Наибольшее значение испарения за весь рассмотренный период составило 835,26 мм, оно было отмечено в Гомеле в 2010 г., а наименьшее значение испарения (355,06 мм) – в Высоком в 1980 г. Максимумы и минимумы значений испарения для каждого из рассмотренных подпериодов следующие: для I – 751,27 мм (Гомель, 1979 г.) и 355,06 мм (Высокое, 1980 г.), для II – 813,48 (Пинск, 1987 г.) и 436,34 (Ганцевичи, 1993 г.), для III – 835,26 мм (Гомель, 2010 г.) и 423,44 мм (Брагин, 2004 г.). Наибольшие значения испарения характерны для станций Брест, Гомель, Мозырь, Пинск, Октябрь и Лельчицы, наименьшие – для станций Ганцевичи, Полесская, Василевичи, Брагин и Высокое.

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

1. В связи с тем, что для расчета суммарного испарения было использовано ограниченное число параметров, полученные значения для каждой станции за разные годы нередко различались, а распределение испарения по всей территории рассматриваемого региона имело довольно пестрый характер.

2. Значения испарения в Полесье на протяжении всего рассматриваемого периода в

среднем увеличиваются. Линейные тренды многолетнего хода значений испарения за рассматриваемый период показывают рост по всем станциям за исключением станции Брагин.

3. График многолетнего хода испарения показывает преимущественно синхронные изменения испарения от года к году, что свидетельствует об однородности развития циркуляционных и радиационных процессов во всем регионе. Однако при всем этом нельзя не заметить то, что с начала периода современных изменений климата синхронность многолетнего хода значений испарения становилась менее выраженной: доли статистически незначимых корреляционных зависимостей между значениями испарения на метеостанциях за I, II и III подпериоды составляют 5,5, 25,7 и 49,5 % соответственно. Для II и III подпериодов характерно появление отрицательных корреляций. Наиболее тесные связи характерны для соседних станций, наименее тесные – для станций, расположенных в разных частях рассматриваемого региона. Тем не менее эта закономерность соблюдается не во всех случаях, например, корреляции между станциями Пинск и Полесская за II подпериод и станциями Брест и Высокое за III подпериод не являются статистически значимыми.

4. Распределение значений испарения в Полесье зависит от континентальности климата, степени урбанизации территории, а также ее общей заболоченности. Выраженной зависимости между величиной испарения на метеостанциях и

площадью осушенных земель на рассматривающих территориях отмечено не было. Наибольшие рассчитанные значения испарения в основном соответствуют крупным городам и населенным пунктам, расположенным в регионах, где изначально заболоченность была невысокой.

Таким образом, вычисленные по данным наблюдений на метеорологических станциях изменения значений испарения в Полесском реги-

оне в первую очередь определяются свойствами подстилающей поверхности: общей заболоченностью, степенью мелиорированности и степенью урбанизации рассматриваемой территории. Изменения испарения также определяются изменениями погодных и климатических условий (температуры, количества осадков, влажности, скорости ветра и др.), которые за последние годы претерпели существенные изменения.

Литература

- 1. Авраменко, Н. М.** Климатические изменения на Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства за период инструментальных наблюдений / Н. М. Авраменко // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивого развития Полесья : сб. докл. Междунар. науч. конф., Минск, 14–17 сент., 2016 г. – Т. 1. – С. 318–322.
- 2. Логинов, В. Ф.** Водный баланс речных водосборов Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А Волчек. – Минск, 2006.
- 3. Логинов, В. Ф.** Сезонные особенности изменения климата Беларуси / В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка // Природопользование. – 2014. – Вып. 25. – С. 16–22.
- 4. Руководство** по гидрологической практике (ВМО-№168). – 6-е изд. – Женева, 2011. – Т. 1 : Гидрология: от измерений до гидрологической информации.

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 03.11.2016 г.

В. Ф. Логинов, М. А. Хитриков

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ СУММАРНОГО ИСПАРЕНИЯ В БЕЛАРУССКОМ ПОЛЕСЬЕ ЗА 1977–2014 ГОДЫ

Для территории Белорусского Полесья был проведен расчет значений суммарного испарения за теплый период за 1977–2014 гг. В связи с ограниченностью доступных данных для расчета значений испарения был использован адаптированный метод Пенмана.

Сравнительный анализ полученных результатов определил, что многолетний ход значений испарения по рассматриваемому региону преимущественно синхронен, а распределение значений испарения в Полесье в первую очередь определяется такими особенностями, как континентальность климата, степень урбанизации территории и ее общая заболоченность. Было обнаружено, что современные изменения климата привели к росту значений испарения в Полесье и уменьшению синхронности многолетнего хода значений испарения на метеорологических станциях региона. Выраженной зависимости между величиной испарения на метеостанциях и площадью осушенных земель на рассматриваемых территориях отмечено не было.

V. F. Loginov, M. A. Khitrykau

SPATIOTEMPORAL FEATURES OF TOTAL EVAPORATION CHANGES IN BELARUSIAN POLESIA FOR 1977–2014

Calculation of the values of total evaporation for the warm period of the year for 1977–2014 is presented for Belarusian Polesia. Due to limitations of the available data adapted Penman method was used for the calculations.

Comparative analysis of the results obtained showed that year-to-year changes of the evaporation values in Polesia are predominantly synchronous, and that main features defining spatial distribution of evaporation values are continentality of the climate, degree of urbanization of the territory considered and total area of wetlands in the territory considered. It was found that modern climate changes caused increase of the evaporation values in Polesia and decrease of the degree of synchronicity of year-to-year changes of evaporation on the meteorological stations. The results obtained showed the absence of significant dependence between evaporation values at the weather stations and total area of meliorated lads in the territory considered.

Т. Г. Табальчук

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Рассмотрены пространственно-временные изменения температуры воздуха в различные периоды времени, включающие период современного потепления и предшествующий ему. Составлены карты распределения среднегодовых и среднедекадных температур на территории Беларуси, проведен их сравнительный анализ.

Наиболее полным на сегодня последним обобщением климатической информации является книга «Климат Беларуси» (1996 г.) [1], в которой дана полная характеристика всех параметров климата Беларуси и его изменений. В основу исследований основной характеристики климата – температуры воздуха – были положены ее среднемесячные значения за период с 1881 по 1990 г. Проведенные в последнюю четверть века (1991–2015 гг.) наблюдения на сети

гидрометеорологических станций требуют пересмотра статистических оценок изменений температуры с учетом данных за указанное время. Об уникальности этого периода могут свидетельствовать оценки наиболее часто используемых двух первых статистических моментов температуры (среднее арифметическое и дисперсия, или среднеквадратическое отклонение) за периоды 1881–1990 и 1991–2015 гг. для наиболее длиннорядных станций Беларуси (табл. 1).

Таблица 1. Первый и второй статистические моменты для наиболее длиннорядных метеостанций Беларуси для периодов 1900–1990 и 1991–2015 гг.

Станция	Среднее арифметическое			Дисперсия		
	1900–1990 гг.	1991–2015 гг.	Разность температур	1900–1990 гг.	1991–2015 гг.	Разность дисперсий
Василевичи	6,47	7,61	1,14	10,06	9,71	0,35
Горки	4,76	6,07	1,31	10,42	9,98	0,44
Марьина Горка	5,82	7,13	1,31	10,87	9,64	1,23
Минск	5,64	7,09	1,45	9,87	9,59	0,28

Из таблицы следует, что в последний, 25-летний, период увеличение температуры оказалось наибольшим на станции Минск, что связано, как будет показано ниже, с наличием острова тепла в большом городе. На самой южной из рассмотренных станций – Василевичах – наблюдается минимальное увеличение температуры, что не противоречит парниковой теории потепления климата. Согласно этой теории изменения температуры должны увеличиваться с широтой и достигать максимума в полярных широтах, где значителен вклад обратной альбедной связи, а также велико воздействие сильной гравитационной устойчивости, создаваемой выхолаживанием воздуха вблизи земной поверхности, которая подавляет конвекцию и перенос длинноволнового излучения, приводя к концентрации нагревания в тонком приповерхностном слое воздуха. Среднеквадратическое отклонение, наоборот, уменьшилось, что в первую очередь может быть связано с использованием более короткой выборки данных наблюдений.

В настоящее время имеются непрерывные ряды суточных наблюдений за период 1955–2015 гг. на 24 метеостанциях, относительно равномерно расположенных на территории Беларуси.

Информации об изменении температуры на 24 метеорологических станциях вполне достаточно для решения поставленной задачи. Подтверждением тому являются величины пространственных корреляций – изокорреляты суточных температур (рис. 1) на центральной по географическому положению станции Минск с температурой на других метеорологических станциях. Как видно из рис. 1, коэффициент корреляции рядов среднесуточных температур других метеостанций с температурой на метеостанции Минск превышает 0,97. Это говорит о достаточности такого количества станций для проведения запланированного анализа температуры.

В данном исследовании на основе имеющихся среднесуточных значений температуры воздуха на территории Беларуси нами проведено картирование среднегодовых температур, а также средних температур для каждого месяца и для каждой декады месяца. Картирование проводилось в программе ArcGIS 10.1. В качестве метода интерполяции был выбран сплайн, который оптимально подходит для интерполяции гладких полей, каковым является поле температуры [6]. После построения карт каждая из них была проверена на достоверность отображения изолиний. Выявленные неточности были исправлены вручную.

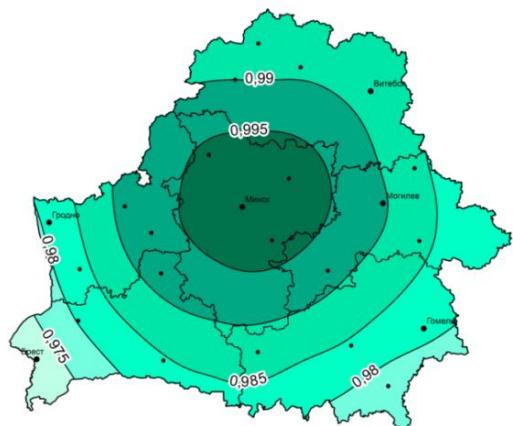


Рис. 1. Изокорреляты связи температуры на метеостанции Минск с температурой на других метеостанциях, использованных в исследовании

Сравнительный анализ температуры за периоды 1881–1990 и 1955–2015 гг. При сравнении карт распределения средней температуры воздуха за год за указанные периоды обнаруживаются существенные отличия. В период 1881–1990 гг. годовая температура увеличивается с северо-востока на юго-запад от 4,5 до 7,0 °C. На карте пространственного распределения температуры за 1955–2015 гг. заметно, что температура также увеличивается с северо-востока на юго-запад, однако это повышение составляет 5,5–7,5 °C. Если на юге Беларуси увеличение среднегодовой температуры составило 0,5 °C, то на севере температура увеличилась на 1,0 °C. В целом такое изменение согласуется с парниковой теорией современного потепления, из которой следует, что увеличение температуры должно быть более выражено в северных районах. Карты среднегодовой температуры для различных периодов приведены на рис. 2.

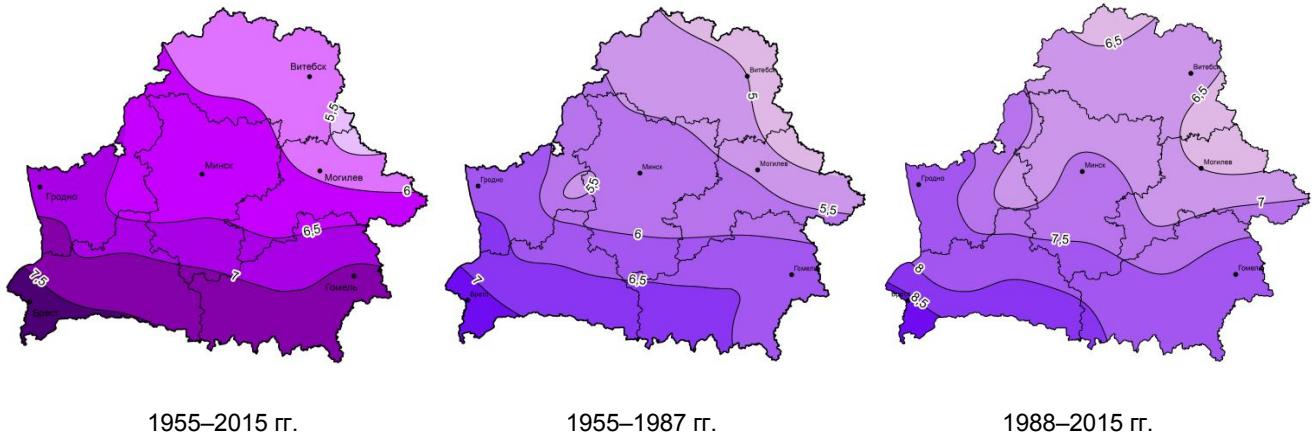


Рис. 2. Карты среднегодовой температуры воздуха на территории Беларуси для различных периодов

Рассмотрим месячные и декадные характеристики изменения температуры.

Январь. В период 1955–2015 гг. среднемесечная температура изменяется от –3,5 °C на юго-западе до –7 °C на северо-востоке (рис. 3). Увеличение температуры по сравнению с периодом 1881–1990 гг. одинаково для всей территории страны и составляет 1,0 °C. Однако существуют некоторые различия в конфигурации изотерм. В период 1881–1990 гг. январские изотермы идут с северо-запада на юго-восток практически параллельно друг другу. В период 1955–2015 гг. изотермы ведут себя схожим образом, за исключением изотермы –5,5 °C, которая сильно изгибаются к западу, огибая Новогрудок. Такое понижение температуры в районе метеостанции Новогрудок объясняется ее географическим положением, в частности высотой над уровнем моря. Метеостанция Новогрудок расположена в наиболее высокой части Новогрудской возвышенности, недалеко от ее высшей точки. Высота станции над уровнем моря составляет 280,2 м. Наиболее высокое расположение метеостанции объясняет пониженную по сравнению с соседними метеостанциями тем-

пературу. Из других станций, расположенных наиболее высоко над уровнем моря, следует назвать Минск (224,7 м). Однако в данном случае понижение температуры, связанное с более высоким гипсометрическим уровнем, не выражено, так как оно перекрывается антропогенным островом тепла, характерным для крупных городов. Среди остальных метеостанций выше 200 м над уровнем моря расположена только метеостанция Горки, на которой наблюдаются самые низкие температуры среди рассмотренных станций, что объясняется в большей степени ее северо-восточным положением. Распределение температур января по декадам в целом схоже со среднеянварским распределением: изотермы вытянуты с северо-запада на юго-восток, изгибаясь к западу в районе Новогрудка. В первую и вторую декады температуры изменяются от –3,5 до –6,5 °C. Третья декада января является наиболее холодной в период 1955–2015 гг.: температура в это время меняется от –4,0 до –7,5 °C. В третью декаду января разность температур между наиболее холодными и наиболее теплыми районами является наибольшей и составляет 3,5 °C.

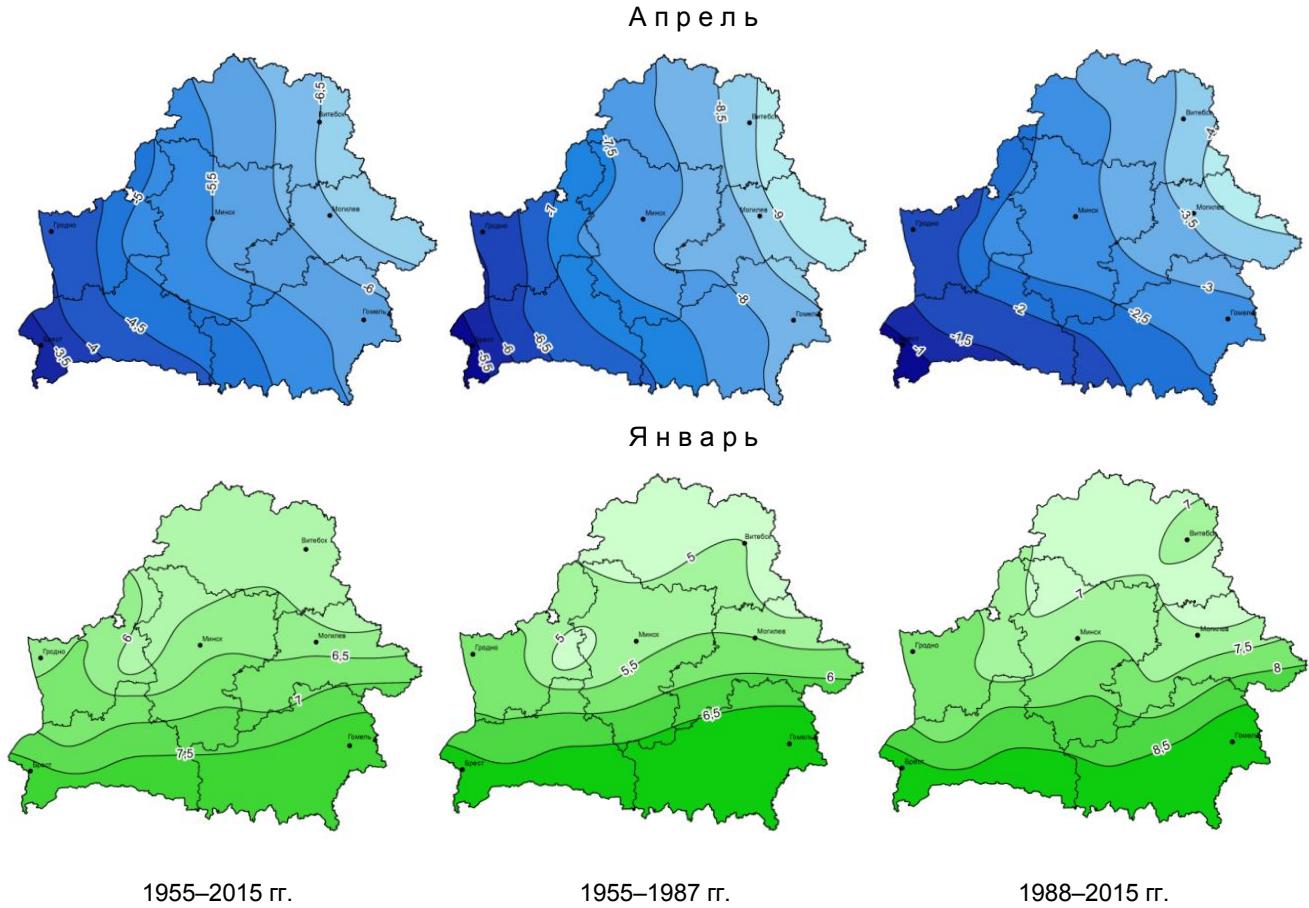


Рис. 3. Карты изотерм второй декады января и второй декады апреля для территории Беларуси для различных периодов времени

Февраль. Изотермы февраля, также как и в январе, в целом наклонены с северо-запада на юго-восток, изгибаюсь в районе Новогрудка. Температура изменяется от $-3,0^{\circ}\text{C}$ на юго-западе до $-6,5^{\circ}\text{C}$ на северо-востоке. По сравнению с периодом 1881–1990 гг. среднее увеличение температуры составило $0,5^{\circ}\text{C}$ на юге и $1,0^{\circ}\text{C}$ на севере. В первую декаду февраля температура на территории Беларуси изменяется от -3 до -7°C . Распределение температур во вторую декаду практически не отличается от распределения температур в первую: она изменяется от $-3,0$ до $-6,5^{\circ}\text{C}$. В третью декаду заметно увеличение температуры в сезонном ходе: на юго-западе температура составляет $-2,5^{\circ}\text{C}$, а на северо-востоке $-5,5^{\circ}\text{C}$. Разность температур между северными и южными районами уменьшается от $4,0^{\circ}\text{C}$ в первую декаду до $3,0^{\circ}\text{C}$ в третью. Кроме того, в третью декаду февраля на юге Брестской области уже заметно начало перестройки конфигурации изотерм: их расположение приближается к субширотному, что характерно для летнего периода.

Март. В период 1955–2015 гг. по сравнению со средней температурой в марте в период 1881–1990 гг. увеличение температуры составило $0,5^{\circ}\text{C}$ на юге и $1,0^{\circ}\text{C}$ на севере. В первую декаду на всей территории сохраняется отрица-

тельная температура (от -1 до -4°C). Во вторую декаду на юго-западе температура уже положительная ($1,0^{\circ}\text{C}$), а на северо-востоке все еще отрицательная ($-2,0^{\circ}\text{C}$). В третью декаду отрицательная температура сохраняется только на востоке Беларуси (Горки). На юго-западе температура составляет $3,5^{\circ}\text{C}$. В первые две декады разница температур между севером и югом, как и в третью декаду февраля, составляет $3,0^{\circ}\text{C}$, а в третью увеличивается до $3,5^{\circ}\text{C}$. В южной части Беларуси изотермы практически полностью приобретают субширотный ход. В центральной части изотермы имеют субширотный ход восточнее Новогрудка, а западнее города они резко изгибаются к северу, принимая субмеридиональное направление, что объясняется более высоким положением этой метеостанции.

Апрель. В период 1955–2015 гг. увеличение температуры по отношению к периоду 1881–1990 гг. на всей территории Беларуси составило $1,0^{\circ}\text{C}$. В первую декаду месяца температура изменяется от $6,0$ до $3,5^{\circ}\text{C}$, разность температуры между севером и югом составляет $2,5^{\circ}\text{C}$. Во вторую декаду температура на юге страны составляет $7,5^{\circ}\text{C}$, на севере понижается до 6°C , а в третью декаду – $10,0$ и $8,5^{\circ}\text{C}$ соответственно. Разность температур между северными и южными районами во вторую и третью декады состав-

ляет 1,5 °С. В апреле происходит окончательная перестройка изотерм на субширотное простира-
ние (см. рис. 3).

Май. В период 1955–2015 гг. по сравне-
нию с периодом 1881–1990 гг. увеличение тем-
пературы на севере составило 0,5 °С. На юге
существенно расширяется область, ограничен-
ная изотермой 14 °С по сравнению с периодом
1881–1990 гг. Изотермы в мае начинают откло-
няться от широтного простирания и вытягива-
ются в направлении с юго-запада на северо-
восток. Разность температур между севером и
югом в первые две декады месяца составляет
1,5 °С, а в третью – 2,0 °С (в основном за счет
более высокой температуры в Гомеле). От-
дельно стоит отметить, что температура в Но-
вогрудке сравнима с температурой в Верхне-
двинске, который расположен почти на 250 км
севернее. Это особенно заметно в третью дека-
ду мая.

Июнь. В период 1955–2015 гг. средняя
температура на всей территории Беларуси на
0,5 °С выше по сравнению с периодом 1881–
1990 гг. Во вторую декаду по сравнению с первой
увеличение температуры наблюдается в основ-
ном на юге страны. В третью декаду повышение
температуры происходит более равномерно.

Следует отметить, что в первые две декады
наименьшая температура наблюдается в районе
станции Новогрудок. В третью декаду темпера-
тура в этом городе сравнима с Верхнедвинском,
который расположен почти на 250 км севернее,
что еще раз подчеркивает существенную роль
высоты над уровнем моря как климатообразую-
щего фактора. Разности температур между
наиболее теплыми и наиболее холодными тер-
риториями страны составляют 1,5–2,0 °С в
 первую, вторую и третью декады.

Июль. Средняя температура на терри-
тории Беларуси в 1955–2015 гг. в сравнении с пе-
риодом 1881–1990 гг. на 0,5 °С выше. В первую
декаду июля в 1955–2015 гг. наименьшая темпе-
ратура наблюдается на станции Новогрудок. В
третью декаду июля ход изотерм вновь начинает
приближаться к субширотному. Кроме того, в
южной части республики температура изменяет-
ся от 18,5 до 19,5 °С, в то время как весь центр и
север страны, за исключением Новогрудка и
Верхнедвинска, находится в температурном диа-
пазоне 18,0–18,5 °С. Третья декада июля явля-
ется самым теплым периодом года. Разность
температур между наиболее и наименее прогре-
тыми территориями страны во все декады июля
составляет 1,5 °С (рис. 4).

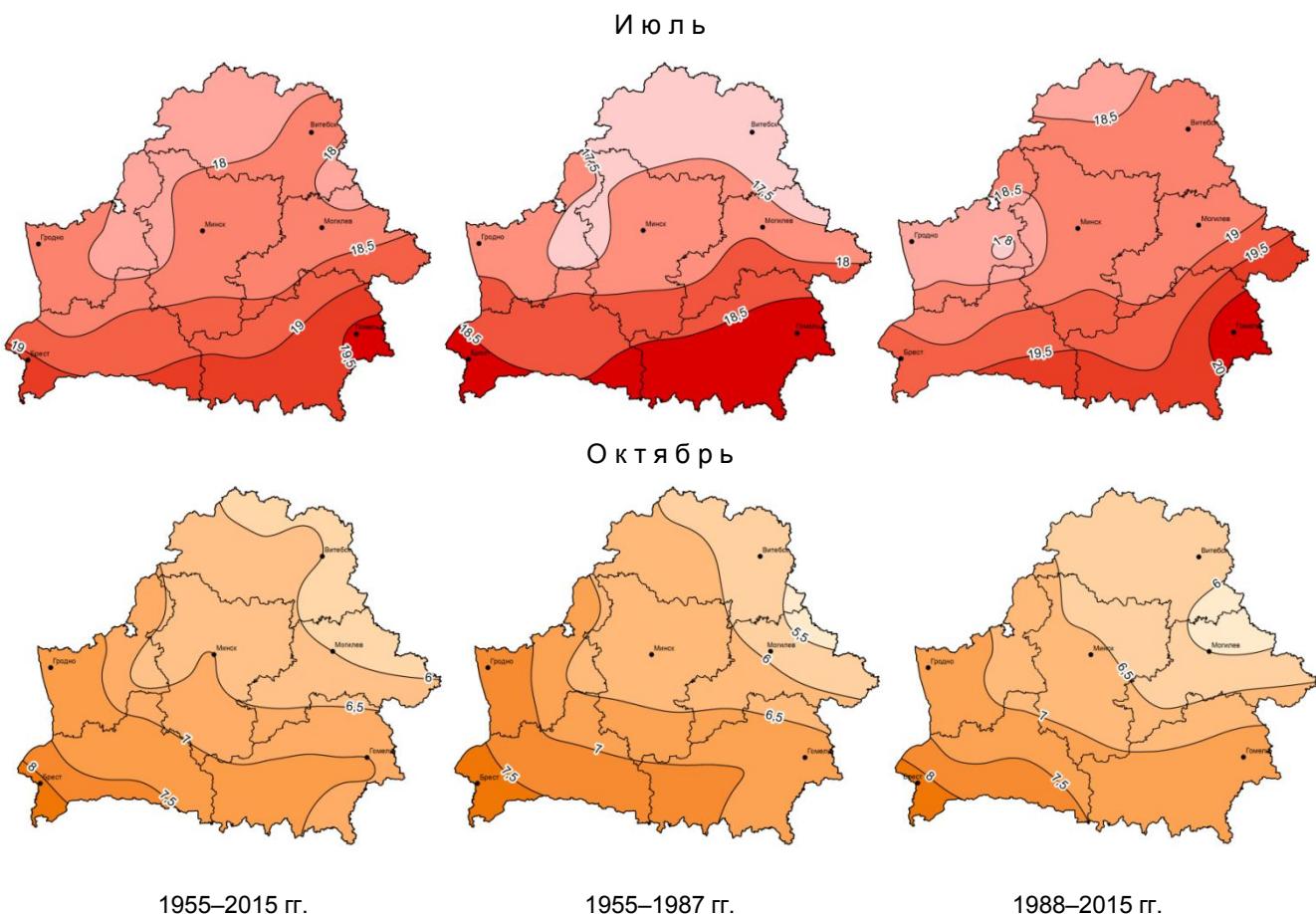


Рис. 4. Карты изотерм второй декады июля и второй декады октября для территории Беларуси
для различных периодов времени

Август. Увеличение температуры на территории Беларуси составило $0,5^{\circ}\text{C}$ для всей территории страны. Изотермы снова приобретают субширотный ход, который, однако, несколько нарушен из-за более высокой температуры воздуха в крупных городах, а также понижением температуры в районе Новогрудской возвышенности. Разность температуры между наиболее и наименее теплыми районами страны составляет $1,5^{\circ}\text{C}$ в любую из декад августа.

Сентябрь. В период 1955–2015 гг. по сравнению с периодом 1881–1990 гг. потепление проявляется слабо. Исчезает изотерма 11°C , проходившая по крайнему северо-востоку Беларуси, а изотерма $11,5^{\circ}\text{C}$ продвигается несколько к северу. На юге положение изотермы $12,5^{\circ}\text{C}$ практически не меняется, а в районе Бреста за счет отепляющего влияния крупного города появляется небольшая область с температурой выше 13°C . С первой декады сентября на севере страны уже начинается переход к зимнему расположению изотерм (они направлены с северо-запада на юго-восток), а в третью декаду такой переход наблюдается уже на всей территории Беларуси. В первую и третью декады месяца разность между наиболее теплыми и наиболее холодными районами страны составляет $1,5^{\circ}\text{C}$, а во вторую декаду – 2°C .

Октябрь. Увеличение температуры в период 1955–2015 гг. по сравнению с 1881–1990 гг. более выражено в северных и центральных районах Беларуси. Продолжается перестройка изотерм на зимний тип. Растет разность температур между наиболее теплыми и наиболее холодными частями страны: в первую и вторую декады она составляет $2,0^{\circ}\text{C}$, а в третью – $2,5^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 4).

Ноябрь. В период 1955–2015 гг. территория Беларуси становится теплее на $0,5^{\circ}\text{C}$ по сравнению с периодом 1881–1990 гг. К третьей декаде ноября происходит окончательная пространственная перестройка изотерм на зимнее (квазимеридиональное) положение. Разность температур между наиболее теплыми и наиболее холодными районами продолжает расти с $2,5^{\circ}\text{C}$ в первую и вторую декады до $3,0^{\circ}\text{C}$ в третью декаду.

Декабрь. Температура на территории Беларуси в 1955–2015 гг. выросла на $0,5^{\circ}\text{C}$ по сравнению с периодом 1881–1990 гг. В каждую из трех декад выражен зимний (квазимеридиональный) ход изотерм, разность между наиболее теплыми и наиболее холодными районами составляет $3,0^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, анализ декадных и среднемесечных значений температуры показал, что для периода 1955–2015 гг. по сравнению с периодом 1881–1990 гг. характерно наибольшее увеличение температуры в северной части Беларуси

в зимний период. В первой половине осени увеличение температуры выражено слабо. В остальные периоды увеличение температуры составило приблизительно $0,5^{\circ}\text{C}$. Наибольшие температурные контрасты между самыми теплыми и самыми холодными регионами наблюдаются в конце января – начале февраля, а наименьшие – в июле-августе. Минимальная температура воздуха приходится на третью декаду января, а максимальная – на третью декаду июля. Для декабря-января и начала февраля характерен так называемый зимний (квазимеридиональный) тип изотерм, когда они направлены с северо-запада на юго-восток. С третьей декады февраля на юге Беларуси начинается перестройка изотерм на летний субширотный ход, которая завершается в апреле. С дальнейшим прогревом подстилающей поверхности в мае изотермы на востоке Беларуси начинают отклоняться к северу, протягиваясь с юго-запада на северо-восток. Такое поведение изотерм можно объяснить более интенсивным прогревом юго-восточной части территории Беларуси, где большее количество поступающей солнечной радиации дополняется более выраженной континентальностью климата. Такое распределение изотерм сохраняется до третьей декады июля, когда ход изотерм вновь начинает приближаться к субширотному, окончательно возвращаясь к нему в августе. С первой декады сентября на севере Беларуси начинается перестройка на зимнее положение изотерм, которое окончательно устанавливается в третью декаду ноября.

Описанный выше ход изотерм в наиболее холодное и наиболее теплое время года объясняется в первую очередь географическими факторами, в данном случае поступлением солнечной радиации (географической широтой) и распределением суши и моря (степень континентальности климата). Южные районы получают больше солнечной радиации за счет большей продолжительности солнечного сияния, а восточные районы благодаря большей удаленности от моря имеют большую континентальность климата. Они сильнее нагреваются летом и выхолаживаются зимой. Именно этим обусловлен факт понижения температуры зимой с юго-запада на северо-восток, а летом – с юго-востока на северо-запад.

Однако такое распределение изотерм нарушается рядом географических (естественных) и антропогенных факторов. К географическим относится в первую очередь высота над уровнем моря. Ее влияние наиболее выражено в районе метеостанции Новогрудок, которая расположена в центральной части Новогрудской возвышенности на высоте 280,2 м над уровнем моря. Это приводит к понижению температуры в районе Новогрудка по сравнению с окрестными

метеостанциями. В частности, в холодный период изотермы в районе Новогрудка существенно отклоняются к юго-востоку. В теплый период температура в Новогрудке сравнима с температурой в Верхнедвинске и Горках, а в отдельные декады является минимальной для всей территории Беларуси. Существенное влияние на распределения изотерм оказывают так называемые острова тепла, характерные для крупных городов.

Пространственно-временные изменения температуры воздуха на территории Беларуси в период последнего потепления и предшествующий ему период. Рассмотренные выше 1955–2015 гг. включают в себя два отдельных периода: 1955–1987 гг. (до современного потепления климата) и 1988–2015 гг. (современное потепление климата). Сравнение этих двух периодов позволит полнее оценить современные климатические изменения и определить изменение роли влияния естественных (географических) и антропогенных факторов на формирование климата.

Если сравнивать изменение положения изотерм в период до современного потепления климата (1955–1988 гг.) со всем доступным рядом (1955–2015 гг.), то можно сказать, что перестройка изотерм происходит в те же декады, что и в период 1955–2015 гг., протекая с той лишь разницей, что в 1955–1987 гг. температура была в среднем на 0,5 °C ниже. Исключение в данном случае составляет ноябрь. В этом месяце положения изотерм в период 1955–2015 и 1955–1987 гг. практически совпадают. В остальное время температура до начала современного потепления в среднем на 0,5 °C ниже. Время, когда проявляются максимальные разности температур между самыми теплыми и самыми холодными районами Беларуси, несколько увеличивается. Наибольшие температурные контрасты наблюдаются в середине января – середине февраля, а наименьшие – в июне-августе. Минимум температуры воздуха наступает несколько раньше и приходится на вторую декаду января. Такое смещение минимума температуры можно объяснить исходя из проведенных нами ранее исследований [5], которые показывают, что в период 1955–1987 гг. в конце второй декады января часто наблюдались сильные отрицательные температурные аномалии («крещенские морозы»), а в период современного потепления отрицательные аномалии температуры происходили гораздо реже. Максимум температуры также смещается и приходится уже на первую декаду августа. В период 1955–1987 гг. отчетливо проявляется влияние абсолютной высоты над уровнем моря (в частности в районе Новогрудской возвышенности), а также островов тепла в крупных городах (особенно в теплый летне-осенний период).

Если же сравнить период современного потепления климата (1988–2015 гг.) со всем доступным рядом (1955–2015 гг.), то следует отметить, что перестройка изотерм в течение года происходит в те же периоды, однако имеется разница в значениях месячных и декадных температур. В среднем температура в период современного потепления выше на 1,0 °C, однако в отдельные декады эта разница достигает 2,0–2,5 °C (вторая декада января; см. рис. 3). В октябре, наоборот, изменение температур незначительное (см. рис. 4). В целом же во время современного потепления климата гораздо более ярко выражено нарушение хода изотерм из-за отепляющего влияния крупных городов в сравнении с периодом 1955–2015 гг. Минимальные в течение года температуры наблюдаются в третью декаду января, а максимальные – третью декаду июля. Такое распределение самых теплых и самых холодных декад наблюдается и в период 1955–2015 гг.

Большой интерес в данном случае также представляет сравнение температуры в период современного потепления (1988–2015 гг.) и предшествующий ему период (1955–1987 гг.).

Положение среднегодовых изотерм в целом схожее (см. рис. 2), однако существуют и некоторые различия. Район г. Бреста, ранее ограниченный изотермой 7,0 °C, в период современного потепления ограничен изотермой 8,5 °C, изотерме 6,0 °C в период современного потепления соответствует изотерма 7,5 °C. Северо-восточная область в период 1955–1987 гг. ограниченная изотермой 5,0 °C, распадается на два участка (северный – в районе Верхнедвинска и восточный – в районе Горок), ограниченные изотермой 6,5 °C.

Январь. В этом месяце между двумя рассматриваемыми периодами наблюдаются достаточно существенные различия. Среднемесячная температура увеличивается от 2,5 °C на юго-западе до 3,5 °C на северо-востоке. В период современного потепления в январе более выражено отепляющее влияние крупных городов, в частности на положение изотерм сильнее влияют Минск, Гродно, Гомель. В период 1955–1987 гг. наиболее холодной является вторая декада (см. рис. 3). В период 1988–2015 гг. она оказалась самой теплой. Схожие результаты были получены нами ранее [4]. Было показано, что преобладание отрицательных аномалий во вторую декаду января до 1988 г. сменяется преобладанием положительных температурных аномалий в период с 1988 по 2012 г., когда началось активное потепление климата. Наиболее часто крупные отрицательные температурные аномалии проявляются в период с 1955 г. до середины 1970-х годов, а также с 2003 г., когда наблюдались три таких случая (2003, 2006 и 2009 г.). Раз-

ница температур между периодом современного потепления климата и предшествующим ему составляет 4,5 °C на юго-западе и 5,0 °C на северо-востоке. Наиболее холодной в период современного потепления климата является третья декада января. В период 1955–1987 гг. третья декада января – наиболее теплая для центральной и юго-западной части страны, а на северо-востоке температура несколько выше в первую декаду. Это означает, что в период современного потепления произошло не просто увеличение январских температур, но и смещение наиболее низких температур по декадам: годовой минимум температуры сместился со второй на третью декаду января. В целом для всего доступного ряда самой теплой декадой января являлась первая, а самой холодной – третья.

Февраль. Для всего месяца в целом увеличение температуры в 1988–2015 гг. по сравнению с 1955–1987 гг. составило 2,5°C на всей территории Беларуси. В первую декаду увеличение температуры достигло 2,5 °C на юго-западе и 2,0 °C на северо-востоке. Во вторую декаду наоборот: 2,0 °C на юго-западе и 2,5 °C на северо-востоке. Наибольшее увеличение температур характерно для третьей декады: 3,5 °C по всей территории страны.

Март. В первую и вторую декады марта увеличение температур между рассматриваемыми периодами до потепления и в период потепления климата составил 2,5 °C на юго-западе и 3,0 °C на северо-востоке. В третью декаду он заметно снижается и составляет уже 1,5 °C по всей территории страны. Если до современного потепления разность температур между второй и третьей декадами января составляла 3,0 °C, то в настоящее время этот показатель снизился до 1,5...2,0 °C. Это означает, что в современный период первая декада марта испытывает более интенсивный прогрев по сравнению с периодом, предшествующим современному потеплению климата.

Апрель. Увеличение среднемесячной температуры составил 1,5 °C на юго-западе и 2,0 °C на северо-востоке (см. рис. 3). В первую декаду температура увеличилась на 0,5 °C на юго-западе и на 1,0 °C на северо-востоке, а во вторую и третью – на 2,0 и 2,5 °C соответственно. Такое увеличение температур между декадами привело к тому, что если до современного потепления разница температур между первой и третьей декадой апреля составляла 3,5 °C на юге и 4,5 °C на севере, то в период современного потепления она составила уже 5,0 и 6,0 °C соответственно, что свидетельствует об уменьшении длительности переходного сезона и более быстром переходе к лету.

Май. В мае увеличение температур в период современного потепления климата по срав-

нению с предшествующим периодом составило 0,5 °C, как для всего месяца в целом, так и для отдельных декад. Исключением являлась только первая декада, когда на севере страны температура увеличилась на 1,0 °C.

Июнь. Увеличение температуры практически на всей территории в каждую из декад составил 0,5 °C. В первую и вторую декады увеличение температуры на юге страны равнялось 1,0 °C. Стоит отметить, что в третью декаду пространственное распределение температуры таково, что минимум ее наблюдается в окрестностях Новогрудка. В период, предшествующий современному потеплению, такое распределение температур наблюдалось только в третью декаду июля.

Июль. Разность температур между рассмотренными периодами в первую декаду составила 2,0 °C, во вторую – 1,0 °C (см. рис. 4), а в третью – 2,0 °C на юге и 1,5 °C на севере. В первую и вторую декады июля, как и в третью декаду июня, минимальные температуры наблюдаются в районе метеостанции Новогрудок. В период, предшествующий современному потеплению, такое распределение температур было характерно только для третьей декады июля, а в период современного потепления сместилось на более ранний период и увеличилось в продолжительности до трех декад: с третьей декады июня по вторую декаду июля.

Август. Для первой декады, как и для всего месяца в целом, характерно увеличение температуры на 1,5 °C на юге и 1,0 °C на севере. Во вторую декаду увеличение температуры по всей территории страны составило 1,5 °C, а в третью – 1,0 °C.

Сентябрь. Увеличение температуры в этом месяце в период современного потепления составил 1,0 °C. При этом в первую декаду увеличение температуры наблюдалось только на севере страны и составило 0,5 °C, а во вторую и третью декады – уже по всей территории и составило 1,0 и 1,5 °C соответственно. Из-за такой разницы в величине потепления в период 1988–2015 гг. разница между температурой первой и последней декады сентября сократилась на 1,0 °C по сравнению с предшествующим периодом, снижение температур стало более постепенным.

Октябрь. В первую и вторую декады месяца увеличение температуры составило 0,5 °C по всей территории Беларуси (см. рис. 4). В третью декаду октября в 1988–2015 гг. распределение температур по сравнению с периодом 1955–1987 гг. практически не изменилось.

Ноябрь. В первую и вторую декады месяца увеличение температуры в период современного потепления климата составило 0,5 °C по сравнению с предшествующим периодом. В тре-

тью декаду практически на всей территории страны температура осталась неизменной, за исключением юго-запада, где в 1988–2015 гг. температура понизилась на 0,5 °С по сравнению с предыдущим периодом. Это свидетельствует о том, что в указанном месяце на юго-западе потепление выражено слабо либо не выражено вообще, что связано с наименьшей континентальностью климата в этом районе. Из теории парникового потепления климата следует, что увеличение температуры существенно выше в континентальных районах. На материках создаются более благоприятные условия для усвоения длинноволновой радиации по сравнению с коротковолновой, поэтому потепление должно быть более интенсивным в центре материка, особенно зимой и ночью, когда ослабляется вертикальная конвекция [2, 3].

Декабрь. Увеличение температуры в первую декаду месяца в период современного потепления наблюдалось только на северо-востоке и составило 0,5 °С. Во вторую декаду увеличение температуры достигло 1,0 °С на юго-

западе и 1,5 °С на северо-востоке, а в третью – 0,5 °С на всей территории страны.

Выводы. Помимо особенностей изменения температуры, характерных для отдельных месяцев и декад, есть также ряд особенностей, которые являются общими для всего периода. Во все периоды отчетливо заметно описанное выше искривление изотерм в районе метеостанции Новогрудок, которая имеет наиболее высокое положение над уровнем моря. Как во время современного потепления климата, так и в период, ему предшествующий, общая конфигурация положения изотерм, а также время ее изменения практически не различаются и схожи с описанными выше для периода 1955–2015 гг. Однако в период современного потепления положение изотерм существенно изменяется вблизи крупных городов, что вызвано антропогенными островами тепла. Это говорит о том, что в период современного потепления климата последние 25–30 лет существенно выросла роль островов тепла по сравнению с предшествующим периодом. Они уже способны изменять пространственно-временной характер изменения изотерм.

Литература

1. Климат Беларуси / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Институт геологических наук Акад. наук Беларуси, 1996.
2. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск, 2008.
3. Логинов, В. Ф. Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата / В. Ф. Логинов. – Минск, 2012.
4. Логинов, В. Ф. Изменчивость величины трендов температуры в годовом ходе / В. Ф. Логинов, Т. Г. Табальчук // Природопользование. – 2014. – Вып. 26. – С. 6–10.
5. Логинов, В. Ф. Временная изменчивость повторяемости «крещенских морозов» на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, Т. Г. Табальчук // Природопользование. – 2014. – Вып. 26. – С. 11–15.
6. Программный комплекс ArcGIS Desktop : учеб. пособие. – М., 2013.

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 10.11.2016 г.

Т. Г. Табальчук

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Приведены результаты анализа пространственно-временных изменений температур на территории Беларуси для периодов 1955–2015 гг., а также для периода современного потепления климата (1988–2015 гг.) и предшествовавшего ему периода (1955–1987 гг.). Показано влияние на положение изотерм таких физико-географических факторов, как географическая широта и долгота. Также показано влияние высоты над уровнем моря, что особенно заметно в районе метеостанции Новогрудок, которая является наиболее высокой метеостанцией Беларуси. Общая конфигурация положения изотерм, а также периоды ее изменения практически не различаются. Однако в период современного потепления положение изотерм существенно изменяется вблизи крупных городов, что вызвано влиянием антропогенных островов тепла. Это говорит о том, что в последние 25–30 лет существенно выросла роль тепловых выбросов в атмосферу по сравнению

с предшествующим периодом. Острова тепла стали более выраженными и уже способны изменять характер изотерм: на фоне естественной годовой изменчивости положения изотерм отчетливо заметно влияние антропогенных островов тепла, образующихся в крупных городах.

T. G. Tabalchuk

**THE ANALYSIS OF SPATIAL AND TEMPORAL CHANGES
OF AIR TEMPERATURE ON THE TERRITORY OF BELARUS**

The results of the analysis of spatial and temporal changes of temperatures on the territory of Belarus for the period from 1955 till 2015 and for the period of modern climate warming (1988-2015) and for the previous period (1955-1987) are given. The influence on the position of isotherms of physical and geographical factors such as geographical latitude and longitude is shown. The influence of the height above the sea level, which is especially noticeable in the area of Novogrudok meteorological station, which is the highest meteorological station in Belarus, is also shown. The whole configuration of isotherms' position and also periods of its change practically aren't different. However, in the period of modern warming the isotherms' position changes significantly near large cities, which is caused by the influence of anthropogenic heat islands. This means that in the last 25-30 years the role of thermal emissions has increased in comparison with the previous period. Heat islands became more expressed and are already able to change the nature of isotherms: on the background of natural annual variability of the position of isotherms the influence of anthropogenic heat islands formed in the large cities is clearly noticeable.

А. В. Матвеев, Л. А. Нечипоренко

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАДОНОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРУНТОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Составлена схема радиоопасности территории региона, установлена корреляция повышенных значений распределения объемной активности радона (OAP) в грунтах и распространения ряда заболеваний у населения, что позволяет для территорий с различной степенью радоновой опасности разрабатывать необходимые комплексы мер по ограничению неблагоприятных последствий проявления радоновых аномалий. Рассмотрены возможности использования радионометрических данных при выполнении геодинамических реконструкций, прогнозировании ряда полезных ископаемых, землетрясений, обосновании инженерно-геологических процессов.

Радон был открыт в 1900 г. немецким ученым Ф. Дорном и английским физиком Э. Резерфордом. Теоретические основы методов диагностики объемной активности этого газа и дочерних продуктов его распада (ДПР) начали разрабатываться в 1920-х годах. На первых этапах исследования газа чаще всего имели общепознавательное значение. И только с 1980-х годов начались серьезные работы по изучению влияния радона на здоровье человека и ученые приступили к решению некоторых геологических задач. К настоящему времени стало очевидным, что радоновое облучение является одной из основных причин развития заболеваний раком легкого [20], не исключено его влияние также на распространение онкологических заболеваний желудка, мочевого пузыря, прямой кишки, кожи и др. [6]. Все чаще особенности распределения объемной активности радона и его ДПР начинают использоваться для прогнозирования полезных ископаемых, сейсмичности, выявления активизации тектонических структур и т. д.

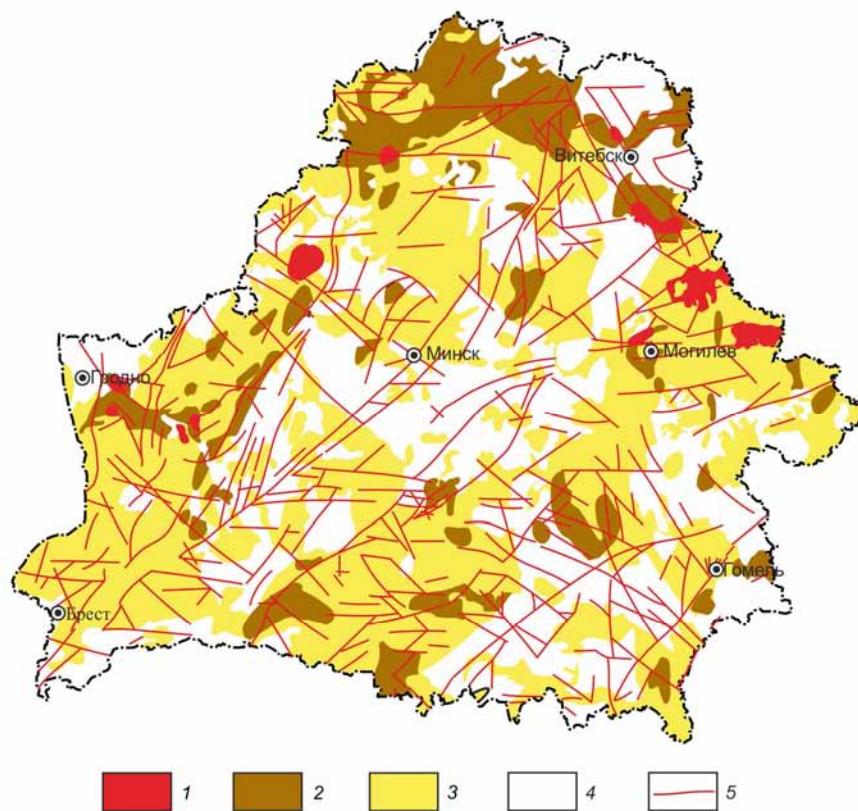
Все это является причиной того, что в большинстве развитых стран мира изучению особенностей распределения радона в отложениях (породах), подземных водах, в воздухе зданий уделяется серьезное внимание. В ряде стран (США, Швеции, Германии, России и др.) разработаны и реализуются национальные программы по изучению радоновой радиации.

По этой же причине в Беларуси в 2013–2015 гг. выполнялось задание «Разработать и внедрить схему районирования территории Беларуси по распределению радоновых аномалий в почвенном воздухе, методические рекомендации по использованию радионометрических данных для решения геологических и геоэкологических задач» ГНТП «Природные ресурсы и окружающая среда». В результате исследований по этому заданию был определен радонопродуцирующий потенциал основных типов покровных

отложений, пород чехла, фундамента, построены схемы радоновых аномалий [4, 16–18] и выполнено районирование территории по степени радионовой опасности (см. рисунок). В соответствии с нормативами Инспекции Госатомнадзора Российской Федерации [21] к радиобезопасным отнесены грунты с ОАР менее 10 000 Бк/м³, относительно радиоопасным – 10 000–50 000, радиоопасным – более 50 000 Бк/м³. В связи с пестротой состава отложений (пород) платформенного чехла и фундамента различия по степени радиоопасности выделенных на схеме районирования контуров устанавливали по прогнозируемым площадям распространенных в их пределах грунтов с ОАР более 50 000 Бк/м³.

Полученные данные позволяют конкретизировать возможности практического использования радионометрических материалов на территории нашего региона. При этом необходимо различать следующие основные направления такого использования: оценку влияния радоновой радиации на здоровье населения и разработку мер по минимизации этого влияния, реконструкцию геодинамических обстановок, поиски запасов полезных ископаемых, прогноз некоторых особенностей глубинного строения (распространения определенных типов пород), оценку напряженно-деформированного состояния горных пород, прогноз землетрясений, обоснование проектов строительства крупных инженерных сооружений и др. Остановимся подробнее на этих направлениях практической значимости радионометрических измерений.

Влияние радоновой радиации на здоровье населения. В Беларуси проведены отдельные исследования по оценке риска заболевания раком легкого при облучении радоном и его ДПР. Так, по территории Могилевской области рассчитанный пожизненный риск составляет в среднем 13,8 % (58–83 дополнительных ежегодных заболеваний) [15].



Радоноопасность грунтов на территории Беларуси: 1 – радоноопасность всего контура;
2 – радоноопасность на отдельных площадях; 3 – радоноопасность на локальных участках;
4 – относительно радионебезопасные территории; 5 – радионеопасные зоны разломов

Однако, необходимо признать, что детальные исследования по влиянию величин ОАР на развитие различных заболеваний на территории нашей страны, а также в большинстве других государств мира пока не проводятся. Достаточно проблематичным остается даже такой более простой вопрос, как связь ОАР в почвах и в воздухе зданий и сооружений. В публикациях обычно предполагается, что такая связь существует, иногда сообщаются возможные коэффициенты корреляции этих величин, которые составляют не более 0,8 [27]. Учитывая возможную взаимосвязь высоких значений ОАР в почвенном воздухе и концентраций газа в жилых строениях, в процессе исследований по упомянутому выше проекту были собраны данные, которые позволили установить на территории Беларуси определенную корреляцию радионовых аномалий в грунтах с распространением ряда заболеваний. При этом с учетом достаточно обобщенных материалов по географии отдельных болезней, которые приводятся в опубликованной литературе, сделанные выводы носят предварительный характер.

В связи с тем, что наибольшие величины ОАР в поровом воздухе покровных отложений выявлены в зонах разрывных нарушений, именно с этими линейными аномалиями сопо-

ставлялись известные данные по распространению заболеваний, полученные в основном из статистических данных, карт и отдельных статей [1, 2, 7–9, 11, 23].

Для изучения влияния линейных радионовых аномалий на заболеваемость населения использованы следующие подходы: во-первых, наиболее общие данные по распространению болезней сопоставляли с распределением плотности линейных радионовых аномалий; во-вторых, материалы по отдельным населенным пунктам (районам, площадям) сравнивали с конкретными аномалиями.

При подобных сопоставлениях основное внимание обращали на болезни, которые по данным из других регионов связаны с радионевым облучением. Это в первую очередь касается рака легкого и болезней органов дыхания в целом. Выполненные исследования позволили установить, что наибольшие величины плотности линейных радионовых аномалий характерны для Гомельской области ($0,2\text{--}0,3 \text{ км}/\text{км}^2$), а минимальные – для Минской и Могилевской областей ($0,1\text{--}0,2 \text{ км}/\text{км}^2$) [4]. С этими показателями установлена определенная корреляция распространения новообразований (в том числе и легочного типа). В частности, в Гомельской области этот вид заболеваний зарегистрирован в 5898 случа-

ях, для Минской и Могилевской областей – около 5100 случаев на 100 тысяч жителей.

Конечно, будет не совсем корректно однозначно увязывать повышенную или пониженную заболеваемость только с плотностью аномальных зон. Однако тот факт, что определенные связи между этими показателями существуют, подтверждают исследования на более ограниченных по площади территориях. Например, многие, показанные на схеме в работе [11] площади пониженной онкологической заболеваемости (менее 924 на 100 тыс. жителей) – Браславский район, участок между городами Молодечно и Вилейка, южная часть Волковысского района, Слуцкий, Жабинковский, Ганцевичский, Чечерский, Солигорский, районы – характеризуются и минимальными значениями плотности линейных аномалий ОАР ($0,05\text{--}0,15 \text{ км}/\text{км}^2$).

На корреляцию распространения некоторых заболеваний и плотности линейных аномалий указывают также данные по Воложинскому и Столбцовскому районам [14]. На территории Воложинского района выделена значительно более густая сеть радоновых аномалий, чем в пределах Столбцовского района, и соответственно этому распределяются случаи ежегодных заболеваний злокачественными новообразованиями – 166–173 и 145–150 – при примерно равной численности населения. В городах Борисове и Минске, расположенных в зонах линейных радоновых аномалий, количество заболеваний органов дыхания в целом у населения в 1997–1999 гг. в пересчете на 100 тысяч жителей составило 61,9 и 61,6 тысяч соответственно, в то время как на прилегающих территориях (т. е. вне зон) эти показатели были заметно ниже – 33–40 и 40–50 тысяч соответственно [9]. В таких городах, как Пинск и Полоцк, находящихся вне аномалий, заболеваемость в этот же период составила 38,8 и 45,2 тысячи, на смежных территориях она была примерно такой же – 25–33 и 33–40 тысяч жителей. В г. Гродно, расположенным также вне линейных радоновых аномалий, болезни органов дыхания установлены на уровне 11 170 человек в пересчете на 100 тыс. жителей. В городах Глуске (аномальная зона) и Быхове (вне аномалии) эти показатели составили 26 100 и 18 150 человек соответственно.

Разнообразные материалы по влиянию аномальных зон на развитие определенных заболеваний получены по территории г. Гомеля [12]. Например, уровень онкологических заболеваний взрослого населения города в 1,5 раза превышает соответствующий показатель по области в целом и в 3,0 раза – по Гомельскому району. Обобщение приведенных данных позволило сделать вывод, что в зонах линейных радоновых аномалий частота проявления болезней

органов дыхания возрастает в 1,5–2,3 раза, онкологических болезней – в целом в 1,2–3,0 раза.

Установленные зависимости позволяют более обоснованно применять меры профилактики развития этих болезней и минимизации других неблагоприятных проявлений радоновых аномалий. В состав подобных мер следует включить мониторинг ОАР в грунтах и зданиях, мониторинг заболеваемости населения, комплекс мероприятий по противорадоновой защите и оперативной медицинской помощи, возможное переопределение использования прежде всего школьных, дошкольных, больничных сооружений, попадающих в аномальные зоны, улучшение информированности населения о свойствах радона, уровнях его концентрации на конкретных территориях и т. д.

Применение радионометрических материалов для геодинамических реконструкций. Одной из причин экстремальных событий на поверхности Земли и в верхних слоях литосферы является современная геодинамическая активность. Для прогноза таких явлений важно установить активные разломные зоны в земной коре и их масштабы. В этой связи изучение строения и параметров геохимического поля радона в приповерхностном слое грунтов имеет особое значение. На территории Беларуси выявлена и с разной степенью изучена густая сеть тектонических разломов, многие из которых являются активными на современном этапе. Для них характерны аномально высокие значения содержания радона в покровных отложениях, которые могут достигать $60\ 000\text{--}70\ 000 \text{ Бк}/\text{м}^3$ и более, что в 2,0–5,0 раз превышает фоновые величины [4]. Поэтому работы, выполненные в районе Воложинского грабена, городов Гомеля и Солигорска, отдельных районах Могилевской области при выборе площадок для возможного размещения энергоисточника на ядерном топливе, а также опытно-методические исследования ПО «Беларусгеология» показывают, что именно радон служит эффективным индикатором газопроницаемых зон, существующих в земной коре.

Детальный анализ распределения радона по профилям вкрест простирания разломов позволяет не только выявить проявление геодинамической активности структур, но и детализировать строение разломных зон, которые нередко представляют системы трещин, по которым происходит смещение горных пород. Поэтому такие зоны на графиках распределения ОАР обычно выделяются по серии пиков (максимумов концентраций), разделенных участками с близкими к фоновым содержаниями газа. По результатам выполненных детальных измерений по профилям с учетом установленных зависимостей величин ОАР от состава отложений можно снизить

стоимость работ за счет уменьшения количества измерений в визуально однородных толщах на 20–30 % без потери качества исследований.

Помимо выделения активных разрывных нарушений по особенностям площадного распределения ОАР можно проводить геодинамическое районирование территории (полигонов) с выделением блоков земной коры, которые различаются по степени стабильности. При этом полезным будет дополнять радонометрические построения измерениями короткопериодической геодинамики с использованием технологии спутниковой геодезии GPS [5], располагая GPS-приемники с учетом данных радонометрии. Следует только учитывать, что геодинамическая составляющая поля радоновых эманаций формируется не только короткопериодными подвижками, но и всем спектром современных геодинамических процессов.

Применение радонометрических данных при поисках полезных ископаемых. Опыт работ геологов на территории Беларуси и в ряде других стран показывает, что радонометрия может использоваться при поисках углеводородов, радоновых вод, некоторых рудных полезных ископаемых и источников геотермальной энергии. В частности, в настоящее время в геологопоисковой практике для оценки перспектив нефтегазоносности различных районов достаточно часто применяют площадную радоновую съемку. Данный метод имеет определенные преимущества и отражает процесс активной миграции радона к земной поверхности. Для проведения подобных исследований необходимо иметь аппаратуру, которая позволяет получать значения объемной активности газа за короткий промежуток времени непосредственно в полевых условиях, т. е. изучать изменения концентраций радона в динамике. Эффективность таких исследований подтверждается результатами работ, проведенных российскими специалистами на площадях Волгоградской и Астраханской областей, где в пределах выявленных месторождений нефти и газа концентрации радона в почвенном воздухе достигают высоких значений – до 350 кБк/м³, при фоновых – 1–80 кБк/м³ [10]. Проведенные работы позволили выявить определенные закономерности в распределении концентраций радона в пределах месторождений нефти и газа, которые сводятся к тому, что наиболее высокие значения объемной активности радона (на 2 порядка и более выше фоновых) наблюдаются над тектоническими нарушениями и зонами разуплотнения, пересекающими залежь углеводородов, в то время как над залежью отмечены более низкие концентрации газа (не более чем на 1 порядок выше фоновых).

Аналогичные исследования выполнены и в пределах Осташковичского нефтяного место-

рождения в Беларуси, где нефтяная тектонически экранированная залежь находится на глубине порядка 2500 м в межсолевых карбонатных отложениях [19]. Радоновая съемка, проведенная здесь по профилям, секущим главную ось контура месторождения, показала, что непосредственно над экранирующим залежь Речицко-Вишанским разломом уровень концентраций радона в почвенном воздухе в 5,0–10,0 раз выше средней концентрации эманаций, регистрируемой внутри контура нефтяной залежи.

Дефицит радона в породах внутри контура нефтеносности, по-видимому, связан с более слабой флюидонасыщенностью песчано-глинистых отложений мезокайнозоя и с экранирующим влиянием мощных солевых отложений девонского возраста, служащих надежной покрышкой для нефтяной залежи.

Показательными также являются тепловые аномалии над нефтяными залежами Припятского прогиба и их смещение от свода к водонефтяному контакту, обусловленные генерацией тепла радиоактивными элементами, содержащимися в нефтях, где концентрация ²²⁶Ra (и радона) в рассолах нефтяных структур значительно выше по сравнению с непродуктивными структурами [3].

Кроме использования радонометрии при поисках месторождений нефти радоновые индикаторы могут применяться при изучении динамического воздействия на пласт и распределения индикаторного флюида в прискважинной зоне, для выявления остаточной нефтенасыщенности, определения технического состояния скважин, динамических параметров коллекторов.

Радонометрические данные являются дополнительным методом и для поисков урановых месторождений, а также некоторых не-радиоактивных полезных ископаемых, генетически или парагенетически связанных с радиоактивными элементами. Как правило, на территории с рудными месторождениями при залегании их на глубинах до 200–300 м концентрации радона могут в 5,0 раз и более превышать фоновые значения [10].

В условиях Беларуси по повышенным концентрациям радона в покровных отложениях можно прогнозировать распространение на различных глубинах пород с повышенным содержанием урана (это в первую очередь глины, кварцево-глауконитовые пески и песчаники, гранитоиды, эффузивные аналоги кислых пород, сильно измененные породы иного состава). Распространение подобных пород может быть связано с выделенными радоновыми аномалиями [19] и наиболее радоноопасными территориями (см. рисунок), которые достаточно широко распространены в западной части страны (в районе городов Слоним, Гродно, Новогрудок, Ліда и др.), вдоль границы с Россией (в районе городов Гор-

ки, Мстиславль, Кричев, Климовичи и др.) и в пределах Полесской низменности (в районе городов Светлогорск, Петриков, Житковичи, севернее Любани, Столина и др.).

Необходимо также остановиться на возможности использования радионометрических данных для выявления залежей радоновых вод. Такие воды хорошо известны в России, Канаде, Бразилии, Индии, США и др. Установлены месторождения радоновых вод и в Беларуси, на базе одного из них функционирует санаторий «Радон» в Дятловском районе Гродненской области, используются радоновые воды и вблизи г. Несвижа. Обычно содержание радиоактивных элементов в природных водах во много раз меньше, чем в горных породах. Поэтому при поисках возможных залежей радоновых вод целесообразно в первую очередь выделять распространение пород – источников радона. К приоритетным в этом отношении относятся граниты, пигматиты, гнейсы, эфузивные аналоги кислых магматических пород, особенно в зонах их трещиноватости и сильной преобразованности.

Наибольший интерес в этом отношении представляют потенциально радиоопасные площади в местах неглубокого залегания фундамента (в 20 км восточнее и 32 км юго-юго-восточнее г. Гродно, в 12 км северо-западнее и 18 км западнее г. п. Козловщина Гродненской области, в полосе протяженностью около 120 км при ширине около 10 км от г. Слонима в направлении на г. Новогрудок и г. п. Любча Гродненской области и др.). Определенное внимание при поисках радоновых вод несомненно стоит уделить также участкам распространения неглубоко залегающих пород с объемной активностью газа более 78 200 Бк/м³ (10–15 км к северо-востоку от г. Ошмяны, 10–15 км к западу от г. Воложина, в районе г. Лida, г. п. Косово и др.).

Применение радионометрических данных для изучения напряженно-деформированного состояния пород и прогноза землетрясений. При изменении динамических напряжений в породах отмечаются вариации концентраций радона в приповерхностном слое. Это явление может служить основой для исследования вариаций ОАР (или плотности потока радона) как предвестника горных ударов, которые обычно возникают при глубине шахт более 300 м. В непосредственной близости от эпицентра за 15–20 ч до будущего горного удара (в зоне сжатия) уменьшается выделение радона. На расстоянии 500 м от будущего эпицентра горного удара (далняя зона) содержание радона в наблюдательной выработке, наоборот, увеличивается в 8–10 раз, и горный удар следует после прохождения этого максимума [26]. Причем необходимо отметить, что параметр плотности потока радона более чувствителен к изменению

напряженно-деформированного состояния, чем величина объемной активности. Использование мониторинга радона в качестве обоснования прогнозов развития горных ударов является вполне актуальной проблемой для глубоких горных выработок в Солигорском горнопромышленном районе [13].

В современном мире прилагаются громадные усилия для решения проблемы прогноза землетрясений, но тем не менее люди часто оказываются бессильными перед неожиданными проявлениями стихии земных недр. Поэтому не прекращается поиск новых предвестников сейсмических событий. Исследования второй половины XX в. [24, 25] привели к идеи прогноза сейсмических событий на основе изучения процесса выделений (экспансий) радона из массива горных пород, так как физика явлений горного удара и землетрясений одна и та же, хотя масштабы явлений различны. Из-за своих особенностей радон является оптимальным индикатором для подобных исследований. Во-первых, этот радиогенный газ непрерывно генерируется в горных породах в процессе радиоактивного распада, т. е. всегда присутствует в любом массиве, и уменьшение его концентрации как за счет распада, так и за счет миграции из массива в воздух постоянно компенсируется новой генерацией этого газа. Поэтому среднее содержание радона в породе всегда постоянно и определяется концентрацией урана (радия). Во-вторых, миграция радона в горном массиве и его выделение с поверхности почвы зависят от многих факторов, наиболее важными из которых являются пористость, проницаемость и трещиноватость. В-третьих, несмотря на то что содержание радона в вертикальном потоке газов составляет ничтожные доли, проблем с его регистрацией не возникает ввиду его радиоактивности.

При использовании данных радионометрии в качестве предвестников землетрясений необходимо иметь в виду, что по статистическим исследованиям в ряде стран сопровождающие проявления сейсмичности зоны сжатия и растяжения в среднем имеют ширину 24±15 и 110±40 км. По контролю за динамикой ОАР в этих зонах и можно определять фазу подготовки землетрясения, которая фиксируется по ОАР за 3–4 месяца и особенно четко проявляется за 1–2 недели до события [26]. Следовательно, для прогноза землетрясений требуется создание соответствующей системы пространственно-временного мониторинга радона по всей сейсмогенной площади. Такая система в настоящее время разрабатывается для ряда сейсмоактивных районов. Для территории Беларуси, расположенной далеко за пределами сейсмоактивных областей, этот аспект использования радионометрии может также иметь определен-

ное значение в связи с тем, что имеются данные о влиянии даже относительно слабых сейсмических колебаний на вынос газа из земной коры в атмосферу.

Размещение пунктов мониторинга радона вблизи действующих сейсмических станций (в районе озера Нарочь – на активном фрагменте Дятловского разлома; в районе Солигорска – на активном фрагменте Дарасинского разлома; в районе Островца – на активном фрагменте Ошмянского разлома и т. д.) будет содействовать повышению качества обработки сейсмограмм, а, возможно, и прогнозирования сейсмических процессов, оценки их балльности. Выделенные зоны линейных радоновых аномалий следует учесть при уточнении существующих карт сейсмотектонического районирования.

Использование радонометрических данных в инженерно-геологической практике. При инженерно-геологических исследованиях ОАР как показатель современной геодинамики необходимо учитывать при проектировании подземных инженерных коммуникаций, газо- и нефтепроводов, железнодорожных магистралей, мостов, тоннелей, высотных сооружений, горнодобывающих комплексов, хранилищ токсичных и радиоактивных веществ, АЭС, плотин, дамб и т. д. Для перечисленных объектов горные породы являются основанием или средой, в которой они создаются. И здесь анализ концентрации радона в покровных отложениях позволяет оперативно выявлять зоны трещиноватости пород до начала строительных работ. Без учета таких данных инженерные объекты, оказавшиеся в зоне влияния современной геодинамической активности, испытывают нештатные нагрузки и деформации, не предусмотренные их конструкцией.

В частности, известно, что многие аварии на трубопроводах тяготеют к участкам пересечения разломных зон [22]. На основе комплекса

данных установлено, что деформационный процесс концентрируется именно в таких зонах и подчиняется ритму лунных приливов. В результате на участках разломов в железобетонных конструкциях появляются трещины, а в металлических конструкциях ускоряется процесс коррозии, что в обоих случаях приводит к разрушению объектов.

Кроме того, учет радонометрических данных в проектах строительства ответственных инженерных сооружений, городских микрорайонов позволяет предусмотреть комплекс мер по ограничению поступления радона в жилые и производственные помещения.

Выводы.

1. Исследование особенностей распределения ОАР, а также построение схем радоновых аномалий и радоновой опасности грунтов имеют разнообразное практическое значение.

2. Повышенные концентрации радона в отложениях и породах коррелируются с распространением ряда заболеваний, прежде всего, органов дыхания. Поэтому радонометрические данные позволяют выделять территории, которые требуют проведения комплекса защитных, медицинских, информационных и других мероприятий по ограничению неблагоприятных последствий проявления радоновых аномалий.

3. Радонометрические данные могут быть использованы для выделения активных на современном этапе тектонических структур, прогнозирования землетрясений, залежей различных полезных ископаемых, газодинамических явлений в шахтах.

4. Учет сведений о распространении радоновых аномалий повышает обоснованность проектов крупных инженерных сооружений, выбора мест их расположения, снижает возможную аварийность на строящихся объектах и ограничивает ухудшение геоэкологической обстановки.

Литература

1. Антипов, С. И. Некоторые итоги диспансерных осмотров взрослого населения / С. И. Антипов, И. И. Савина // Вопросы организации и информатизации здравоохранения. – 2011. – № 3. – С. 52–58.
2. Антипов, С. И. Гендерные проблемы онкологии в Беларуси / С. И. Антипов, В. В. Антипов, Н. Г. Шебеко // Медицинские новости. – 2013. – № 3. – С. 31–41.
3. Богомолов, Г. В. Радиоактивность подземных вод как поисковый критерий нефтегазоносности / Г. В. Богомолов, Я. Г. Грибик. – Минск, 1982.
4. Влияние зон разрывных нарушений на концентрацию радона в почвенном воздухе на территории Беларусь / А. В. Матвеев [и др.] // Геохимия и рудообразование. Поисковая геохимия. Геохимия окружающей среды. – Киев, 2014. – Вып. 34. – С. 69–76.
5. Далатказин, Т. Ш. Экспериментальные исследования возможности использования радонометрии для геодинамического районирования / Т. Ш. Далатказин, Ю. П. Коновалова, В. И. Ручкин // Литосфера. – Екатеринбург, 2013. – № 3. – С. 146–150.
6. Диценко, П. Н. Экологические аспекты воздействия радона на население / П. Н. Диценко // Техногенно-экологічна безпека та цивільний захист. – 2013. – № 6. – С. 72–81.
7. Здравоохранение в сельской местности Республики Беларусь : офиц. стат. сб. за 2011 г. – Минск, 2011.

8. Злокачественные новообразования в Беларуси 2001–2010 : стат. сб. / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, ГУ «Респ. научно-практ. центр онкологии и мед. радиологии им. Н. Н. Александрова», ГУ «Респ. научно-практ. центр мед. технологий, информатизации, управления и экономики здравоохранения» ; под ред. О. И. Суонко, М. М. Сачек. – Минск : РНПЦ МТ, 2011.
9. Казлова, Т. А. Захворяні органаў дыхання. М 1:4 000 000 / Т. А. Казлова, М. М. Піліпцэвіч, Р. М. Чысценка // Нацыянальны атлас Беларусі. – Мінск, 2002. – С. 168.
10. Кильяков, А. В. История развития эманационных методов и их роль в нефтяной геологии на современном этапе / А. В. Кильяков // Изв. Саратовского гос. ун-та. Новая серия. Сер. Науки о Земле. – 2013. – Т. 13, вып. 2. – С. 57–60.
11. Комплекснае медыка-геаграфічнае раянаванне. М 1:3 000 000 / В. С. Аношка [і інш.] // Нацыянальны атлас Беларусі. – Мінск, 2002. – С. 167.
12. Красовская, И. А. Оценка состояния эколого-геохимических условий урбанизированных территорий / И. А. Красовская, А. Н. Галкин. – Витебск, 2007.
13. Лаптев, Б. В. История аварий при разработке соляных месторождений / Б. В. Лаптев // Безопасность труда в промышленности. – 2011. – № 12. – С. 41–46.
14. Лаптенок, С. А. Анализ динамики процессов с использованием аналитических характеристик возвратных последовательностей / С. А. Лаптенок, С. А. Вайтюк // Вопросы организации и информатизации здравоохранения. – 2012. – № 1. – С. 67–70.
15. Липницкий, Л. В. Оценка медицинских последствий при облучении дочерними продуктами распада радона населения Могилевской области / Л. В. Липницкий, Е. В. Костицкая // Агроэкология. – 2004. – Вып. 1. – С. 100–105.
16. Матвеев, А. В. Геохимия четвертичных отложений Беларуси / А. В. Матвеев, В. Е. Бордон. – Минск, 2013.
17. Матвеев, А. В. Особенности распределения «местного» (грунтового) радона в почвенном воздухе покровных отложений Беларуси / А. В. Матвеев // Доклады Наци. акад. наук Беларуси. – 2015. – Т. 59, № 4. – С. 107–112.
18. Матвеев, А. В. Радоновые аномалии в почвенном воздухе на территории Беларуси / А. В. Матвеев // Літасфера. – 2016. – № 1 (44). – С. 81–88.
19. О радоновом поле органоминерального слоя нефтегазоносных структур (на примере Осташковичского нефтяного месторождения, Белоруссия) / А. В. Николаев [и др.] // Доклады Рос. акад. наук. – 1994. – Т. 336, № 4. – С. 529–532.
20. Публикация 50 МКРЗ. Риск заболевания раком легких от воздействия дочерних продуктов распада радона в помещениях. – М., 1992.
21. Реализация Федеральной программы «Радон» в 1997 г. Анализ достоверности проведенных измерений. Оценка радоноопасности территорий / Н. А. Манаков [и др.] // АНРИ. – 1998. – № 4. – С. 8–18.
22. Святогоров, А. А. Данные аэрокосмических съемок и материалы геолого-геофизических исследований – основа разработки системы картирования опасных геологических процессов / А. А. Святогоров, В. В. Мельникова // Границы науки – 2014 : материалы 3-й Всерос. интернет-конф. – Казань, 2014. – С. 243–245.
23. Статистика онкологических заболеваний в Республике Беларусь (2003–2012) : аналит. обзор по данным Белорус. канцер-регистра / А. Е. Океанов, П. И. Моисеев, Л. Ф. Левин ; под ред. О. Г. Суонко ; М-во здравоохранения Респ. Беларусь, ГУ «Респ. научно-практ. центр онкологии и мед. радиологии им. Н. Н. Александрова». – Минск : РНПЦ ОМР им. Н. Н. Александрова, 2013.
24. Уткин, В. И. Газовое дыхание Земли / В. И. Уткин // Соросовский образоват. журнал. – 1997. – № 1. – С. 57–64.
25. Уткин, В. И. Динамика выделения радона из массива горных пород как краткосрочный предвестник землетрясения / В. И. Уткин, А. К. Юрков // Доклады Рос. акад. наук. – 1998. – Т. 358, № 5. – С. 675–680.
26. Уткин, В. И. Радон и проблема тектонических землетрясений / В. И. Уткин // Соросовский образоват. журнал. – 2000. – № 12. – С. 64–70.
27. Яковлева, В. С. Методы измерения плотности потока радона и торона с поверхности пористых материалов / В. С. Яковлева. – Томск, 2011.

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 21.09.2016 г.

A. V. Matveev, L. A. Nechiporenko

**ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАДОНОМЕТРИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ГРУНТОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

На территории Беларуси выявлены особенности распространения повышенных концентраций радона в грунтах и породах, установлена корреляция этих данных с распространением ряда заболеваний, что позволяет обосновывать комплексы мер по ограничению неблагоприятного влияния радоновой радиации для конкретных площадей. Полученные материалы могут быть также использованы для геодинамических реконструкций (выделения активных разломов, различающихся по стабильности блоков земной коры), при поисках урансодержащих пород, залежей нефти, радоновых вод и некоторых других полезных ископаемых. Результативным является применение мониторинга радона для оценки напряженно-деформированного состояния пород, прогноза горных ударов в шахтах и землетрясений. Наконец, радионометрические материалы должны широко применяться для обоснования крупных инженерных проектов, выявления зон наиболее вероятного проявления аварий на трубопроводах, транспортных магистралях, в зданиях и сооружениях.

A. V. Matveyev, L. A. Nechiporenko

**PRACTICAL ASPECTS OF RADON-METRIC STUDIES
OF SOILS IN THE TERRITORY OF BELARUS**

Peculiarities of the distribution of increased radon concentrations in soils and breeds on the territory of Belarus, the correlation of these data with the distribution of a raw of illnesses is established, that allow ground measures complexes to limit adverse impact of radon radiation to particular areas. Obtained materials can be also used for geodynamic reconstruction (separation of active faults, differ in the stability of crustal blocks), in the search for uranium breeds, deposits of oil, radon waters and other minerals. The use of radon monitoring for the estimation of the stress-strain state of breeds and forecasts of rock bursts in mines and earthquakes is resultative. Finally, radon-metric materials should be widely used to substantiate large-scale engineering projects, identify areas which are most probable to manifestation of pipeline accidents, highways, buildings and structures.

Н. И. Тановицкая, О. Н. Ратникова

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА БОЛОТА ЕЛЬНИЯ НА УЧАСТКАХ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ НАРУШЕННОСТИ

Приведены результаты исследования состояния торфяной залежи, динамики гидрологического режима с использованием автоматических датчиков УГВ, а также видового состава фитоценозов на мониторинговых участках болота Ельния в зависимости от изменения уровней грунтовых вод.

Болота в естественном состоянии выполняют различные биосферные функции, одна из которых – гидрологическая [1], чутко реагирует на изменение антропогенной нагрузки. Основными параметрами гидрологического режима болота являются: среднемесячные и среднегодовые значения уровня грунтовых вод (далее – УГВ), среднегодовые амплитуды колебания УГВ и проточность биологически деятельного горизонта торфяной залежи [5].

Систематические исследования влияния антропогенной нагрузки на гидрологический режим торфянников на территории Беларуси начались в 1953 г. [17]. Исследования [17], проведенные на болотах Полесья, показали, что неизбежные последствия их осушения выражаются в уменьшении глубины торфяного слоя вследствие осадки залежи и минерализации органического вещества, а также в снижении уровня грунтовых вод на прилегающих территориях на расстоянии 1,5–2,0 км, реже – 5,0 км. В. Ф. Шебеко установлено, что регулирование водного режима болота оказывает влияние на водные ресурсы всего водосбора.

Российскими учеными было установлено [3, 5, 9 11], что распространение различных фитоценозов на территории болота обусловлено характерным для них гидрологическим режимом (УГВ, амплитуда колебания УГВ, проточность). На основании этих работ предложена расширенная концепция форм растительности [6], в которой описываются фитоценозы, являющиеся показательными для определенных УГВ. Основываясь на связи параметров гидрологического режима с болотными фитоценозами, необходимо учитывать, что в одинаковых микроландшафтах, независимо от их расположения на болотном массиве, должны иметь место одинаковые среднегодовые значения УГВ и годовые амплитуды колебания УГВ. Зная распределение фитоценозов, можно составить представление о гидрологическом режиме на территории торфяника и наоборот [5]. В работах [4, 5, 9, 16] отмечено, что осушение сказывается на росте древесно-кустарникового яруса, в особенности на уве-

личении подроста сосны и обилии кустарников, а также в снижении доли *Sp. magellanicum* и *Sp. fuscum* в моховом ярусе.

Согласно Стратегии ответственного управления торфянниками [19], роль торфянников в регулировании водных ресурсов определяет сохранность их уникальных гидрологических свойств и условий, которые напрямую не зависят, но тесно связаны с гидрологией прилегающих заболоченных земель и более обширных территорий. Таким образом, площадь и состояние болот в бассейнах рек влияет на условия местообитания водной биоты и экологического состояния водных объектов. В зависимости от положения в гидрологической и ландшафтной системах многие болота также обеспечивают выполнение функции регулирования воды, что представляет собой значительную ценность для человеческого общества. Кроме случаев экстремальных погодных условий верховые болота получают и хранят дождевую воду и отдают ее постепенно, положительно влияя на течение рек и гидрологию озер [19].

В работе [7] дана оценка реакции верховых болот на наиболее характерные для них виды воздействия. С учетом уменьшения интенсивности и полного прекращения торфообразовательного процесса, изменения внутриландшафтных и межландшафтных связей, а также биосферных функций, выделено четыре степени трансформации верховых болот: слабая и средняя, свойственные болотам лесного фонда; сильная и очень сильная – характерные для объектов, нарушенных добычей торфа. Выделены три группы болот с учетом их генетических особенностей: элювиального, супераквального и субаквального происхождения. Каждому варианту болотообразования соответствует определенная последовательность болотообразовательных процессов, причем наибольшей трансформации подвержены болота супер- и субаквального происхождения [7]. Понижение УГВ на 40 см и более от средней поверхности микроландшафта приводит к пожароопасной обстановке [2].

На основании анализа литературных данных, с учетом ранее предложенных четырех сте-

пеней трансформации верховых болот [7] и категорий нарушенности болот [15], приведенных в ТКП 17.12–08–2015 (33140) «Определение направлений использования торфяных место-

рождений и болот», авторами предлагается комплексная оценка категорий нарушенности гидрологического режима торфяников, данные которой представлены в табл. 1.

Таблица 1. Категории нарушенности гидрологического режима торфяников

Категории (состояние торфяника)	Показатели нарушенности торфяников			
	Методы осушения (покрытие территории торфяника осушителями, %)	Гидрологический режим (средний уровень грунтовых вод (h_{cp}); среднегодовая амплитуда колебания грунтовых вод (A), см)	Микроландшафт (процентное покрытие болотными фитоценозами)	Торфяная залежь (W и A ^c , %)
I. Ненарушенное (косвенное воздействие)	Прямое антропогенное воздействие отсутствует, возможно наличие единичных каналов на прилегающей территории (0–10 %)	h_{cp} (B) – 0–15, A (B) – 23–45; h_{cp} (H) – 32*–15, A (H) – 36–45	Микроландшафт не нарушен, естественные болотные фитоценозы	Ненарушенная [1, 8, см. табл. 4]: W (B) – 91–94, W (H) – 87–89, A ^c (B) – 2–4, A ^c (H) – 6–18
II. Слабо нарушенное (способно к восстановлению)	Имеется единичное осушение мелиоративными каналами в нулевой границе торфяника, или в пределе водосбора (10–25 %)	h_{cp} (B, H) – 15–20 в зоне влияния осушительных каналов; A (B, H) – до 45	Наличие участков по периферии и в зоне влияния каналов с болотной растительностью более 60 % территории	Ненарушенная: W (B) – 89–93, W (H) – 56–87, A ^c (B) – 3–4, A ^c (H) – 6–18
III. Нарушенное (критическое)	Наличие участков, осущеных каналами, дренажом в нулевой границе торфяника и на сопредельных территориях (25–50 %)	h_{cp} (B, H) – 20–40 как в зоне влияния осушительных каналов, так и на удалении от них; A (B) – 45–70 A (H) – 45–100	Наличие участков с болотной растительностью 40–60 % территории	Слабонарушенная: W (B) – 89, W (H) – 56, A ^c (B) – 4–7, A ^c (H) – 9–25,
IV. Сильно нарушенное (необратимые процессы, потеря торфяной залежи)	Осушение мелиоративными каналами, дренажом в нулевой границе и по периферии торфяника (более 50 % территории)	h_{cp} (B, H) – более 40, A (B, H) – выше 60	Наличие участков с болотной растительностью менее 40 % территории	Деградированная торфяная почва: W (B, H) – 86 и ниже, A ^c (B, H) – выше 20

* УГВ расположен выше поверхности земли.

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

В период 2006–2013 гг. в рамках проектов международной технической помощи и общественной организации «Ахова птушак бацькаўшчыны» (Беларусь) выполнялся мониторинг гидрологического режима торфяников, в том числе с целью разработки методов для оценки выбросов парниковых газов на деградированных торфяниках Беларусь, которые планировалось реабилитировать в Беларусь. Мониторинг на объектах исследования [18], который проводили при помощи автоматических датчиков измерения УГВ, продолжался до 2013 г. (около 50 датчиков: Ельня, Докудовское, Щербинский Мх и др.) с целью выявления болотной растительности как индикатора УГВ.

Цель работы – исследовать участки верхового болота Ельня I–III категории нарушенности гидрологического режима и разработать ком-

плексную оценку различных категорий нарушенности торфяников.

Болото Ельня, одно из крупнейших верховых болот Беларусь площадью 19 984 га, является центром ландшафтного заказника «Ельня» республиканского значения [13]. Существенные изменения гидрологического режима болота произошли в середине XX в. в результате добычи торфа и осушительной мелиорации сельскохозяйственных угодий по периферии болота. В настоящее время более 70 % его территории имеет нарушенный гидрологический режим [12].

В 2012 г. при содействии проектов международной технической помощи авторами организованы гидрологические и гидрохимические исследования верхового болота Ельня, где заложены десять постоянных мониторинговых площадок. Аналогичные исследования продол-

жились в 2013 г. на мониторинговых площадках верховых болот Докудовское, Рудянец (участок «Червень-2») и Копыш. Исследования направлены на изучение состояния торфяной залежи, динамики изменения гидрологического режима при помощи автоматических датчиков УГВ, а также изменения видового состава доминирующих фитоценозов в результате антропогенной нагрузки с последующей разработкой мероприятий по экологической реабилитации.

В период с 2012 по 2013 г. проведена полевая инвентаризация состояния водорегулирующих сооружений болота Ельня с оценкой эффективности их работы; разработаны электронные карты-схемы рельефа болота Ельня (общая ситуационная карта рельефа заказника, детальные карты рельефа территории расположения основных дренирующих каналов болота Ельня с

существующими гидротехническими сооружениями, схема территории болота, ранжированной по степени нарушенности гидрологического режима); заложены мониторинговые площадки с установкой десяти автоматических датчиков УГВ для мониторинга гидрологического режима болота (рис. 1) [14]. На основании полевых обследований в 2013–2014 гг. состояния гидротехнических сооружений, а также в результате изучения рельефа болота и анализа мониторинговых данных по изменению УГВ были разработаны рекомендации по дальнейшей оптимизации гидрологического состояния болота Ельня [12]. На мониторинговых площадках (см. рис. 1) с октября 2012 г по настоящее время осуществляются исследования состояния торфяной залежи, динамики изменения гидрологического режима и видового состава фитоценозов.

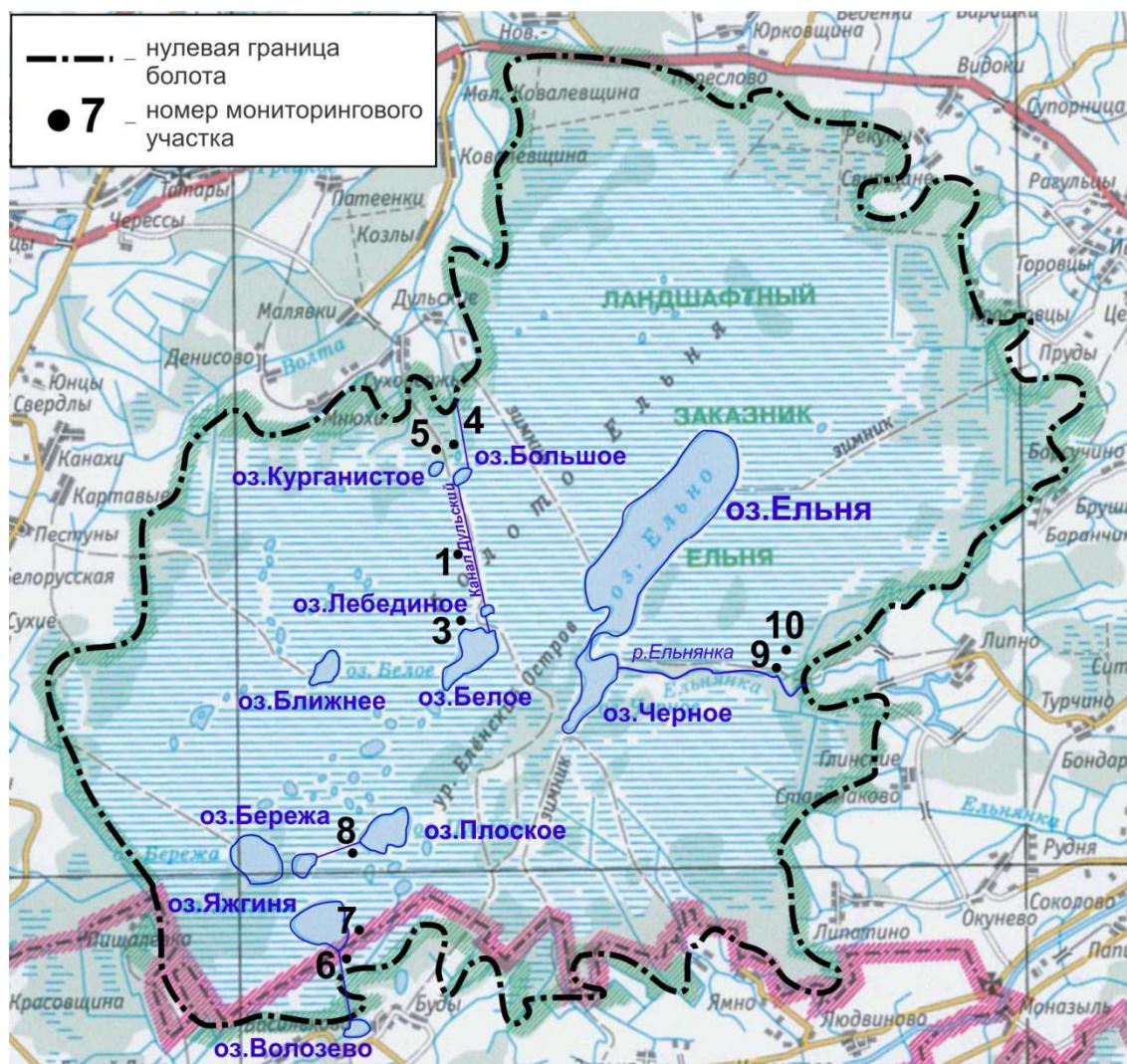


Рис. 1. Карта-схема расположения мониторинговых участков (1–10) на болоте Ельня

Выбор мест размещения датчиков УГВ № 1–5 обусловлен необходимостью оценки зоны влияния дренирующего канала Дульский. Датчики № 6–8 установлены для изучения изменения УГВ участка в районе дренирующих каналов оз. Яжгина и оз. Плоское. Параметры изменения сезонной и годовой амплитуд колебания УГВ в районе естественного водотока р. Ельнянка показывают два датчика УГВ – № 9 и 10.

При определении категории нарушенности (см. табл. 1) гидрологического режима болота Ельня оценивались следующие показатели:

- наличие осушительных каналов на площадках мониторинга или прилегающей к ним территории;
- гидрологический режим (среднемесячный и среднегодовой УГВ, среднемесячная и среднегодовая амплитуда колебания и ход кривой УГВ

относительно поверхности земли в течение гидрологического года с 1 октября по 31 сентября);

- современный микроландшафт, видовой состав доминирующих фитоценозов [5, 6];
- состояние торфяной залежи (ботанический состав, степень разложения, влажность (W) и зольность (A°) [8, 16].

Согласно классификации болотных микроландшафтов [5, 16], мониторинговые участки представлены лесными, травяно-лесными, травяными и мохово-травяными и моховыми микроландшафтами. Мониторинговые площадки выбраны размером 1 × 1 м и 10 × 10 м, на которых описаны доминирующие фитоценозы с указанием долевого участия основных видов растений (табл. 2). В табл. 3 приведены статистически обработанные данные изменений УГВ болота Ельня за весь период наблюдений (23.10.2012 г. – 26.10.2016 г.).

Таблица 2. Долевое участие основных видов растений на мониторинговых площадках болота Ельня, 2016 г.

Номер мониторингового участка	Микроландшафты	Группы фитоценозов	Основные виды растений в составе фитоценозов	
			Размер площадки: 1 × 1 м	Размер площадки: 10 × 10 м
1	Травяные	Вересково-пушицевые	Вереск ед., багульник ед.; пушица ед.; сфагnum 75 %, кукушкин лен 25 %	Береза 2,5 %, сосна 2,5%; вереск 35%; пушица 35%; сфагnum 15 %, кукушкин лен 10 %
3	Травяные	Вересково-пушицевые	Вереск 25 %, подбел 5 %; пушица 20%; сфагnum 50 %, кукушкин лен ед.	Береза 5 %, сосна 5%; вереск 30%; пушица 35%; сфагnum 15 %, кукушкин лен 10 %
4	Моховые	Сфагново-пушицево-кустарничковые, облесенные сосновой	Багульник 5 %, вереск 5 %; пушица 40%; сфагnum 50 %	Береза ед., сосна 10 % багульник 5 %, вереск 10 %, клюква 5 %, пушица 20 % очертник 5 %; сфагnum 40 %, кукушкин лен 5 %
5	Моховые	Сфагново-пушицево-кустарничковые, облесенные сосновой	Сосна ед.; вереск 20 %, багульник ед., клюква ед.; пушица 35%; сфагnum 30 %, кукушкин лен 15 %	Сосна 10 %; вереск 25 %, багульник 10 %, клюква 10 %; пушица 25 %, очертник 5 %; сфагnum 10 %, кукушкин лен 5 %
6	Моховые	Пушицево-кустарничково-сфагновый, редко облесен сосновой	Береза ед., сосна ед.; багульник ед., вереск 30 %; пушица 25%; сфагnum 40 %, кукушкин лен 5 %	Береза 5 %, сосна 5 %; вереск 30 %, багульник ед., клюква 5 %; пушица 30 %; сфагnum 20 %, кукушкин лен 5 %
7	Моховые	Пушицево-кустарничково-сфагновый, редко облесен сосновой	Береза ед., сосна ед. багульник ед., вереск 30 %, пушица 25 %, сфагnum 45 %	Береза 5 %, сосна 5 %; вереск 30 %, багульник ед., клюква 5 %; пушица 35 %; сфагnum 20 %
8	Моховые	Сфагново-пушицевый	Сосна ед., береза ед.; вереск 5 %, багульник ед.; пушица 35 %, очертник 15 %; сфагnum 45 %, кукушкин лен ед.	Сосна ед., береза 5 %; вереск 5 %, багульник ед.; очертник 10 %, пушица 35 %; сфагnum 45 %, кукушкин лен ед.
9	Лесные	Сосново-кустарничковый	Сосна 10 %; багульник 30 %, подбел 2,5 %, вереск 2,5 %, клюква 5 %; пушица ед.; сфагnum 50 %, кукушкин лен ед.	Сосна 10 %, береза 5 %; багульник 40 %, подбел 10 %, клюква 5 %; пушица 10 %; сфагnum 20 %, кукушкин лен 5 %
10	Моховые	Пушицево-сфагново-кустарничковые, облесенные сосновой	Сосна ед.; вереск 30 %, подбел 10 %; пушица 30 %; сфагnum 30 %	Береза ед., сосна 5 %; вереск 30 %, подбел 20 %; пушица 25 %; сфагnum 20 %

В октябре 2016 г. сняты показания УГВ, зафиксированные автоматическими датчиками, и проведен анализ изменения УГВ с октября 2012 г. по октябрь 2016 г.

Участки болота на мониторинговых площадках № 4–8, 10 (см. рис. 1) находятся в естественном состоянии и относятся к 1-й категории нарушенности. Для этих участков прослеживается следующая динамика изменения УГВ в зависимости от сезона года (рис. 2, датчик № 7): повышение УГВ весной в период интенсивного снеготаяния на 2 см выше поверхности земли; постепенное снижение уровней, достигающих летнего минимума около 25 см ниже поверхности земли, что обусловлено повышенным суммарным испарением с участков болот; осеннее повышение УГВ до 8 см ниже поверх-

ности земли, что связано с увеличением осадков и сокращением испарения в связи со снижением температуры воздуха, зимний минимум – 7 см ниже поверхности земли.

На мониторинговых участках № 1 и 3, близких к естественному состоянию (2-я категория нарушенности), и № 9 в нарушенном состоянии (3-я категория нарушенности) изменения УГВ в зависимости от сезона года несколько отличаются от естественных участков. Для них характерно повышение УГВ весной в период снеготаяния на 7–16 см; более быстрое снижение уровней, достигающих летнего минимума 43–45 см; осенний подъем уровней 12–27 см, зимний минимум 7–9 см ниже поверхности земли (см. рис. 2).

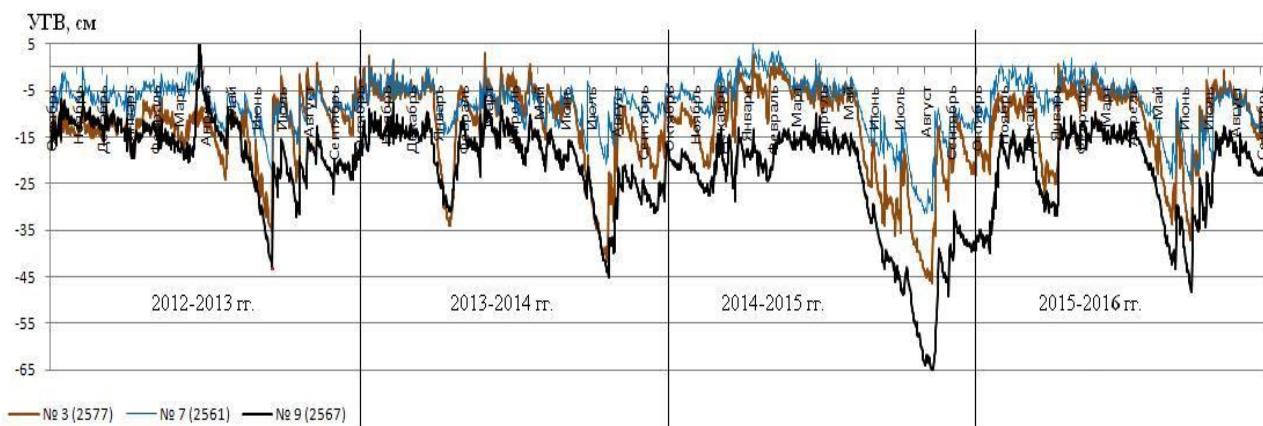


Рис. 2. Изменения УГВ на мониторинговых участках № 7 (1-я категория нарушенности), № 3 (2-я категория нарушенности) и № 9 (3-я категория нарушенности) болота Ельня за период с 2012 по 2016 г.

Среднегодовые многолетние значения УГВ для I и II категории нарушенности гидрологического режима участков № 7 и 3 составили 8 и 13 см ниже поверхности земли с амплитудой колебания УГВ в течение гидрологического года 27 и

42 см соответственно. Для III категории нарушенности гидрологического режима (мониторинговый участок № 9) среднегодовые УГВ составили 22 см ниже поверхности земли с амплитудой колебания 47 см (рис. 3).

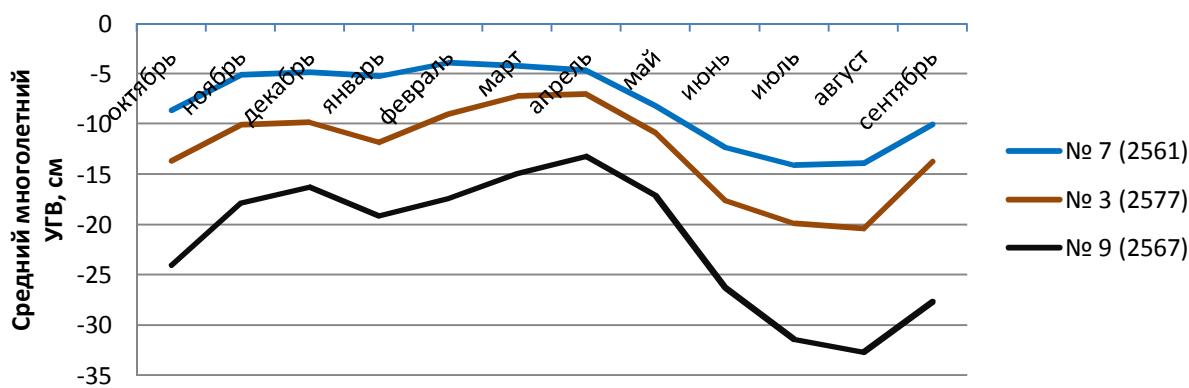


Рис. 3. Внутригодовая динамика многолетних УГВ на мониторинговых площадках различной степени нарушенности гидрорежима за период наблюдений 2012–2016 гг.

Таблица 3. Результаты статистической обработки данных изменений УГВ на болоте Ельня за период наблюдений с 23.10.2012 г. по 25.10.2016 г.

Период наблюдений, гг.	Номер мониторингового участка (номер датчика)										Количество выпавших осадков, мм**	Среднее значение высоты снежного покрова, см**	Средняя температура воздуха, °C**
	1 (2615)	3 (2577)	4 (2582)	5 (2593)	6 (2698)	7 (2561)	8 (2965)	9 (2567)	10 (2604)				
<i>Средний максимум, см</i>													
1 (2012–2013)	5*	1	23	23	8	0	10	10	6	—	—	—	31
2 (2013–2014)	5*	3	17	4	1	2*	1	6	5*	—	—	—	33
3 (2014–2015)	4*	3	12	4	2	6*	3	10	0	—	—	—	33
4 (2015–2016)	0	0	8	0	3	2*	5	10	-	—	—	—	31
Средний многолетний максимум	3	2	15	8	3	2*	0	4	3	—	—	—	—
<i>Средний минимум, см</i>													
1 (2012–2013)	37	35	15	25	27	23	28	43	31	—	—	—	-23
2 (2013–2014)	29	42	2	19	32	21	34	45	35	—	—	—	-21
3 (2014–2015)	45	47	30	41	47	31	44	66	50	—	—	—	-17
4 (2015–2016)	34	37	19	27	32	25	37	48	—	—	—	—	-22
Средний многолетний минимум	36	40	16	28	34	25	35	51	39	—	—	—	—
<i>Средняя амплитуда колебания УГВ, см</i>													
1 (2012–2013)	43	36	38	48	34	23	38	53	37	—	—	—	—
2 (2013–2014)	34	45	19	23	33	22	33	39	40	—	—	—	—
3 (2014–2015)	50	49	42	45	49	37	40	56	50	—	—	—	—
4 (2015–2016)	33	38	27	27	34	27	32	39	—	—	—	—	—
Средняя многолетняя амплитуда колебания УГВ	40	42	31	36	38	27	36	47	42	—	—	—	—
<i>Средний УГВ, см</i>													
1 (2012–2013)	10	13	1	3	9	7	6	16	9	688	20,0	6	
2 (2013–2014)	9	11	5*	6	10	8	13	19	8	673	2,8	8	
3 (2014–2015)	14	14	1	11	15	9	17	27	13	558	3,8	7	
4 (2015–2016)	11	12	4	10	9	8	15	23	—	647	5,5	7	
Средний многолетний УГВ	11	13	0	8	11	8	13	22	10	—	—	—	

* УГВ расположен выше поверхности земли.

** По данным работы [11].

Следует отметить, что анализ полевых исследований в 2012–2016 гг. на естественном мониторинговом участке № 8 болота Ельня показал, что в 2012 г. участок был сильно обводнен, среднегодовой УГВ составил 6 см ниже поверхности земли. Микроландшафт – комплексно-моховой (грядово-мочажинный). Сосна на грядах наблюдалась редко, сильно угнетенная, высотой до 0,5–0,7 м, единично встречалась береза. Кустарнички почти отсутствовали: на грядах произрастала клюква. В травяном ярусе – пушкица, шейхцерия, очеретник. Моховой покров состоял из *Sp. magellanicum*, *Sp. fuscum* с небольшой примесью *Sp. angustifolium*.

В период 2014–2015 гг. произошло изменение метеорологических условий, а именно уменьшение количества осадков (в 2012–2013 гг. количество выпавших осадков составило 688 мм, в 2014–2015 гг. – 558, в 2015–2016 гг. – 647 мм) [10]. Также на 1 °C увеличилась средняя температура воздуха и значительно уменьшилась высота снежного покрова (см. табл. 2), вследствие чего среднегодовые значения УГВ понизились с 6 до 17 см ниже поверхности земли. Понижение УГВ привело к увеличению прироста сосны, а именно на мониторинговом участке № 8 в 2013 г. прирост сосны составил 8 см, в 2014 г. – 22, в 2015 г. – 15, в 2016 г. – 10 см, а также к увеличению покрытия участка березой на 5 %, вереском и багульником на 5–10 %. Покрытие очеретника белого сократилось на 10 %. Кроме этого, в моховом покрове появился *Polytrichum commune*, сохранились *Sp. magellanicum* и *Sp. fuscum*, поскольку они выдерживают среднегодовые значения амплитуд колебания УГВ до 20 и 12 см и УГВ 25–5 и 37–25 см ниже поверхности земли соответственно [5]. На мониторинговом участке № 8 в 2015 г. амплитуда УГВ составила 40 см, среднегодовой УГВ – 17 см ниже поверхности земли. На участке наблюдений в 2015–2016 г. открытая вода отсутствовала по сравнению с аналогичным периодом наблюдений 2012 г. Таким образом, болотная экосистема прореагировала на изменения внешней среды 2014–2015 гг. возрастанием прироста сосны, увеличением доли березы и кустарничков, а также появлением кукушкина льна.

Антропогенная нагрузка в виде осушительного воздействия Дульского канала на мониторинговых участках № 1 и 3, расположенных в зоне влияния осушительной сети, привела к образованию вересковых пустошей. Исследования четырех лет показали, что покрытие бересы и вереска увеличилась на 5 и 10 % соответственно.

Исследования торфяной залежи до глубины 0,5 м на всех исследуемых мониторинговых площадках показали, что средняя влажность (W) торфа составила 88,9–95,7 %, средняя зольность (A^c) на мониторинговых участках I категории нарушенности гидрологического режима – 0,9–3,8 %, II категории – 1,2–8,9, III категории – 2,2–3,5 % (табл. 4).

В результате комплексной оценки современного состояния мониторинговых участков (см. табл. 4), произрастающих фитоценозов и гидрологического режима установлено, что болото Ельня имеет нарушенный гидрологический режим в районе расположения канализированного русла р. Ельнянка; слабонарушенный – в районе Дульского канала (возле оз. Белое); в районе расположения оз. Плоское и Яжгиня и оз. Большое на Дульском канале участки находятся в естественном состоянии.

Анализ результатов исследования гидрологического режима мониторинговых участков болота Ельня различной категории нарушенности позволяет сделать следующие выводы.

1. Наиболее чувствительными индикаторами, показывающими нарушения гидрологического режима болота в результате метеорологических изменений или антропогенных воздействий, являются среднегодовые значения УГВ, амплитуды колебаний УГВ, доминирующие группы фитоценозов, их процентное покрытие и прирост.

2. Для верхового болота в естественном состоянии характерны среднегодовые значения УГВ 10–15 см ниже поверхности земли и среднегодовая амплитуда колебания не более 40 см. Такие показатели гидрологического режима способствуют развитию типичных болотных фитоценозов верхового типа. Торфяная залежь при этих гидрологических показателях находится в ненарушенном состоянии.

3. Для участков торфяника II категории нарушенности гидрологического режима среднегодовые значения УГВ составляют 15–20 см ниже поверхности земли и среднегодовая амплитуда колебания – не более 45 см. Под влиянием антропогенной нагрузки вдоль осушительных каналов усилился прирост сосны и доля кустарников, а также уменьшение процентного покрытия территории болотными фитоценозами.

4. Критическим состоянием для торфяника является III категория нарушенности гидрологического режима. Антропогенная нагрузка на торфяник приводит к снижению среднегодовых УГВ более чем на 20 см ниже поверхности земли с амплитудой колебания более 45 см. На таких участках образуются вересковые пустоши, в моховом ярусе происходит замещение сфагновых мхов на зеленые (кукушкин лен). Осушение торфяника приводит к пересыханию и зазолению верхних слоев торфяной залежи, в результате чего начинаются процессы минерализации органического вещества торфа.

5. Изменение метеорологических условий (уменьшение осадков с 647 до 558 мм), ведет к понижению среднегодовых значений УГВ на 15–17 см ниже поверхности земли болота, и, как следствие, к смене количественных соотношений состава произрастающих доминирующих фитоценозов;

6. Среднегодовые значения УГВ в разных микроландшафтах одного и того же торфяника

не одинаковы. Понижение среднегодовых значений УГВ приводит к изменению площади покрытия территории исследуемых участков различными фитоценозами. Например, среднегодовое

понижение УГВ на 5 см вызывает увеличение площади кустарничков на 10 %, увеличение прироста сосны на 5–10 см и уменьшение покрытия мхами на 5–10 %.

Таблица 4. Результаты исследований гидрологического режима на мониторинговых участках болота Ельня различной категории нарушенности

Категории нарушенности гидрологического режима	Номер мониторингового участка	Группы фитоценозов	Гидрологический режим 2015–2016 гг.		Вид торфа в 0,5 м слое торфяной залежи (деятельный слой)		<i>R</i> , %	<i>Ac</i> , %	<i>W</i> , %
			Средний УГВ, см	Средняя амплитуда колебания УГВ, см					
I	4	Сфагново-пушицево-кустарничковые, облесенные сосновой	4	27	0–0,25	Сфагновомочажинный	5–10	1,9	95,7
					0,25–0,50	Сфагновомочажинный	10–15	1,2	95,1
	5	Сфагново-пушицево-кустарничковые, облесенные сосновой	10	27	0–0,25	Сфагновомочажинный	5–10	3,8	94,7
					0,25–0,50	Комплексный верховой	10–15	3,3	90,8
	6	Пушицево-кустарничково-сфагновый, редко облесен сосновой	9	34	0–0,25	Магелланикум-торф	5–10	1,6	94,6
					0,25–0,50	Магелланикум-торф	10–15	1,2	91,6
	7	Пушицево-кустарничково-сфагновый, редко облесен сосновой	8	27	0–0,25	Магелланикум-торф	5–10	1,3	93,9
					0,25–0,50	Магелланикум-торф	5–10	0,9	92,6
	8	Сфагновопушицевый	15	32	0–0,25	Магелланикум-торф	5–10	1,4	94,8
					0,25–0,50	Магелланикум-торф	10–15	1,2	91,3
	10	Пушицево-сфагново-кустарничковые, облесенные сосновой	10	42	0–0,25	Комплексный верховой	5–10	8,9	88,9
					0,25–0,50	Магелланикум-торф	10–15	1,3	92,6
II	1	Вересковопушицевые	11	33	0–0,25	Комплексный верховой	5–10	5,2	89,4
					0,25–0,50	Фускум-торф	10–15	1,2	92
	3	Вересковопушицевые	12	38	0–0,25	Фускум-торф	5–10	2,8	90,3
					0,25–0,50	Пушицево-сфагновый	10–15	1,4	92,9
III	9	Сосново-кустарничковый	23	39	0–0,25	Магелланикум-торф	10–15	3,5	93,9
					0,25–0,50	Сфагновомочажинный	10–15	2,2	93,2
					0,25–0,50	Сфагновомочажинный	10–15	2,2	93,2

Полученные данные согласуются с результатами исследований верховых болот, приведенных в литературном обзоре [2–7, 9, 11, 18,

19]. Однако в данной работе впервые уточнены гидрологические параметры верхового болота разной категории нарушенности.

Литература

- Бамбалов, Н. Н. Роль болот в биосфере / Н. Н. Бамбалов, В. А. Ракович. – Минск, 2005.
- Батуев, В. И. Гидрологические обоснования методики определения необходимого количества воды при обводнении торфяников / В. И. Батуев, И. Л. Калюжный // Известие русского географического общества. – 2012. – Вып. 4. – С 42–50.

3. Галкина, Е. А. Применение материалов аэрофотосъемки для гидрографического изучения болот / Е. А. Галкина // Труды ГГИ. – Вып. 13 (67). – 1979. – С. 5–25.
4. Гашкова, Л. П. Оценка трансформации осушенного верхового болота (на примере участка Бакчарского болотного массива) / Л. П. Гашкова, А. А. Синюткина // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2015. – № 1 (29). – С. 164–179.
5. Иванов, К. Е. Водообмен в болотных ландшафтах / К. Е. Иванов. – Л., 1975.
6. Климатическая значимость болот Целау [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.succow-stiftung.de/tl_files/pdfs_downloads/Berichte/Zehlau_Abschlussbericht_russisch.pdf. – Дата доступа : 15.08.2016.
7. Кухарчик, Т. И. Верховые болота Беларуси: трансформация, проблемы использования / Т. И. Кухарчик // Акад. наук Беларуси, Ин-т проблем использ. природ. ресурсов и экологии. – Минск, 1996.
8. Лиштван, И. И. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. – Минск, 1975.
9. Маслов, Е. А. Гидрология торфяных болот : учеб. пособие. – Томск : Издательство Томского государственного педагогического университета, 2008.
10. Портал Расписание Погоды (RP5) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://grp5.by/Архив_погоды_в_Шарковщине. – Дата доступа : 01.10.2016.
11. Романова, Е. Е. Классификация элементов болотной гидрографической сети / Е. Е. Романова // Труды ГГИ. – 1953. – Вып. 39 (93).
12. Тановицкая, Н. И. Исследования гидрологического режима болота Ельня и рекомендации по его оптимизации / Н. И. Тановицкая, О. Н. Ратникова // Природопользование. – 2014. – Вып. 26. – С. 31–38.
13. Тановицкая, Н. И. Особенности генезиса и стратиграфии торфяной залежи болота Ельня / Н. И. Тановицкая // Природные ресурсы. – 2009. – № 1. – С. 43–53.
14. Тановицкая, Н. И. Создание автоматизированной системы наблюдений за гидрологическим режимом на болоте Ельня / Н. И. Тановицкая, О. Н. Ратникова, Ю. Ю. Навоша // Природопользование. – 2013. – Вып. 23. – С. 56–61.
15. ТКП 17.12-08-2015 (33140) Охрана окружающей среды и природопользование. Территория. Определения направлений использования торфяных месторождений и болот.
16. Тюремнов, С. Н. Торфяные месторождения / С. Н. Тюремнов. – 3-е изд., перераб и доп. – М., 1976.
17. Шебеко, В. Ф. Влияние осушительных мелиораций на водный режим территории / В. Ф. Шебеко. – Минск, 1983.
18. Broska, T. Relationship between vegetation and water level in Yelnia bog (Belarus) and comparison of water level measurement approaches / T. Broska ; Ernst-Moritz-Arndt University Greifswald. Landscape Ecology and Nature Conservation. – 2010. – Р. 48.
19. Strategy for responsible peatland management [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.bordnamona.ie/wp-content/uploads/2012/07/Strategy-for-Responsible-Peatland-Management.pdf>. – Дата доступа : 03.02.2016.

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 20.10.2016 г.

H. И. Тановицкая, О. Н. Ратникова

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА БОЛОТА ЕЛЬНЯ НА УЧАСТКАХ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ НАРУШЕННОСТИ

Приведены результаты исследований с помощью автоматических датчиков измерения УГВ гидрологических параметров, видового состава доминирующих фитоценозов и состояния торфяной залежи различных микроландшафтов болота Ельня. Проанализированы гидрологические особенности мониторинговых участков болота Ельня разной категории нарушенности за период наблюдений 2012–2016 гг.

N. T. Tanovitskaya, O. N. Ratnikova

FEATURES OF HYDROLOGICAL REGIME OF YELNIA MARSH ON SITES WITH DIFFERENT DEGREE OF DISTURBANCE

The results of studies using automatic GWL measuring sensors of hydrological parameters, the species composition of dominant phytocenoses and conditions of the peat deposits in various microlandscapes of Yelnya marsh are presented. Hydrological features of Yelnya marsh of monitoring sites with different categories of disturbed state are analyzed during the observation period of 2012–2016.

**Е. П. Овчарова¹, В. С. Хомич¹, О. В. Кадацкая¹, Е. В. Санец¹,
С. К. Саркар², М. М. Дашкевич³, И. Г. Тищиков⁴**

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕКИ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ (НА ПРИМЕРЕ Р. СВИСЛОЧИ)

В статье приведено сравнение различных подходов к оценке уровня загрязнения донных отложений. На примере донных отложений р. Свислочи рассчитаны коэффициенты обогащения (концентрации), загрязнения, среднего накопления, а также индекс суммарного загрязнения и геоаккумуляционный индекс, дана их оценка. Приведены стандарты уровней содержания тяжелых металлов для оценки опасности донных отложений для водных экосистем, принятые в различных странах мира. Выполнено их сравнение с белорусскими ОДК/ПДК для почв.

Донные отложения, как известно, являются депонирующей средой для различных загрязняющих веществ, в связи с чем могут использоваться в качестве индикатора экологического состояния водного объекта [3, 5, 6, 8]. В ряде случаев они могут выступать в роли вторичного источника загрязнения поверхностных вод, что является особенно актуальным на урбанизированных территориях.

Определение содержания тяжелых металлов в донных отложениях является обычной практикой при оценке состояния водных экосистем и установлена определенная нагрузка на определенной территории. Несмотря на важную роль донных отложений в оценке экологического состояния водных экосистем, в Беларусь для них не разработаны нормативы или шкалы, позволяющие определить опасность их загрязнения, уровень антропогенной нагрузки и экологический риск. Как правило, в Беларусь для оценки загрязнения и опасности донных отложений тяжелыми металлами используют ОДК/ПДК, разработанные для почв, а в качестве фоновых величин – валовое содержание в почвах фоновых территорий [1, 7].

Следовательно, в связи с вышесказанным, изучение международных методических подходов к изучаемой проблеме является весьма актуальным. Кроме того, в статье приведено сравнение белорусских ОДК/ПДК, установленных для почв, со стандартами уровней содержания веществ в донных отложениях, разработанными в других странах, а также фоновых величин тяжелых металлов, используемых рядом зарубежных авторов в своих работах.

Согласно работе [8], для характеристики загрязнения донных отложений используют ряд показателей:

- коэффициент концентрации химического элемента (K_C);
- коэффициент среднего накопления (R_X);
- суммарный показатель загрязнения (Z_C);
- показатель санитарно-токсикологической опасности (Z_{ct}).

Коэффициент концентрации (K_C) характеризует уровень концентрирования элемента в донных отложениях относительно его фонового содержания. Как правило, в дальнейшие расчеты включаются элементы со значениями K_C не менее 1,5.

Вычисление K_C производится по формуле

$$K_C = \frac{C_{\text{образец}}}{C_{\text{фон}}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{образец}}$ – концентрация тяжелого металла в образце донных отложений изучаемого водного объекта, мкг/г; $C_{\text{фон}}$ – фоновая концентрация тяжелого металла в донных отложениях, мкг/г.

Коэффициент среднего накопления (R_X) химических элементов представляет собой среднее арифметическое суммы значений коэффициентов концентрации элементов (с K_C выше 1,5) и характеризует среднюю интенсивность загрязнения донных отложений.

R_X рассчитывается по формуле

$$R_X = \frac{(\sum_{i=1}^n K_C)}{n}, \quad (2)$$

где K_C – коэффициент концентрации i -го элемента; n – количество элементов с K_C выше 1,5.

Суммарный показатель загрязнения (Z_C) представляет собой сумму коэффициентов концентрации элементов (с K_C выше 1,5) за вычетом фона, отражает аддитивное превышение фонового уровня и характеризует уровень техногенного загрязнения.

Z_C рассчитывается по формуле

$$Z_C = \frac{(\sum_{i=1}^n K_C)}{n} \cdot (n-1), \quad (3)$$

где K_C – коэффициент концентрации i -го элемента; n – количество элементов с K_C выше 1,5.

Шкала оценки уровня техногенной загрязнения приведена в табл. 1. Данная шкала разработана Е. П. Яниным на основе эмпирического материала при изучении техногенных геохимических аномалий в донных отложениях и речных водах по 40 химическим элементам.

Таблица 1. Ориентировочная шкала оценки загрязнения донных отложений [8]

Z_c	Z_{ct}	Уровень техногенного загрязнения	Степень санитарно-токсикологической опасности
Менее 10	Менее 10	Слабый	Допустимая
10–30	10–30	Средний	Умеренная
30–100	30–100	Высокий	Опасная
100–300	100–300	Очень высокий	Очень опасная
Более 300	Более 300	Чрезвычайно высокий	Чрезвычайно опасная

Показатель санитарно-токсикологической опасности (Z_{cm}) представляет собой сумму K_c (за вычетом фона) для химических элементов 1-го и 2-го классов опасности и рассчитывается по той же формуле, что и Z_c (с корректировкой учитываемых элементов). Этот показатель характеризует степень потенциальной санитарно-токсикологической опасности донных отложений как вещества. Степень опасности (см. табл. 1) техногенного загрязнения определяет значимость донных отложений как источника загрязнения водной фазы и вероятность токсического воздействия на живые организмы.

Для оценки уровня загрязнения донных отложений в зарубежных литературных источниках [9, 10, 13–17] чаще всего используют следующие показатели:

- коэффициент загрязнения (Contamination Factor), аналог коэффициента концентрации (K_c);
- индекс суммарного загрязнения (Pollution Load Index);
- коэффициент обогащения (Enrichment Factor);
- геоаккумуляционный индекс (Geo-accumulation Index).

Для данных показателей разработаны соответствующие шкалы, позволяющие оценить уровень антропогенной нагрузки и опасность донных отложений для водных экосистем.

Согласно работе [15], наиболее простым в использовании для оценки загрязнения донных отложений является коэффициент загрязнения (K_3), который представляет собой соотношение содержания тяжелого металла в донных отложениях изучаемого водного объекта по отношению к его содержанию в донных отложениях водотоков и водоемов фоновых территорий. K_3 рассчитывается так же, как K_c (см. формулу (1)).

Однако в отличие от K_c , для которого в качестве нижней границы используется величина 1,5, для K_3 выделяют четыре уровня загрязнения донных отложений: от низкого до очень высокого (табл. 2).

С использованием полученных коэффициентов загрязнения донных отложений тяжелыми металлами можно рассчитать индекс суммарного загрязнения (ИСЗ) – суммарный показатель уровня загрязнения донных отложений тяжелыми металлами, который отражает

Таблица 2. Градация уровня загрязнения донных отложений тяжелыми металлами [15]

Значение коэффициента загрязнения	Уровень загрязнения
Менее 1	Низкий (отсутствует)
1–3	Средний
3–6	Значительный
Более 6	Очень высокий

кратность превышения содержания тяжелых металлов над фоновыми значениями [9].

ИСЗ рассчитывается по формуле

$$\text{ИСЗ} = \sqrt{K_{3_1} \cdot K_{3_2} \cdot \dots \cdot K_{3_n}}, \quad (4)$$

где K_{3_n} – коэффициент загрязнения для n -го тяжелого металла; n – количество тяжелых металлов.

Значение ИСЗ менее 1 свидетельствует об отсутствии загрязнения, более 1 – о загрязнении.

Как указано выше, использование K_3 и ИСЗ позволяет оценить общий уровень загрязнения донных отложений тяжелыми металлами, но не выделить техногенную составляющую в их происхождении, что является неотъемлемой частью геохимических исследований.

Согласно работе [17], для того чтобы оценить загрязнение донных отложений за счет деятельности человека, а также уровень антропогенной нагрузки, используется коэффициент обогащения (Enrichment Factor), для расчета которого берут нормированные по железу общему концентрации тяжелых металлов.

Вычисление коэффициента обогащения производится по формуле

$$K_o = \frac{(M/\text{Fe})_{\text{образец}}}{(M/\text{Fe})_{\text{фон}}}, \quad (5)$$

где K_o – коэффициент обогащения; $(M/\text{Fe})_{\text{образец}}$ – соотношение содержания тяжелого металла и железа общего в образце; $(M/\text{Fe})_{\text{фон}}$ – фоновое соотношение содержания тяжелого металла и железа общего.

Если значение коэффициента обогащения находится в пределах 0,5–1,5, можно говорить о природном (естественном) происхождении тяжелых металлов и отсутствии антропогенной нагрузки. Значение коэффициента обогащения

более 1,5 свидетельствует о поступлении тяжелых металлов за счет антропогенных источников (сточные воды, поверхностный сток и т. д.), т. е. об антропогенной нагрузке.

Согласно [10, 16], наиболее полно оценить степень загрязнения донных отложений тяжелыми металлами позволяет использование геоаккумуляционного индекса (*Geo-accumulation Index*), для которого выделяют семь классов (от 0-го до 6-го) с соответствующим уровнем загрязнения (от незагрязненных до экстремально загрязненных). Геоаккумуляционный индекс рассчитывается по формуле

$$I_{geo} = \frac{\log_2(C_n)}{1,5(B_n)}, \quad (6)$$

где I_{geo} – геоаккумуляционный индекс; C_n – измеренная концентрация тяжелого металла; B_n – фоновое содержание тяжелого металла; 1,5 – коэффициент, который минимизирует эффект от возможной вариации фона.

Соответствие значения I_{geo} классу и уровню загрязнения донных отложений приведено в табл. 3.

В случае отсутствия региональных фоновых значений для донных отложений зарубежные авторы [9, 15] в качестве фоновых величин

Таблица 3. Градация геоаккумуляционного индекса и классификация уровня загрязнения [10]

Значение I_{geo}	Класс I_{geo}	Уровень загрязнения донных отложений
Менее 0	0	Незагрязненные
0–1	1	Между незагрязненными и умеренно загрязненными
1–2	2	Умеренно загрязненные
2–3	3	Между умеренно и сильно загрязненными
3–4	4	Сильно загрязненные
4–5	5	Между сильно и экстремально загрязненными
Более 5	6	Экстремально загрязненные

используют среднемировые концентрации тяжелых металлов в почве или донных отложениях. Как показал анализ табл. 4, данные величины близки между собой. В целом для донных отложений среднемировое содержание таких металлов, как медь, никель, кобальт, хром и железо, в 1,2–1,5 раза выше, чем в почвах, а для свинца, кадмия и марганца – в 1,2–1,8 раза ниже. Однако, как указано выше, при наличии региональных фоновых величин их использование для расчетов коэффициентов и индексов является приоритетным.

Таблица 4. Среднемировое и среднее для Беларуси содержание тяжелых металлов в почвах фоновых территорий, используемое для оценки загрязнения донных отложений, мкг/г

Тяжелый металл	Среднее содержание тяжелых металлов (валовое содержание) в почвах фоновых территорий Минской области [7]	Среднее содержание тяжелых металлов (валовое содержание) в почвах фоновых территорий Беларуси [7]	Среднее содержание тяжелых металлов в донных отложениях водных объектов Березинского биосферного заповедника [3]	Среднемировое содержание тяжелых металлов в почвах [15]	Среднемировое содержание тяжелых металлов в тонкодисперсной фракции донных отложений [9]
Pb	5,20	5,40	20,00	35,00	20,00
Cd	0,21	0,20	0,50	0,35	0,30
Zn	29,10	23,50	31,00	90,00	–
Cu	4,50	4,70	15,00	30,00	45,00
Mn	222,00	278,00	827,00	1000,00	800,00
Ni	3,60	4,30	12,00	50,00	68,00
Co	–	1,50*	5,70	13,00	19,00
Cr	–	7,40**	12,00	70,00	90,00
Fe	–	8200**	23 000	40 000	46 000

* Для Березинского биосферного заповедника [2].

** По данным работы [3].

Анализ табл. 4 показал, что средние содержания тяжелых металлов в почвах фоновых территорий Беларуси значительно отличаются от среднемировых значений. Так, валовое содержание свинца в почвах Беларуси в 6,5 раза ниже мирового кларка, кадмия – в 1,7, цинка – в 3,8, меди – в 6,4, марганца – в 3,6, никеля – в 11,6 раза. Валовые концентрации тяжелых металлов

в почвах фоновых территорий Минской области близки к средним по Беларуси.

Как отмечено выше, в Беларуси вследствие отсутствия каких-либо нормативов для донных отложений для оценки их загрязнения тяжелыми металлами используют предельно допустимые (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК), разработанные для почв [1].

В табл. 5 приведены ПДК и ОДК тяжелых металлов в почве, принятые в Беларуси, и стандарты, разработанные для донных отложений в других странах.

Сравнительный анализ данных табл. 5 показал, что принятые в разных странах предельные содержания в донных отложениях таких металлов, как свинец, кадмий, медь и ни-

кель, близки к ПДК/ОДК валового содержания тяжелых металлов в почве, утвержденным в Беларуси. Следует отметить более строгие нормативы в Беларуси (почти в 2 раза) для цинка (55 мкг/г) по сравнению с другими странами (110–124 мкг/г) и противоположную ситуацию для хрома (100 мкг/г в Беларуси и 25,0–52,3 мкг/г в других странах).

Таблица 5. ПДК/ОДК некоторых металлов в почве и нормативные величины, принятые в других странах для оценки загрязнения донных отложений, мкг/г

Загрязняющее вещество	ПДК/ОДК для почв Беларуси [1]		Предельное содержание для донных отложений		
	валовая форма	подвижная форма	Всемирная организация здравоохранения [17]	Агентство по защите окружающей среды США [17]	Европейская комиссия* [11]
Pb	32	6	—	40	30,2–112
Cd	0,5	0,5	0,6	0,6	0,68–4,21
Zn	55	50	123	110	124–271
Cu	33	3,0	25	16	18,7–108
Mn	1500	—	—	30	—
Ni	20	4,0	20	16	15,9–42,8
Co	20	5,0	—	—	—
Cr	100	6,0	25	25	52,3–160
Fe	—	—	—	30	—

* Первое число – пороговое значение (неблагоприятное воздействие наблюдается редко), второе число – наиболее вероятное воздействие (неблагоприятное воздействие наблюдается часто).

Для оценки потенциального экологического риска для биоты от загрязненных донных отложений в ряде стран утверждены стандарты уровней содержания тяжелых металлов, которые соответствуют уровню начала воздействия (НВ), когда неблагоприятное воздействие проявляется редко, и уровню наиболее вероятного воздействия (НВВ), когда неблагоприятное воздействие проявляется часто [11, 12].

Как видно из табл. 6, если содержание тяжелого металла в донных отложениях не превышает уровень НВ, то неблагоприятное воздействие на биоту (бентос) проявляется лишь в 2–11 % случаев в зависимости от рассматриваемого металла, если находится в пределах уровней НВ–НВВ – в 12–38, при условии выше уровня НВВ – в 36–49 % случаев.

Таблица 6. Канадские стандарты для оценки потенциального экологического риска для бентосных организмов пресноводных водных объектов от загрязненных тяжелыми металлами донных отложений [12]

Загрязняющее вещество	Уровень начала воздействия (НВ), мкг/г	Уровень наиболее вероятного воздействия (НВВ), мкг/г	Частота неблагоприятных воздействий на бентос, %		
			Концентрация ниже уровня НВ	Концентрация в пределах уровней НВ–НВВ	Концентрация выше уровня НВВ
Pb	35,0	91,3	5	23	49
Cd	0,6	3,5	11	12	47
Zn	123,0	315,0	5	32	36
Cu	35,7	197,0	4	38	44
Cr	37,3	90,0	2	19	49

Принятые в Канаде уровни НВ для таких металлов, как свинец, кадмий и медь так же, как и утвержденные Европейской комиссией (см. табл. 4), близки к белорусским ПДК/ОДК валового содержания тяжелых металлов в почве. Данный факт позволяет использовать канадские уровни НВ и НВВ для ориентировочной оценки экологического риска для биоты от загрязненных тяжелыми металлами донных отложений.

Оценка состояния донных отложений р. Свисочи тяжелыми металлами. Оценка состояния донных отложений с использованием описанных выше показателей (K_C/K_3 , R_X , Z_C , Z_{ct} , ИСЗ, K_o , I_{geo}) выполнена на примере р. Свисочи. Пробы отобраны в ходе полевых работ совместно с представителем Калькуттского университета профессором С. К. Саркаром в августе 2015 г. Перечень точек отбора приведен в табл. 7.

Таблица 7. Перечень точек отбора проб донных отложений р. Свислочи

Номер пробы	Место отбора
X-1	Гидрологический пост Хмелевка
Д-3	Гидрологический пост Дрозды
Св-4	Река Свислочь в 100 м ниже выпуска дождевого коллектора «Центр» по ул. Белорусской
П-5	Гидрологический пост Подлосье (ул. Уборевича, 58)
К-6	Гидрологический пост Королищевичи ниже сброса Минской очистной станции аэрации
О-7	Водохранилище Осиповичское около д. Озерищи
Св-8	Гидрологический пост Свислочь, д. Свислочь

При выборе точек опробования р. Свислочи учтены следующие условия:

- отбор приурочен к участкам с различной антропогенной нагрузкой от истока р. Свислочи (д. Анусино) до ее устья (д. Свислочь);
- пробы отобраны ниже по течению от различных источников поступления загрязняющих веществ в водоток (выпуск дождевого коллектора «Центр», сброс Минской очистной станции аэрации (МОСА)).

Определение тяжелых металлов в пробах донных отложений проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Степень извлечения металлов – 80–90 %. Определение подвижных форм металлов проводилось из вытяжки ацетатно-аммонийного буфера (рН 4,8).

Для расчетов в качестве фоновых приняты валовые концентрации тяжелых металлов в донных отложениях водотоков Березинского биосферного заповедника (см. табл. 4).

Результаты расчета коэффициента загрязнения (концентрации) (K_C/K_3) приведены в табл. 8. Так, очень высокое загрязнение донных отложений Свислочи ($K_3 > 6$) цинком и медью выявлено ниже выпуска дождевого коллектора «Центр» (проба № Св-4), цинком, медью и хромом – ниже выпуска МОСА (проба № К-6). Ниже выпуска МОСА значительный уровень загрязнения донных отложений ($K_3 = 3–6$) за-

фиксирован для кадмия и никеля. Содержание свинца и хрома ниже выпуска дождевого коллектора «Центр» соответствовало среднему уровню загрязнения ($K_3 = 3–6$). Низкие значения $K_3 (< 1)$ указывают на отсутствие загрязнения донных отложений тяжелыми металлами в верховьях реки (г/п Хмелевка, пробы № X-1) и перед ее впадением в р. Березину (г. п. Свислочь, пробы № Св-8), а также в районе г. п. Дрозды (за исключением цинка) (проба № Д-3) и в Осиповичском водохранилище (за исключением цинка и хрома) (проба № О-7). Содержание данных тяжелых металлов здесь соответствовало среднему уровню загрязнения. В районе г. п. Подлосье (проба № П-5) средний уровень загрязнения донных отложений выявлен для цинка и хрома.

Значения $K_C > 1,5$, на основе которых рассчитываются коэффициент среднего накопления (R_X), суммарный показатель загрязнения (Z_C) и показатель санитарно-токсикологической опасности (Z_{ct}), получены для тяжелых металлов в трех точках опробования: ниже выпуска дождевого коллектора «Центр» (свинец, цинк, медь, хром), г. п. Подлосье (цинк и хром) и ниже выпуска МОСА (cadмий, цинк, медь, никель, кобальт, хром). Значения указанных показателей приведены в табл. 9.

Таблица 8. Значения коэффициента загрязнения (концентрации), рассчитанного для валовой формы тяжелых металлов в донных отложениях р. Свислочи

Номер пробы	Pb	Cd	Zn	Cu	Mn	Ni	Co	Cr
X-1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3
Д-3	0,5	0,3	1,4	0,6	0,5	0,4	0,5	0,6
Св-4	2,1	1,0	7,1	6,5	0,3	0,9	0,7	1,6
П-5	0,5	0,2	2,4	1,0	0,7	0,6	0,9	1,6
К-6	1,4	3,3	10,7	6,8	0,5	5,4	1,5	33,8
О-7	0,3	0,3	1,4	0,6	0,2	0,3	0,3	1,4
Св-8	0,0	0,0	0,4	0,1	0,2	0,2	0,2	0,5

П р и м е ч а н и я.

1. Белый цвет ячейки – низкий уровень загрязнения ($K_3 < 1$), светло-серый – средний ($K_3 = 1–3$), серый – значительный ($K_3 = 3–6$), темно-серый – очень высокий ($K_3 > 6$).

2. Жирным шрифтом выделены значения $K_C > 1,5$.

Таблица 9. Уровень загрязнения донных отложений согласно значениям коэффициента среднего накопления (R_x), суммарного показателя загрязнения (Z_c) и показателя санитарно-токсикологической опасности (Z_{ct}), рассчитанным для валовой формы тяжелых металлов в донных отложениях

Номер пробы	R_x	Z_c	Уровень техногенного загрязнения	Z_{ct}^*	Степень санитарно-токсикологической опасности
Св-4	4,3	14,3	Средний	2,1	Допустимая
П-5	2,0	3,0	Слабый	—	—
К-6	10,3	56,5	Высокий	3,8	Допустимая

* Учитывались такие металлы 2-го класса опасности (высоко опасные), как свинец, кадмий и кобальт [8].

Согласно данным табл. 9, высокий уровень техногенного загрязнения донных отложений зафиксирован ниже МОСА (точка К-6), средний – ниже выпуска дождевого коллектора «Центр» (точка Св-4) и слабый – в районе г. п. Подлосье (точка П-5). Степень санитарно-токсикологической опасности соответствует допустимой.

Согласно результатам расчета индекса суммарного загрязнения (рис. 1), который отражает кратность превышения содержания тяжелых металлов над фоновыми значениями и позволяет оценить общий уровень загрязнения дон-

ных отложений, превышение порогового значения, свидетельствующее о загрязнении донных отложений, отмечено только для точек Св-4 и К-6. Следует отметить, что здесь же в донных отложениях фиксируются превышения ПДК/ОДК для почв Беларуси: для кадмия – в 1,1 раза, свинца – в 1,3, меди – в 3,0, цинка – в 4,0 (точка Св-4); меди – в 3,1, никеля и кадмия – в 3,3, хрома – в 4,1, цинка – в 6,1 раза (точка К-6). Содержание цинка в донных отложениях на г. п. Подлосье составило 1,4 ПДК/ОДК.

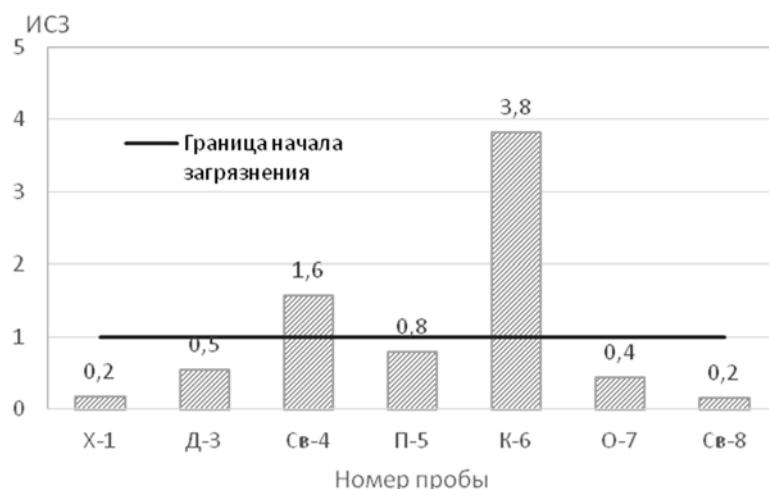


Рис. 1. Значение индекса суммарного загрязнения для донных отложений р. Свислочи

Как указано выше, для выявления вклада техногенной составляющей в загрязнение донных отложений, а также уровня антропогенной нагрузки используется коэффициент обогащения (K_o).

Результаты расчета K_o приведены в табл. 10. Так, максимальные значения K_o для свинца, цинка и меди (5,2, 17,1 и 15,8 соответственно) получены для донных отложений ниже выпуска дождевого коллектора «Центр» (точка Св-4). Указанные тяжелые металлы являются типичными загрязнителями поверхности стока, поступающего с городской территории в целом и с транспортной зоны в частности [4]. С большой долей вероятности подобный уровень

загрязнения донных отложений р. Свислочи будет наблюдаться, по-видимому, ниже выпусков всех магистральных коллекторов дождевого стока г. Минска. Значения K_o для остальных микроэлементов (кроме марганца) также выше 1,5.

Значения K_o выше порогового установлены для донных отложений р. Свислочи ниже выпуска МОСА для всех тяжелых металлов, за исключением марганца. Для данной точки зафиксировано и максимальное обогащение донных отложений хромом ($K_o = 36,8$), что на фоне большого объема илов на данном участке реки свидетельствует об антропогенном загрязнении донных отложений за счет нормативно очищенных сточных вод.

Таблица 10. Значения коэффициента обогащения, рассчитанного для валовой формы тяжелых металлов в донных отложениях

Номер пробы	Pb	Cd	Zn	Cu	Mn	Ni	Co	Cr
X-1	0,4	0,3	1,5	0,9	1,5	0,9	1,8	1,5
Д-3	1,2	0,6	3,2	1,4	1,0	0,9	1,1	1,3
Св-4	5,2	2,4	17,1	15,8	0,8	2,2	1,7	3,9
П-5	0,8	0,4	4,2	1,8	1,2	1,1	1,5	2,8
K-6	1,6	3,6	11,7	7,4	0,5	5,9	1,7	36,8
O-7	1,2	1,2	6,7	2,8	0,8	1,6	1,4	6,4
Св-8	0,2	0,2	2,4	0,7	1,0	1,1	1,0	2,6

Примечание. Серый цвет ячейки – $K_o > 1,5$.

На участке реки от г. п. Хмелевка (точка X-1) до г. п. Дрозды (точка Д-3) и в районе г. п. Свислочь (точка Св-8) значения коэффициента обогащения ($K_o < 1,5$) для большинства тяжелых металлов свидетельствуют о незначительной антропогенной нагрузке.

Стоит отметить, что для донных отложений реки в районе г. п. Подлесье (точка П-5) значения $K_o > 1,5$ получены только для цинка, меди и хрома. В целом, несмотря на то что данная точка отбора находится на урбанизированном участке водосбора реки (практически на выходе из города), общий уровень загрязнения здесь невысокий. Такая ситуация обусловлена тем, что место опробования находится ниже Чижовского водохранилища, в котором аккумулируется большая часть загрязняющих веществ, поступающих с центральной части

города. Ранее В. В. Савченко была показана барьерная функция Чижовского водохранилища в отношении хрома, свинца и цинка ($K_C > 10$), а также меди и цинка ($K_C = 4-10$) [6].

Обобщив полученные результаты по K_o , можно отметить незначительную антропогенную нагрузку ($K_o < 1,5$) на всем протяжении р. Свислочи по марганцу. Значительную антропогенную нагрузку ($K_o > 1,5$) ниже по течению от г. п. Дрозды река испытывает по цинку, меди и хрому, а на наиболее урбанизированном участке (г. Минск) – еще и по свинцу, кадмию, кобальту и никелю.

Оценить степень (класс) загрязнения донных отложений р. Свислочи тяжелыми металлами возможно с использованием геоаккумуляционного индекса (I_{geo}), результаты расчета которого приведены в табл. 11.

Таблица 11. Степень загрязнения донных отложений р. Свислочи тяжелыми металлами (валовая форма) согласно значениям геоаккумуляционного индекса

Номер пробы	Pb	Cd	Zn	Cu	Mn	Ni	Co	Cr
X-1	-4,3 (0)	-4,7 (0)	-2,5 (0)	-3,3 (0)	-2,5 (0)	-3,2 (0)	-2,2 (0)	-2,5 (0)
Д-3	-1,5 (0)	-2,5 (0)	-0,1 (0)	-1,3 (0)	-1,7 (0)	-1,8 (0)	-1,6 (0)	-1,3 (0)
Св-4	0,5 (1)	-0,6 (0)	2,2 (3)	2,1 (3)	-2,1 (0)	-0,8 (0)	-1,1 (0)	0,1 (1)
П-5	-1,6 (0)	-2,7 (0)	0,7 (1)	-0,6 (0)	-1,1 (0)	-1,3 (0)	-0,8 (0)	0,1 (1)
K-6	-0,1 (0)	1,1 (2)	2,8 (3)	2,2 (3)	-1,7 (0)	1,9 (2)	0,0 (0)	4,5 (5)
O-7	-2,5 (0)	-2,5 (0)	-0,1 (0)	-1,3 (0)	-3,1 (0)	-2,1 (0)	-2,4 (0)	-0,1 (0)
Св-8	-5,0 (0)	-5,0 (0)	-1,8 (0)	-3,5 (0)	-3,0 (0)	-2,9 (0)	-3,0 (0)	-1,6 (0)

Примечание. Класс загрязнения указан в скобках.

Так, классу загрязнения выше 2-го соответствуют донные отложения реки только на двух участках: ниже выпуска дождевого коллектора «Центр» (точка Св-4) по меди и цинку – 3-й класс (между умеренно и сильно загрязненными) и ниже выпуска МОСА (точка K-6) по кадмию и никелю – 2-й класс (умеренно загрязненные), цинку и меди – 3-й класс (между умеренно и сильно загрязненными), хрому – 5-й класс (между сильно и экстремально загрязненными), что еще раз подтверждает значительную антропогенную нагрузку на р. Свислочь за счет поверхностного стока и нормативно очищенных сточных вод. Донные отложения р. Свислочи в районе г. п. Хмелевка (точка X-1), г. п. Дрозды (точка Д-3) и г. п. Свислочь (точка Св-8), а также в Осипович-

ском водохранилище, согласно классификации, относятся к незагрязненным (класс 0). От незагрязненных до умеренно загрязненных в зависимости от изучаемого металла классифицируются донные отложения реки в районе г. п. Подлесье (точка П-5).

Для оценки потенциального экологического риска для биоты (бентоса) от загрязненных донных отложений выполнено сравнение валовых концентраций тяжелых металлов с приведенными выше уровнями НВ, когда неблагоприятное воздействие проявляется редко, и НВВ, когда неблагоприятное воздействие проявляется часто (см. табл. 6).

Так, содержание тяжелых металлов в донных отложениях, превышающее уровень НВ

(но ниже НВ), зафиксировано только в точках Св-4 (для свинца, цинка, меди) и К-6 (для кадмия и меди). Содержание цинка и хрома в донных отложениях ниже МОСА (точка К-6) превысило уровень НВВ, при котором частота неблагоприятных воздействий на бентос составляет 36 и 49 % соответственно.

Валовое содержание тяжелых металлов в донных отложениях в остальных точках опробования было ниже уровня НВ.

Выводы. Сравнение стандартов уровней содержания тяжелых металлов для оценки опасности донных отложений для водных экосистем, принятых в различных странах мира, с белорусскими ОДК/ПДК для почв показало, что для таких металлов, как свинец, кадмий, медь и никель, они достаточно близки между собой. Следует отметить более строгие нормативы в Беларуси (почти в 2 раза) для цинка (55 мкг/г) по сравнению с другими странами (110–124 мкг/г) и противоположную ситуацию для хрома (100 мкг/г в Беларуси и 25–52,3 мкг/г в других странах).

Для оценки потенциального экологического риска для биоты от загрязненных донных отложений в ряде стран утверждены концентрации тяжелых металлов, которые соответствуют уровню НВ, когда неблагоприятное воздействие проявляется редко, и уровню НВВ, когда оно проявляется часто. Принятые в Канаде уровни НВ для таких металлов, как свинец, кадмий и медь, также, как и утвержденные Европейской комиссией, близки к белорусским ПДК/ОДК валового содержания тяжелых металлов в почве. Данный факт позволяет использовать канадские уровни НВ и НВВ для ориентировочной оценки экологического риска для биоты (бентоса) от загрязненных тяжелыми металлами донных отложений.

Сравнительный анализ рассмотренных показателей (выполненный на примере р. Свислочи) показал правомерность их использования и не выявил существенных различий в оценке загрязнения донных отложений. Так, если коэффициент загрязнения (концентрации) позволяет выявить тяжелые металлы, для которых наблюдается процесс накопления (загрязнения), то геоаккумуляционный индекс дает возможность выделить семь классов загрязнения для каждого микрозлемента, а коэффициент обогащения – антропогенную составляющую. Суммарный показатель загрязнения и индекс суммарного загрязнения могут использоваться для оценки загрязнения донных отложений в целом как вещества (источника загрязнения), а показатель санитарно-токсикологической опасности и стандарты уровней содержания (НВ и НВВ) – для оценки воздействия на биоту.

Значения коэффициента концентрации K_c более 1,5 получены для тяжелых металлов в трех точках опробования: ниже выпуска дождевого коллектора «Центр» (свинец, цинк, медь и хром), г. п. Подлесье (цинк и хром) и ниже выпуска МОСА (кадмий, цинк, медь, никель, кобальт и хром).

Согласно суммарному показателю загрязнения высокий уровень техногенного загрязнения донных отложений зафиксирован ниже МОСА, средний – ниже выпуска дождевого коллектора «Центр» и слабый – в районе г. п. Подлесье. Степень санитарно-токсикологической опасности соответствует допустимой.

Обобщив полученные результаты по расчетам коэффициента обогащения (K_o), можно отметить незначительную антропогенную нагрузку ($K_o < 1,5$) на всем протяжении р. Свислочи по марганцу. Значительную антропогенную нагрузку ($K_o > 1,5$) ниже по течению от г. п. Дрозды река испытывает по цинку, меди и хрому, а на наиболее урбанизированном ее участке (г. Минск) – еще и по свинцу, кадмию, кобальту и никелю. Максимальные значения K_o для свинца, цинка и меди (5,2, 17,1 и 15,8 соответственно) получены для донных отложений ниже выпуска дождевого коллектора «Центр». Указанные тяжелые металлы являются типичными загрязнителями поверхностного стока, поступающего с городской территории в целом и с транспортной зоны в частности.

Согласно значениям геоаккумуляционного индекса, классу загрязнения выше 2-го соответствуют донные отложения реки только на двух участках: ниже выпуска дождевого коллектора «Центр» по меди и цинку – 3-й класс (между умеренно и сильно загрязненными) и ниже выпуска МОСА по кадмию и никелю – 2-й класс (умеренно загрязненные), цинку и меди – 3-й класс (между умеренно и сильно загрязненными), хрому – 5-й класс (между сильно и экстремально загрязненными), что еще раз подтверждает значительную антропогенную нагрузку на р. Свислочь за счет поверхностного стока и нормативно очищенных сточных вод. Донные отложения реки Свислочи в районе г. п. Хмелевка, г. п. Дрозды и г. п. Свислочь, а также в Осиповичском водохранилище, согласно классификации, относятся к незагрязненным (класс 0). От незагрязненных до умеренно загрязненных в зависимости от изучаемого металла являются донные отложения реки в районе г. п. Подлесье.

В целом все рассчитанные показатели свидетельствуют о значительной антропогенной нагрузке на р. Свислочь за счет поверхностного стока и нормативно очищенных сточных вод.

Содержание тяжелых металлов в донных отложениях, превышающее уровень НВ (но ниже НВВ), зафиксировано только ниже выпусков коллектора «Центр» (для свинца, цинка, меди) и МОСА (для кадмия и меди). Содержание цинка и хрома в донных отложениях ниже МОСА превысило уровень НВВ, при котором частота неблагоприятных воздействий на бентос составляет 36 и 49 % соответственно. Валовое содержание тяжелых металлов в донных отложениях в остальных точках опробования было ниже уровня НВ.

Исследования выполнены в рамках международного белорусско-индийского проекта Х15ИНД-015 при финансовой поддержке ГКНТ и БРФИ.

Литература

1. Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1-2004 : Перечень ПДК и ОДК химических веществ в почве / Министерство здравоохранения Республики Беларусь. – Минск, 2005.
2. Кадацкий, В. Б. Формы микроэлементов в ландшафтах заповедных территорий Беларуси / В. Б. Кадацкий, Г. А. Шимко // Ландшафтное и геохимическое изучение заповедных территорий Беларуси. – Минск, 1992. – С. 88–106.
3. Натаров, В. М. Комплексный геохимический фоновый мониторинг в Березинском биосферном заповеднике / В. М. Натаров, О. В. Лукашев, В. В. Савченко. – Минск, 2013.
4. Овчарова, Е. П. Эколого-геохимическая оценка поверхностного стока с городской территории (на примере г. Минска) : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36 / Е. П. Овчарова. – Минск, 2006.
5. Оценка техногенного загрязнения донных отложений Осиповичского водохранилища металлами / О. В. Лукашев [и др.] // Природные ресурсы. – 2007. – № 3. – С. 74–77.
6. Савченко, В. В. Техногенный поток рассеяния р. Свислочь / В. В. Савченко // Докл. Акад. наук Беларуси. – 1992. – Т. 36, № 1. – С. 67–71.
7. Состояние природной среды Беларусь : экол. бюл. 2013 г. / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2014.
8. Янин, Е. П. Техногенные илы в реках Московской области (геохимические особенности и экологическая оценка) / Е. П. Янин. – М., 2004.
9. An assessment of trace element contamination in intertidal sediment cores of Sunderban mangrove wetland, India for evaluating sediment quality guidelines / M. Chatterjee [et al.] // Environ. Monit. Assess. DOI 10.1007/s10661-008-0232-7. – Springer, 2009. – P. 307–322.
10. Assessment of metal mobility in sludges and solid wastes / U. Forstner [et al.] // Metal Speciation in the Environment / J. A. C. Broeckaert, S. Gucer, F. Adam // Ecological Sciences. – Springer, 1990. – Vol. 23. – Series, G. – P. 1–41.
11. Burton, J. G. A. Sediment quality criteria in use around the world / J. G. A. Burton // Limnology. – 2002. – Vol. 3. – P. 65–75.
12. Canadian Council of Ministers of the Environment. 2001. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Summary tables. Updated // Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment. – Winnipeg, 2001.
13. Compilation of Emission Factors for Persistent Organic Pollutants: A Case Study of Emission Estimates in the Czech and Slovak Republics / I. Holoubek [et al.]. – Prague, 1993.
14. Distribution of dissolved trace metals in coastal regions of Indian Sundarban mangrove wetland: a multivariate approach [Electronic resource] / B. D. Bhattacharya [et al.] // Journal of Cleaner Production. – 2015. – Mode of access : <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.030>. – Date of access : 20.10.2016.
15. Martin, J. M. The significance of the river input of chemical elements to the ocean / J. M. Martin, M. Whitfield // Trace Elements in Seawater : Plenum / C. S. Wong, E. Boyle, K. W. Bruland, J. D. Burton, E. D. Goldberg (eds.). – New York, 1983. – P. 265–296.
16. Muller, G. Index of geoaccumulation in the sediments of the Rhine River / G. Muller // Geojournal. – 1969. – Vol. 2. – P. 108–118.
17. Pandey, Jitendra. Heavy metals in sediments of Ganga River: up- and downstream urban influences / Jitendra Pandey, Rachna Singh // Appl. Water Sci. DOI 10.1007/s13201-015-0334-7. – Springer, 2015. – P. 120–130.

¹Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

²Калькуттский университет, Калькутта, Индия

³Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларусь, Брест, Беларусь

⁴Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 14.11.2016 г.

**Е. П. Овчарова, В. С. Хомич, О. В. Кадацкая, Е. В. Санец,
С. К. Саркар, М. М. Дашкевич, И. Г. Тищиков**

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕКИ ТАЖЕЛЬМИ МЕТАЛЛАМИ (НА ПРИМЕРЕ Р. СВИСЛОЧИ)

В статье выполнено сравнение различных подходов к оценке уровня загрязнения донных отложений. На примере донных отложений р. Свислочи рассчитаны коэффициенты обогащения (концентрации), загрязнения, среднего накопления, а также индекс суммарного загрязнения и геоаккумуляционный индекс, дана их оценка. Приведены стандарты уровней содержания тяжелых металлов для оценки опасности донных отложений для водных экосистем, принятые в различных странах мира. Выполнено их сравнение с белорусскими ОДК/ПДК для почв.

Сравнение стандартов уровней содержания тяжелых металлов для оценки опасности донных отложений для водных экосистем, принятых в различных странах мира, с белорусскими ОДК/ПДК для почв показало, что для таких металлов, как свинец, кадмий, медь и никель, они достаточно близки между собой. Следует отметить более строгие нормативы в Беларуси (почти

в 2 раза) для цинка (55 мкг/г) по сравнению с другими странами ($110\text{--}124 \text{ мкг/г}$) и противоположную ситуацию для хрома (100 мкг/г в Беларуси и $25,0\text{--}52,3 \text{ мкг/г}$ в других странах).

Сравнительный анализ рассмотренных показателей (выполненный на примере р. Свислочи) показал правомерность их использования и не выявил существенных различий в оценке загрязнения донных отложений. Так, если коэффициент загрязнения (концентрации) позволяет выявить тяжелые металлы, для которых наблюдается процесс накопления (загрязнения), то геоаккумуляционный индекс дает возможность выделить семь классов загрязнения для каждого микроэлемента, а коэффициент обогащения – антропогенную составляющую. Суммарный показатель загрязнения и индекс суммарного загрязнения могут использоваться для оценки загрязнения донных отложений в целом как вещества (источника загрязнения), а показатель санитарно-токсикологической опасности и стандарты уровней содержания (начала воздействия и наиболее вероятного воздействия) – для оценки воздействия на биоту.

В целом все рассчитанные показатели свидетельствуют о значительной антропогенной нагрузке на р. Свислочь за счет поверхностного стока и нормативно очищенных сточных вод.

Содержание тяжелых металлов в донных отложениях, превышающее уровень начала воздействия (но ниже наиболее вероятного воздействия), зафиксировано только ниже выпусков коллектора «Центр» (для свинца, цинка и меди) и МОСА (для кадмия и меди). Содержание цинка и хрома в донных отложениях ниже МОСА превысило уровень наиболее вероятного воздействия, при котором частота неблагоприятных воздействий на бентос составляет 36 и 49 % соответственно. Валовое содержание тяжелых металлов в донных отложениях в остальных точках опробования было ниже уровня начала воздействия.

Исследования выполнены в рамках международного белорусско-индийского проекта Х15ИНД-015 при финансовой поддержке ГКНТ и БРФФИ.

**A. P. Aucharova, V. S. Khomich, O. V. Kadatskaya, E. V. Sanets,
S. K. Sarkar, I. G. Tischikov, M. M. Dashkevich**

METHODICAL APPROACHES TO THE ASSESSMENT OF HEAVY METALS POLLUTION OF THE RIVER BOTTOM SEDIMENTS (ON EXAMPLE OF THE SVISLOCH RIVER)

The comparison of various approaches to estimate the level of river bottom sediment pollution is done in the article. The coefficients of enrichment (concentration), pollution, secondary accumulation are calculated on the example of Svisloch river sediments, as well as the index of total pollution and geo accumulation index, and their estimation are given. The standards of contain level of heavy metals for river bottom sediments for water system accepted in various countries all round the world are given. Their comparison with Belarusian JDC / MPC for soils was carried out.

The comparison of standards of levels of heavy metals for the estimation of danger of bottom sediments for aquatic ecosystems, adopted in various countries, with the Belarusian JDC / MPC for soil showed that metals such as lead, cadmium, copper and nickel, they are quite close to each other. It should be mentioned the more stringent standards in Belarus (almost in 2 times) for zinc (55 mcg/g) in comparison with other countries ($110\text{--}124 \text{ mcg/g}$) and the opposite situation for chromium (100 mcg/g in Belarus $25\text{--}52,3 \text{ mcg/g}$ in other countries).

Comparative analysis of the considered indicators (executed on the example of the river. of Svisloch) showed the legitimacy of their use, and did not reveal any significant differences in the assessment of bottom sediments contamination. Thus, if the contamination rate (concentration) allows to reveal heavy metals, for which there is a process of accumulation (of pollution), the geo accumulation index provides an opportunity to highlight the seven classes of pollution for each microelement, and the enrichment factor – highlight the anthropogenic contribution. Total index of contamination and the index of total pollution can be used to assess bottom sediment contamination in general as a material (source of contamination), and the rate of sanitary and toxicological danger and content standards levels (beginning of the impact and the most likely effects) – to assess the impact on biota.

In general, all calculated indicators show a significant anthropogenic burden on river Svisloch by surface runoff and standard cleared sewage.

The content of heavy metals in sediments, exceeding the level of the beginning of the impact (but lower than the most likely impact) recorded just below the issues of "Center" collector (for lead, zinc and copper) and MOS (for cadmium and copper). The content of zinc and chromium in bottom sediments below the MOS exceeded the level of the most likely impact, in which the frequency of adverse effects on the benthos is 36 and 49 %, respectively. The total content of heavy metals in bottom sediments in the other sampling points was below the level of the beginning of the exposure.

Researches were carried out in the framework of the international project of the Belarusian-Indian H15IND-015, with the financial support of the SCST and BRFFR.

УДК 556.56.3/4;556.11(282.243.7)

Н. Н. Осадчая, Д. А. Клебанов, В. И. Осадчий, Ю. Б. Набиванец

ИОННЫЙ СТОК РЕКИ ДУНАЙ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЕЕ НИЖНЕГО УЧАСТКА ПО ОБЩЕЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДЫ

Выполнен анализ колебания водного стока, а также проанализированы закономерности изменения минерализации воды на украинском участке нижнего Дуная (створ г. Рени). Проведен расчет поступления растворенных солей с водосборной площади р. Дунай в Черное море в период с 1990 по 2012 г. и показана связь между водным и ионным стоком. Предложен метод и выполнена оценка состояния воды нижнего участка Дуная по общей минерализации воды в современный период.

Река Дунай – вторая по величине и самая интернациональная река Европы, бассейн которой расположен на территории 19 стран. На территории Украины находится небольшая часть водосборной площади Дуная, составляющая 4,5 % [2, 11]. В то же время именно в пределах Украины расположен так называемый нулевой километр, служащий началом отсчета протяженности реки. На самом деле это понятие достаточно условно, поскольку Дунай впадает в море через систему многочисленных рукавов, образуя огромную дельту, вершина которой удалена от устья на 79,6 км. В связи с активными седиментационными процессами морской край дельты постоянно мигрирует [7, 16]. Природный комплекс дельты р. Дунай разделен между двумя странами: большая часть (83 %) находится на территории Румынии, а меньшая, составляющая 17 %, – в Украине.

Нижний Дунай на территории Украины имеет протяженность 170 км и кроме дельты включает расположенный выше придельтовый участок.

Необходимость проведения гидрохимических исследований нижнего Дуная обусловлена его высокой значимостью для экономики Украины. Интенсивное использование водных ресурсов реки отражается на ее экологическом состоянии, а также оказывает существенное влияние на шельфовую зону Северо-Западной части Черного моря. Водный сток Дуная является наиболее важной составляющей водного баланса Черного моря и обеспечивает 60 % притока пресной воды. Влияние пресного стока р. Дунай распространяется на расстояние 10 км от устья и достигает изогалины 17 % [6].

В Украине первые экспедиционные исследования нижнего Дуная были проведены в 1948–1950 и 1958–1959 гг. [2, 3, 8]. В 1960 г. для обеспечения постоянного государственного мониторинга гидрологического и гидрохимического режимов реки была организована и действует до настоящего времени Дунайская гидрометеорологическая обсерватория (ДГМО), расположенная в

г. Измаил. В начале 1990-х годов Украиной были проведены две Международные экспедиции, исследовавшие участок от устья р. Дунай до г. Вена [12, 13]. После распада СССР детальные исследования нижнего Дуная выполнялись для обоснования восстановления глубоководного судового канала Дунай–Черное море [5, 6].

Основная часть водного стока р. Дунай формируется за счет притоков верхнего и особенно среднего течения реки, имеющих различные источники питания [2, 9]. Трансформация стока этих притоков в основном русле реки приводит к высокой природной зарегулированности нижнего Дуная, выражющейся в малой амплитуде колебаний уровней воды [7, 11]. Так, за весь период наблюдений (1921–2014 гг.) расходы воды у вершины дельты изменялись в пределах от 3910 м³/с (1921 г.) до 9950 м³/с (1941 г.), что привело к малой сезонной изменчивости стока, четвертая часть которого формируется в зимний период, 30 % – весной, 25 % – летом и 20 % – осенью. Самый высокий уровень воды, как правило, наблюдается в апреле–июне, но осенние дожди часто вызывают осенний максимум [7, 8].

Химический состав вод р. Дунай тесно связан как с природными особенностями бассейна, так и с экономическим развитием стран, расположенных в пределах ее водосбора.

Учитывая важную роль р. Дунай в различных отраслях экономики придунацких стран, а также с целью сохранения ее экосистемы и устойчивого использования водных ресурсов, в 1994 г. была подписана Конвенция по защите р. Дунай [22]. Исполнительным органом конвенции является Международная комиссия по защите бассейна р. Дунай (далее Комиссия), которая учредила трансграничную сеть мониторинга и создала общую базу данных. Раз в 6 лет она инициирует экспедиционное обследование р. Дунай на всем ее протяжении. Под руководством Комиссии общими усилиями представителей дунайских стран разработаны первый (с периодом действия 2009–2014 гг.) и второй (2015–2021 гг.) [27] Планы управления бассейном реки Дунай. Указанные Планы утверждают интеграци-

онные принципы управления речным бассейном и обосновывают комплекс мероприятий по минимизации антропогенного давления на речную экосистему [9].

В ходе всестороннего анализа при подготовке Планов управления бассейна р. Дунай, были выявлены следующие экологические проблемы общебассейнового масштаба: загрязнение органическими и опасными веществами, биогенными элементами, а также гидроморфологические изменения [9, 17]. Для достижения хорошего экологического состояния вод р. Дунай решение этих первоочередных задач будет осуществляться совместными усилиями всех странами бассейна.

Несмотря на то что содержание растворенных солей в настоящее время не оказывает существенного влияния на водную экосистему р. Дунай, минерализация воды является определяющим фактором адаптации гидробионтов к условиям среды, что обусловило ее включение в состав основных физико-химических показателей, используемых для оценки экологического статуса гидроэкосистемы. В связи с этим встали вопросы исследования выноса растворенных солей в современный период, а также проведения оценки состояния воды низовьев р. Дунай по указанному показателю.

Цели работы – провести анализ изменений концентраций главных ионов и минерализации воды р. Дунай, рассчитать ежегодное поступление растворенных солей с речным стоком Дуная в Черное море, а также оценить состояние украинского участка реки по минерализации воды.

Материалы и методы исследования.

Работа выполнена на украинском участке нижнего Дуная, где фактически завершается трансформация стока всех вышерасположенных притоков и формируется вынос химических элементов в Черное море. В качестве расчетного вы-

бран створ, находящийся на удалении 168 км от устья и 2 км выше г. Рени (рис. 1). Выбор указанного створа обусловлен его расположением на беспристаночном участке ниже влияния р. Прут и выше вершины дельты.

Исходными материалами для выполненной работы послужили данные сети государственной системы гидрометеорологических наблюдений.

Данные о ежедневных уровнях и расходах воды охватывают период 1921–2012 гг. Наблюдения за химическим составом воды менее продолжительны. Систематические исследования на посту начаты в конце 1960-х годов. В течение 1968–1976 гг. отбор проб на химический анализ проводили трижды в год, а, начиная с 1977 г., частота отбора возросла до ежемесячной и остается такой до настоящего времени. Данные, относящиеся к более раннему периоду (1948–1950 гг., 1958 и 1959 г.), позаимствованы из монографий [2, 3]. Также привлечены материалы, полученные при проведении международных экспедиций в 1989 и 1990 г. [12, 13].

Химический анализ выполнен аккредитованной лабораторией ДГМО, согласно стандартным методам, принятым в гидрометеорологических исследованиях [20].

Результаты и их обсуждение. Периодизация рядов наблюдений. Концентрации и вынос химических веществ тесно связаны с параметрами водного стока [26, 28]. Для определения влияния этого важного фактора все ряды данных были классифицированы на основании кривой обеспеченности стока [29]. Указанная кривая для исследуемого гидрологического поста г. Рени была получена для периода 1921–2012 гг. (рис. 2). Симметричность полученной кривой ($Cs = 0$) свидетельствует о достаточно продолжительном ряде наблюдений.



Рис. 1. Расположение стационарного поста наблюдений Дунайской ГМО у г. Рени

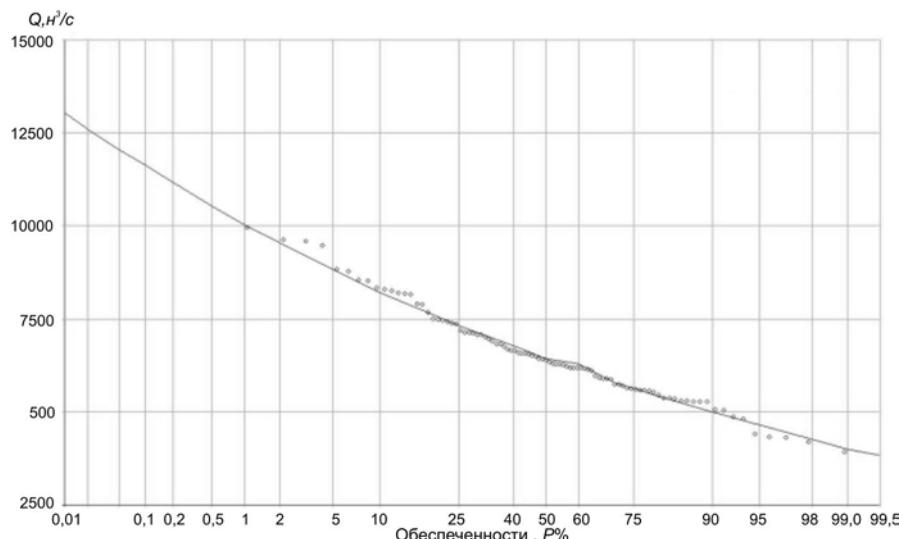


Рис. 2. Эмпирическая кривая обеспеченности стока нижнего участка р. Дунай (г. Рени)

Согласно величине обеспеченности стока, были выделены (табл. 1) следующие интервалы условий водности: очень многоводные ($< 10\%$), многоводные (10–40), средние по водности – (40–60), маловодные (60–90), очень маловодные ($> 90\%$).

Следует подчеркнуть, что социально-экономическое развитие стран, расположенных в пределах бассейна р. Дунай, с общим населением более 80,5 млн чел. тесно связано со всесторонним использованием водных ресурсов реки. Питьевое водоснабжение, забор воды для бытовых нужд, промышленности и орошения, гидроэнергетика, сброс сточных вод и использование Дуная в других целях приводят к значительному антропогенному давлению на реку [18, 28].

Принимая во внимание вышесказанное, имеющиеся ряды данных были разделены на три отдельных периода на основании критерия темпа экономического развития ведущих европейских стран. Первый период (T1) длился от начала исследований на нижнем Дунае до наступления в

1973 г. энергетического кризиса, сопровождавшегося спадом темпов экономического развития ведущих европейских стран. Интенсивный рост экономики, наблюдавшийся в последующие годы, в 1990 г. сменился ее спадом. В это время произошел распад СССР, что привело к реформированию экономики стран Восточной Европы, снижению темпов развития западноевропейских стран. Эти обстоятельства стали основанием для выделения второго периода (T2) – 1974–1990 гг. Все последующие годы отнесены к третьему периоду (T3), который дополнительно разделен на фазы: 1 – 1991–1999 гг. – до принятия первого Плана управления бассейном р. Дунай; 2 – 2000 г.– настоящее время – для характеристики эффективности мер, выполненных в ходе реализации первого Плана [27].

Полученные таким образом три выборки были подвергнуты статистическому анализу на принадлежность к единой генеральной совокупности с помощью критерия χ^2 (хи-квадрат) (табл. 2) [1]. Нулевая гипотеза H_0 оценивали на уровнях значимости $p = 0,05$ и $p = 0,01$.

Таблица 1. Интервалы водности нижнего Дуная, гидропост г. Рени

Интервал водности	Обеспеченность водного стока, P	Расход $Q, \text{м}^3/\text{с}$
Очень многоводный	$< 10\%$	$Q > 8210$
Многоводный	10–40%	$8210 < Q > 6777$
Средний по водности	40–60%	$6777 < Q > 6300$
Маловодный	60–90%,	$6300 < Q > 4990$
Очень маловодный	$> 90\%$	$Q < 4990$

Таблица 2. Результаты χ^2 -теста, примененного для полученных выборок по водному стоку и минерализации воды

Полученная выборка	$\chi^2_{0,05}$	$\chi^2_{0,01}$	χ^2
Водный сток	3,94	2,558	18,26
Минерализация воды	3,94	2,558	82,29

На основании полученных результатов нулевая гипотеза H_0 о принадлежности трех сформированных выборок к единой генеральной совокупности была отвергнута [10]. Каждый из временных периодов представлял собой самостоятельную выборку.

Для каждого временного периода и интервала водности были рассчитаны средние величины минерализации воды.

Расчет ионного стока. Годовой ионный сток был рассчитан на основании сформированных рядов данных о ежедневных расходах и минерализации воды:

$$R_i = QC \cdot 8,64 \cdot 10^{-6},$$

где R_i – суточный ионный сток, тыс. т/день; Q – среднесуточный расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$; C – ежедневные величины минерализации, определенные путем применения аппроксимирующей функции, $\text{мг}/\text{дм}^3$, $8,64 \cdot 10^{-6}$ – коэффициент, введенный для перевода результатов в тыс. т/день.

Ионный сток за год рассчитывали путем суммирования соответствующих суточных показателей.

Цикличность колебаний. Для оценки цикличности колебаний исследованных компонентов были применены разностные интегральные кривые, построенные путем суммирования отклонений модульных коэффициентов от среднего, приведенных к коэффициенту вариации [4].

Водный сток. Химический состав водных объектов является комплексной характеристикой, находящейся под влиянием природных и антропогенных факторов. Известно, что наиболее значимое влияние на миграционные потоки компонентов химического состава воды между терригенными и водными экосистемами оказывает смыв с поверхности водосбора [26, 28].

За период многолетних гидрологических наблюдений абсолютные значения водного стока Дуная в низовьях варьировали в пределах 123,3–313,8 $\text{км}^3/\text{год}$. Изменения водного стока не имели однонаправленного характера, а характеризовались четко выраженной цикличностью. Согласно разностной интегральной кривой (рис. 3), изменения водного стока в створе г. Рени описываются тремя полными циклами водности. Первый из них длился с 1926 по 1942 г., второй был самым продолжительным и наблюдался на протяжении 1943–1982 гг., третий начался в 1983 г. и происходит до настоящего времени. Последний цикл начался с нисходящей фазы (1983–1993 гг.), которая в 1994 г. сменилась на восходящую.

Характерно, что средний объем водного стока за каждый из вышеуказанных циклов уменьшался в направлении от первого до последнего и составил в среднем 213,8, 207,6 и 202,9 $\text{км}^3/\text{год}$ соответственно. Среднее значение водного стока последнего цикла практически

соответствовало многолетней норме стока р. Дунай в створе г. Рени, установленной вероятностно-статистическим методом (203,0 $\text{км}^3/\text{год}$). Аналогичная закономерность была выявлена также для минимальных и максимальных показателей стока.

Вследствие проявления многолетней цикличности стока, выделенные нами временные отрезки (T1–T3) насчитывали разное количество лет многоводной и маловодной фаз водности, что отразилось в существенных отличиях средних показателей водного стока за каждый выделенный временной период (рис. 3). В первую fazu T1 средний объем водного стока составлял 209 $\text{км}^3/\text{год}$, во вторую T2 – 218 и в третью T3 – 206 $\text{км}^3/\text{год}$. Очевидно, что подобные колебания водного стока накладывают существенный отпечаток на содержание растворенных веществ и их последующий вынос в море.

Колебания водного стока в современный период (T3) были дополнительно проверены на наличие тренда, значимость которого оценивали при помощи непараметрического теста Манна–Кендалла. Полученные результаты показали, что, несмотря на преобладание в исследуемом отрезке времени количества лет многоводного цикла, в низовьях р. Дунай в современный период отмечается наличие статистически значимого нисходящего линейного тренда. Коэффициент указанного тренда составил $Z = -2,67$, значимость которого была установлена на уровне $\alpha = 0,01$.

Минерализация воды. Содержание растворенных ионов в воде р. Дунай отличается значительной изменчивостью. Для Ca^{2+} , HCO_3^- и SO_4^{2-} соотношение максимальных и минимальных величин составляет примерно 1,5 раза. Концентрации хлоридных ионов и магния в течение года меняются вдвое, а $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ – в 2,3 раза. Прослеживается взаимозависимость концентраций растворенных веществ и расхода воды р. Дунай. Как это характерно для рек гумидной зоны, имеющей хорошо промытые почвы, увеличение расходов воды приводит к уменьшению концентраций химических компонентов (рис. 4).

Рассчитанные нами средние значения общей минерализации воды за выделенные временные периоды составили, $\text{мг}/\text{дм}^3$: T1 – 360, T2 – 407, T3 – 385. Как видно, закономерность изменения минерализации воды и водности, обусловленная действием природных процессов, не соблюдается. Если рассматривать изменение минерализации в различные интервалы водности, то в каждом из исследуемых периодов преимущественно отмечается возрастание средних значений минерализации воды при переходе от средней водности к маловодным условиям (табл. 3).

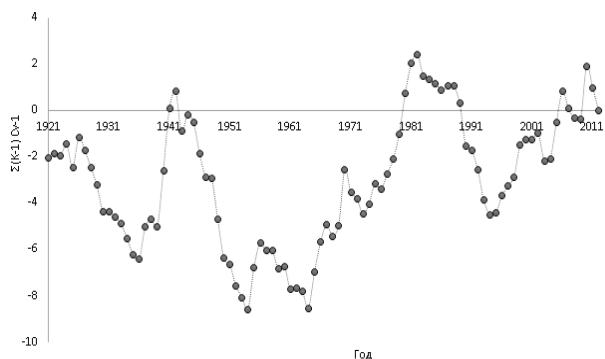


Рис. 3. Разностная интегральная кривая водного стока р. Дунай, гидропост г. Рени, 1921–2012 гг.

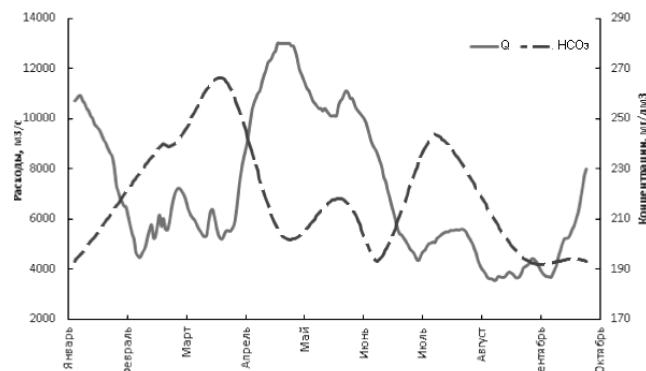


Рис. 4. Внутригодовая динамика концентраций гидрокарбонатных ионов и расходов воды р. Дунай, 1996 г.

Таблица 3. Среднее значение минерализации воды на нижнем участке р. Дунай (г. Рени) в выделенные временные периоды, мг/дм³

Интервал водности	Обеспеченность, P	T1 (1968–1973)	T2 (1974–1989)	T3 (1990–2012)
Очень многоводный	< 10%	330,3	396,1	376,1
Многоводный	10–40%	370,0	406,0	377,0
Средний по водности	40–60%	332,0	427,0	371,0
Маловодный	60–90%,	361,0	409,0	395,0
Очень маловодный	> 90%	416,0	427,0	390,0

Следует отметить, что при однородных гидрологических условиях средние значения минерализации воды в периоды T1–T3 значительно отличаются (см. табл. 3). Так, средние значения минерализации воды в период T1 (1968–1973 гг.) при различных условиях водности были наименьшими и варьировались от 330,3 до 416,0 мг/дм³. Это дало нам основания принять условия этого периода за базовые, когда проявления антропогенного воздействия были минимальными. Наибольшие концентрации растворенных солей наблюдались в период интенсивного роста экономики до начала 1990-х годов (период T2). В современный период T3 средние концентрации, содержащихся в воде ионов, снизились по сравнению с предыдущим времененным отрезком, но при этом не достигли уровня базового периода (T1). Исключение составляют очень маловодные условия, когда среднее значение минерализации в период T3 было ниже по сравнению с T1. На наш взгляд, это обстоятельство может объясняться следующим. В течение 1990–2004 гг. в Украине зафиксировано сокращение выбросов в атмосферу диоксида серы SO_2 в 3,8 раза [15], результатом чего стало уменьшение в атмосферных осадках концентрации сульфатных ионов (в 2,2 раза) и общих значений минерализации (в 1,7 раза) [28]. Естественно, что это привело к значительному уменьшению поступления растворенных солей на водосборную площадь рек. Исходя из вышесказанного, в качестве базовых величин при очень маловодных условиях

были использованы значения минерализации, установленные для периода T3.

На основе полученных значений величины минерализации базового периода и расходов различной обеспеченности для исследуемого створа была получена целевая кривая ежедневного стока главных ионов, которая фактически отражает условия с минимальным антропогенным воздействием, что позволило принять ее как отправную точку для оценки состояния воды нижнего Дуная (рис. 5).

В Украине в настоящее время внедряется практика оценки качества водных ресурсов с экологических позиций, базирующаяся на методологии Водной рамочной директивы ЕС [23].

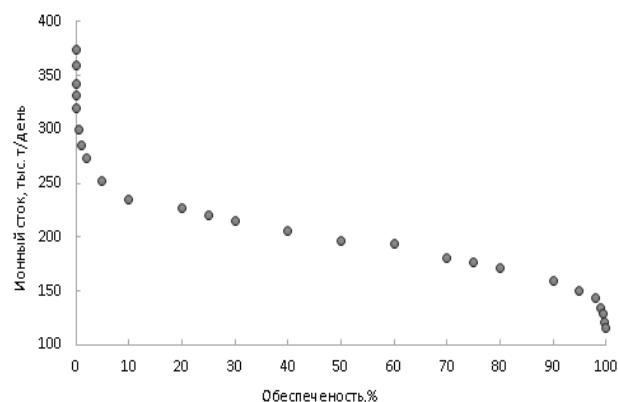


Рис. 5. Целевая кривая ежедневного стока главных ионов для р. Дунай (г. Рени)

Экологическое состояние водного объекта оценивается по комплексу параметров. Такая оценка осуществляется по пяти классам в зависимости от степени отклонения от фоновых значений.

Физико-химические параметры используются в первых трех классах, соответствующих «отличному», «хорошему» и «удовлетворительному» состоянию. «Плохое» и «очень плохое» состояние идентифицируются на основании исключительно биологических показателей, а «отличное» состояние отражает природные условия существования экосистемы.

Основанием для определения границ перехода классов по показателю минерализации воды в нижнем Дунае стала полученная нами целевая кривая (см. рис. 5). Средневзвешенное по водному стоку значение минерализации воды, полученное из вышеупомянутой целевой кривой,

составило 345 мг/дм^3 . Это значение было принято в качестве границы «отличного» состояния. Следуя общим принципам построения классификации для оценки состояния водной экосистемы [23], граничными значениями «хорошего» и «удовлетворительного» состояния стали концентрации 414 и 483 мг/дм^3 соответственно.

Годовой сток ионов. На основании эмпирических данных о расходах воды и величине ее минерализации был выполнен расчет ежегодного выноса главных ионов в современный период Т3. Полученные результаты представлены на рис. 6, из которого видно, что вынос минеральных солей с водами р. Дунай в современный период существенно изменился – от 53,4 млн т/год в 2003 г. до 110,8 млн т/год в 2010 г. и был тесно связан с объемом водного стока.

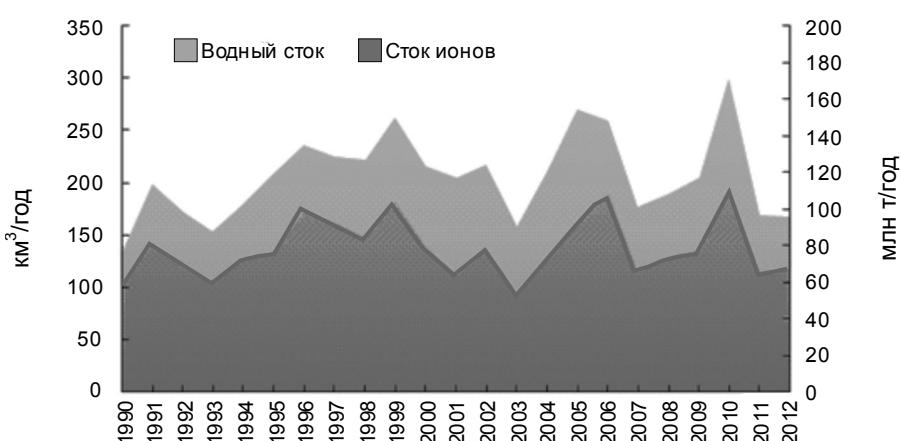


Рис. 6. Хронологический график водного и ионного стока р. Дунай (г. Рени), 1990–2012 гг.

Количественные показатели ионного стока р. Дунай в створе г. Рени сравнивали с аналогичными результатами, полученными [2, 3] для конца 1950-х – начала 1960-х годов. В 1948 г. величина водного стока в створе г. Рени была равна средней многолетней величине и составила 203 км^3 . В этот год с водами р. Дунай в Черное море поступило 59,4 млн т растворенных солей. В современный период близкими к нему по водности были 2001 и 2009 г., когда объем водного стока составлял 205 и 204 km^3 соответственно. Значения стока растворенных солей за указанные годы были равны 62,9 млн т/год в 2001 г. и 77 млн т/год – в 2009 г. Внеся поправку на разницу водности, получили, что при многолетней норме стока в 1948 г. с водами р. Дунай поступало 59,4 млн т/год растворенных солей, а в 2001 и 2009 г. – 62,3 и 76,6 млн. т/год растворенных солей соответственно. Таким образом, в современный период ионный сток превысил аналогичный показатель конца 1950-х годов почти на 29 %.

Для проверки равномерности формирования водного и ионного стока воды в бассейне р. Дунай также был применен графический метод с использованием двойной суммарной кривой, отражающей зависимость между двумя последовательно суммированными значениями стока воды и выноса главных ионов. Основываясь на отсутствии перегибов на вышеуказанной кривой, мы пришли к выводу о доминирующем влиянии стока воды на формирование стока главных ионов.

Тесноту связи между водным и ионным стоком оценивали при помощи коэффициента корреляции, величина которого составила 0,92, $r_s = 0,066$, $r/b_s = 13,9$. Как указано в работе [10], при $r/b_s > 3$ значение коэффициента корреляции считается надежным.

Анализ поступления отдельных ионов в периоды Т1 и Т3 свидетельствует о существенных отличиях. В табл. 4 показан вклад различных ионов в ионный сток в годы с близкими значениями водности.

Таблица 4. Роль отдельных ионов в формировании химического стока р. Дунай

Год	$W, \text{ км}^3$	Катионы, % от стока ионов			Анионы, % от стока ионов		
		Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-
1948 [Алмазов]	203	17,2	3,6	4,3	59,9	9,4	5,5
2001	205	13,4	4,2	8,9	51,8	14,3	8,9

Согласно полученным результатам в современный период в составе химического стока р. Дунай существенно уменьшилась доля HCO_3^- , что было компенсировано возрастанием части SO_4^{2-} и в меньшей мере Cl^- . Среди катионов отличительной чертой было уменьшение доли кальция.

Очевидно, что в нижней части р. Дунай наблюдается трансформация химического состава воды за счет неконсервативного поведения кальция, относящегося к наименее растворимым соединениям поверхностных вод.

Это явление было нами связано в первую очередь с зарегулированностью р. Дунай, в бассейне которой в настоящее время насчитывается 16 гидроузоружий. Снижение скорости движения воды приводит к оседанию взвешенных частиц и снижению ее мутности. Следствием этого процесса является интенсификация развития фитопланктона, который в процессе жизнедеятельности смешает pH воды в щелочную область. В таких условиях растворимость CaCO_3 уменьшается и он оседает в виде твердых частиц [28]. Малая миграционная способность кальция в воде р. Дунай также поддерживается низким содержанием фульвокислот. Последние за счет образования фульватных комплексов кальция могут увеличить растворимость CaCO_3 в щелочной среде. Это явление связано с возрастанием константы устойчивости фульватно-кальциевых комплексов от $\lg\beta(\text{pH}_6) = 4,3$ до $\lg\beta(\text{pH}_8) = 6,1$.

Подтверждением высказанного предположения могут служить результаты расчета степени насыщенности воды нижней части р. Дунай соединениями карбоната кальция. В качестве характеристики был использован индекс насыщения (Saturation Index SI) [25]. Согласно полученным данным степень насыщения воды нижнего Дуная CaCO_3 превышала аналогичный показатель на вышерасположенных участках р. Дунай в 1,1–3,2 раза в зависимости от условий водности.

В работах [19, 21, 24] также отмечается возрастание соотношения $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} / \text{HCO}_3^-$ в низовьях р. Дунай по сравнению с его средней и верхней частями.

Оценка состояния воды нижнего Дуная по показателю минерализация воды. Для выполнения оценок используются различные подходы. В Украине широкое распространение

получил метод оценки экологического состояния по соответствующим категориям [14]. В течение 1990–2012 гг. блоковый индекс солевого состава (I_1) нижнего Дуная изменялся в пределах 1,3–2,0. По общему солесодержанию вода исследуемого объекта в современный период относилась к 1-й категории I класса, что соответствует «отличному» качеству вод.

В практике управления водными ресурсами ЕС, которая в настоящее время имплементируется в Украине, для характеристики экологического состояния вод используется комплекс биологических, гидроморфологических и физико-химических параметров [23]. В перечень последних входит показатель минерализации воды. Выше нами для р. Дунай в створе г. Рени были определены границы первого, второго и третьего классов, соответствующие «отличному», «хорошему» и «удовлетворительному» состоянию воды. На основании рассчитанных средневзвешенных значений минерализации было охарактеризовано состояние воды по этому показателю в период ТЗ. Результаты, приведенные в табл. 5, показывают, что в современный период состояние воды по показателю минерализации изменилось в пределах от «отличного» до «хорошего», что свидетельствует о преобладании природных процессов формирования ее общего солевого состава. Нами было установлено, что, начиная с 2000 г., минерализация воды изменилась антибатно по отношению к водному стоку. Очевидно, это стало отражением мер, предпринятых странами дунайского региона в ходе реализации первого Плана управления бассейном р. Дунай [27].

Для анализа состояния воды нижнего Дуная в современный период также был использован метод кривой ежедневного стока, разработанный Агентством по защите окружающей среды США [29]. В качестве примера приведены годы с различной водностью, из которых 1992 г. был маловодным, а 2010 г. – многоводным. Сопоставление эмпирических кривых ежедневного ионного стока, полученных для маловодного и многоводного годов, с вышеприведенной целевой кривой (см. рис. 5) позволило установить существование в современный период незначительного превышения ежедневного ионного стока относительно фоновых условий во всем диапазоне колебания водности (рис. 7).

В многоводный год (рис. 7, б) наблюдающиеся отклонения были несущественными и со-

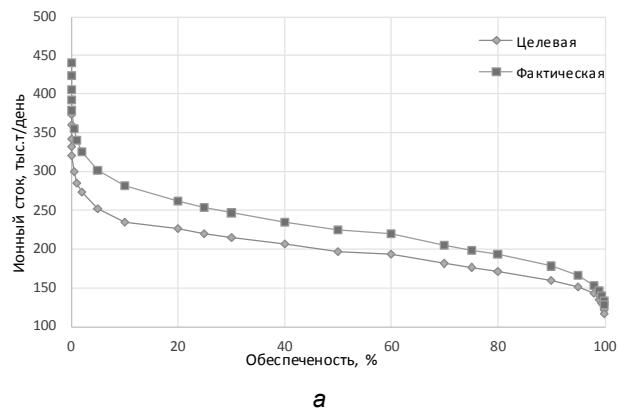
стояние воды соответствовало «отличному». Очевидно, это связано с эффектом разбавления. В маловодный год (рис. 7, а) наблюдалось более значительное отклонение от фоновых условий, в результате чего состояние воды сместились в сторону класса «хорошее». Полученные результаты позволяют предположить, что такое смещение не связано с поверхностным смытом, а, скорее всего, обусловлено влиянием подземной составляющей питания реки.

Таблица 5. Средневзвешенное за год значение минерализации воды нижнего Дуная (г. Рени) за период 1990–2012 гг., а также оценка состояния воды по минерализации

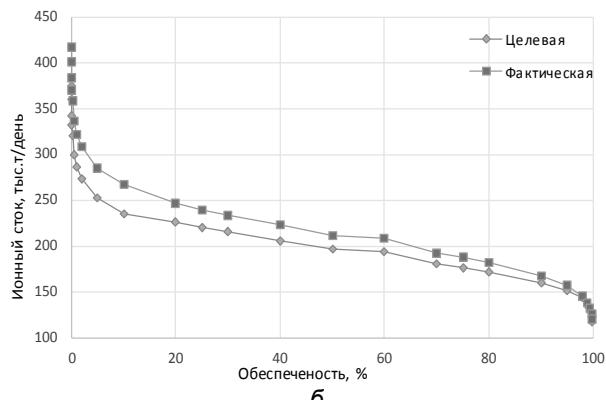
Год	Минерализация, мг/дм ³	Состояние воды
1990	222	Отличное
1991	333	Отличное
1992	404	Хорошее
1993	305	Отличное

Окончание табл. 5

Год	Минерализация, воды, мг/дм ³	Состояние воды
1995	286	Отличное
1996	344	Отличное
1997	335	Отличное
1998	384	Хорошее
1999	351	Хорошее
2000	269	Отличное
2001	334	Отличное
2002	289	Отличное
2003	291	Отличное
2004	349	Хорошее
2005	280	Отличное
2006	255	Отличное
2007	290	Отличное
2008	391	Хорошее
2009	377	Хорошее
2010	317	Отличное
2011	382	Хорошее
2012	303	Отличное



а



б

Рис. 7. Целевая кривая ежедневного ионного стока р. Дунай (г. Рени) и эмпирическая кривая ежедневного ионного стока: а – маловодного года, 1992 г.; б – многоводного года, 2010 г.

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что колебания водного стока на участке нижнего Дуная имеют фазово-циклический характер. За время гидрологических наблюдений (1921–2012 гг.) насчитывается три полных цикла водности. Средняя норма стока, а также его минимальные и максимальные показатели уменьшаются в направлении от первого до последнего цикла.

На протяжении последнего цикла водности, начавшегося в 1983 г. и длящегося до настоящего времени, наблюдается статистически значимый нисходящий линейный тренд, подтвержденный критерием Манна–Кенделя.

Показатели химического состава воды находятся в тесной связи с объемом водного стока и антропогенной деятельностью. Влияние антропогенного фактора рассматривалось за от-

дельные периоды, отражающие темпы развития основных европейских стран.

Минерализация воды нижнего Дуная в пределах всего диапазона колебания водности имела наименьшие показатели в период от начала наблюдений до 1973 г. Этот период соответствовал наименьшему антропогенному воздействию и был принят как фоновый.

В современных условиях (1990–2012 гг.) средние значения минерализации воды при однородных гидрологических условиях (категории по обеспеченности стока) уменьшились по сравнению с предыдущим периодом, охватывающим 1974–1990 гг., но не достигли фоновых показателей.

Ионный сток в современный период превысил аналогичный показатель фонового периода почти на 29 %. В составе химического стока р.

Дунай существенно уменьшилась доля HCO_3^- , что было компенсировано возрастанием части SO_4^{2-} и в меньшей мере Cl^- . Среди катионов отличительной чертой является уменьшение доли кальция.

Предложен метод оценки состояния воды по показателю минерализация воды с использованием целевой кривой.

В настоящее время наблюдается незначительное отклонение кривой ежедневного ионного

стока от целевой кривой фонового периода. В маловодный год такое отклонение больше по сравнению с годом высокой водности.

Полученные результаты показали, что в современный период состояние воды нижнего Дуная по показателю ее минерализации изменялось в пределах от «отличного» до «хорошего». Это свидетельствует о преобладании природных процессов формирования общего солевого состава воды реки. Отмечается незначительное влияние антропогенных факторов.

Литература

1. Айвазян, С. А. Прикладная статистика. Исследование зависимостей / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. – М., 1985.
2. Алмазов, А. М. Гидрологическая и гидрохимическая характеристика советского участка Дуная / А. М. Алмазов, Ю. Г. Майстренко // Дунай и Придунайские водоемы в пределах СССР. – К., 1961. – С.13–36.
3. Алмазов, А. М. Гидрохимия устьевых областей рек (Северное Причерноморье) / А. М. Алмазов. – К., 1962. – Ч. 1, гл. 1. – С. 10–280.
4. Андреянов В.Г. Циклические колебания годового стока и их учет при гидрологических расчетах / В. Г. Андреянов // Труды ГГИ. – 1959. – Вып. 68 – С. 3–49.
5. Влияние Дуная на экологические условия северо-западной части Черного моря / Н. А. Берлинский [и др.] // Вестник МГУ. – 2004. – № 5. – С. 17–21.
6. Гаркавая, Г. П. Формирование гидрохимических условий на устьевом взморье Дуная / Г. П. Гаркавая, Ю. И. Богатова, Н. А. Берлинский // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2000. – С. 133–141.
7. Гидрология дельты Дуная / под ред. В. Н. Михайлова. – М., 2004.
8. Гидрология устьевой области Дуная / А. М. Алмазов [и др.]. – М., 1963.
9. Экологическая программа действий для бассейна Дуная. Стратегический план действий. Ч. 3 : Проблемы и приоритеты // International Commission for the Protection of the Danube River [Електронний ресурс]. – Режим доступа : www.icpdr.org/www.menr.gov.ua/dovkil. – Дата доступа : 20.03.2012.
10. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул : учеб. пособие для втузов / Е. Н. Львовский. – М., 1988.
11. Майстренко, Ю. Г. Лимнологические исследования Дуная / Ю. Г. Майстренко, А. М. Алмазов, А. И. Денисова. – К., 1967. – С. 55–67.
12. Материалы второй международной комплексной экспедиции по изучению Дуная (июль–август 1993 г.) // Водные ресурсы. – 1993. – Т. 20, № 4. – С. 440–446.
13. Материалы первой международной комплексной экспедиции по изучению Дуная (март 1988г.). – Киев, 1989. – Ч. 1. – Рукопись деп. в ВИНТИ, № 210–B98.
14. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В. Д. Романенко [та інш.]; ред. В. Я. Шевчук. – Київ, 1998.
15. Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглатителями парниковых газов в Украине за 1990–2013 гг. – К., 2015. – Мінприроди [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.menr.gov.ua/docs/klimatichna-polityka/UKR_NIR_2015_final.pdf. – Дата доступу : 07.09.2016 (на украинском языке).
16. Никифоров, Я. Д. Гидрология устьевой области Дуная / Я. Д. Никифорова, К. Дьякону. – М., 1963. – С. 83–350.
17. Основные результаты оценки трансграничных рек, озер и поземных вод в Восточной и Северной Европе, впадающих в Черное море : материалы Рабочей группы мониторинга и оценке, 15–16 дек. 2010 г. Размещены в Приложение (WGMA/Extra2010/Inf.1).
18. Регіональна доповідь про стан навколошнього природного середовища. – Мінприроди [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.menr.gov.ua/dovkil. – Дата доступу : 20.03.2012 (на украинском языке).
19. Романенко, В. Д. Лимнологические проблемы Дуная и их международное решение / В. Д. Романенко, И. Даубнер // Гидробиологический журнал. – 1989. – Т. 25, № 2. – С. 3–8.
20. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. – Л., 1977.
21. Химический состав воды Дуная / А. П. Чернявская [и др.] // Водные ресурсы. – Т. 20, № 4. – 1993. – С. 440–446.
22. Convention on Cooperation for the Protection and Sustainable use of the Danube river (Danube river Protection Convention), signed on June 29 1994 // International Commission on Danube River Protection ICDPR. – 1998.

23. Directive 2000/60/EC of European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // Official Journal of the European Communities, 22.12.2000. L – 327/1.
24. Joint Danube Survey 2. Final Scientific Report. Results of the ICPDR Municipal Emission Inventory 2006 and 2007 [Electronic resource]. – Mode of access : www.icpdr.org/jds. – Date of access : 11.08.2011.
25. Larson, T. E. Calcium Carbonate Saturation Index and Alkalinity interpretation / T. E. Larson, A. M. Buswell // Journal of the American Water Work Association. – 1942. – Vol. 34, № 11. – P. 1667–1684.
26. Major ion concentrations and the inorganic carbon chemistry of the Humber rivers / Helen P. Jarvie [et al.] // The Science of the Total Environment. – 1997. Vol. 194/195. – P. 285–302.
27. Management Plans for the Danube River Basin published 2015 [Electronic resource]. – Mode of access : www.icpdr.org/main/management-plans-danube-river-basin-published. – Date of access : 02.03.2015.
28. Processes Determining Surface Water Chemistry / V. Osadchy [et al.]. – 2016.
29. Technical Report 841-B-07-006 of the USE Environmental Protection Agency. An approach for using load duration curves in the development of TMDLs. – 2007.

**Украинский гидрометеорологический институт
Государственной службы Украины по чрезвычайным
ситуациям и НАН Украины, Киев, Украина**

Поступила в редакцию 05.12.2016 г.

Н. Н. Осадчая, Д. А. Клебанов, В. И. Осадчий, Ю. Б. Набиванец

**ИОННЫЙ СТОК РЕКИ ДУНАЙ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ
ЕЕ НИЖНЕГО УЧАСТКА ПО ОБЩЕЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДЫ**

Приведены результаты анализа колебания водного стока в нижней части р. Дунай (г. Рени). Показано, что изменения водности носят фазово-циклический характер. Средние, минимальные и максимальные показатели водного стока за каждый из 3 трех полных циклов уменьшаются от начала наблюдений до настоящего времени.

Показано, что при различных условиях водности наибольшие концентрации растворенных солей наблюдались в период 1974–1990 гг. В современный период (1991 г. – до настоящего времени) концентрации солей в каждой из категорий водности уменьшились, однако не достигли соответствующих величин фонового периода (от начала наблюдений до 1973 г). Выполненная оценка состояния воды нижнего Дуная по минерализации воды показала, что оно соответствует категории «отличная» или «хорошая».

N. Osadchaya, D. Klebanov, V. Osadchyi, Yu. Nabivanets

**THE ION RUNOFF OF THE DANUBE RIVER AND THE EVALUATION
OF THE LOWER PART STATE BY TOTAL WATER MINERALIZATION**

The results of the analysis of water flow fluctuations in the lower part of the Danube (Renii) River are presented. It is shown that the water flow changes have a phase-cyclical character. Average, minimum and maximum values of water flow for each of the 3 full cycles are reduced from the beginning of observations to current time.

Under different water conditions the highest concentrations of dissolved salts have been observed in the period 1974–1990. In the modern period (1991 – up to date) the concentrations of salts in the each categories of water flow have decreased but have not reached the appropriate values of the background period (from the start of observations up to 1973). The estimation of the water status by water mineralization has shown that it has "High" or "Good" category in the lower Danube.

М. А. Пастухова, О. А. Галуц, М. М. Дашкевич, С. Н. Михальчук

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ ПОЧВА–РАСТЕНИЕ–ПЧЕЛА–ПРОДУКТЫ ПЧЕЛОВОДСТВА

Рассмотрен метод анимониторинга для оценки степени загрязнения окружающей среды. Представлены результаты исследования накопления тяжелых металлов в почвах, растениях-медоносах, пчелах и продуктах пчеловодства на территориях с различным характером воздействия и уровнями загрязнения. Данна качественная характеристика продуктов пчеловодства, полученных на территориях с различной антропогенной нагрузкой.

Проблема деградации и охраны почв сегодня является одной из наиболее актуальных. Увеличение численности населения требует дополнительных средств существования. Рост производств сопровождается истощением возобновляемых ресурсов, при этом резко меняется соотношение между их запасами и потреблением. Во всем мире ужесточаются требования к экологической чистоте и безопасности продуктов питания и биологически активных веществ. Усилилось действие факторов, ведущих к падению плодородия почв, – эрозия, засоление, химические загрязнения. Осознавая важность этой проблемы, с ноября 2011 г. Республика Беларусь является полноправной стороной Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием/деградацией земель [1, 8].

В этой связи актуальной является проблема использования загрязненных тяжелыми металлами (ТМ) земель в сельском хозяйстве, являющимся важнейшей отраслью экономики Республики Беларусь. Интенсивное использование сельскохозяйственных земель сопровождается внесением в почву химических веществ, в том числе отходов, содержащих различные поллютанты. Поэтому в настоящее время одной из основных задач охраны окружающей среды является проведение мониторинга территорий для объективной оценки воздействия на природные и антропогенные экосистемы. Результаты исследований загрязнения почв и растительности тяжелыми металлами в Беларусь приведены в работах С. Е. Головатого [1], В. С. Хомича и соавторов [15], Н. В. Михальчука и соавторов [11] и других ученых. Однако исследования поведения тяжелых металлов в системе почва–растение–пчела–продукты пчеловодства весьма ограничены. В настоящее время для оценки экологического состояния экосистем широко применяются методы биомониторинга, к достоинствам которого можно отнести удобство, экономичность и достоверность [6]. Одной из форм биомониторинга является анимониторинг, когда контроль степени загрязнения территорий проводится посредством изучения пчел и продуктов пчеловодства.

К настоящему времени накоплен некоторый опыт по использованию пчелиных семей в роли биоиндикаторов. В качестве индикаторов использовали летних пчел, цветочную пыльцу, обножку, пергу, воск, прополис, пчелиный яд, отобранные в различные периоды развития пчелиной семьи и в различных экологических условиях [5]. С помощью метода анимониторинга проводили изучение экологической обстановки в Балашихинском районе Московской области [4]. Метод анимониторинга был использован учеными Казанского университета, которые разработали специальные программы для обработки полученных данных и картографирования результатов анимониторинга [13]. Имеются литературные данные об использовании данного метода в Англии, где картирование распределения фторидов происходило после сравнения данных, полученных с помощью метода анимониторинга, с исследованиями низших и высших растений и почвы [12]. Тем не менее результаты исследований по особенностям накопления тяжелых металлов в отношении продуктов пчеловодства как индикаторов загрязнения окружающей среды немногочисленны и неоднозначны.

Предметом исследований явились образцы медоносных растений (зеленая масса и соцветия), рабочих пчел, трутней, подмора, пыльцы, перги, меда, воска и прополиса, отобранные на пчелиных пасеках, расположенных в местностях с различными видами воздействия на окружающую среду.

В качестве объектов исследований были выбраны экспериментальные участки (ЭУ) на территориях различного функционального назначения, на которых находились или были размещены пчелиные пасеки:

1 – *автомобильный ЭУ*. Расположен на землях КУСП «Совхоз Брестский», примыкающих к автомагистрали межгосударственного значения М-1/Е-30 Брест–Москва западнее АЗС «Лукойл», в 6,0 км восточнее г. Бреста. На данном ЭУ исследования проводили с целью анимониторинга в зоне влияния автомагистрали и АЗС. Пробные площадки и, соответственно, точки отбора проб располагали по профилям

вокрест автомагистрали (с учетом предполагаемого градиента загрязнения);

2 – городской ЭУ, расположенный в черте города Бреста, в районе агробиостанции, использовали для проведения исследований в условиях городской среды;

3 – агроселитебные ЭУ, объединяющие несколько ЭУ с пчелиными пасеками (расположены на территории Малоритского, Жабинковского и Брестского районов), характеризуются преимущественно сельскохозяйственным и агроселитебным воздействием на окружающую среду;

4 – фоновый ЭУ, расположенный на особо охраняемой природной территории в Биосферном резервате «Прибужское Полесье», характеризуется минимальной антропогенной нагрузкой.

На стационарах были заложены опытные площади из культур разного срока цветения и хозяйственного назначения.

Образцы почв, медоносных растений, пчел и продуктов пчеловодства были отобраны с мая по сентябрь в 2014–2015 гг. Химико-аналитические исследования почв, растительных образцов, пчел, продуктов пчеловодства проводили в лаборатории ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларусь».

Отбор проб почв на содержание тяжелых металлов производили из верхнего слоя почвы на глубину до 20,0 см. Пробоподготовку и определение ТМ в продуктах пчеловодства и растительном сырье производили согласно работам [2, 3].

Содержание ТМ в образцах почв определяли по общепринятым методикам, подвижные формы экстрагировали 1М HNO₃ [9]. Пробы растений на химический анализ отбирали накануне скашивания (но не раньше, чем за 1–2 дня до него) в сухую погоду, после схода росы. Масса

средней пробы составляла не менее 1 кг. ТМ в растительных пробах определяли в их зольных растворах на атомно-абсорбционном спектрометре. Минерализацию проб растений проводили методом сухого озоления. Определение содержания ТМ в растворе золы осуществляли после минерализации анализируемого материала путем кислотной экстракции.

Количественное определение содержания микроэлементов в пробах пчел проводили методом атомно-абсорбционной спектрометрии: для анализа пчел высушивали до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре +60...65 °C. Подготовку проб для анализа проводили методом мокрой минерализации по методике А. М. Никанорова и А. В. Жулидова, разработанной для беспозвоночных организмов [10].

Проведенные исследования показали, что содержание тяжелых металлов в почвах исследуемых ЭУ различно, но не превышает предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) (табл. 1).

Наименьшим содержанием валовых форм ТМ характеризуются почвы фонового ЭУ, расположенного вдали от областного центра на территории Биосферного резервата «Прибужское Полесье», на землях с минимальной антропогенной нагрузкой. Наибольшим содержанием Cu (6,46 мг/кг) и Zn (23,71 мг/кг) характеризуется почва на городском ЭУ – в 6,2 и 3,0 раза соответственно более высоким, чем на фоновой территории. Как и следовало ожидать, повышенное содержание Pb в почве характерно для автотранспортного ЭУ – 17,7 мг/кг.

Повышенную опасность с точки зрения доступности для растений представляют подвижные формы ТМ (табл. 2).

Таблица 1. Содержание валовых форм ТМ в почвах вблизи пасек, мг/кг

ЭУ	Zn	Cu	Mn	Pb	Cd	Ni	Co	Cr
Агроселитебный	19,79	5,79	91,37	7,45	0,14	0,24	1,50	29,01
Городской	23,71	6,46	127,34	8,42	0,10	3,19	1,93	1,25
Фоновый	6,39	1,04	82,45	3,21	0,05	1,02	0,39	1,45
Автотранспортный	18,70	4,55	143,80	17,70	0,13	3,70	1,25	7,90
ПДК/ОДК [14]	55	33	1500	32	0,5	20	8	100

Таблица 2. Содержание подвижных форм ТМ в почвах вблизи пасек, мг/кг

ЭУ	Zn	Cu	Mn	Pb	Cd	Ni	Co	Cr
Городской	4,36 18,4	0,39 6,0	18,16 14,3	0,66 7,8	0,03 30,0	0,18 5,6	< 0,4	< 0,5
Автотранспортный	12,14 64,9	2,52 55,4	90,26 62,8	13,45 75,9	0,02 15,4	2,48 67,0	0,65 52,0	2,35 29,7
Агроселитебный	4,06 20,5	0,30 5,2	17,90 19,6	0,63 8,5	0,05 35,7	0,14 58,3	< 0,4	< 0,5
ОДК [14]	10	5	–	10	0,2	–	–	–

П р и м е ч а н и е. В числителе указано содержание подвижных форм ТМ (мг/кг), а в знаменателе – их доля от валового содержания (%).

Содержание элементов в подвижной форме, доступной для растений, гораздо меньше, чем в валовой форме. Наименьшим содержанием подвижного цинка в почве характеризуются городской и агроселитебный ЭУ (4,36 и 4,06 мг/кг, соответственно). Доля подвижного цинка на этих участках составляет 18,4 и 13,7 % соответственно от его валового содержания. Наибольшее количество Zn в подвижной форме (12,14 мг/кг) содержится в почве на автотранспортном ЭУ, что составляет 64,7 % от валового содержания элемента.

Как следует из табл. 2, наибольшее содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах характерно для автотранспортных ЭУ, где их содержание в 3–20 раз выше, чем на агроселитебном и городском ЭУ. Почвы автотранспортного ЭУ по сравнению с агроселитебным обогащены подвижным свинцом – в 21,3 раза, медью и никелем – в 8–10, цинком, марганцем и кадмием – в 3–5 раз. При этом содержание подвижных цинка и свинца в почвах автотранспортных ЭУ превышает ОДК в 1,2–1,3 раза, содержание подвижного кадмия достигает уровня ОДК.

Основным медоносом на опытных стационарах, с которого был собран мед, являлась фацелия. Концентрации ТМ в зеленой массе фацелии, произрастающей на опытных стационарах, представлены в табл. 3.

Таблица 3. Содержание ТМ в зеленой массе фацелии, мг/кг

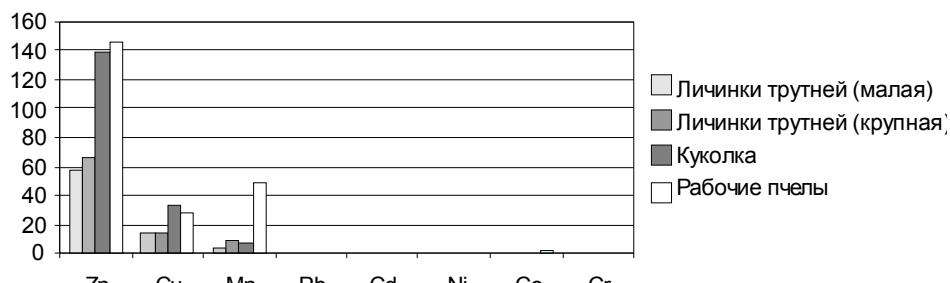
ЭУ	Zn	Cu	Mn	Pb	Cd	Ni	Co	Cr
Автотранспортный	36,87	7,08	62,02	0,10	0,33	0,57	0,11	1,82
Городской	14,89	2,87	73,39	0,24	0,36	0,22	14,89	2,87
Агроселитебный	12,67	6,19	24,49	0,07	0,07	1,14	12,67	6,19
МДУ [1]	10	–	–	0,60	0,10	–	–	–

* Максимально допустимые уровни содержания ТМ в кормах для крупного рогатого скота.

Таблица 4. Содержание ТМ в соцветиях фацелии, мг/кг

ЭУ	Zn	Cu	Mn	Pb	Cd	Ni	Co	Cr
Автотранспортный	53,75	6,74	39,93	0,08	0,46	0,81	0,10	1,59
Городской	37,32	6,33	72,68	0,38	0,40	1,22	0,21	2,73
Агроселитебный	26,19	10,5	37,27	< 0,09	0,05	1,40	0,08	4,36

Содержание ТМ в образцах пчел, мг/кг



Содержание ТМ в образцах рабочих пчел и трутней на городском ЭУ, мг/кг

Анализ зеленой массы фацелии показал, что на рассматриваемых ЭУ она по-разному аккумулирует тяжелые металлы. Наибольшее количество Zn (6,20 мг/кг) содержится в образцах зеленой массы, собранной на автотранспортном ЭУ. Образцы городского ЭУ по содержанию цинка близки по значениям агроселитебному ЭУ. В образцах с автотранспортного и городского ЭУ наблюдается сравнительно высокое содержание марганца – 10,49 и 12,36 мг/кг соответственно.

Также прослеживается более высокий уровень накопления поллютантов в соцветиях по сравнению с зеленой массой. Особенно это характерно для цинка: его концентрация в соцветиях фацелии вторая цифра пропущена! в 1,5–2 раза выше, чем в зеленой массе на всех ЭУ (табл. 4). При этом и в соцветиях, и в зеленой массе в целом концентрация цинка на всех ЭУ выше МДУ в 1,2–5,3 раза. Превышены также допустимые уровни концентрации кадмия в зеленой массе и соцветиях фацелии в 3,3–4,4 раза на автотранспортном и городском ЭУ.

Содержание ТМ в образцах рабочих пчел и трутней на городском ЭУ представлено на рисунке. В личинках трутней не были обнаружены Pb, Co, Cr, а содержание Cd (0,004–0,010 мг/кг) и Ni (0,014–0,178 мг/кг) оказалось ниже, чем в образцах рабочих пчел (0,25 и 0,77 мг/кг соответственно) и растениях (0,09 и 0,17 мг/кг соответственно).

В теле трутней содержание Pb, Co, Cr, Cd и Ni было ниже предела обнаружения, а содержание Zn по сравнению с рабочими пчелами (весенний отбор) было выше в 1,78 раза, Cu – в 1,63. Содержание Mn в теле рабочих пчел, наоборот, было в 2,51 раза больше, чем в образцах трутней, что, вероятнее всего, связано с особенностями биохимических процессов.

В телах пчел, отобранных в конце сезона, концентрация цинка увеличилась в 2,41 раза, меди – в 1,94, марганца – в 1,32, кадмия – в 2,59, хрома – в 1,8 раза, что связано с интенсивной

работой и контактом с объектами окружающей среды. Приведенные данные, а также сведения о содержании ТМ в личинках и теле трутней позволяют сделать вывод о том, что количество исследуемых тяжелых металлов в теле насекомых закономерно возрастает с увеличением их возраста, т. е. в течение жизни такие металлы накапливаются в их организме.

Особенности накопления тяжелых металлов в системе почва–растение–пчела–продукты пчеловодства на городском ЭУ представлены в табл. 5.

Таблица 5. Содержание ТМ в почве, растениях, пчелах и продуктах пчеловодства на городском ЭУ, мг/кг

Субстрат, продукт пчеловодства	Zn	Cu	Mn	Pb	Cd	Ni	Co	Cr
Почва*	23,71 4,36	6,46 0,39	127,34 18,16	8,42 0,66	0,1 0,03	3,19 –	1,93 –	1,25 –
Зеленая масса фацелии	14,89	2,87	73,39	0,24	0,36	0,22	14,89	2,87
Соцветия фацелии	37,32	6,33	72,68	0,38	0,40	1,22	0,21	2,73
Личинки трутней (малая)	56,65	13,18	2,46	< 0,07	< 0,05	0,014	< 0,1	< 0,5
Личинки трутней (крупная)	65,82	14,05	8,78	< 0,07	0,01	0,178	< 0,1	< 0,5
Куколка	138,46	31,60	6,58	< 0,07	0,074	< 0,14	< 0,1	< 0,5
Рабочие пчелы	146,04	28,38	48,82	< 0,07	0,135	< 0,14	1,03	< 0,5
Обножка	35,40	8,22	14,40	< 0,71	0,02	0,2	< 0,1	0,62
Прополис	10,21	1,64	6,48	0,84	0,02	0,37	< 0,1	5,56
Воск (соты молодые)	2,69	0,51	1,39	0,07	< 0,05	0,14	< 0,1	1,49
Воск (соты старые)	15,47	4,40	8,24	0,1	0,05	0,32	< 0,1	2,23
Мед (июнь)	0,37	0,31	0,55	< 0,71	< 0,05	< 0,14	< 0,1	< 0,5
Мед (июль)	0,84	0,58	1,18	< 0,71	< 0,05	0,08	< 0,1	< 0,5

* В числителе указано валовое содержание элемента, а в знаменателе его значение в подвижной форме.

Продукты пчеловодства обладают специфическими особенностями накопления тяжелых металлов. Наши исследования показали, что содержание тяжелых металлов в соцветиях растений существенно выше, чем в обножке. При этом среди изученных продуктов пчеловодства обножка является наиболее показательным индикатором экологической характеристики территории. Мы объясняем это тем, что обножка формируется из пыльцы энтомофильных растений, загрязнение которой тяжелыми металлами может быть контаминированным как с поверхности (загрязнение через воздух), так и из почвы (биохимически). Являясь генеративным органом растения, пыльца обладает высокой степенью гомеостаза, поддерживающего постоянное соотношение элементов в различных условиях, который нарушается только при существенном изменении соотношения микроэлементов в почве. Поэтому мы склонны считать, что наибольшее влияние на качество пыльцы имеет воздушное загрязнение.

Содержание биофильных элементов (Zn, Cu, Mn) в образцах прополиса меньше, чем в обножке, а содержание Pb, Ni, Co и Cr, наоборот, выше в прополисе в 1,18, 1,89, 1,19 и 8,91 соответственно. Наибольшее количество Pb, Ni, и Cr обнаружено в образцах прополиса. По мнению

Е. К. Еськова и соавторов [4, 6, 7], в прополисе концентрация тяжелых металлов может быть такой же, как и в окружающей среде или выше. В наших условиях в прополисе по отношению к образцам соцветий наблюдалось существенное уменьшение концентрации цинка, меди, марганца и увеличение свинца и хрома.

Значительно отличаются показатели содержания ТМ в воске различного возраста – в свежеотстроенном соте накопление Zn, Cu, Mn и Ni в 5,8–8,3, а Pb и Cr в 1,3–1,5 раза меньше, чем в старых сотах. Существенно меньшее количество тяжелых металлов по сравнению с образцами подмора содержится в воске. Наиболее активно из тела пчелы в воск переходят никель, хром, свинец и кадмий, а существенно тяжелее – цинк, медь и марганец, которые участвуют в биохимических процессах организма. Таким образом, организм пчел является очистителем воска от тяжелых металлов.

Мед содержит только биофильные элементы (Zn, Cu, Mn) в небольших количествах, существенно меньших по сравнению с другими продуктами пчеловодства. Содержание Pb, Ni, Co, Cr, Cd в меду ниже предела обнаружения ($\text{Ni} < 0,04$, $\text{Co} < 0,1$; $\text{Cr} < 0,13$; $\text{Pb} < 0,09$; $\text{Cd} < 0,01$ мг/кг).

Выводы. Продукты пчеловодства обладают специфическими особенностями накопления тяжелых металлов. Выполненные исследования показали, что наиболее информативными индикаторами загрязнения окружающей среды являются пыльцевая обножка и прополис. Содержание биофильных элементов цинка, меди и марганца в образцах прополиса меньше, чем в обножке; содержание свинца, никеля, кобальта и хрома, наоборот, выше в прополисе – в 1,18, 1,89, 1,19 и 8,91 соответственно. По содержанию свинца, никеля и хрома прополис является самым загрязненным из исследуемых продуктов пчеловодства. Значительно отличаются показатели содержания ТМ в воске различного возраста – в свежеотстроенных сотах накопление цинка, меди, марганца и никеля в 5,8–8,3, а свинца и хрома в 1,3–1,5 раза меньше, чем в старых сотах. В воске также наблюдается существенно меньшее содержание тяжелых металлов по сравнению с телом пчел.

Содержание исследуемых тяжелых металлов в теле пчел закономерно возрастает с увеличением их возраста, т. е. в течение жизни они накапливаются в их организме. В тела пчел, отобранных в конце сезона, концентрация цинка увеличилась в 2,41 раза, меди – в 1,94, марганца – в 1,32, кадмия – в 2,59, хрома – в 1,8 раза, что связано с интенсивной работой и контактом с объектами окружающей среды.

Наиболее активно из тела пчелы в воск переходят никель, хром, свинец и кадмий, в меньшей степени цинк, медь и марганец, которые участвуют в биохимических процессах организма.

Мед содержит в небольших количествах биофильные элементы (цинк, медь и марганец), существенно меньших по сравнению с другими продуктами пчеловодства. Содержание свинца, никеля, кобальта, хрома и кадмия в меду ниже предела обнаружения метода.

Литература

- Головатый, С. Е. Тяжелые металлы в агроэкосистемах / С. Е. Головатый. – Минск : Институт почвоведения и агрохимии, 2002.
- ГОСТ Р 52097–2003. Продукты пчеловодства. Минерализация проб для определения токсичных элементов.
- ГОСТ 30178–96. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов.
- Еськов, Е. К. Техногенные загрязнения природной среды и пчелы / Е. К. Еськов // Пчеловодство. – 2006. – № 7. – С. 10–13.
- Изучение химического состава организма пчел в условиях пригородных пасек / М. В. Калашникова [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 9–10. – С. 1983–1986.
- Ильин Б. В. Тяжелые металлы в системе почва–растение / Б. В. Ильин. – Новосибирск, 1991.
- Кирьянова, Л. Ю. Медоносные пчелы и продукты пчеловодства как биоиндикаторы экологического неблагополучия окружающей среды / Л. Ю. Кирьянова, Т. С. Уланова. – Пермь : Изд-во Перм. гос. ун-та, 2001. – С. 13–15.
- Кодекс Республики Беларусь о земле, 23 июля 2008 г., № 425-3 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2008. – № 187. – № 2/1522.
- Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – 2-е изд. – М., 1992.
- Никаноров, А. М. Биомониторинг тяжелых металлов в пресноводных экосистемах / А. М. Никаноров, А. В. Жулидов. – Л., 1991.
- Особенности накопления тяжелых металлов многолетними травами и способы снижения их миграционной активности / Н. В. Михальчук [и др.] // Природна асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспективы развицця: зборн. наук. прац. – Брэст, 2012. – Вып. 5. – С. 200–203.
- Olsen, S. R. Mikronutrient interactions, in: Micronutrients in Agriculture / S. R. Olsen, J. J. Mortverdt // Soil Science Society of America. – Madison, Wis, 1972. – Р. 243.
- Скребнева, Л. А. Оценка закономерностей накопления тяжелых металлов в медоносных пчелах и продуктах пчеловодства для разработки биоиндикационных критериев загрязнения атмосферного воздуха : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Л. А. Скребнева ; ФГАОУ ВО «Казанский федеральный университет». – Тольятти, 2016.
- Состояние природной среды Беларуси : экол. бюл. 2010 г. / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2011.
- Хомич, В. С. Экогоехимия городских ландшафтов Беларуси / В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик. – Минск, 2004.

Полесский аграрно-экологический
университет НАН Беларуси, Брест, Беларусь

Поступила в редакцию 20.10.2016 г.

М. А. Пастухова, О. А. Галуц, М. М. Дашкевич, С. Н. Михальчук

**ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ
ПОЧВА–РАСТЕНИЕ–ПЧЕЛА–ПРОДУКТЫ ПЧЕЛОВОДСТВА**

Изучен прием апимониторинга как экологически рационального подхода индикации загрязнения окружающей среды. Определены особенности накопления тяжелых металлов продуктами пчеловодства на территориях с различной антропогенной нагрузкой. Выявлено, что наиболее показательными индикаторами загрязнения окружающей среды среди продуктов пчеловодства являются пыльцевая обножка и прополис. По содержанию Pb, Ni, Co и Cr прополис является самым загрязненным среди продуктов пчеловодства. Уровень Pb, Ni, Co и Cr в прополисе выше, чем в обножке в 1,80; 1,89; 1,19 и 8,91 раз соответственно. В то время как содержание биофильных элементов (Zn, Cu, Mn) в прополисе меньше, чем в обножке. Значительно отличаются показатели содержания ТМ в воске различного возраста – в свежеотстроенном соте накопление Zn, Cu, Mn и Ni в 5,8–8,3, а Pb и Cr в 1,3–1,5 раза меньше, чем в старых сотах. В воске также наблюдается существенное снижение количества тяжелых металлов по сравнению с телом пчел.

Содержание исследуемых тяжелых металлов в теле насекомых закономерно возрастает с увеличением их возраста, т. е. в течение жизни они накапливаются в их организме. В телах пчел, отобранных в конце сезона, концентрация Zn увеличилась в 2,41 раза, Cu – в 1,94, Mn – в 1,32, кадмия – в 2,59, Cr – в 1,80 раза, что связано с интенсивной работой и контактом с объектами окружающей среды.

Мед содержит только биофильные элементы (Zn, Cu, Mn) в небольших количествах, существенно меньших по сравнению с другими продуктами пчеловодства. Содержание Pb, Ni, Co, Cr, Cd в меду ниже предела обнаружения метода.

M. A. Pastukhova, O. A. Haluts, M. M. Dashkevich, S. N. Mikhalchuk

**PECULIARITIES OF ACCUMULATION OF HEAVY METALS
IN THE SYSTEM SOIL–PLANT–BEE–BEE PRODUCTS**

Studied the reception of apimonitoring as an environmentally rational approach to the display of environmental degradation. The features of heavy metals accumulation in bee products, in the territories of different anthropogenic load are distinguished. The most exponential indicators of environmental pollution among the bee products were pollen corbicula and propolis. By the content of Pb, Ni, Co and Cr propolis is the most polluted among bee products. The level of Pb, Ni, Co and Cr in propolis is higher than in the corbicula in 1.8; 1.89; and 1.19 8.91 times, respectively. While the content of biophil elements (Zn, Cu, Mn) in propolis is smaller than in a corbicula. Significantly different the concentrations of HM in the wax of various ages – in a freshly built cell, the accumulation of Zn, Cu, Mn and Ni in 5.8–8.3 and Pb and Cr in 1.3–1.5 times less than in the old cells. A significant reduction in the amount of heavy metals compared to the body of bees is also observed in the wax.

The content of investigated heavy metals in the insects' bodies naturally increases with the increase of their age, that is, during the lifetime they accumulate in their bodies. In the bodies of bees, taken at the end of the season, the concentration of zinc increased in 2.41 times, copper – in 1.94, manganese – 1.32, cadmium – in 2.59, chromium is 1.8, which is connected with intensive work and contact with environmental objects.

Honey contains of only biophil elements (Zn, Cu, Mn) in small amounts in comparison to significantly other products of beekeeping, the content of Pb, Ni, Co, Cr, Cd is below the detection limit.

В. В. Коляда

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ УРОЖАЙНОСТИ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗЕРНОПРОИЗВОДСТВА ПО АДМИНИСТРАТИВНЫМ РАЙОНЯМ БЕЛАРУСИ

На основе статистических данных для сельскохозяйственных организаций Беларуси на уровне административных районов построены уравнения множественной линейной регрессии урожайности зерновых и зернобобовых культур от лимитирующих факторов (бонитет почв, органические и минеральные удобрения, пестициды) и оценена их роль в изменчивости урожайности. Методом картограмм представлено территориальное распределение их оценок, а также затрат пашни и минеральных удобрений на производство зерна. Приводится интерпретация результатов статистического анализа и картографирования.

Исследования эффективности сельскохозяйственного производства в растениеводческих отраслях неразрывно связано с выявлением факторов, лимитирующих уровни урожайности сельскохозяйственных культур. В современных условиях они не только не утрачивают, но все более повышают свою актуальность, определяя значительный интерес к их количественным оценкам и анализу в самых различных аспектах [3–7, 9, 11–13, 15, 16]. В соответствии с целями Государственной программы развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы повышение эффективности остается приоритетной задачей развития сельского хозяйства нашей страны на ближайшую перспективу [1].

Под эффективностью здесь понимается ее техническая (технологическая), разновидность, оцениваемая через соотношение потребляемых ресурсов и полученных результатов в натуральных показателях [8]. Важнейшим показателем эффективности в растениеводстве выступает урожайность – количество основной хозяйственно полезной продукции на единицу площади. Обратным показателем являются затраты пашни на производство единицы продукции. Аналогичные показатели могут быть рассчитаны и по затратам других ресурсов. Именно низкая урожайность и высокие, превышающие нормативный уровень, производственные затраты определяют современную невысокую эффективность сельского хозяйства в Беларуси, которая препятствует его рентабельному, а порой и просто безубыточному производству [15]. Сравнения показывают, что, обладая вполне сопоставимым биоклиматическим потенциалом, например, с Великобританией и Германией, наша страна уступает им по величине урожайности пшеницы и картофеля более чем в 2 раза [6, 7]. Затраты пашни, минеральных удобрений и топлива при производстве зерна и картофеля в Беларуси примерно в 1,5–3,0 раза выше, чем в развитых западноевропейских странах [15].

При анализе факторов урожайности и оценке эффективности в растениеводстве объектом исследования обычно выступают зерновые культуры, играющие ключевую роль в растениеводстве и занимающие более половины посевных площадей Беларуси. Среди факторов, определяющих величину урожайности, особая роль отводится плодородию почв, которое во многом обуславливает эффективность производства, окупаемость труда и материальных ресурсов, являясь «фундаментальной объективной предпосылкой успешности растениеводства и аграрного производства в целом» [12]. Это связано с интегральным характером плодородия, отражающего в своих баллах бонитета особенности местных почв, климата и культуры земледелия. Считается, что при эффективном хозяйствовании каждый балл бонитета почв обеспечивает около 1 центнера зерна с каждого гектара. На этом основании предложен показатель совершенства технологии, косвенно учитывающий роль прочих факторов. Его расчеты за 2011–2013 гг. показали, что самым высоким уровнем применяемых технологий характеризуется Гродненская область (14,3 %), далее следуют Могилевская (8,9 %), Минская (7,6 %) и Брестская (5,2 %) области. Витебская и Гомельская области характеризуются отрицательными показателями: –6 и –10 соответственно. Причем эти цифры нивелируют гораздо более значительные различия в эффективности на уровне административных районов, а тем более отдельных сельскохозяйственных организаций [5].

Однако при всей важности плодородия почв роль этого фактора не является исчерпывающей. Фиксируются значительные различия в урожайности сельскохозяйственных культур на землях с одинаковым уровнем плодородия почв, а общий уровень варьирования урожайности зерновых культур по административным районам Беларуси в современных условиях лишь примерно наполовину обусловлен бонитетом пашни

[4, 5, 12]. Согласно обобщению результатов полевых опытов агрохимической службы и Географической сети, впервые выполненному в рамках третьего тура бонитировки почв Беларуси, основными факторами, лимитирующими уровни урожайности сельскохозяйственных культур, является плодородие почв, количество применяемых удобрений и средств защиты растений [13]. Количественные оценки факторов для различных сельскохозяйственных культур были получены по результатам учета урожая на контроле без удобрений и вариантах опытов с различными дозами удобрений, соответственно, в виде нормативов цены балла пашни и окупаемости удобрений. При этом роль средств химической защиты растений в явном виде не оценивалась. Отмечается лишь, что нормативные показатели характеризуют средний уровень агротехники, а при возделывании сельскохозяйственных культур по интенсивной технологии с интегрированной системой защиты растений от сорняков, болезней и вредителей, эффективность использования почв и удобрений будет выше и нормативы цены балла пашни и окупаемости удобрений возрастают на 15–25 % [13].

Наличие количественной информации по всем перечисленным факторам на уровне административных районов позволяет с использованием корреляционного и регрессионного анализа непосредственно оценить влияние на урожайность всех указанных факторов в современных условиях.

Целью работы – провести количественную оценку лимитирующих факторов урожайности и эффективности зернопроизводства для территории Беларуси на уровне административных районов.

В основу работы были положены материалы Национального статистического комитета Республики Беларусь по посевным площадям и валовым сборам, урожайности зерновых и зернобобовых культур, внесению органических и минеральных удобрений под эти культуры, а также по применению пестицидов в сельскохозяйственных организациях административных районов страны за 2011–2014 гг. При анализе факторов использовали сведения об урожайности с посевной площади, рассчитанные по дан-

ным о валовых сборах и посевных площадях. Удельные оценки применения пестицидов (инсектицидов, гербицидов, фунгицидов и протравителей в целом) были получены путем нормирования их валовых значений на общую посевную площадь. Для характеристики плодородия земель были привлечены данные по бонитету пахотных почв сельскохозяйственных организаций в разрезе административных районов. Статистический анализ проводили в системе Statistica 6.0 [17].

Для представления территориально расположенных оценок различных показателей широко использовали метод картограмм, где в качестве операционных единиц выступали контуры административных районов Беларуси. При их построении применяли упрощенную шкалу, состоящую из трех градаций. Ее строили в предложении нормального распределения картографируемого показателя, причем границы центральной градации определяли величиной стандартного отклонения (δ) от среднего значения (\bar{Y}): как известно, интервал $-\delta \leq \bar{Y} \leq \delta$ охватывает около 68 % всей выборки. Границы крайних градаций определяли предельные значения картографируемых показателей. Такая шкала позволяет отделить фоновую область значений показателя от областей его минимальных и максимальных значений.

Картографирование выполняли в программном комплексе ArcGIS 10.1.

Результаты и их обсуждение. Основные статистические параметры используемой при оценке факторов урожайности системы показателей в среднем за период 2011–2014 гг. для 118 административных районов Беларусь отражены в табл. 1, из которой следует, что урожайность зерновых и зернобобовых культур в рассматриваемые годы существенно изменялась по районам Беларусь. Ее максимальное значение в Гродненском районе и минимальное – в Россонском районе различались в 3,5 раза. Среднее значение урожайности в 31,6 ц/га практически совпало со средней величиной бонитета пашни (30,8 балла), однако более чем в 2,0 раза пре- восходило его по показателям вариации.

Таблица 1. Статистические параметры урожайности зерновых культур и ее факторов для административных районов Беларусь, 2011–2014 гг.

Показатель	\bar{Y}	Y_{\min}	Y_{\max}	δ	$V, \%$
Урожайность, ц/га	31,6	18,0	62,6	8,8	27,9
Бонитет пашни, балл	30,9	20,3	42,7	3,9	12,8
Органические удобрения, т/га	5,3	0,6	14,9	2,7	51,3
Минеральные удобрения, кг NPK/га:	271	192	395	34,0	12,6
азотные, кг N/га	99	55	159	17,3	17,5
фосфорные, кг P ₂ O ₅ /га	48	31	72	9,0	18,8
калийные, кг K ₂ O/га	124	97	167	13,0	10,5
Пестициды, кг /га	2,5	1,0	6,1	1,1	42,4

В среднем в районах на 1 га посевов зерновых и зернобобовых культур вносили 5,3 т/га органических и 271 кг минеральных удобрений. Среди всех показателей наибольшей пестротой выделяется внесение органических удобрений: максимальное их количество в Барановичском районе и минимальное – в Толочинском районе различаются почти в 25,0 раз. Гораздо меньшие различия по районам при внесении минеральных удобрений (в 2,0 раза), особенно местных – калийных (в 1,7 раза). Максимальное количество минеральных удобрений в целом, а также азотных и калийных удобрений вносили в Гродненском районе, а фосфорных – в соседнем Берестовицком районе. Минимальное внесение минеральных, азотных и фосфорных удобрений отмечается в Ганцевичском районе, а калийных удобрений – в Пуховичском районе.

Различие в применении пестицидов на 1 га посевной площади по районам Беларуси – более чем шестикратное. Наиболее интенсивно средства химической защиты растений применяли в

Гродненском районе, а наименее – в Гродненском районе при среднем уровне по административным районам 2,5 кг на 1 га посевной площади в всех сельскохозяйственных культурах.

Представление о тесноте связей в системе используемых показателей дает корреляционная матрица (табл. 2), из которой видно, что урожайность зерновых и зернобобовых культур, рассматриваемая в качестве зависимой переменной уравнения множественной регрессии, характеризуется высокими и средними статистически значимыми положительными коэффициентами корреляции со всеми факторами урожайности – потенциальными независимыми переменными или предикторами. При этом максимальными значениями в убывающем порядке характеризуются: применение пестицидов, бонитет пашни, внесение азотных удобрений, минеральных удобрений в целом и органических удобрений. Минимальными коэффициентами корреляции с урожайностью выделяются фосфорные и, в особенности, калийные удобрения.

Таблица 2. Корреляционная матрица урожайности зерновых культур и ее факторов по административным районам Беларуси, 2011–2014 гг.

Показатель	1	2	3	4	5	6	7
Урожайность, ц/га	1,00						
Бонитет пашни, балл	0,82	1,00					
Органические удобрения, т/га	0,64	0,55	1,00				
Минеральные удобрения, кг NPK/га:	0,73	0,47	0,40	1,00			
азотные, кг N/га	0,79	0,57	0,39	0,92	1,00		
фосфорные, кг P ₂ O ₅ /га	0,56	0,36	0,25	0,85	0,75	1,00	
калийные, кг K ₂ O/га	0,46	0,21	0,35	0,81	0,56	0,53	1,00
Пестициды, кг /га	0,88	0,71	0,51	0,71	0,77	0,51	0,48

Однако табл. 2 также демонстрирует высокую корреляцию между отдельными факторами урожайности, что указывает на проблему мультиколлинеарности. Теория говорит о существенности данной проблемы при значениях коэффициентов линейной корреляции на уровне 0,8 и выше [10]. Коэффициентами корреляции, превышающими эти значения, характеризуются минеральные удобрения в целом с их отдельными видами. Среди остальных факторов наиболее высокая корреляция наблюдается между пестицидами, с одной стороны, и азотными удобрениями, минеральными удобрениями и бонитетом пашни, с другой стороны, которая, впрочем, не достигает указанных критических значений.

Эффективными методами устранения мультиколлинеарности является исключение одного из взаимосвязанных предикторов. Действенным методом ее устранения либо снижения также является использование алгоритма пошаговой регрессии [10].

Вполне очевидно, что различные варианты показателей минеральных удобрений должны включаться в число предикторов уравнения регрессии на альтернативной основе. Нами были оценены параметры регрессионных уравнений с

суммарным и дифференцированным по видам показателями минеральных удобрений. При этом качество подгонки модели к данным согласно значениям коэффициента детерминации фактически не изменилось, однако во втором варианте статистически значимым фактором оказались лишь азотные удобрения. Поэтому в итоге был выбран первый вариант спецификации регрессионной модели.

Итоги пошаговой регрессии с включением фактора минеральных удобрений в виде суммарного показателя представлены в табл. 3, из которой видно, что результаты корреляционного и регрессионного анализа свидетельствуют о высоком качестве полученных регрессионных зависимостей. На это указывают близкие к 0,9 значения коэффициентов детерминации, исправленных на количество параметров ($R^2_{\text{исп}}$), высокие значения F-критерия, уровня значимости (p), низкие значения стандартных ошибок (S_y) уравнения. Значительно превышающие табличный уровень значения t-критерия и высокий уровень значимости параметров позволяют использовать уравнения для расчетов и оценки роли его факторов [17].

Таблица 3. Результаты множественной регрессии урожайности зерновых культур и ее факторов по административным районам Беларуси, 2011–2014 гг.

Фактор	Beta	Коэффициент регрессии	t-критерий	p-уровень
2011–2014 гг. ($R = 0,950$; $R_{\text{исп}}^2 = 0,899$; $F(4,113) = 261$; $p < 0,0000$; $S_y = 2,8 \text{ ц/га}$)				
Свободный член	–	-18,7	-5,4	0,0000
Пестициды	0,404	3,38	7,7	0,0000
Бонитет пашни	0,349	0,78	7,9	0,0000
Минеральные удобрения	0,218	0,06	5,2	0,0000
Органические удобрения	0,154	0,50	4,3	0,0000
2011 г. ($R = 0,891$; $R_{\text{исп}}^2 = 0,786$; $F(4,113) = 108$; $p < 0,0000$; $S_y = 3,8$)				
Свободный член	–	-10,3	-2,4	0,0158
Пестициды	0,482	3,70	7,7	0,0000
Бонитет пашни	0,312	0,64	5,1	0,0000
Органические удобрения	0,177	0,54	3,6	0,0005
Минеральные удобрения	0,143	0,03	3,1	0,0026
2012 г. ($R = 0,933$; $R_{\text{исп}}^2 = 0,866$; $F(4,113) = 191$; $p < 0,0000$; $S_y = 3,5$)				
Свободный член	–	-13,4	-3,5	0,0019
Пестициды	0,513	4,75	8,8	0,0000
Бонитет пашни	0,311	0,75	6,2	0,0000
Органические удобрения	0,152	0,49	3,8	0,0002
Минеральные удобрения	0,113	0,03	2,4	0,0184
2013 г. ($R = 0,920$; $R_{\text{исп}}^2 = 0,841$; $F(4,113) = 156$; $p < 0,0000$; $S_y = 3,4$)				
Свободный член	–	-27,5	-7,4	0,000
Бонитет пашни	0,412	0,90	7,6	0,000
Минеральные удобрения	0,312	0,07	6,9	0,000
Пестициды	0,278	2,16	4,8	0,000
Органические удобрения	0,142	0,37	3,4	0,001
2014 г. ($R = 0,917$; $R_{\text{исп}}^2 = 0,837$; $F(4,113) = 150$; $p < 0,0000$; $S_y = 4,1$)				
Свободный член	–	-21,7	-5,0	0,0000
Бонитет пашни	0,465	1,19	8,7	0,0000
Пестициды	0,244	2,14	3,6	0,0000
Минеральные удобрения	0,243	0,05	4,3	0,0004
Органические удобрения	0,147	0,51	3,2	0,0018

Оценки параметров факторов соответствуют теоретическим представлениям о положительном отклике всех рассматриваемых факторов на урожайность. Расчет коэффициента Beta по нормированным на стандартное отклонение исходным данным позволяет сравнивать вклад каждого фактора в оценку величины урожайности. Как следует из табл. 3, значимость факторов различалась по годам. Если в первые два года ведущую роль играли пестициды, а бонитет отодвигался на второе место, то в последующие два года роль пестицидов снижалась и ведущим фактором урожайности становился бонитет. В 2013 г. пестициды даже уступали минеральным удобрениям, а в 2014 г. лишь незначительно превосходили их. Органические удобрения в первые два года являлись третьим по значимости фактором, а в последующие два года играли минимальную среди всех факторов роль в величине урожайности. Результаты регрессии по осредненным данным ставят применение пестицидов на первое место среди факторов уро-

жайности, далее следует бонитет пашни, минеральные удобрения и органические удобрения (см. табл. 4).

Коэффициенты регрессии показывают, какой станет величина урожайности при изменении фактора на единицу его измерения. Так, пестициды в среднем за 2011–2014 гг. увеличивали урожайность на 3,38 ц на 1 кг (с 4,75 ц в 2012 г. до 2,14 ц в 2014 г.), бонитет пашни – на 0,78 ц на 1 балл (с 1,19 ц в 2013 г. до 0,64 ц в 2013 г.), органические удобрения – на 0,5 ц на 1 т (с 0,54 ц в 2011 г. до 0,37 ц в 2013 г.), а минеральные удобрения – на 0,06 ц на 1 кг д.в. (с 0,07 ц в 2013 г. до 0,03 ц в 2011 и 2012 гг.) (см. табл. 3).

Для сравнения приведем нормативы влияния почв и удобрений на урожайность зерновых культур в целом, разработанные на основании полевых опытов. Цена балла пашни здесь составила 40 кг зерна на 1 балл, окупаемость органических удобрений равнялась 20 кг зерна на 1 т при дозах их внесения от 20 до 40 т/га, а окупаемость минеральных удобрений – 5,2 кг на 1 кг

NPK при дозах внесения 250–300 кг д. в. [13]. В современных оценках цена балла пашни возросла до 50 кг зерна на 1 балл, окупаемость органических удобрений при дозах их внесения 30 т/га увеличилась до 25 кг зерна на 1 т, а минеральных удобрений при дозах внесения 200–300 кг д. в. – до 6,2 кг на 1 кг NPK [16].

На основе уравнения, полученного для осредненных данных, была оценена роль факторов в изменчивости урожайности по административным районам. Результаты в виде картограмм, построенных в соответствии с описанным выше подходом со шкалами из трех градаций, представлены на рис. 1.

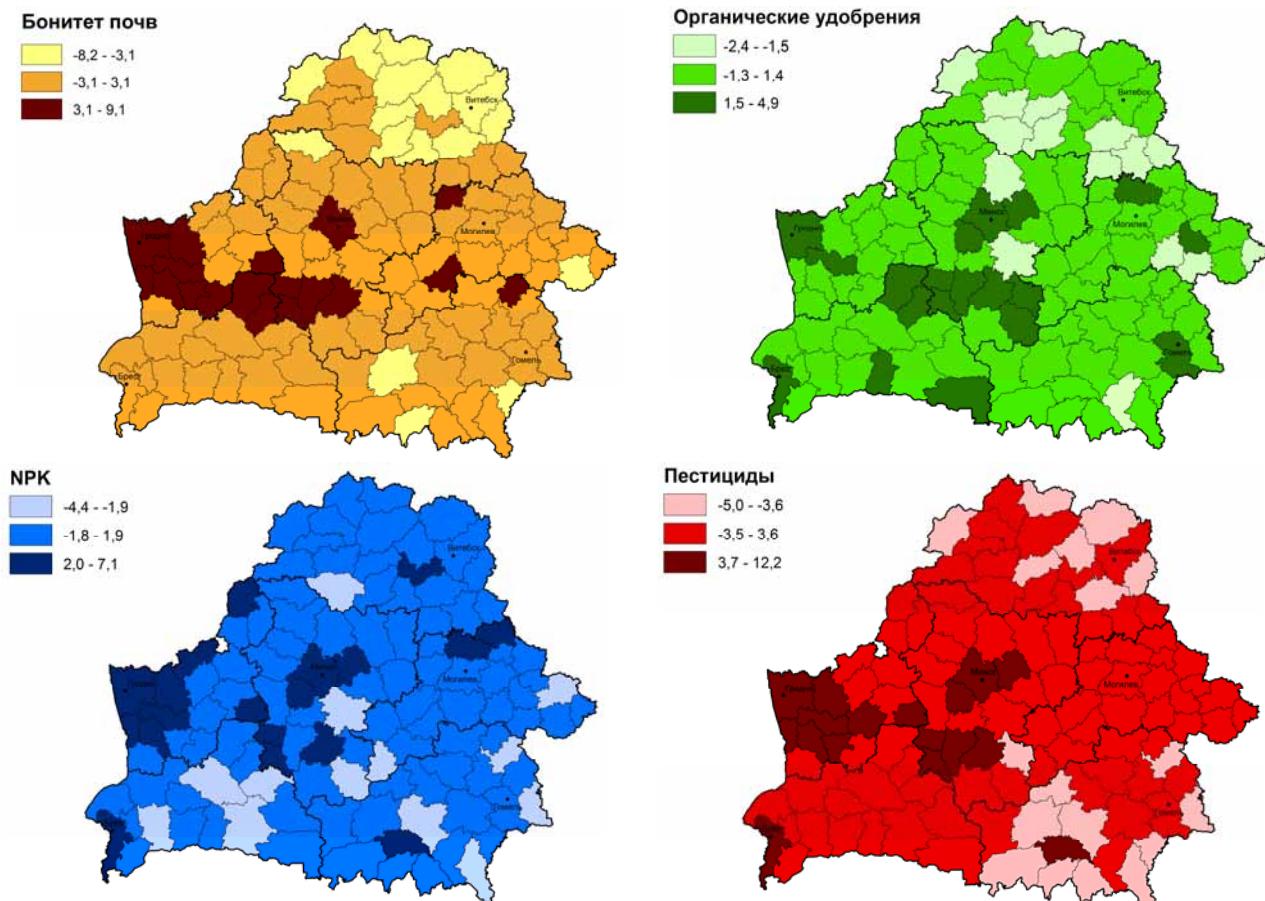


Рис. 1. Роль факторов в изменчивости урожайности зерновых и зернобобовых культур по административным районам Беларусь за 2011–2014 гг., ц/га

Дополнительную информацию о факторах урожайности зерновых культур и их территориальном распространении дают ранги факторов для десяти передовых и десяти отстающих по величине урожайности административных районов Беларусь (табл. 4). Показательным является перечень районов, где среди десяти районов с наиболее высокими уровнями урожайности шесть представляют Гродненскую область, а среди десяти районов с наиболее низкими – девять (!) относятся к Витебской области. Ранги факторов показывают, что важнейшими причинами высокой урожайности являются максимальные уровни бонитета почв, применения минеральных удобрений, прежде всего азотных, и пестицидов. Соответственно, минимальные уровни

применения пестицидов, азотных удобрений и бонитета пашни являются причинами наименее высокой урожайности в районах. Важное значение также играет сбалансированность этих факторов. Так, высокие дозы калийных, а благодаря им и минеральных удобрений в целом, в Сенненском районе при низком плодородии почв и применении пестицидов не способствуют повышению здесь урожайности. В то же время Мозырский район, характеризуясь низким плодородием (93-е место), за счет применения минеральных удобрений (13-е место) и пестицидов (14-е место) оказался на высоком 24-м месте по урожайности среди районов Беларусь.

Таблица 4. Ранги факторов, определяющих уровень урожайности зерновых культур в передовых и отстающих районах Беларуси, 2011–2014 гг.

№ п/п	Район	Бонитет пашни	Органические удобрения	Минеральные удобрения				Пестициды
				все	азотные	фосфорные	калийные	
1	Гродненский	8	4	1	1	3	1	1
2	Несвижский	1	2	5	4	2	12	2
3	Берестовицкий	6	19	2	3	1	6	4
4	Мостовский	18	11	3	2	13	2	7
5	Клецкий	2	14	8	15	11	5	6
6	Минский	14	17	10	8	15	33	5
7	Шкловский	19	5	4	6	6	3	41
8	Кореличский	3	60	19	18	22	28	13
9	Волковысский	5	23	9	9	10	14	10
10	Зельвенский	7	38	35	37	28	59	12
...
109	Шарковщинский	80	102	78	94	109	66	100
110	Лепельский	114	103	71	91	110	74	79
111	Докшицкий	83	114	116	114	111	107	96
112	Городокский	118	43	63	108	112	22	118
113	Сенненский	102	109	21	70	113	4	113
114	Наровлянский	92	30	50	55	114	36	115
115	Ушачский	115	116	54	101	115	39	102
116	Шумилинский	113	77	97	84	116	103	108
117	Браславский	111	110	91	102	70	67	117
118	Россонский	117	117	104	116	85	65	112

Гистограммы распределения урожайности на уровне административных районов в 1990 г. и 2014 г. позволяют оценить пространственные (территориальные) сдвиги в эволюции урожайности сельскохозяйственных культур в Беларусь в постсоветский период (рис. 2). Оценки их параметров показывают, что за четверть века урожайность зерновых и зернобобовых культур в среднем по административным районам Беларусь выросла примерно на треть (с 27,2 до 35,6 ц/га), тогда как стандартное отклонение уве-

личилось более чем в 2,0 раза (с 4,4 до 9,9 ц/га). Кстати, аналогичные изменения произошли и в распределении урожайности картофеля: его средняя урожайность в 1990 г. составляла около 143 ц/га, а в 2014 г. равнялась более 208 ц/га (прирост на 45 %), в то время как стандартное отклонение увеличилось более чем в 2,0 раза (с 37,3 до 77,7 ц/га). Очевидно можно говорить о сходных территориальных сдвигах в урожайности сельскохозяйственных культур в целом.

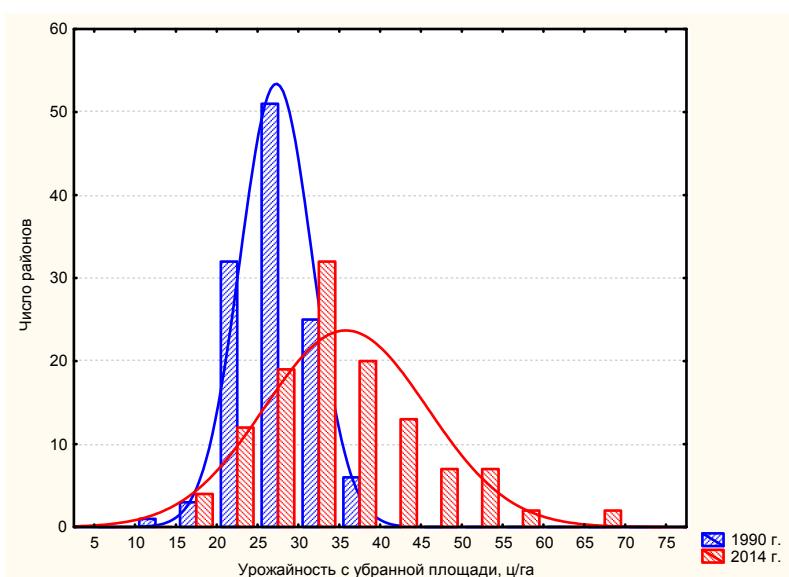


Рис. 2. Распределение урожайности зерновых и зернобобовых культур по административным районам Беларусь в 1990 и 2014 г.

Различия в средних уровнях и изменчивости урожайности отражают принципиальные сдвиги в условиях развития сельскохозяйственных организаций в Республике Беларусь, их возросшую дифференциацию по обеспеченности ключевыми факторами интенсификации в результате все большего отхода от их централизованных государственных поставок, имевших место в рамках плановой советской экономики. В новых условиях преимущество получили сельскохозяйственные организации районов, обладающих наиболее высоким уровнем плодородия почв и агропроизводственным потенциалом (Несвижский, Клецкий, Слуцкий, Копыльский, Кареличский, Волковысский, Зельвенский, Берестовицкий, Кировский, Шкловский, Кормянский и др.), районы вблизи столицы (Дзержинский и Смолевичский), областных центров (Брестский район), а также районы, обладающие предприятиями, которые способны выступать в роли доноров либо инвесторов сельскохозяйственного производства (например, Мозырский район). В этих районах наблюдались опережающие темпы роста урожайности, в то время как районы, характеризующиеся низким плодородием своих земель, не обладающие высоким агропроизводственным потенциалом либо административным статусом, не имеющие местных доноров (инвесторов), отставали в росте урожайности (прежде всего большинство районов Витебской области, Крупский и Мядельский районы Минской области, районы Гомельской и Могилевской областей потерпевшие от аварии на Чернобыльской АЭС).

Имеющиеся в нашем распоряжении статистические данные также дают возможность рассчитать оценки затрат пашни и минеральных удобрений при производстве зерна и представить их распределения по территории Беларуси в виде картограмм (рис. 3). Из них видно, что повышенными затратами пашни (0,45–0,58 га) на производство 1 т зерна характеризуется большинство районов Витебской области, Ганцевичский район Брестской области, Лельчицкий и Наровлянский районы Гомельской области. Минимальные значения затрат (0,16–0,25 га) присущи наиболее продуктивным районам Гродненской, Брестской, Минской и Могилевской областей, известным своими высокими уровнями урожайности. Таким образом, различия районов по затратам пашни достигают 2,8 раза. Оценки затрат пашни (с поправкой на индекс бонитета) снижают эти различия до 2,0 раз и несколько изменяют их географию.

Средняя по районам величина затрат пашни составляет 0,35 га, что несколько меньше при водимой величины этих затрат для Беларуси (0,40 га), но гораздо выше затрат в таких западноевропейских странах, как Бельгия, Великобритания, Германия или Франция и составляет 0,14–0,15 га [15].

Повышенными затратами минеральных удобрений на уровне 115–159 кг NPK характеризуется подавляющее большинство районов Витебской области, Краснопольский и Славгородский районы Могилевской области, а также Лельчицкий и Наровлянский районы Гомельской области. Минимальные затраты (58–72 кг NPK) присущи: Гродненскому, Берестовицкому, Мостовскому, Зельвинскому и Кореличскому районам Гродненской области; Несвижскому, Клецкому, Копыльскому и столичному районам Минской области; Березовскому, Каменецкому и Ляховичскому районам Брестской области; Клическому, Кировскому, Круглянскому и Мстиславскому районам Могилевской области. Таким образом, различия по затратам минеральных удобрений между районами составляют 2,0–2,2 раза. Среди видов наименьшие различия относятся к азотным удобрениям (1,9–2,0 раза), у фосфорных они возрастают до 2,2–2,3, а у калийных удобрений достигают 2,4–2,6 раза. Средний уровень затрат минеральных удобрений для районов по нашим расчетам составляет 95 кг NPK, что существенно выше приведенных величин 50–65 кг в Беларуси и гораздо больше значений для упомянутых выше западноевропейских стран (от 36 до 47 кг) [15].

Вместе с тем оценки показывают, что по уровню затрат пашни и минеральных удобрений сельскохозяйственные организации передовых административных районов Беларуси приближаются к высоким показателям западноевропейских стран.

Среди затрат различных видов минеральных туков особого комментария заслуживают низкие затраты азотных удобрений, наблюдающиеся наряду с передовыми по урожайности районами Гродненщины и Минщины, также в районах с большой долей в пашне осущененных торфяников. Наиболее ярким примером этому служат Ганцевичский и Любанский районы. Объяснением являются органогенный состав и высокие запасы азота торфяных почв, что определяет при их сельскохозяйственном использовании ориентацию преимущественно на мобилизацию природного потенциала [11].

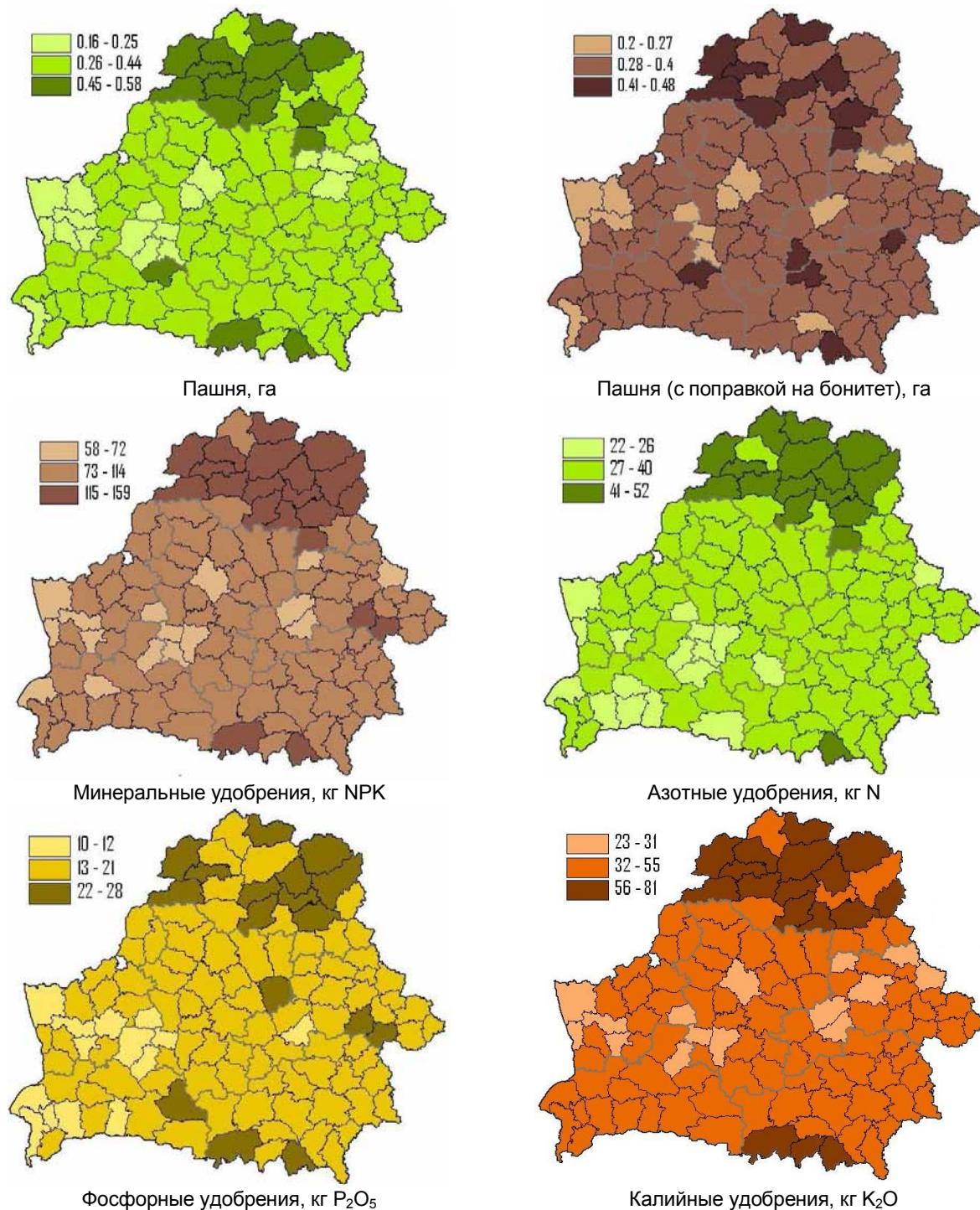


Рис. 3. Затраты ресурсов на производство 1 т зерна в сельскохозяйственных организациях по административным районам Беларусь, 2011–2014 гг.

В целом же интенсификация в растениеводстве Беларусь сохраняет преимущественно химико-техногенный характер с присущими ей высокими затратами ресурсов и нагрузками на окружающую среду. Вопросы экологической интенсификации, предполагающие рост урожайности при снижении затрат и сохранении качества среды, в сельскохозяйственных организациях Беларуси пока не нашли практического воплощения [14]. Современной парадигмой растениеводства

водства и землепользования в целом является адаптивная интенсификация [2]. Она является альтернативой традиционным методам интенсификации, носит компромиссный характер, избегает крайностей органического земледелия, допуская применение техногенных факторов интенсификации в экологически допустимых и экономически целесообразных пределах.

Заключение. Выполненный анализ показывает, что величина урожайности зерновых и

зернобобовых культур в сельскохозяйственных организациях Беларуси на уровне административных районов может быть в современных условиях статистически надежно описана уравнением множественной линейной регрессии, где независимыми переменными являются их основные лимитирующие факторы: бонитет пахотных почв, применение пестицидов на 1 га всей посевной площади, а также внесение минеральных и органических удобрений на 1 га посевов этих культур.

Адекватность модельных оценок факторов урожайности по статистическим данным подтверждается их близостью нормативам цены бонитета пашни и окупаемости минеральных и органических удобрений, разработанным на основании результатов полевых опытов. Представленные модели позволяют оценить роль пестицидов – важнейшего фактора, лимитирующего урожайность в Беларуси в современных условиях. При этом такие оценки могут быть уточнены за счет использования более релевантной для рассматриваемых культур информации по данному фактору, которая была нам недоступна.

В содержательном плане выполненный статистический анализ показал рост средней урожайности зерновых и зернобобовых культур в современный период примерно на треть при одновременном более чем двукратном увеличении ее изменчивости между районами. Эти тенденции отражают принципиальные изменения в условиях развития сельскохозяйственных организаций, их возросшую дифференциацию по обеспеченности ключевыми факторами интенсификации в новых социально-экономических условиях.

Повышенным ростом урожайности характеризовались сельскохозяйственные организации районов, чей производственный потенциал базировался на высоком плодородии почв и обеспечивался за счет повышенных доз минеральных, прежде всего азотных, удобрений, а также интенсивного применения пестицидов. В отдельных районах с невысоким уровнем плодородия рост урожайности на основе указанных агротехногенных факторов был продиктован их максимальной населенностью и высоким административным статусом либо обеспечивался особыми возможностями для поддержки сельского хозяйства. Основными причинами пониженного роста урожайности является низкое плодородие почв и необеспеченность сельскохозяйственных организаций факторами интенсификации зернопроизводства.

По среднему уровню затрат пашни и минеральных удобрений на производство зерна Беларусь заметно превосходит западноевропейские страны за счет значительно более низкого уровня урожайности сельскохозяйственных культур. При этом территориальное распределение оценок в основном зеркально отражает распределение урожайности: минимальными величинами характеризуются наиболее продуктивные районы Гродненщины, Минщины и Могилевщины, а максимальными – наименее продуктивные районы Витебщины и Гомельщины. Нарушение этой закономерности для затрат азотных удобрений в ряде районов Брестской и Минской области с пониженной продуктивностью обусловлено высокой долей в их пашне осущеных торфяных почв, где пониженные уровни урожайности сопряжены с минимальными дозами внесения этих удобрений.

Литература

1. Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 гг. – Минск, 2016.
2. Жученко, А. А. Ресурсный потенциал производства зерна в России (теория и практика) / А. А. Жученко. – М., 2004.
3. Кадыров, М. А. Эффективное растениеводство как следствие оптимальной среды хозяйствования / М. А. Кадыров. – Минск, 2012.
4. Клебанович, Н. В. ТERRITORIALНЫЕ особенности эффективности сельскохозяйственного производства по административным районам Беларуси / Н. В. Клебанович, С. Н. Прокопович // Географические науки в обеспечении стратегии устойчивого развития в условиях глобализации. – Минск, 2012.
5. Клочков, А. Урожайность зерновых. Где скрыты резервы? / А. Клочков, С. Гурко // Белорусское сельское хозяйство. – 2013. – № 11 (139). – С. 22–36.
6. Коляда, В. В. Биоклиматический потенциал Беларуси в сравнении со странами СНГ и ЕС / В. В. Коляда // Природопользование. – 2013. – Вып. 24. – С. 17–26.
7. Коляда, В. В. Агроклиматическая оценка продуктивности сельскохозяйственных культур в Беларуси / В. В. Коляда // Природопользование. – 2014. – Вып. 25. – С. 53–60.
8. Константинов, С. А. Теория эффективности сельского хозяйства / С. А. Константинов. – Минск, 2013.
9. Кукреш, Л. В. Зарубежная практика в сельскохозяйственном производстве республики / Л. В. Кукреш // Весці Нац. акад. навук Беларус. Сер. аграрн. навук. – 2010. – № 3. – С. 36–42.
10. Магнус, Я. Р. Эконометрика. Начальный курс / Я. Р. Магнус, П. К. Катышев, А. А. Персецкий. – М., 2004.
11. Мееровский, А. С. Сельскохозяйственное использование и сохранение мелиорированных торфяных почв / А. С. Мееровский, В. П. Трибис // Почвенно-земельные ресурсы: оценка, устойчивое использование, геоинформационное обеспечение : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2012. – С. 15–20.

12. Мороз, Г. Плодородие сельскохозяйственных земель и его влияние на эффективность производства сельскохозяйственной продукции / Г. Мороз // Земля Беларуси. – 2015. – № 1. – С. 27–33.
13. Оценка плодородия почв Белоруссии / под ред. Н. И. Смеяна. – Минск, 1989.
14. Переход от традиционного к биоорганическому земледелию в Республике Беларусь : методические рекомендации / К. И. Довбан [и др.]. – Минск, 2015.
15. Скакун, А. С. Приоритетные направления по повышению эффективности и конкурентоспособности агропромышленного комплекса / А. С. Скакун // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграрн. навук. – 2013. – № 1. – С. 23–31.
16. Справочник агрохимика / под ред. В. В. Лапы. – Минск, 2007.
17. Халафян, А. А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных / А. А. Халафян. – М., 2007.

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 10.11.2016 г.

V. V. Kolyada

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ УРОЖАЙНОСТИ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗЕРНОПРОИЗВОДСТВА ПО АДМИНИСТРАТИВНЫМ РАЙОНАМ БЕЛАРУСИ

На основе статистических данных для сельскохозяйственных организаций Беларуси на уровне административных районов методом множественной линейной регрессии показана зависимость урожайности зерновых и зернобобовых культур от лимитирующих факторов (бонитет почв, органические и минеральные удобрения, пестициды) и оценена их роль в изменчивости уровня урожайности. Методом картограмм показано территориальное распределение оценок лимитирующих факторов урожайности, а также затрат пашни и минеральных удобрений на производство зерна в Беларуси на уровне административных районов.

Высокими уровнями урожайности в современной Беларуси характеризуются сельскохозяйственные организации административных районов, которые отличаются наиболее плодородными почвами, а также повышенными дозами внесения минеральных удобрений, прежде всего азотных, и пестицидов. Отсутствие плодородных почв в ряде районов компенсируется высокими уровнями применения средств химизации. Основными причинами низкой урожайности в сельскохозяйственных организациях административных районов являются невысокое плодородие почв и пониженные уровни применения минеральных удобрений и пестицидов.

Территориальное распределение оценок затрат пашни и минеральных удобрений на производство зерна в основном зеркально отражают распределение величин урожайности, где минимальными величинами характеризуются наиболее продуктивные районы Гродненской, Минской и Могилевской областей, а максимальными – наименее продуктивные районы Витебской и Гомельской областей.

V. V. Kalyada

THE ANALYSIS OF PRODUCTIVITY FACTOR IN THE ESTIMATION OF THE EFFECTIVENESS OF GRAIN PRODUCTION BI ADMINISTRATIVE REGIONS OF BELARUS

The dependence of grain yield and leguminous crops from the limiting factors (bonitet of soils, organic and mineral fertilizers, pesticides) is shown on the basis of statistical data for agricultural organizations of Belarus at the level of administrative districts by the multiple linear regression method and their role in the variability of productivity levels is evaluated. The method of cartograms shows the spatial distribution of the limiting factors of yield assessments, as well as the cost of arable land and fertilizers on grain production in Belarus at the level of administrative regions.

Agricultural Organizations of administrative areas that differ by the most fertile soils, as well as higher doses of mineral fertilizers, especially nitrogen, and pesticides are characterized by High levels of productivity in modern Belarus. The lack of fertile soils in some regions is compensated by high levels of application of chemicals. The main causes of low productivity in the agricultural organizations of administrative regions are low soil fertility and reduced levels of application of mineral fertilizers and pesticides.

The territorial distribution of arable land cost assessments and mineral fertilizers on the production of grain mainly mirror the distribution of the variables of yields, where minimal values are characterized by the most productive areas of Grodno, Minsk and Mogilev region, and the maximum - the least productive areas of Vitebsk and Gomel region.

М. И. Струк, С. Г. Живнач

МЕТОДИКА ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ВНЕШНЕГО ПРИРОДНОГО КАРКАСА ГОРОДА

Представлена принципиальная схема организации природного каркаса города и положение в ней пригородных комплексов пригородной территории. Приведено содержание и этапы изучения эколого-хозяйственной неоднородности последней для его формирования с опорой на географические критерии ее дифференциации: ландшафтный, бассейновый, хозяйственного использования и секторально-поясного распределения лесов.

Пригородная территория характеризуется наиболее тесными экологическими связями с городом. От ее состояния зависят качество городской среды, а также экологическое состояние объектов, которые располагаются в пределах данной территории, но направлены на удовлетворение потребностей города – водозаборов и мест отдыха и оздоровления городских жителей.

Особая экологическая значимость прилегающей к городу территории для его успешного функционирования нашла свое отражение в нормативной градостроительной документации. В ней предусматривается, в частности, сохранение пригородных лесов путем создания вокруг городов зеленых зон [9].

Указанная мера обеспечивает позитивный экологический эффект, но она нуждается в совершенствовании, поскольку интенсивность природопользования на пригородной территории со временем усиливается. Наиболее активно это происходит на стадии субурбанизации, когда на данную территорию перемещается часть населения города, для которого строится жилье и создаются места приложения труда. Именно на такой стадии находится в настоящее время развитие урбанизации в Беларуси [14]. Ее признаками помимо роста площади застройки и численности населения прилегающей к городу территории служит также принятое в 2014 г. правительство решение о создании городов-спутников.

Перспективным направлением оптимизации действующего механизма обеспечения экологической стабильности пригородной территории, опирающегося на концепцию зеленой зоны, выступает организация на базе расположенных здесь природных комплексов природного каркаса. Необходимость его формирования предписывается в том числе нормативными градостроительными документами Беларуси, в частности, «ТКП 45-3.01-116-2008 Градостроительство. Населенные пункты. Нормы планировки и застройки». В данном документе определены также общие требования к организации такого каркаса, которые предусматривают создание единой системы открытых и озелененных пространств города и его пригородной зоны.

Проблема оптимизации пространственной организации пригородных природных комплексов находила отражение в проводившихся ранее исследованиях, которые затрагивали разнообразные вопросы, относящиеся, главным образом, к пригородной территории Минска. Они были связаны, в частности, с обоснованием принципиальной модели их организации [13], обоснованием экологических границ города [15], созданием экосети пригородного района [18], геэкологическим районированием пригородной территории [17], оценкой химического загрязнения пригородных водоемов [16] и др.

Приведенные работы создают необходимый научный задел для исследования по разработке методики геоэкологического обоснования организации природного каркаса пригородной территории. В ходе его выполнения последовательно решались две задачи. Первая из них связана с разработкой принципиальной схемы организации внешнего природного каркаса города, вторая – с обоснованием эколого-географических критериев дифференциации территории, определяющих подобного рода организацию.

Принципиальная схема организации внешнего природного каркаса города. Для организации внешнего природного каркаса города необходимо, прежде всего, разработать его принципиальную модель. С этой целью рассмотрена специфика природного каркаса как формы организации природных комплексов территории, определен набор функций, которые он должен выполнять применительно к городу, и предложена вытекающая из них принципиальная модель его организации.

Природный каркас как форма организации природных комплексов территории. Внешний природный каркас города следует рассматривать как частный случай природного каркаса территории вообще. Соответственно, для выявления специфики его организации необходимо, прежде всего, определить, что представляет собой природный каркас как форма организации природных комплексов территории и какие общие требования предъявляются к его организации.

В справочных литературных источниках *природный каркас* определяется как ранжированная по степени экологического значения система переходящих друг в друга участков природы, неразрывная взаимосвязь которых создает предпосылки для сохранения экологического равновесия, способного противостоять антропогенным воздействиям [11]. Из данного определения следуют два требования, которые должны быть соблюдены для отнесения природных комплексов территории к природному каркасу. Одно из них предполагает ранжирование этих природных комплексов по экологической значимости, второе – наличие между ними взаимосвязи.

Целью создания природного каркаса, согласно приведенному определению, является сохранение экологического равновесия, способного противостоять антропогенным воздействиям. Под экологическим равновесием в районной планировке понимается такое динамическое состояние природной среды района, при котором обеспечиваются саморегуляция и воспроизведение основных ее компонентов – атмосферного воздуха, водных ресурсов, почвенного покрова, растительности, животного мира [8].

Задачу сохранения экологического равновесия необходимо решать на различных пространственных уровнях: национальном, региональном, местном, локальном. Каждому из этих уровней, очевидно, должен соответствовать свой природный каркас.

В территориальном планировании Беларусь на национальном уровне принят подход к сохранению экологического равновесия, основанный на идее «поляризованной биосфера», предусматривающей пространственное противопоставление урбанизированных и природных территорий [12]. Так, в Государственной схеме комплексной территориальной организации страны выделяются два основных пространственно разделенных планировочных элемента: национальная система расселения и национальная экологическая сеть [2].

Первый из указанных элементов образуют опорные населенные пункты, связанные в единое целое транспортными коммуникациями, социально-экономическими и культурными связями. Второй – природно-территориальные комплексы со специальными режимами природопользования, обеспечивающими естественные процессы движения живых организмов, энергии, вещества, играющие важную роль в поддержании экологического равновесия и обеспечении устойчивого развития территорий.

Национальная экологическая сеть призвана обеспечить сохранение экологического равновесия и в первую очередь биологического и ландшафтного разнообразия на уровне страны в целом. Образующие ее природные ком-

плексы имеют взаимные вещественно-энергетические связи с элементами национальной системы расселения, осуществляемые преимущественно воздушными и водными потоками. Благодаря этим связям они оказывают стабилизирующее влияние и на окружающую среду городов.

Вместе с тем благоприятное состояние городской среды не может быть обеспечено только за счет отмеченного стабилизирующего влияния на нее удаленных от городов природных комплексов, входящих в состав национальной экологической сети. Данную функцию должны выполнять в первую очередь природные комплексы собственно городской и пригородной территории. Для того чтобы такое выполнение было максимально эффективным, их следует определенным образом организовать, т. е. сформировать природный каркас.

В отличие от национальной экологической сети, которая создается на территориях с низким уровнем хозяйственного освоения на базе сохранившихся в естественном состоянии крупных природных комплексов, природный каркас города формируется на территориях с высокой степенью антропогенного преобразования.

Функции природного каркаса города. Природный каркаса города, как и любой иной территории, обязательно должен выполнять функцию сохранения экологического равновесия. Однако не следует ограничивать его роль одной лишь этой функцией.

Поскольку город является местом наивысшей концентрации населения, то расположенные в его пределах и на прилегающей к нему территории природные комплексы, имеют исключительно важное значение для отдыха и оздоровления городских жителей. Отсюда следует рекреационно-оздоровительная функция формируемого на их основе природного каркаса. Кроме этого его элементы можно рассматривать также, как своего рода барьер на пути городской застройки, что обуславливает придание данному каркасу функции ее регулирования.

С учетом указанных функций, природный каркас города призван обеспечить экологически благоприятные условия проживания и отдыха его жителей, минимизировать загрязняющее влияние города на прилегающие территории, создать предпосылки оптимального размещения городской застройки, предотвратить нарушение биологического и ландшафтного разнообразия в процессе городского развития.

В состав рассматриваемого каркаса должны входить элементы природного и культурного ландшафтов различного типа и размерности. К ним относятся, в частности, лесные массивы, лесопарки, парки, луговые, болотные, водные экосистемы, а также зеленые насаждения и

участки растительности вдоль дорог, в санитарно-защитных зонах предприятий, на придомовых пространствах и др. [5].

Приведенные ландшафтные элементы неравнозначны в экологическом и рекреационном отношении. Наиболее ценными из них являются в первом случае леса, во втором – леса, лесопарки и парки в сочетании с водоемами и лугами.

Экологическая ценность лесов, в свою очередь, определяется рядом факторов. К их числу относятся, во-первых, площадь лесных массивов, во-вторых, их свойства, в-третьих, размещение.

По отношению к площади лесных массивов имеет место прямая зависимость между ее величиной и экологической (средоформирующей) ценностью леса. Особенно высокой ценностью характеризуются крупные по площади лесные массивы.

От свойств леса зависят его способности к оздоровлению окружающей среды – продуцированию кислорода, выделению фитонцидов, асимиляции загрязняющих веществ. У лесов различного типа, возраста, бонитета такие способности неодинаковы.

Зависимость экологической ценности лесов от их размещения определяется, прежде всего, удаленностью лесов от мест проживания населения и источников загрязнения, а также их природно-ландшафтным положением. Подобного рода ценность будет более высокой у лесов, характеризующихся следующими условиями размещения:

- находящихся в самом городе и в непосредственной близости от него; в этом случае оздоровительное влияние лесов на городскую среду проявится в максимальной степени;

- окружающих источники выбросов загрязняющих веществ и находящихся на путях их миграции; такие леса, благодаря своим асимилирующим способностям, минимизируют распространение этих веществ;

- занимающих уязвимые к почвенной эрозии ландшафты и примыкающих к водным объектам; данные леса в силу присущих им защитных свойств снижают риски развития эрозионных процессов и загрязнения вод.

Организационная структура природного каркаса города. Поскольку природный каркас города рассматривается как частный случай природного каркаса вообще, но призван выполнять специфические функции, то и организация его, очевидно, должна, во-первых, соответствовать общей модели природного каркаса, во-вторых, отражать присущую именно каркасу города функциональную специфику.

В составе природного каркаса территории выделяются четыре основных элемента: узловые

структуры (ядра), транспортные (экологические) коридоры, буферные зоны и территории экологической реставрации [3]. Данная организационная модель получила практическую реализацию, в частности, в территориальном планировании Беларуси. Она положена в основу пространственной организации национальной экологической сети [8].

Ядра природного каркаса – это территории, выполняющие преимущественно средоформирующие функции, непосредственно обеспечивающие поддержание экологического баланса, сохранения биоразнообразия и оказывающие влияние на значительные площади прилегающих территорий. К ним относятся крупные малонарушенные лесные массивы, болотные системы, верховья основных рек, ареалы интенсивного подземного стока, участки, обладающие повышенным биологическим и ландшафтным разнообразием и др.

Экологические коридоры – это территории, обеспечивающие вещественно-энергетический обмен между ядрами природного каркаса. Таковыми являются долины рек, миграционные пути животных и др. Экологические коридоры могут быть непрерывными или прерывистыми. Однако даже в случае нарушения их территориальной целостности, например, транспортными коммуникациями, они должны сохранять экологические связи.

Буферные зоны – это территории, окружающие ядра и коридоры природного каркаса и препятствующие распространению на них негативного антропогенного влияния.

Территории экологической реставрации – это земли, на которых должны восстанавливаться природные экосистемы.

Приведенные критерии выделения экологических ядер и коридоров применимы и по отношению к природно-экологическому каркасу города. Вместе с тем, принимая во внимание его направленность на обеспечение именно городских экологических и рекреационных интересов, они нуждаются в уточнении.

Подобного рода уточнения касаются экологических ядер и коридоров. В частности, к ядрам природно-экологического каркаса города следует относить не только малонарушенные, но и любые иные крупные лесные массивы, которые оказывают существенное стабилизирующее влияние на городскую среду.

Большие по площади леса, расположенные в городе и на прилегающей к нему территории, могут иметь искусственное происхождение (созданы путем лесопосадок), отличаться высокой степенью антропогенного преобразования (например, для рекреационных нужд) и, как следствие этого, быть малоценными для сохранения биологического и ландшафтного разнооб-

разия в отличие от их естественных аналогов. Однако для городских и пригородных лесов более значимыми являются функции: оздоровления городской среды; водоохранная; отдыха городского населения по сравнению с сохранением биологического и ландшафтного разнообразия.

Отмеченное соотношение различных экологических функций природного каркаса города отражает его принципиальное отличие от национальной экологической сети. Для последней приоритетное значение имеет именно сохранение биологического и ландшафтного разнообразия.

Применительно к экологическим коридорам, для природного каркаса города, наряду с таковыми, обеспечивающими взаимосвязи между его ядрами, исключительно важным является также формирование коридоров особого рода, которые объединяют природные комплексы города и пригородной территории. Они выступают в форме «зеленых клиньев» [1].

Экологические ядра, связанные между собой коридорами с возможным выделением примыкающих к ним буферных зон, образуют основу природного каркаса города. Вместе с тем организация городских и пригородных природных комплексов не должна ограничиваться только этими основными элементами.

На состояние городской среды позитивное экологическое влияние оказывают любые природные комплексы, расположенные в его пределах и на прилегающей к нему территории, даже если они не объединены в единую пространственную сеть и являются территориально изолированными от ядер и коридоров природного каркаса. И хотя между ними отсутствует пространственная взаимосвязь, экологические связи (обеспечивающие, например, оздоровление атмосферного воздуха, предотвращение эрозии почв, загрязнения водоемов) сохраняются. Соответственно, эти участки следует рассматривать как обязательное дополнение к составным частям природного каркаса города.

Поскольку в состав природного каркаса города входят природные комплексы не только его собственной, но и прилегающей к нему территории, то он разделяется на две части: собственно городскую и пригородную. Последняя и выступит в качестве внешнего природного каркаса города.

С учетом приведенной функциональной и организационной специфики природного каркаса города можно сформулировать следующее его определение. *Природный каркас города – это ранжированная по степени эколого-рекреационной значимости система взаимосвязанных участков природы, расположенных на собственно городской и пригородной территории, которая обеспечивает экологически благоприятные условия проживания, отдыха и оздоровления городского населения.*

Эколого-географические критерии дифференциации пригородной территории для формирования ее природного каркаса. Внешний природный каркас города создается на пригородной территории, которая является внутренне неоднородной как по своим природно-экологическим свойствам, так и хозяйственному использованию. Подобного рода неоднородность, очевидно, должна учитываться при организации данного каркаса. Для этого необходимо, прежде всего, выбрать совокупность отражающих ее критериев.

Осуществляя указанный выбор, следует принимать во внимание специфику природного каркаса пригородной территории. Заключается она в том, что он направлен на обеспечение экологических интересов не только самой этой территории, но и города. Исходя из такой направленности, необходимо использовать как общие, так и специальные, отражающие приведенную специфику критерии ее дифференциации. К первым из них отнесены критерии, отражающие внутренние различия рассматриваемой территории по природно-экологическим свойствам и природопользованию, – ландшафтный, бассейновый, хозяйственного использования, а ко вторым – показывающие ее влияние на окружающую среду города (критерий пространственного распределения лесистости).

Ландшафтный критерий. Ключевое значение для отражения природной организации территории, ее экологических свойств и предпосылок хозяйственного освоения имеют две географические модели ее дифференциации – природно-ландшафтная и бассейновая. Их совместное использование обеспечивает целостное представление об этих характеристиках.

Природный ландшафт выступает как генетически и морфологически однородная единица дифференциации территории, которая комплексно отражает присущие ей свойства и обладает сходными условиями природопользования, а также реакцией на внешние воздействия. Именно природный ландшафт обычно определяется в качестве основной пространственной единицы геоэкологических исследований [4, 7, 10].

Различные типы ландшафтов в разной степени пригодны для хозяйственного использования. Те из них, которые обладают более высоким почвенным плодородием, а также удобны для механизированной обработки, отличаются повышенным сельскохозяйственным освоением. Другие, характеризующиеся сравнительно низким плодородием почв и сложным рельефом, в большей мере сохраняются в естественном состоянии. Поэтому ландшафтным строением территории будет определяться пространственная организация расположенных в ее пределах при-

родных угодий, на базе которых должен формироваться ее природный каркас.

Изучение ландшафтов пригородной территории для формирования ее природного каркаса предполагает три последовательных этапа: инвентаризационный, оценочный и конструктивный. На первом из них проводится ландшафтное картографирование территории и определяется ее ландшафтная структура.

Затем выполняется оценка ландшафтов, включающая три ее разновидности. Во-первых, это технологическая оценка, предусматривающая определение пригодности ландшафтов к сельскохозяйственному и рекреационному использованию. Во-вторых, это оценка устойчивости ландшафтов к внешним антропогенным воздействиям: механическим, загрязняющим, связанным с изменением водного режима; кроме того, на этом этапе устанавливается также их подверженность опасным природным явлениям, в частности, наводнениям. В-третьих, это оценка хозяйственного освоения ландшафтов и возникающих при этом проблем.

Полученные оценки пригодности ландшафтов к определенному виду использования, их устойчивости, уровня хозяйственного освоения и сопровождающих его проблем служат основанием для перехода к третьему, конструктивному этапу исследования, направленному на разработку оптимизационных мер, включающих формирование природного каркаса. Его территориальную структуру будет определять распределение ландшафтов, мало измененных хозяйственной деятельностью. Отдельное внимание нужно уделить также ландшафтам, которые наиболее уязвимы к деградации. Для них необходимо создание внутренних природных каркасов, способных в сочетании со щадящими технологиями природопользования предотвратить ее развитие.

Бассейновый критерий. На пригородной территории размещаются водоемы, используемые для водоснабжения города и отдыха проживающих в нем жителей. Качество воды и режим функционирования этих водоемов определяются экологическим состоянием их водосборных бассейнов. Отсюда необходимость бассейновой дифференциации пригородной территории и оценки экологического состояния бассейнов. Исходя из функциональной специфики данной территории, которая заключается в удовлетворении потребностей города, при проведении подобной дифференциации следует выделить те бассейны или их части, водные ресурсы которых задействованы для данной цели. Они должны явиться приоритетными для реализации водоохранных

мер, так как от их состояния будет зависеть функционирование такого крупного потребителя, как город.

Проведение указанной бассейновой дифференциации можно проиллюстрировать на примере пригородной территории Минска. Данная территория поделена на четыре района, отражающие как ее бассейновое строение, так и связи находящихся здесь водоемов с городом (рис. 1). Первый из этих районов образует водосборный бассейн Вилейского водохранилища, которое служит водоемом-донором для Минска; второй – бассейны водохранилищ, используемых для массового отдыха городского населения; третий – бассейны рек, подверженных загрязняющему влиянию города (р. Свислочь); четвертый – бассейны рек, не используемых для нужд города и не подверженных его загрязняющему влиянию. Соответственно, при планировании водоохранной деятельности первоочередное внимание нужно уделить двум первым из названных районов.

Составной частью подобного рода деятельности, призванной обеспечить благоприятное экологическое состояние наиболее значимых для города пригородных водоемов, выступает формирование в их бассейнах специальных бассейновых природных каркасов. Основным элементом этих каркасов, очевидно, должны выступить леса, которые обладают особенно значимым водоохранным эффектом. Отсюда следует их повышенная экологическая значимость.

Вместе с тем, как показало изучение химического загрязнения пригородных водохранилищ Минска, высокая степень лесистости их бассейнов не обязательно гарантирует высокое качество вод. Необходимо принимать во внимание размещение лесов, источников и каналов загрязнения, а также свойства самого водоема. Следовательно, для каждого водосборного бассейна необходим индивидуальный подход к планированию природного каркаса, который должен сочетаться с экологически приемлемыми технологиями природопользования в его пределах.

Критерий хозяйственного использования территории. Природный каркас пригородной территории должны формировать находящиеся в ее пределах природные и близкие к таковым угодья – лесные, болотные, луговые, водные. Они располагаются среди других видов угодий, преобразованных человеческой деятельностью, главным образом, сельскохозяйственных, а также селитебных. Для отражения их взаимного размещения нужна дифференциация территории по критерию хозяйственного освоения.

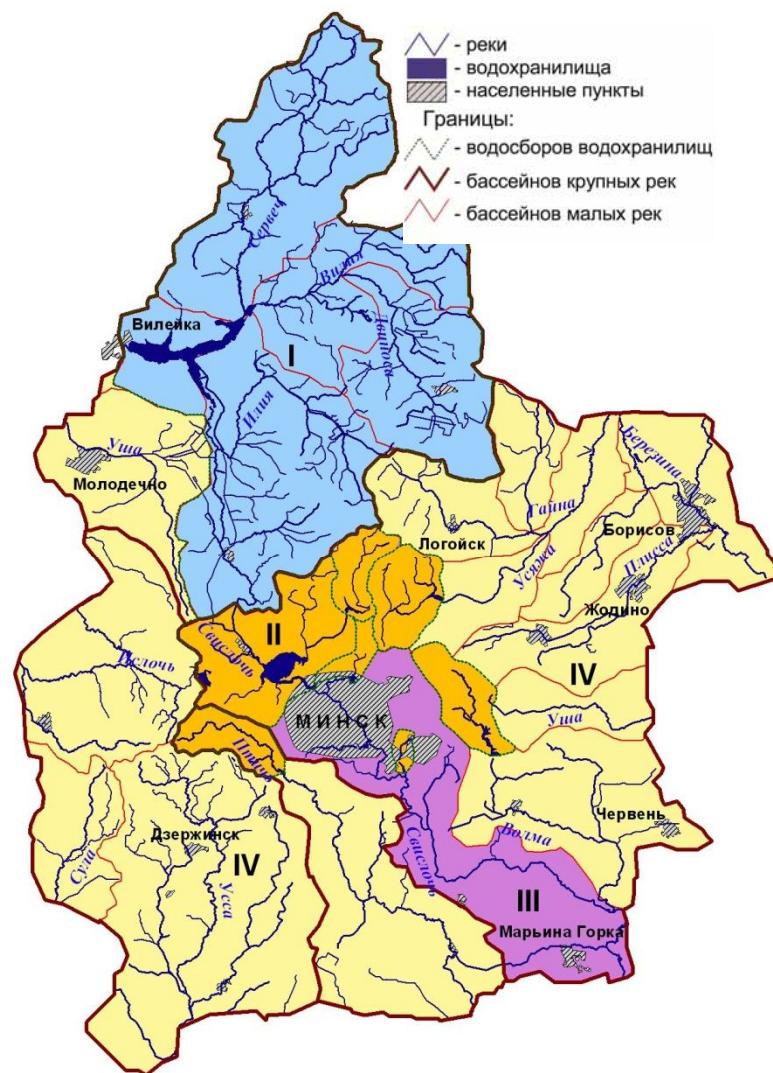


Рис. 1. Бассейновое районирование пригородной территории Минска:
I – бассейн Вилейского водохранилища; II – бассейны водохранилищ, используемых для массового отдыха городского населения; III – бассейны рек, подверженных загрязняющему влиянию города; IV – бассейны рек, не используемых для нужд города и не подверженных его загрязняющему влиянию

При проведении отмеченной дифференциации необходимо учитывать не только распределение на территории различных видов угодий, но и их функциональное назначение, которое оказывает влияние на оценку экологической и хозяйственной значимости этих угодий. Так, наличие у лесного участка статуса особо охраняемой природной территории выступит свидетельством его повышенной ценности для сохранения биологического и ландшафтного разнообразия. Если же этот участок входит в состав зоны отдыха, то он приобретет высокую рекреационную значимость.

К числу значимых для формирования природного каркаса хозяйственных характеристик территории относится также размещение на ней пригородных городских поселений и двух видов объектов. Во-первых, это объекты,

выступающие источниками загрязнения окружающей среды, например, промышленные предприятия, во-вторых, объекты, предъявляющие особые качества к ее состоянию, например, водозаборы. Для обоих из них может понадобиться формирование специальных природных каркасов, предназначенных в первом случае для минимизации распространения загрязнения, а во втором – для защиты от поступления загрязняющих веществ.

В целом дифференциация пригородной территории по критерию ее хозяйственного использования предполагает отображение имеющихся в ее пределах видов угодий, их функционального назначения (природоохранного, рекреационного), городских поселений, а также объектов, загрязняющих окружающую среду, и таковых, нуждающихся в ее особом качестве. Полученная

таким образом схема должна выступить основой для пространственной организации на этой территории природного каркаса.

При выделении основных структурных элементов указанного каркаса – его ядер, нужно исходить из выполняемых им функций – экологической, связанной с оздоровлением городской среды, и рекреационной. В соответствии с отмеченными функциями подобного рода ядра могут быть следующих типов: 1) преимущественно оздоровительного; 2) преимущественно рекреационного; 3) смешанного оздоровительно-рекреационного значения.

Природной основой ядер первого из приведенных типов выступят большие по площади леса, расположенные вблизи города. На пригородной территории Минска к таковым можно отнести, в частности, крупный лесной массив, примыкающий к городу с восточной стороны.

Ядра второго типа будут образованы сочетаниями лесов и водоемов, на базе которых функционируют крупные зоны отдыха городского населения. В окрестностях Минска это водохранилища Вяча, Дубровенское, Волма, Стайки, Птичье с прилегающими к ним лесами.

К ядрам третьего типа на пригородной территории Минска относится ареал, объединяющий каскад водохранилищ: Заславское, Криница, Дрозды с окружающими их лесами, которые примыкают к городу с северо-западной стороны. На базе этих лесов и водоемов создан крупнейший в стране район отдыха и оздоровления городского населения. Вдобавок данные леса, располагаясь вблизи Минска, играют особенно важную роль в стабилизации городской среды.

Вместе с ядрами приведенного типа на рассматриваемой территории размещается также ряд заказников республиканского значения, которые относятся к ядрам местной экологической сети [18]. Их основной функцией выступает сохранение биологического и ландшафтного разнообразия. Очевидно, что в силу своей территориальной близости к городу они способствуют оздоровлению городской среды и используются в рекреационных целях. Поэтому их также следует рассматривать в качестве ядер внешнего природного каркаса.

Особое положение на пригородной территории Минска занимает Вилейское водохранилище с его природным окружением. Оно обеспечивает водными ресурсами пригородные рекреационные водохранилища, построенные на р. Свислочи, а также водохранилище Крылово, из которого осуществляется забор воды для нужд города. На побережье Вилейского водохранилища располагаются объекты отдыха и оздоровления городского населения. Это дает основание для отнесения данного водоема с прилегающими

к нему лесами к ядрам природного каркаса пригородной территории, но иного, нежели все предыдущие ядра, типа – водохозяйственно-рекреационного.

Критерий секторально-поясного распределения лесов. Для оценки размещения лесов на пригородной территории по санитарно-гигиеническому критерию важно учитывать их положение относительно города. В данном случае имеют значение следующие факторы: во-первых, фактор удаления лесов от города, поскольку по мере такого удаления их оздоровительный эффект снижается; во-вторых, фактор распределения лесов по сторонам горизонта, от чего зависит их влияние на состояние воздушных потоков, поступающих в город и выносимых из него. Соответственно, получение искомой оценки предполагает дифференциацию рассматриваемой территории на пояса и сектора и определение их лесистости.

Подобного рода дифференциацию можно проиллюстрировать на примере зеленой зоны г. Минска, охватывающей территорию в радиусе примерно 50 км от внешней границы города. Для ее поясного зонирования вокруг города через каждые 10 км проведены концентрические кольца. Сектора выделены по направлениям сторон горизонта. Всего составлены три схемы: поясная, секторальная и совместная – секторально-поясная (рис. 2, а, б, в). Для каждого из полученных выделов рассчитаны показатели лесистости.

Средняя лесистость всей территории составляет 37 %, что является достаточным для сохранения экологического равновесия. В то же самое время данный показатель довольно значительно меняется по выделенным поясам и секторам.

При рассмотрении лесистости по поясам прослеживается последовательное ее увеличение по мере удаления от города. Так, на расстоянии 0–20 км от Минска показатель лесистости не достигает 30 %, 20–40 км – находится в диапазоне 30–40 % и свыше 40 км – превышает 40 %. Подобное распределение пригородных лесов, когда лесистость близлежащей к городу территории сравнительно невысока, а экологическая роль находящихся здесь лесов наиболее значима, предопределяет особые требования к их сохранению.

При расчетах распределения лесов по секторам наибольшая их доля установлена в северном (51 %), а также северо-западном (42 %) направлениях, наименьшая – в юго-восточном (19 %). Если принять во внимание размещение крупнейших зон пригородного отдыха, которые находятся к северу и северо-западу от города (Минское море), то высокая лесистость отмеченных секторов является благоприятной.

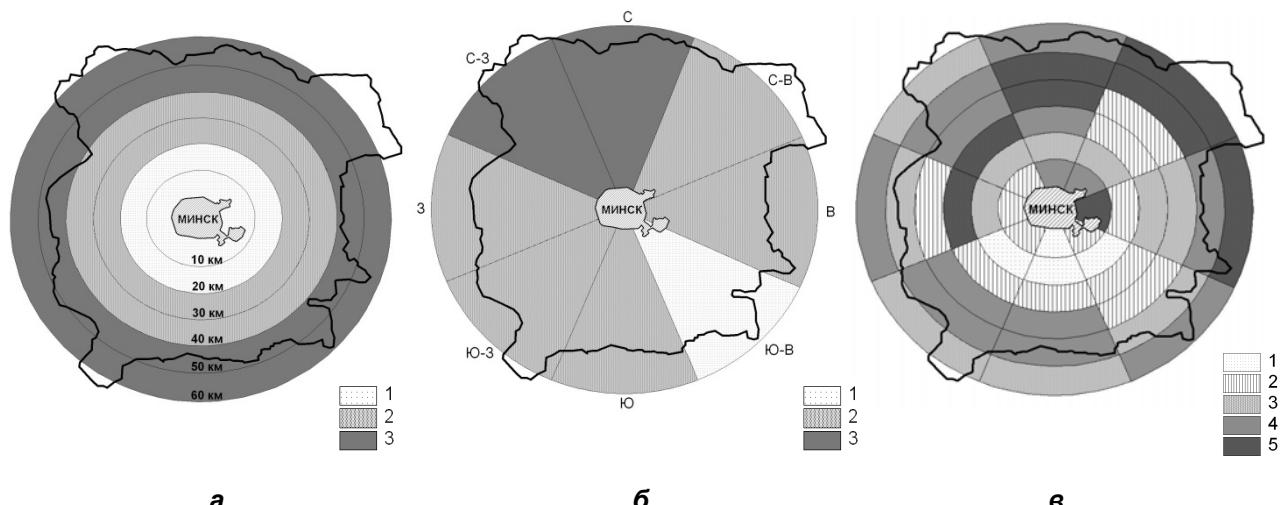


Рис. 2. Распределение лесистости в зеленой зоне Минска:

а – по поясам (лесистость: 1 – менее 30 %; 2 – 30–40 %; 3 – более 40 %); б – по секторам (лесистость: 1 – менее 20 %; 2 – 20–40 %; 3 – более 40 %); в – по сочетанию поясов и секторов (лесистость: 1 – менее 10 %; 2 – 10–30 %; 3 – 30–40 %; 4 – 40–50 %; 5 – более 50 %)

В отношении повторяемости ветров самая большая ее величина отмечается для западной и южной четвертей: западное направление – 17 %, северо-западное – 14, юго-западное – 14; южное – 16 %. По одному из них – северо-западному – имеет место совпадение с высокой лесистостью, по остальным отмечается средний ее уровень. Самая низкая лесистость (19 %) наблюдается в юго-восточном направлении.

Секторально-поясное распределение лесов показывает наличие высокой контрастности в их размещении. Показатели лесистости полученных выделов изменяются от 5 до 64 %. На непосредственно прилегающей к городу территории высокой лесистостью выделяется восточный сектор. Поскольку основное направление ветров в городе западное, то расположенные здесь леса способствуют ассимиляции поступающих от города загрязнений.

Минимальной лесистостью характеризуется прилегающая к городу территория (0–20 км), занятая секторами южного направления. Она образует зону низкой лесистости, не превышающей 15 %. Данной территории, очевидно, должно уделяться первоочередное внимание по сохранению лесов, а также по повышению озеленения.

Выводы. Внешний природный каркас города выступает как составная часть его общего каркаса, которая располагается на пригородной

территории, имеет пространственные связи с природными комплексами города и выполняет экологические и рекреационные функции в его интересах.

Геоэкологическое изучение пригородной территории для формирования отмеченного каркаса должно опираться на учет ее эколого-хозяйственной неоднородности с использованием совокупности географических критериев дифференциации территории: ландшафтного, бассейнового, хозяйственного использования, секторально-поясного распределения лесов. В его проведении выделяются три этапа: инвентаризационный, предполагающий картографирование соответствующих выделов; оценочный, ориентированный на определение их эколого-рекреационной значимости для города и экологического состояния; конструктивный, направленный на обоснование пространственной организации рассматриваемого каркаса.

Структурно внешний природный каркас города должен представлять собой иерархически организованную сеть природных угодий, объединяющую в себе каркасы нижнего уровня, формируемые применительно к ландшафтам, водосборным бассейнам значимых для города водоемов, пригородным городским поселениям, а также отдельным объектам, выступающим источниками воздействий на окружающую среду или нуждающимся в ее особом качестве.

Литература

1. **Вергунов, А. П.** Архитектурно-планировочные принципы формирования природных комплексов Москвы и Московской агломерации / А. П. Вергунов // Природные комплексы в архитектурно-планировочной структуре Москвы и Московской агломерации. – М., 1978. – С. 6–40.
2. **Государственная** схема комплексной территориальной организации Республики Беларусь : утв. Указом Президента Респ. Беларусь 12.01.2007, № 19.
3. **Дьяконов, К. Н.** Экологическое проектирование и экспертиза / К. Н. Дьяконов, А. В. Дончева. – М., 2002.
4. **Исаченко, А. Г.** Ландшафтovedение и физико-географическое районирование / А. Г. Исаченко. – М., 1991.
5. **Колбовский, Е. Ю.** Ландшафтное планирование и формирование сетей охраняемых природных территорий / Е. Ю. Колбовский, В. В. Морозова. – М., Ярославль, 2001.
6. **Комплексная** районная планировка. Государственный комитет по гражданскому строительству и архитектуре при Госстрое СССР. – М., 1980.
7. **Марцинкевич, Г. И.** Ландшафты Беларуси / Г. И. Марцинкевич, Н. К. Клицинова ; под ред. Г. И. Марцинкевич. – Минск, 1989.
8. **Об охране окружающей среды** : Закон Респ. Беларусь от 26 ноября 1992 г. № 1982-XII : с изм. и доп. : текст по состоянию на 30 дек. 2015 г. – Минск, 2015.
9. **Охрана** природы. Земли. Состав и размер зеленых зон городов : ГОСТ 17.5.3.01–78. – Введен 01.01.79. – М.: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1978.
10. **Преображенский, В. С.** Основы ландшафтного анализа / В. С. Преображенский, Т. Д. Александрова, Т. П. Куприянова. – М., 1988.
11. **Реймерс, Н. Ф.** Природопользование : словарь-справочник / Н. Ф. Реймерс. – М., 1990.
12. **Родоман, Б. Б.** Поляризация ландшафта как средство сохранения биосферы и рекреационных ресурсов / Б. Б. Родоман // Ресурсы, среда, расселение. – М., 1974. – С. 150–162.
13. **Струк, М. И.** Региональные особенности оптимизации окружающей среды Беларуси / М. И. Струк. – Минск, 2007.
14. **Струк, М. И.** Экологическая оптимизация территориальной структуры пригородного природопользования / М. И. Струк // Природопользование. – 1996. – Вып. 1. – С. 131–134.
15. **Струк, М. И.** Географические подходы к выделению внешних экологических границ городов / М. И. Струк, С. Г. Живнач // Природопользование. – 2011. – Вып. 19. – С. 96–102.
16. **Струк, М. И.** Геоэкологическая оценка пригородных водохранилищ Минска / М. И. Струк, С. Г. Живнач, Г. М. Бокая // Природопользование. – 2013. – Вып. 23. – С. 48–55.
17. **Струк, М. И.** Методические подходы и результаты геоэкологического районирования пригородной территории Минска / М. И. Струк, С. Г. Живнач // Природопользование. – 2013. – Вып. 23. – С. 115–124.
18. **ТERRITORIALНОЕ** планирование в Республике Беларусь / В. И. Быль [и др.] ; под ред. Г. В. Дудко. – Минск, 2007.

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 03.11.2016 г.

М. И. Струк, С. Г. Живнач

МЕТОДИКА ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ВНЕШНЕГО ПРИРОДНОГО КАРКАСА ГОРОДА

Определено положение внешнего природного каркаса города как составной части его общего каркаса, которая располагается на пригородной территории, имеет пространственные связи с природными комплексами города и выполняет экологические и рекреационные функции в его интересах.

Приведены направления геоэкологического изучения пригородной территории для формирования указанного каркаса, предусматривающие анализ ее экологово-хозяйственной неоднородности с использованием критериев: ландшафтного, бассейнового, хозяйственного использования, сектоциально-поясного распределения лесов. Выделены этапы исследования: инвентаризационный, предполагающий картографирование соответствующих выделов; оценочный, ориентированный на определение их экологово-рекреационной значимости для города и экологического состояния; конструктивный, направленный на обоснование пространственной организации рассматриваемого каркаса.

Представлена специфика структурной организации внешнего природного каркаса как иерархически организованной сети природных угодий, объединяющей в себе каркасы нижнего уровня, формируемые применительно к ландшафтам, водосборным бассейнам значимых для города водоемов, пригородным городским поселениям, а также отдельным объектам, выступающим источниками воздействий на окружающую среду или нуждающимися в ее особом качестве.

M. I. Struk, S. G. Zhivnach

**METHODOLOGY OF ECOGEOGRAPHICAL JUSTIFICATION
OF EXTERNAL NATURAL FRAME OF A CITY**

The position of an external natural framework of a city as part of its general framework, which is located in the suburban area is determined, it has a spatial connections with the city's natural complexes and performs environmental and recreational functions in its interests.

The directions of geoecological study of suitable for formation of this frame territory, providing an analysis of its ecological and economic heterogeneity using the criteria: landscape, basin, economic use, sectorally-lap forest distribution. The stages of study are distinguished: inventory, involving the cartography the relevant sub-compartments; evaluation focused on the definition of their ecological and recreational value for the city and the ecological status; constructive, aimed at the study of the spatial organization of the reporting framework. The specifics of the structural organization of the external natural framework is submitted by a hierarchically organized network of natural areas, combines the frames of the lower level generated in relation to landscapes, drainage basins which are important for the city's reservoirs, suburban urban settlements, as well as individual objects, are the source of impacts on the environment or require its special quality.

А. В. Краковецкий

ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИГОДНЫХ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА РАЗЛИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

Проведена сравнительная оценка экономической эффективности нескольких вариантов комплексного освоения торфяных месторождений с производством определенной номенклатуры конечной продукции. Выделено наиболее рентабельное торфяное месторождение, подходящее для комплексного использования, – «Чертово Болото» (третий вариант комплексного освоения). Выполнена оценка экономико-географического положения указанного месторождения.

Комплексное использование торфяных ресурсов Беларуси в настоящее время предполагает вместе с увеличением объемов добычи торфа как местного топлива создание новых производств для получения разнообразной продукции многоцелевого назначения.

Природные дисперсионные органические материалы, такие как торф, эффективно связывают тяжелые металлы, предотвращая их миграцию в природных объектах (почве, донных отложениях) и накопления в растениеводческой продукции [10].

Благодаря особенностям химического состава и структуре органического вещества торфа, сорбенты на его основе могут использоваться для решения широкого спектра задач практического природопользования: очистка газовых выбросов от токсичных компонентов, сточных вод от ионов тяжелых металлов и нефтепродуктов; рекультивация почвы, загрязненной тяжелыми металлами; ликвидация аварийных разливов нефти и продуктов ее переработки на воде и почве [5, 10]. В настоящее время нидерландская фирма «Норит» осуществляет на основе торфа выпуск около 20 марок активных углей с высокой добавленной стоимостью. Подобное производство планируется освоить и в Беларуси [4].

Одним из важнейших аспектов повышения рентабельности сельского хозяйства, увеличения его продуктивности являются разработка и применение экологически безопасных и биологически активных препаратов гуминовой природы в практике растениеводства, животноводства, ветеринарии, птицеводства и кормопроизводства [6], а также использование торфа при производстве комплексных гранулированных удобрений. Например, в ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси» в последние годы разработаны технологии и организованы производства таких биологически активных гуминовых препаратов для растениеводства, как «Оксидат торфа»,

«Гидрогумат» и «Оксигумат» [10]. Совместно с РУП «Институт защиты растений НАН Беларусь» разработаны препарат «Сфагнин» и защитная паста «Сфагнодублин», не уступающие по качеству зарубежным аналогам [12].

Большой интерес промышленности и сельского хозяйства в конце 1970-х годов к продукции глубокой переработки торфа был реализован в распоряжении Совета Министров БССР от 07.04.1978 г. № 261р «О разработке технико-экономического обоснования строительства опытно-промышленного предприятия по комплексной безотходной переработке торфа». В качестве сырьевой базы были выбраны торфяные месторождения «Славное» Витебской области, «Туршовка–Чертово» Минской области, «Ваньковщина», «Есмоновский Мох» и «Острова Дулебы» Могилевской области. По техническому заданию Института торфа АН БССР, утвержденному академией наук, Государственный проектный институт Гипроторф (г. Москва) разработал вышеуказанное технико-экономическое обоснование (проект 7934, Москва, 1979) [9]. Экономические расчеты в указанной работе проводились на основании рентной концепции.

До недавнего времени работы по этому направлению переработки торфа продолжения не имели. В последнее время Институтом природопользования НАН Беларуси выполняется НИР «Провести научно-исследовательские работы по определению возможности получения в опытно-промышленных масштабах продуктов глубокой переработки торфа из торфяного сырья месторождения «Туршевка–Чертово» с разработкой научно-технического обоснования целесообразности строительства горно-химического комбината по глубокой комплексной переработке торфа» [8]. В соответствии с проектом, месторождение «Туршевка–Чертово» является основной первоначальной сырьевой базой, а месторождение «Славное» – резервной. Таким образом, в последние годы наблюдается повышенный интерес к комплексному

освоению торфяных месторождений промышленного назначения.

В условиях рыночной экономики с ее непостоянством цен, широкой конкуренцией, колебаниями между спросом и предложением, экономическую оценку торфяных месторождений предлагается проводить на основе доходного подхода, который позволяет учитывать будущие ожидания относительно затрат, цен, инвестиций и включает в себя рыночный аспект, т. е. учитывается ставка дисконта, определяемая сложившимися в данный момент рыночными условиями. Указанный подход в достаточной мере раскрыт в трудах Э. Дж. Долана и Д. Линдсея [3], Ф. В. Вельмера [2], С. Н. Бобылева и А. Ш. Ходжаева [1] и широко применяется на практике для оценки стоимости бизнеса как объекта предпринимательской деятельности.

Из недавних литературных источников, посвященных комплексному использованию торфяных ресурсов Беларуси, наибольший интерес представляет публикация «Торфяные месторождения Республики Беларусь, пригодные для комплексного освоения на ближайшую и отдаленную перспективу» [11]. В данной монографии приведен перечень перспективных для комплексного освоения торфяных месторождений Беларуси. Исходя из характеристики исходного сырья месторождений, выделены шесть сгруппированных классов продукции (вариантов использования) этих месторождений при комплексном освоении.

При этом в самой монографии в качестве примера проведена экономическая оценка только одного торфяного месторождения «Славное», при почти двухстах месторождениях, подходящих для комплексного освоения. Таким образом, исходя из сказанного выше, выглядит целесообразным проведение предварительной экономической оценки нескольких вариантов комплексного использования торфяных месторождений с выявлением наиболее перспективных.

Для проведения сравнительной оценки экономической эффективности комплексного использования торфяных ресурсов были отобраны месторождения исходя из списка, приведенного в работе [11] в соответствии со следующими критериями:

- производство как минимум трех нетопливных конечных продуктов;
- оставшиеся запасы торфа не менее 1 млн т.

Указанные критерии были выбраны исходя из того, что:

1) комплексное производство должно ориентироваться в первую очередь на производство продуктов глубокой переработки торфа, которые имеют достаточно высокую прибавочную стоимость;

2) запасы торфа на месторождении должны быть достаточны для отработки комбината в течение 10 лет при добыче торфа до 100 тыс. т в год.

Под нетопливными конечными продуктами комплексного освоения торфа рассматривались следующие: активированные угли, гуминовые препараты, комплексные гранулированные удобрения (КГУ), питательные грунты, сорбенты, торфяной воск. Эти продукты, за исключением торфяного воска, планируется производить на горно-химическом комбинате по глубокой комплексной переработке торфа на базе месторождения «Туршовка–Чертово». Таким образом, по эти продуктам уже проведены маркетинговые исследования, что значительно упрощает их сбыт.

Во времена Советского Союза у завода Горного воска были наложены поставки своей продукции для предприятий оборонного сектора СССР. В современных условиях при организации производства сырого воска выглядит привлекательным возобновление экономических связей с оборонными заводами Российской Федерации.

В качестве топливного конечного продукта был определен торфяной брикет, производимый на блочно-модульном автоматизированном брикетном комплексе на базе ОАО «Торфобрикетный завод Лидский» как наиболее передовой торфяной топливный продукт.

Характеристика торфяных месторождений Беларуси, отвечающих приведенным выше критериям, приведена в табл. 1.

Отобранные месторождения затем были сгруппированы по производимой продукции в четыре варианта освоения (табл. 2). Пространственное распределение месторождений по территории республики приведено на рис. 1.

При экономической оценке комплексного использования торфяных месторождений необходимо производить расчеты всех показателей для каждого отдельно взятого конечного продукта и для всего комплексного производства в целом. Подобные расчеты позволяют достаточно точно определить наиболее рентабельные продукты при комплексном освоении торфяного месторождения. В то же время в реальности комплексное предприятие может производить и относительно низкорентабельные продукты, если указанные товары входят в технологическую цепочку при производстве продуктов с высокой добавочной стоимостью или позволяют осуществлять безотходное (малоотходное) производство. Так как в данном случае нас интересует в первую очередь рентабельность всего комплексного производства, в публикации приведены результаты экономической оценки комплексного освоения, без учета промежуточных расчетов по видам конечной продукции.

Расчет всех экономических показателей целесообразнее проводить в долларовом эквиваленте. Поэтому исходные показатели были переведены в доллары США по курсу Национального Банка [7] на соответствующую актуальную дату формирования базы исходных данных.

Таблица 1. Торфяные месторождения разрабатываемого фонда, подходящие для комплексного освоения по ряду критериев (составлено автором на основе работы [11])

Месторождение	Кадастровый номер	Площадь в промышленных границах, га	Запасы торфа, тыс. т	Планируемая продукция
<i>Брестская область</i>				
Заеловье	113*	1320	1730	Питательные грунты, КГУ, топливо, гуминовые препараты
Выгонощанское	144*	500	2003	То же
<i>Витебская область</i>				
Курьяново	775	466	2346	Питательные грунты, КГУ, топливо, гуминовые препараты, сорбенты, торфяной воск, активированные угли
Большое	479	582	3415	Питательные грунты, КГУ, топливо, гуминовые препараты
Сельцо	655	565	1583	Питательные грунты, КГУ, топливо, гуминовые препараты, сорбенты, торфяной воск, активированные угли
Журавлевское	801	550	1544	Питательные грунты, КГУ, топливо, гуминовые препараты
Седун	176	1000	2100	То же
Славное	1697*	1480	3430	Питательные грунты, КГУ, топливо, гуминовые препараты, сорбенты, торфяной воск, активированные угли
<i>Гомельская область</i>				
Шкава	497	1413	3676	Питательные грунты, КГУ, топливо, гуминовые препараты
Грабово-Михедовичи	881	1464	4287	То же
<i>Гродненская область</i>				
Урочище Каменный Мост	71	500	1698	Питательные грунты, КГУ, топливо, гуминовые препараты
Микулишки	13	329	1835	То же
Чертово болото	98	550	1065	Топливо, гуминовые препараты, сорбенты, торфяной воск, активированные угли
<i>Минская область</i>				
Великое	622	1339	3970	Питательные грунты, КГУ, сорбенты, топливо
Дробовщизна	944	1820	5662	Питательные грунты, КГУ, топливо, гуминовые препараты
Белицкое	815	680	2399	То же
Лошанский торфяной массив	785*	800	4407	– » –
Гайна-Бродня	243	610	2350	– » –
Цна/Ганцевичское	75*	360	1427	– » –
<i>Могилевская область</i>				
Зимник	749	400	1389	Питательные грунты, КГУ, топливо, гуминовые препараты

Таблица 2. Варианты комплексного освоения отобранных месторождений

Вариант освоения	Продукция	Количество месторождений	Область
1	Питательные грунты, КГУ, топливо, гуминовые препараты	15	Все
2	Питательные грунты, КГУ, топливо, гуминовые препараты, сорбенты, торфяной воск, активированные угли	3	Витебская
3	Топливо, гуминовые препараты, сорбенты, торфяной воск, активированные угли	1	Гродненская
4	Питательные грунты, КГУ, сорбенты, топливо	1	Минская

Условные обозначения:

-  Месторождения, подходящие для первого варианта освоения
-  Месторождения, подходящие для второго варианта освоения
-  Месторождение, подходящее для третьего варианта освоения
-  Месторождение, подходящее для четвертого варианта освоения



Рис. 1. Карта-схема торфяных месторождений, пригодных для комплексного использования по ряду критерий

Исходные данные (отпускная цена конечного продукта, удельные капитальные вложения, удельная себестоимость) для проведения экономической оценки были рассчитаны на основе экономической документации, предоставленной руководством ОАО «Туршовка» и «Торфобрикетный завод Лидский», публикации «Торфяные месторождения Республики Беларусь, пригодные для комплексного освоения на ближайшую и отдаленную перспективу» [11] с учетом инфляции доллара за 5 лет (9,96 %) [13] и приведены в табл. 3–5.

Годовые амортизационные отчисления определены в размере 10 % от капитальных вложений. Налог на прибыль определяли исходя из 18 %-ной ставки в соответствии с действующим налоговым кодексом. Учитывая десятилетний срок функционирования инвестиций, ставка дисконта определена на уровне 10 %.

Таблица 3. Отпускная цена 1 т планируемой продукции (в ценах 2015 г.)

Вид продукции	Цена, долл. США/т
КГУ	345,0
Угли активированные	4300,0
Сорбенты	1000,0
Питательные грунты	223,0
Гуминовые препараты	970,0
Торфяной воск сырой	1690,0
Топливные брикеты	53,7

Таблица 4. Распределение капитальных вложений по видам конечной продукции (в ценах 2015 г.)

Вид продукции	Удельные капитальные вложения, долл. США/т
КГУ	368,4
Угли активированные	8897,9
Сорбенты	641,2
Питательные грунты	507,8
Гуминовые препараты	507,2
Торфяной воск сырой	4378,4
Топливные брикеты	87,7

Таблица 5. Себестоимость 1 т производимой продукции без амортизации (в ценах 2015 г.)

Вид продукции	Удельная себестоимость, долл. США/т
КГУ	203,2
Угли активированные	345,6
Сорбенты	385,6
Питательные грунты	176,7
Гуминовые препараты	1928,7
Торфяной воск сырой	453,8
Топливные брикеты	38,1

Объемы общего производства конечных продуктов для вариантов освоения 1, 2 и 4 взяты на уровне 75 тыс. т в год, что позволяет проводить сравнительную характеристику экономической эффективности разных вариантов комплексного использования торфяных ресурсов.

Для варианта освоения 3 объем производства конечных продуктов был взят на уровне немногим более 50 тыс. т в год, при максимальной расчетной добыче 100 тыс. т торфа в год.

Объемы производства разных конечных продуктов для каждого варианта освоения приведены на рис. 2.

Порядок расчета показателей для определения экономической эффективности каждого из вариантов комплексного освоения торфяных месторождений включает определение доходным подходом годовой стоимости товарной продукции (NSR), облагаемой налогом прибыли, налога на прибыль, чистого потока реальных денег (чистой прибыли) (NCF), чистой дисконтированной стоимости потока реальных денег (NPV), индекса рентабельности инвестиций, внутренней нормы прибыли и срока окупаемости капитальных вложений.

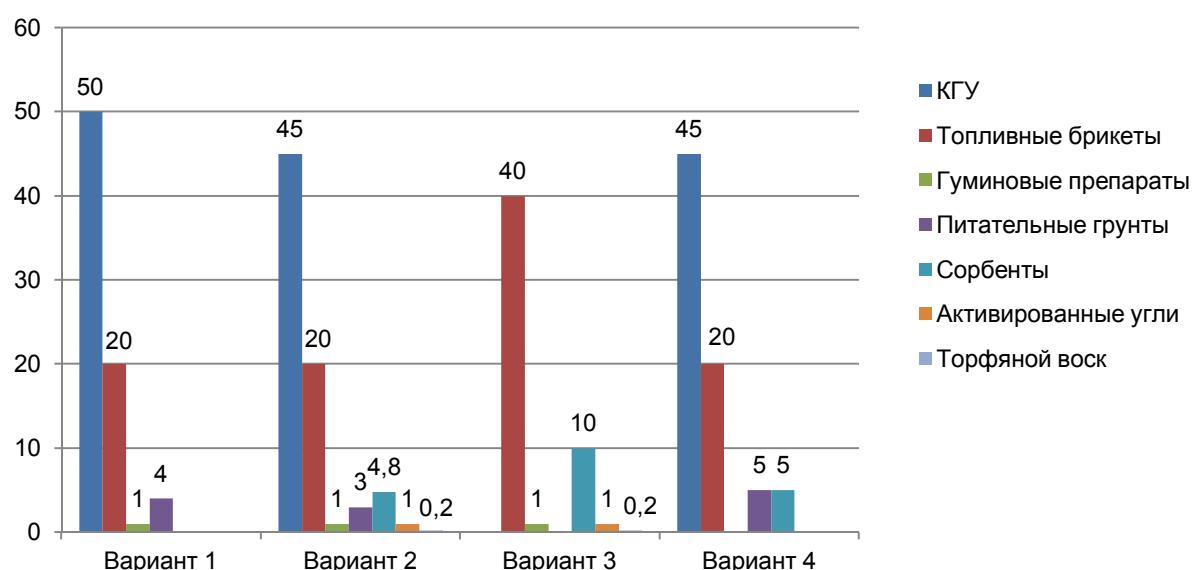


Рис. 2. Объемы производимой конечной продукции при разных вариантах комплексного освоения торфяных месторождений, тыс. т

Учитывая, что в каждом из вариантов освоения предполагаются единовременные капитальные вложения, то накапленный чистый дисконтированный доход (NPV_{cum}) и индекс рентабельности инвестиций (PI) рассчитывали по следующим формулам:

$$NPV_{cum} = \sum_{t=1}^T (NPV_t - I_0), \quad (1)$$

где NPV_t – годовой чистый дисконтированный доход; t – порядковый номер года расчетного периода разработки месторождения; T – период разработки месторождения; I_0 – единовременные капитальные вложения;

$$PI = \frac{NPV}{TIC}, \quad (2)$$

где NPV – чистый дисконтированный доход; TIC – полные инвестиционные затраты проекта.

Полные инвестиционные затраты проекта на создание нового производства тождественны первоначальным разовым инвестициям ($TIC = I_0$).

Результаты расчета экономической эффективности разных вариантов комплексного освоения представлены в табл. 6, из которой видно, что из четырех вариантов комплексного освоения наиболее рентабельным является третий вариант. Внутренняя норма прибыли при нем составляет 41,16 %, индекс рентабельности инвестиций – 2,61, окупаемость производства изменяется от 2,36 года по накапленному чистому доходу до 2,83 года – по накапленному чистому дисконтированному доходу. Правда наибольшая доля производимой конечной продукции приходится на торфяной топливный брикет (рис. 2) – 40 тыс. т, или 76,6 %. Сорбенты занимают 19,2 %

в структуре производимой продукции, на другие товары приходится всего 4,2 %. На рис. 3 представлено экономико-географическое положение месторождения «Чертово Болото», относящиеся к третьему варианту комплексного освоения.

Второй и четвертый варианты комплексного освоения характеризуются приблизительно равными относительными показателями экономической эффективности. Внутренняя норма прибыли составляет 32 и 34 % для второго и четвертого вариантов освоения соответственно, что на 8–10 % меньше, чем для третьего варианта. Индекс рентабельности инвестиций изменяется от величины 2,09 для второго варианта освоения до величины 2,20 – для четвертого варианта (рис. 4), но это все равно на 0,4 меньше, чем при третьем варианте комплексного использования торфяных ресурсов.

Сроки окупаемости капитальных вложений изменяются от 2,36 лет (третий вариант) до 3,89 лет (первый вариант) по накопленному чистому доходу и от 2,83 лет до 5,17 лет соответственно по накопленному чистому дисконтированному доходу (рис. 5).

При этом разница между обычной и динамической окупаемостью для второго и четвертого вариантов комплексного использования составляет 2–4 месяца.

Если рассматривать абсолютные показатели экономической эффективности, то наибольшие величины годовой стоимости произведенной продукции, эксплуатационных затрат, прибыли, чистого дохода (NSF), чистого дисконтированного дохода (NPV), накопленного чистого дохода и чистого дисконтированного дохода (NSF_{cum} и NPV_{cum}) характерны для второго варианта комплексного освоения, что объясняется самой широкой номенклатурой производимой продукции (см. рис. 1) и, следовательно, наибольшими капитальными вложениями. Наименьшие величины годовой стоимости произведенной продукции, капитальных вложений, годовых эксплуатационных затрат и амортизации характерны для третьего варианта освоения, при этом минимальные показатели прибыли, NSF , NPV , NSF_{cum} и NPV_{cum} наблюдаются при первом варианте освоения (табл. 6).

Таблица 6. Сравнительная характеристика экономической эффективности разных вариантов комплексного освоения отобранных месторождений торфа (прогноз на 10 лет)

Показатель	Вариант комплексного освоения			
	1	2	3	4
Годовая добыча торфа 40 % условной влажности, тыс. т	64,35	80,63	100,35	70,60
Годовое производство конечной продукции, тыс. т	75,00	75,00	52,20	75,00
Годовая стоимость произведенной продукции, тыс. USD	20 186,00	27 675,95	17 755,95	22 714,00
Единовременные капитальные вложения, тыс. USD	22 712,60	33 213,95	20 200,78	24 077,00
Годовые эксплуатационные затраты, тыс. USD	13 557,50	14 652,18	7745,36	12 717,65
Амортизация, тыс. USD	22 712,60	33 213,95	20 200,78	24 077,00
Налогооблагаемая прибыль, тыс. USD	43 572,40	97 023,73	79 905,14	75 886,50
Налог на прибыль (18 %), тыс. USD	7843,03	17 464,27	14 382,93	13 659,57
Чистый доход (NSF), тыс. USD	58 441,97	112 773,41	85 722,99	86 303,93
Накопленный чистый доход (NSF_{cum}), тыс. USD	35 729,37	79 559,46	65 522,22	62 226,93
Чистый дисконтированный доход (NPV при $r = 10 \%$), тыс. USD	35 909,67	69 293,62	52 672,49	53 029,45
Накопленный чистый дисконтированный доход (NPV_{cum}), тыс. USD	13 197,07	36 079,67	32 471,72	28 952,45
Индекс рентабельности инвестиций (PI_0), коэффициент	1,58	2,09	2,61	2,20
Срок окупаемости капитальных вложений (PP), лет по накопленному чистому доходу	3,89	2,95	2,36	2,79
по накопленному чистому дисконтированному доходу	5,17	3,67	2,83	3,44
Внутренняя норма прибыли (IRR), %	22,45	31,94	41,16	34,01



Рис. 3. Экономико-географическое положение месторождения «Чертово Болото»
(третий вариант комплексного освоения)

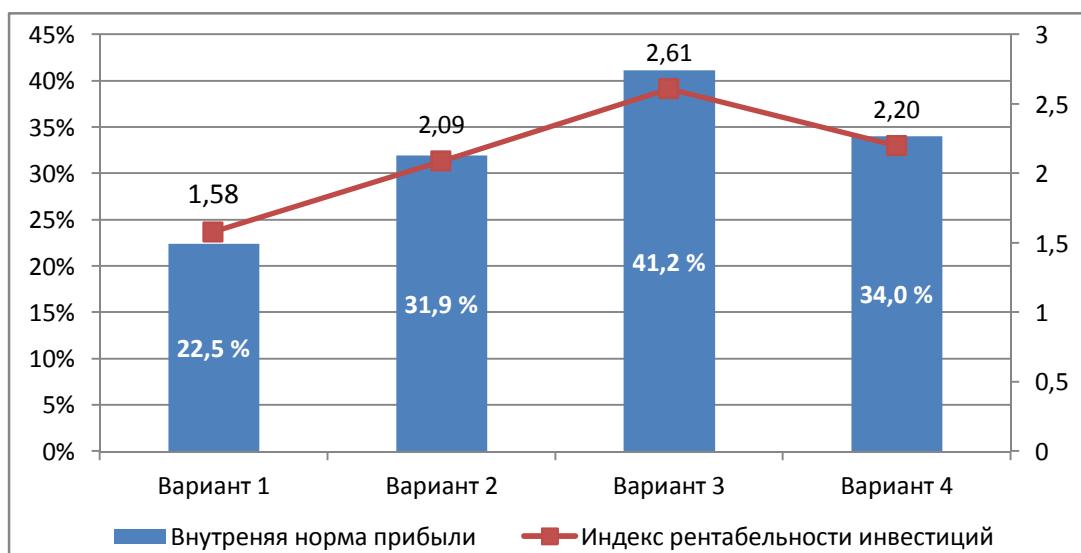


Рис. 4. Изменение внутренней нормы прибыли и индекса рентабельности инвестиций
для разных вариантов комплексного освоения торфяных ресурсов

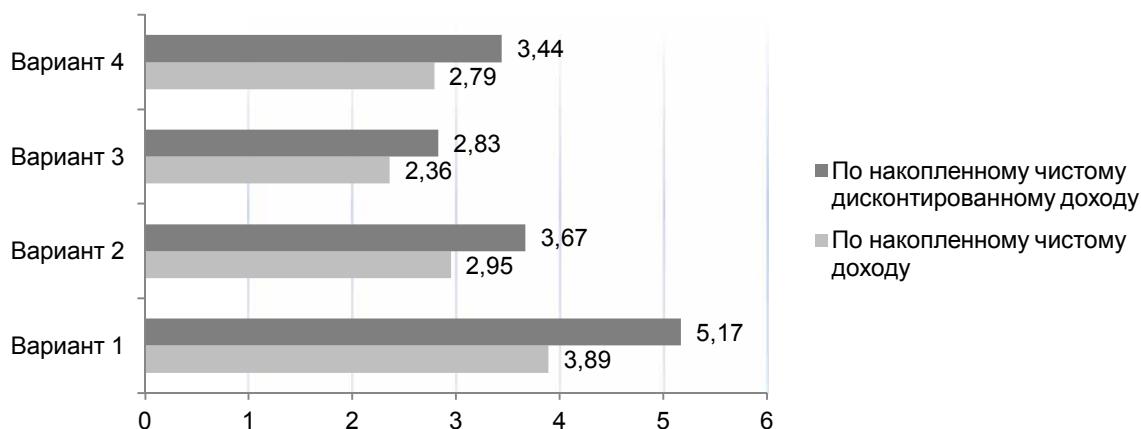


Рис. 5. Срок окупаемости капитальных вложений по годам для разных вариантов комплексного освоения торфяных ресурсов

Годовая стоимость произведенной продукции составляет для второго варианта освоения 27,676 млн долл. США и на 56 % больше, чем аналогичный показатель для третьего варианта освоения (17,756 млн долл. США). Капитальные вложения возрастают от 20,201 млн долл. США при третьем варианте освоения до 33,214 млн долл. США при втором варианте освоения (т. е. на 64 %). Годовые эксплуатационные затраты имеют значительную разбежку (от 64 до 89 %) между третьим и другими вариантами освоения. Налогооблагаемая прибыль для второго варианта освоения составляет 97,024 млн долл. США. Это более чем в 2,0 раза больше аналогичной величины для первого варианта освоения (43,572 млн долл. США).

Наименьший NSF, как указывалось выше, характерен для первого варианта освоения и составляет 58,442 млн долл. США, этот же показатель почти на 50 % выше для третьего и четвертого вариантов освоения (составляет 85,723 и 86,304 млн долл. США соответственно). Наибольший NSF наблюдается при втором варианте освоения и составляет 112,773 млн долл. США (т. е. на 93 % больше, чем при первом варианте освоения).

Соотношение величин NPV для разных вариантов освоения такое же, как и в случае с NSF. При этом второй, третий и четвертый вариант освоения дают NPV более 50 млн долл. США.

NSF_{cum} изменяется между первым и вторым вариантом освоения более чем в 2,0 раза и составляет 35,729 и 79,559 млн долл. США соответственно. Разница между величинами этого показателя для третьего и четвертого вариантов освоения совсем незначительная и составляет чуть более 3 млн долл. США, но она больше по сравнению с первым вариантом освоения на 83 и 74 % соответственно.

NPV_{cum} имеет еще большую разбежку между первым и вторым вариантами освоения по

сравнению с NSF_{cum}. При втором варианте освоения NPV_{cum} составляет 36,080 млн долл. США, что почти в 3,0 раза больше, чем при первом варианте освоения (13,197 млн долл. США). При третьем и четвертом вариантах освоения NPV_{cum} более чем в 2,0 раза больше по сравнению с первым (32,472 и 28,952 млн долл. США соответственно).

Выводы. Таким образом, исходя из проведенного выше сравнительного анализа экономической эффективности можно выделить наиболее рентабельный вариант комплексного освоения – третий (конечные продукты: топливо, гуминовые препараты, сорбенты, торфяной воск, активированные угли), наименее рентабельный – первый (конечные продукты: питательные грунты, КГУ, топливо, гуминовые препараты), и два варианта освоения, имеющие достаточно высокую рентабельность, – второй (конечные продукты: питательные грунты, КГУ, топливо, гуминовые препараты, сорбенты, торфяной воск, активированные угли) и четвертый (конечные продукты: питательные грунты, КГУ, сорбенты, топливо). При этом надо заметить, что показатели комплексного производства даже по первому варианту освоения все равно выше нормативных.

Итак, если убрать наименее рентабельный вариант комплексного освоения (первый – 15 месторождений по всей республике), то для создания комплексного производства с экономической точки зрения наиболее подходят следующие месторождения: «Чертово болото» в Гродненской области (третий вариант освоения), «Славное», «Курьяново» и «Сельцо» в Витебской области (второй вариант) и «Великое» в Минской области (четвертый вариант).

Наиболее рентабельное с экономической точки зрения торфяное месторождение «Чертово Болото» (третий вариант комплексного освоения) имеет следующее экономико-географическое положение. Расположено данное торфяное ме-

сторождение в 20 км от железнодорожной станции Поречье. Ближайшими крупными городами являются Гродно (39 км по железной дороге от станции Поречье), Лида (171 км по железной дороге) и Барановичи (276 км). Месторождение находится практически на границе с Литвой. Расстояние от станции Поречье до границы с Литвой по железной дороге составляет 9 км, с Польшей – 58, с Украиной – 439, с Латвией – 576, с Россией – 592 км (см. рис. 3). В 160 км на юго-востоке проходит международная автомагистраль Е 30. Трудовые ресурсы представлены населением деревни Бершты (в нескольких ки-

лометрах от месторождения), поселка городского типа Поречье, агрогородка Озера, города Гродно. Исходя из экономико-географического положения, торфяное месторождение «Чертово Болото» подходит для создания в первую очередь экспортно ориентированного на Евросоюз производства, так как оно расположено всего в нескольких километрах от госграницы с Литвой и в 60 км от госграницы с Польшей. В то же время приграничное положение предприятия может вызвать дополнительные трудности при согласовании разрешения на строительство в приграничной зоне.

Литература

1. **Бабылев, С. Н.** Экономика природопользования / С. Н. Бабылев, А. Ш. Ходжаев. – М., 2010.
2. **Вельмер, Ф. В.** Экономические оценки месторождений / Ф. В. Вельмер. – Киев, 2001.
3. **Долан, Э. Дж.** Рынок: микроэкономическая модель / Э. Дж. Долан, Д. Линдсей ; пер. с англ. В. Лукашевича [и др.] ; под общ. ред. Б. Лисовика и В. Лукашевича. – СПб., 1992.
4. **Краковецкий, А. В.** Краткий обзор новых перспективных продуктов из торфа / А. В. Краковецкий // Природопользование: состояние и перспективы развития : материалы науч. конф. молодых ученых, Минск, 26–27 марта 2014 г. / редкол. : А. К. Карабанов (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2014. – С. 44–46.
5. **Матвеева, В. И.** Экологические проблемы использования и охраны почв Беларусь / В. И. Матвеева, В. И. Ключенович. – Минск, 2011.
6. **Новая** кормовая добавка на основе торфа и эффективность ее применения в животноводстве / В. Н. Заяц [и др.] // Природопользование. – 2009. – Вып. 16. – С. 236–240.
7. **Официальный** курс белорусского рубля по отношению к иностранным валютам, устанавливаемый Национальным банком Республики Беларусь ежедневно / Национальный банк Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Минск, 2015. – Режим доступа : <http://www.nbrb.by/statistics/rates/ratesdaily.asp> – Дата доступа : 12.10.2015.
8. **Провести** научно-исследовательские работы по возможности получения в опытно-промышленных масштабах продуктов глубокой переработки торфа из торфяного сырья месторождения «Туршовка–Чертово» с разработкой научно-технического обоснования целесообразности строительства горно-химического комбината по глубокой комплексной переработке торфа : отчет о НИР ; науч. рук. И. И. Лиштван. – Минск, 2015. – № ГР 20150234.
9. **Технико-экономическое** обоснование строительства опытно-промышленного предприятия по комплексной безотходной переработке торфа на базе торфяных месторождений Витебской, Могилевской и Минской областей : проект № 7934 : в 2 т. / Ин-т торфа Акад. наук БССР ; директор Д. В. Журавлев, гл. инженер О. М. Купцов, гл. инженер проекта А. И. Кутяшин. – М., 1979.
10. **Томсон, А. Э.** Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова // Нац. акад. наук Беларусь, Ин-т природопользования. – Минск, 2009.
11. **Торфяные** месторождения Республики Беларусь, пригодные для комплексного освоения на ближайшую и отдаленную перспективу / сост. : Л. С. Лис [и др.]. – Минск, 2013.
12. **Эффективность** новых защитных паст для обмазки стеблей томата и огурца против серой гнили / И. А. Прищепа [и др.] // Защита растений : сб. науч. тр. – 2004. – Вып. 28. – С. 145–150.
13. **Historical Inflation Rate / Inflation Data** [Электронный ресурс]. – USA, 2016. – Режим доступа: http://inflationdata.com/Inflation/Inflation_Rate/HistoricalInflation.aspx. – Дата доступа: 09.02.2016.

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 20.11.2016 г.

A. V. Krakovetsky**ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИГОДНЫХ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА РАЗЛИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ**

В связи с повышенным интересом в последние годы к торфяным месторождениям, пригодным для комплексного освоения, проведена сравнительная оценка экономической эффективности четырех вариантов комплексного использования торфяных ресурсов с производством определенной номенклатуры конечных продуктов глубокой переработки торфа. Обязательным условием любого из вариантов комплексного освоения стало производство как минимум трех нетопливных конечных продуктов из следующих в списке: активированные угли, гуминовые препараты, комплексные гранулированные удобрения, питательные грунты, сорбенты, торфяной воск. Годовая добыча торфа 40 % условной влажности была установлена на уровне до 100 тыс. т, годовое производство – от 50 до 75 тыс. т. Прогнозные расчеты проводились на период в 10 лет.

Экономическая оценка показала, что любой из вариантов комплексного освоения торфяного сырья имеет показатели рентабельности выше нормативных. Динамическая окупаемость наиболее рентабельного варианта комплексного производства составляет всего 2 года и 10 месяцев, при внутренней норме прибыли – 41,16 % и индексе рентабельности инвестиций – 2,61. Наименее рентабельный вариант комплексного производства окупается за 5 лет и 2 месяца по чистому дисконтированному доходу, при внутренней норме прибыли 22,45 % и индексе рентабельности инвестиций 1,58. Наибольшие показатели рентабельности имело торфяное месторождение «Чертово Болото» (третий вариант комплексного освоения). Для указанного месторождения была проведена оценка экономико-географического положения.

A. V. Krakovetsky**ECONOMIC AND GEOGRAPHICAL EVALUATION OF PEAT DEPOSITS SUITABLE FOR COMPLEX EXPLOITATION AND PRODUCTION OF DIFFERENT PRODUCT**

In connection with the increased interest in recent years to peat deposits, suitable for integrated development, a comparative evaluation of economic efficiency of the four options for integrated use of peat resources, with the production of a specific nomenclature of the final products of deep processing of peat are evaluated. The required condition of any options for integrated development was the production of at least three non-fuel final products from the following list: activated coals, humic preparations, complex granulated fertilizers, nutritious grounds, sorbents, peat wax. 40 % annual extraction of peat of conditional humidity was set at 100 thous. t, annual production – from 50 to 75 t. The forecast calculations were carried out for a period of 10 years.

Economic evaluation showed that any of options for the integrated development of peat raw material has higher margins regulations. Dynamic payback period of the most cost-effective option for integrated production is only 2 years and 10 months, with the internal rate of return – 41.16 % and the profitability index – 2.61. The least cost-effective version of the integrated production pays off over 5 years and 2 months on the net present value, with the internal rate of return – 22.45 % and the Profitability Index – 1.58. The largest profit margins had a peat deposit "Chertovo Boloto" (the third option of the integrated development). Economic and geographical situation was evaluated for this deposit.

II. БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 541.182+631.436

И. И. Лиштван, А. М. Абрамец, Ю. Г. Янuta, Е. А. Якута

МАССОПЕРЕНОС ПРИ СУШКЕ ОРГАНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Экспериментально с использованием водорастворимого радиоактивного индикатора (S^{35}) исследованы закономерности механизма переноса влаги в образцах торфа (как реологического природного материала) разной дисперсности в форме пластины при радиационно-конвективном режиме сушки. Определены диапазоны влагосодержания материала (торфа), в которых перенос влаги в нем протекает в виде жидкости либо в парогазовой фазе. С позиций потенциальной проницаемости данных реологических сред обоснованы закономерности переноса влаги и растворенных соединений как в самом материале при его сушке, так и в торфяных системах как природных геохимических барьерах.

При сушке органогенных влажных реологических материалов в них возникают градиенты влагосодержания, сопровождающиеся формированием сложного объемно-напряженного состояния. Это приводит к развитию необратимых изменений в структуре материала, появлению в ней дефектов, которые в итоге предопределяют его структурно-механические свойства, а также изменения переноса влаги внутри материала [13].

Процессы массопереноса важны также и в природных ландшафтах, особенно на техногенно загрязненных территориях. В полной мере это относится к зонам вокруг атомных электростанций, таких как Чернобыль (Украина), Фукусима (Япония) и другие ядерные объекты. Понятно, что техногенные загрязнители по-разному мигрируют с поверхностными и подземными потоками влаги. Тем не менее общие закономерности их переноса в зоны ее стока, т. е. фазовых переходов (испарения), либо в грунтовые воды подобны, а закономерности массопереноса в дисперсных материалах остаются идентичными с той или иной степенью корреляции относительно модельных сред. В этой связи и были выполнены экспериментальные исследования закономерностей переноса поровых растворов в торфяных системах как реологически сложных при их сушке. Плоская форма образцов моделировала одномерный поток поровой влаги в материале при радиационно-конвективном режиме сушки, т. е. при испарении влаги из материала с его поверхности.

На структуру материала оказывают воздействие не только режим, способ сушки и механизм внутреннего массопереноса, но и реологические характеристики влажных материа-

лов, их деформационные свойства при изменении содержания влаги внутри них [3, 11, 16]. Исследование механизма внутреннего тепломассопереноса и процессов структурообразования при сушке реологических материалов выполнено на модернизированной установке (рис. 1) [15].

Установка представляет собой воздуховод квадратного сечения 4, в котором с помощью ламп 14, вентилятора 6, нагревателя 15 и камеры 25 поддерживаются постоянными температура, скорость и влажность воздушного, а также интенсивность радиационного потоков. Плоский цилиндрический образец исследуемого материала 1 диаметром 100 мм и толщиной 20 мм, влагоизолированный по цилиндрической образующей резиновым покрытием, подвешивали к тензобалке 10 с тензодатчиками 22. Форма пластины обусловлена наиболее простым объемно-напряженным состоянием, развивающимся в материале образца при его сушке. Регистрацию массы образца 1 осуществляли автоматически с помощью потенциометра 12 и тензоусилителя 9. Наблюдение за усадкой образца 5 осуществляли фотометрически посредством фотоаппарата 11. Фазовый состав влаги при сушке образцов исследовали с помощью радиоактивного индикатора $S^{35}(Na_2S0_4)$. Регистрацию концентрации индикатора на поверхности тела сушки проводили радиометрической установкой 24. Температуру материала на поверхности образца 1 и внутри его измеряли посредством термопар 2, усилителя 19, потенциометра 17. Скорость воздушного потока контролировали микроманометром 18.

На рис. 2 приведены кривые, характеризующие кинетику распределения полей влагосодержания и относительной концентрации радиоактивного индикатора в образцах торфа разной

дисперсности в форме пластины. При жестком радиационно-конвективном режиме сушки распределение влаги в материале до его влагосодержания $U \approx 2$ кг/кг носит нерегулярный характер. При $U < 2$ кг/кг имеет место параболическое распределение влаги по направлению массопе-

реноса, т. е. к поверхности материала, а в ее потоке преобладает парогазовая составляющая, т. е. когда нет переноса индикатора, который растворен в жидкой фазе и с ней переносится в зону ее стока (испарения).

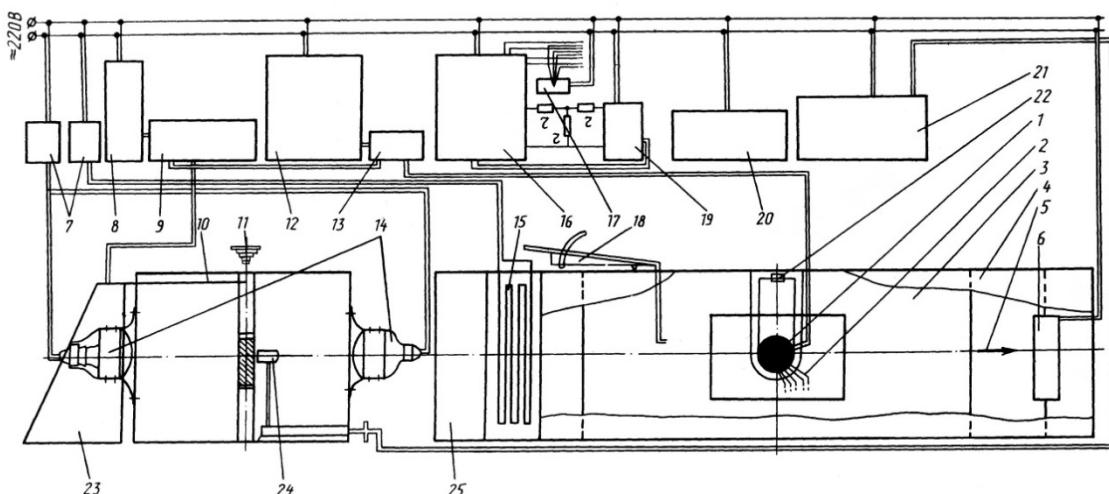


Рис. 1. Схема установки для исследования процессов структурообразования, а также внутреннего тепло- и массопереноса при сушке торфяных систем в конвективном, радиационном, радиационно-конвективном режимах: 1 – образец исследуемого материала; 2 – термопары; 3 – пластина; 4 – воздуховод квадратного сечения; 5 – образец; 6 – вентилятор; 7 – латр; 8 – источник питания постоянного тока; 9 – тензоусилитель; 10 – тензобалка; 11 – фотоаппарат; 12, 16 – потенциометры; 13 – блок переключения; 14 – лампы; 15 – камера термостатирования воздушного потока; 17 – нуль-термостат; 18 – микроманометр; 19 – усилитель; 20 – блок питания; 21 – пересчетный прибор; 22 – подвесное устройство; 23 – стойка тензобалки; 24 – датчик; 25 – камера

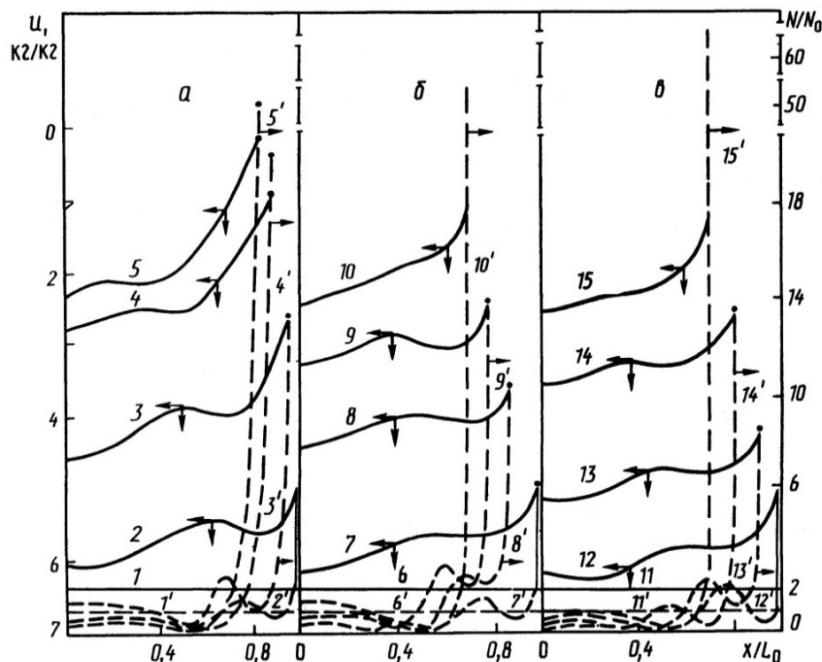


Рис. 2. Распределение полей влагосодержания и индикатора (S^{35}) в образцах торфа (в форме пластины) при радиационно-конвективном режиме сушки ($q_0 = 1,88$ кДж/($m^2 \cdot s$), $v = 0,33$ м/с): 1–15 – U ; 1'–15' – распределение S^{35} . Время сушки, ч: 1, 6, 11 – 0; 2, 7, 12 – 1; 3, 8, 13 – 3; 4, 9, 14 – 5; 5, 10, 15 – 7. Удельная поверхность дисперсной фазы материала (S_0), m^2/kg : а – 210; б – 270; в – 320

Распределение радиоактивного индикатора внутри материала также представляет собой чередование минимумов и максимумов его концентрации, причем наибольшие значения соответствуют поверхности образца. В слое 1,5–2,5 мм от поверхности расположена зона минимума концентрации индикатора, что свидетельствует о наиболее интенсивном удалении из материала влаги в жидкой фазе. Этому же слою на кривых распределения влаги свойственны максимальные градиенты влагосодержания. Послойные образцы исследуемых материалов получали путем среза слоя материала (торфа) с тела сушки (пластины) с обоих его сторон, после чего их анализировали на влажность и содержание радиоактивного индикатора.

Ранее [8, 10, 12] с помощью другого способа также было показано, что наиболее значительные изменения потенциала влаги приходятся на слой 2–3 мм от поверхности тела сушки. Интенсивное обезвоживание слоя (при высоком влагосодержании центральных слоев) способствует формированию сложного напряженного состояния материала в теле сушки. Поверхностный же слой в этом случае подвержен растяжению, а центральный – скатию. Именно данному этапу сушки соответствует интенсивное трещинообразование, т. е. нарушение связности структуры материала и снижение его прочности. Понятно, что чем более высокие градиенты влагосодержания формируются в теле сушки, тем меньшей прочностью обладает материал.

Авторами [4, 7, 9] установлена линейная связь между критерием трещинообразования

$$K_{tp} = (\bar{U} - U_0) / U_0$$

и критерием Кирпичева

$$K_{im} = (\nabla U)_n D / U_0,$$

где \bar{U} – интегральное влагосодержание материала тела сушки; U_0 – начальное влагосодержание материала; $(\nabla U)_n$ – тангенс угла наклона касательных к кривым распределения влагосодержания в теле сушки (градиент влагосодержания); D – характерный размер тела сушки (толщина пластины торфа).

Уменьшение размеров тела сушки приводит к снижению величины ∇U между центральным и поверхностным слоями, а также их объемно-напряженного состояния. Величины K_{im} и K_{tp} при этом уменьшаются. Существенным моментом в процессе деформационной перестройки структуры реологического материала является связь между его структурой и величиной энергии связи в нем дисперсионной среды (потенциалом влаги). В зависимости от дисперсности S_0 материала величина потенциала влаги в нем различна [1, 13, 14], а значит, иным будет и силовое воздействие дисперсионной среды на каркас

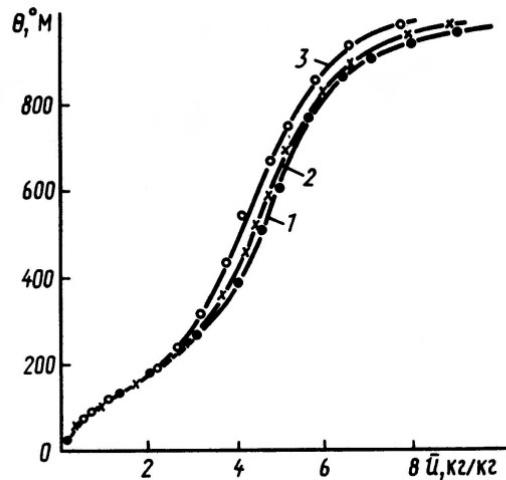


Рис. 3. Изменение величины потенциала массопереноса $\theta, {}^{\circ}\text{M}$, торфа в зависимости от его влагосодержания и удельной поверхности дисперсной фазы материала ($S_0, \text{м}^2/\text{кг}$): 1 – 210; 2 – 270; 3 – 320

твердой фазы, усадку материала, т. е. деформацию его при обезвоживании.

Из рис. 3 следует, что при $U > 8 \text{ кг}/\text{кг}$ величина потенциала массопереноса влаги торфа практически не изменяется, что свидетельствует о полном насыщении порового пространства материала водой ($P_k = 0$). С увеличением дисперсности торфа величина предельного влагосодержания, характеризующего $P_k = 0$ и $\theta, M = \text{const}$, смещается в сторону меньших значений U . Так, для торфа ($S_0 = 310 \text{ м}^2/\text{кг}$) влагосодержание, соответствующее состоянию материала, когда кривизна капиллярных менисков на его поверхности практически отсутствует ($P_k = 0$), составляет $U \approx 7 \text{ кг}/\text{кг}$. Это на 1 кг/кг меньше, чем для торфа с $S_0 = 210 \text{ м}^2/\text{кг}$. Наибольшее изменение потенциала влаги в торфяных системах имеет место при их влагосодержании $1 \leq U \leq 6 \text{ кг}/\text{кг}$. Именно в данном диапазоне при сушке в материале происходит интенсивное формирование градиентов влагосодержания и напряженного состояния [2, 11, 14].

Для оценки интегрального критерия фазового превращения ϵ_u [2, 11, 13, 16], характеризующего фазовый состав потока влаги внутри тела сушки, использована формула

$$\epsilon_u = 1 - \left(\frac{\partial N}{\partial U} \right), \quad (1)$$

в которой при дискретном ее решении (поэтапном) с учетом экспериментальных данных

$$N = \frac{N_i p_i L_i}{N_0 p_0 L_0 (U_0 - U_c)};$$

$$U = \frac{(U_0 - U_i) p_i L_i}{(U_0 - U_c) p_c L_c};$$

где N – концентрация индикатора на поверхности тела сушки; U – влагосодержание материала; p_i, p_0, p_c – плотность твердой фазы материала при U_i, U_0, U_c соответственно: U_c – содержание связанной влаги в материале; U_0, U_i – начальное и конечное влагосодержание материала соответственно; L_i, L_0, L_c – характерный размер тела сушки при U_i, U_0, U_c соответственно.

Результаты опытов (рис. 4) свидетельствуют, что температура поверхности образца после периода прогрева постепенно снижается, а при влагосодержании образца $\bar{U} \approx 1,9\text{--}2,1$ кг/кг интенсивно повышается (что вызвано отступлением фронта испарения вглубь материала). Незначительное различие значений температуры на поверхности образцов в первый период сушки, очевидно, связано с неодинаковой отражательной способностью торфа с разными характеристиками его структуры.

Обработав данные экспериментов, согласно уравнению (1), были получены зависимости интегрального критерия фазового превращения ε_i от влагосодержания образцов торфа разной дисперсности. Из рис. 5 следует, что для всех опытов наблюдается общая закономерность. В начале процесса сушки критерий $\varepsilon_i = 1$, т. е. испарение имеет место только с поверхности материала, происходит образование капиллярных менисков и углубление фронта испарения. Необходимо отметить, что для образцов торфа с большей дисперсностью (кривая 1) этап испарения с поверхности более длителен, чем у образцов с меньшей дисперсностью (кривая 2), и практически отсутствует у образцов недиспергиро-

ванного торфа (кривая 3), т. е. фронт испарения у этих образцов при сушке сразу же опускается вглубь материала.

В период прогрева материала в нем возникают градиенты температуры, а вследствие термопотока наблюдается уменьшение концентрации индикатора на поверхности образцов сушки, причем ее значение тем больше, чем меньше дисперсность торфа (см. рис. 4). У диспергированного торфа такое снижение на начальном этапе сушки практически отсутствует (кривая 1). По мере же испарения влаги из образцов торфа величина критерия ε_i уменьшается, что свидетельствует о росте жидкостного потока в зону испарения (вследствие отжатия влаги из внутренних слоев материала). Отжатие воды к поверхности прогретого образца приводит к тому, что интенсивность испарения из него растет и достигает максимума при $\bar{U} = 4,4\text{--}5,1$ кг/кг. При дальнейшей сушке наблюдается рост значений критерия ε_i ($T = 313$ К; см. рис. 4, кривые 1'–3').

Влагосодержанию образцов $\bar{U} = 1,8\text{--}2,2$ кг/кг соответствует минимум значений ε_i . Затем они резко растут до 1 и не уменьшаются на всем оставшемся этапе сушки, т. е. во влагопереносе отсутствует жидкостный поток. Необходимо отметить, что значения ε_i существенно зависят от структуры материала. Для образцов торфа с порами большего размера значения ε_i выше, а следовательно, больше влаги удаляется из них в виде пара (кривая 3 расположена выше кривых 1, 2; см. рис. 5).

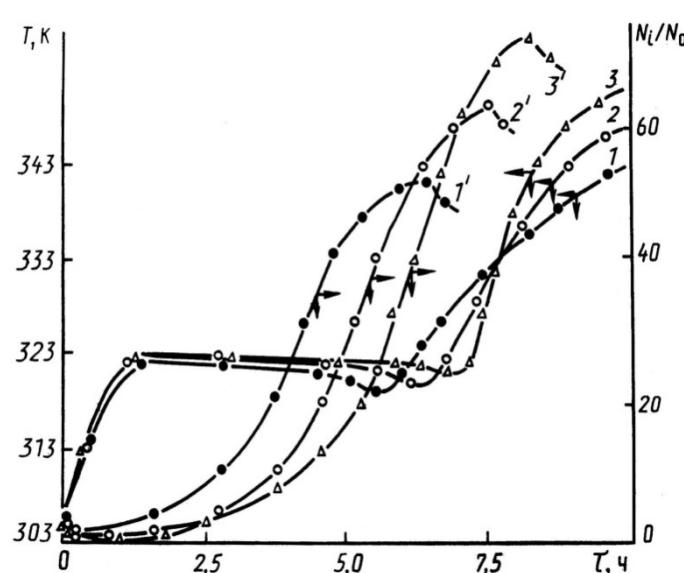


Рис. 4. Изменение температуры (1–3) образцов торфа в форме пластины и относительной концентрации радиоактивного индикатора на их поверхности в процессе радиационно-конвективной сушки. Удельная поверхность дисперсной фазы материала (S_0), $\text{м}^2/\text{кг}$: 1, 1' – 210; 2, 2' – 270; 3, 3' – 320

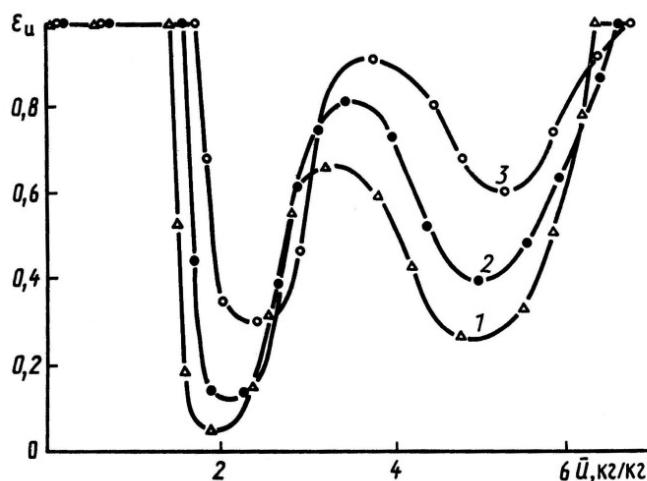


Рис. 5. Зависимость интегрального критерия фазового превращения от влагосодержания образцов торфа в процессе сушки. Удельная поверхность дисперсной фазы материала (S_0), $\text{м}^2/\text{кг}$: 1 – 320; 2 – 270; 3 – 210

Таким образом, из полученных данных следует, что характер и интенсивность протекания массообменных процессов при сушке зависят от структурно-реологических характеристик материала.

Структура большинства дисперсных материалов отличается своей специфичностью. Поэтому практически невозможно ее охарактеризовать каким-то одним количественным параметром, учитывающим величину, форму, взаимное расположение и соотношение составляющих его элементов. Для оценки структуры торфа при разных режимах сушки и разном начальном влагосодержании материала использованы зависимости коэффициента пористости E_p , полученного расчетным путем. Результаты работы [9] свидетельствуют, что усадка торфа происходит в течение всего периода сушки, а в зависимости от характера основной массы контактов между частицами твердой фазы качественные характеристики торфа изменяются в широких пределах, т. е. при высоком влагосодержании материала взаимодействие его частиц на больших расстояниях слабое. Его недостаточно для преодоления потенциального барьера, обусловленного наличием прослойки дисперсионной среды между ними. Кроме того, в процессе обезвоживания частицы под действием капиллярных сил сближаются, что способствует их взаимодействию и образованию пространственного каркаса. При невысоком влагосодержании торф находится в трехфазном состоянии. Наличие газовой фазы приводит к разрыву капиллярной сети и локальному характеру действия капиллярных сил, а следовательно, и к локально-дискретному характеру формирования пространственного каркаса в процессе сушки материала. Так, для образцов торфа с меньшим

влагосодержанием значения коэффициентов пористости E_p выше [9].

Период испарения влаги с поверхности материала более длителен у образцов торфа (рис. 6) с высоким исходным влагосодержанием материала. Начало же образования фронта испарения в материале не зависит от его исходного влагосодержания, если оно больше некоторого критического. Так, для торфа с $S_0 = 320 \text{ м}^2/\text{кг}$ образование (углубление) фронта испарения соответствует влагосодержанию материала $\bar{U} \approx 6,8 \text{ кг}/\text{кг}$.

При жестких режимах сушки под воздействием термопотока влаги, направленного вглубь тела сушки (образца), происходит более интенсивное обезвоживание поверхности материала. Этим, по-видимому, объясняется некоторое смещение в сторону увеличения влагосодержания материала начала образования фронта испарения в образцах торфа при более жестком режиме сушки, которому соответствуют большие значения критерия ε_i (см. рис. 6).

Согласно полученным экспериментальным данным, а также работам [2, 10, 14, 15] процесс массопереноса при сушке торфа можно разбить на следующие основные этапы.

1. При $U > 6,5 \text{ кг}/\text{кг}$ торфянная система практически двухфазна, имеет коагуляционную структуру, а при деформации ведет себя как вязко-пластичное тело.

2. В пределах $6,5 \text{ кг}/\text{кг} > \bar{U} > 0,8 \text{ кг}/\text{кг}$ торфянная система трехфазна, имеет переходную компактно-коагуляционную структуру, а при деформации торф ведет себя как упруговязкопластичное тело.

3. При $\bar{U} < 0,8 \text{ кг}/\text{кг}$ торфянная система, оставаясь трехфазной с преимущественно компактно-конденсационной структурой, ведет себя как упругохрупкое тело.

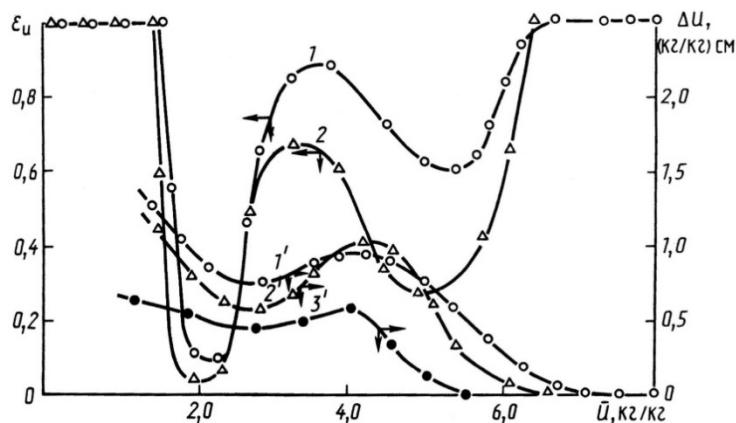


Рис. 6. Зависимость критерия фазового превращения ε_u и градиента влагосодержания ΔU от интегрального влагосодержания торфа: 1, 1' – $U_0 = 8 \text{ кг}/\text{кг}$, $q_0 = 1,88 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, $T = 303 \text{ К}$; 2, 2' – $U_0 = 6,8 \text{ кг}/\text{кг}$, $q_0 = 1,68 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, $T = 298 \text{ К}$; 3' – $U_0 = 5,8 \text{ кг}/\text{кг}$, $q_0 = 0,97 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, $T = 298 \text{ К}$

Отличительной чертой сушки торфа в форме пластины является наличие ярко выраженных сингулярных точек на кривых кинетики сушки. Этот эффект устойчиво повторяется в опытах. Следует отметить, однако, что при сушке образцов в мягком (конвективном) режиме (см. рис. 6, кривая 1) пульсации на кривой сушки практически отсутствуют. Они проявляются тем сильнее, чем жестче режим сушки.

Температурные кривые характеризуют изменение температуры поверхности материала образца в процессе сушки. После периода прогрева температура поверхности материала образца понижается. Подобного эффекта при сушке в мягких конвективных режимах не отмечено, но установлено, что всем режимам сушки соответствует петлеобразный характер перехода к периоду (по терминологии работы [13]) убывающей скорости сушки, после чего температура поверхности материала повышается.

Из полученных данных следует, что в начале процесса сушки темп изменения активности индикатора на поверхности образцов торфа до влагосодержания материала $\bar{U} \approx 3 \text{ кг}/\text{кг}$ незначительный. В интервале влагосодержаний $3 > \bar{U} > 1,8 \text{ кг}/\text{кг}$ интенсивность выноса индикатора на поверхности материала максимальна. Рост концентрации индикатора на поверхности образцов торфа прекращается при $\bar{U} \approx 1,7\text{--}1,8 \text{ кг}/\text{кг}$. Отсутствие накопления индикатора свидетельствует о прекращении переноса влаги в жидкой фазе внутри объекта сушки.

С ростом скорости сушки, т. е. с уменьшением усадки материала, значения интегрального критерия фазового перехода влаги (ε_u) растут (см. рис. 5), увеличивается влагоперенос в парогазовой фазе. Однако при переходе материала из влажного состояния в гигроскопическое ($\bar{U} \approx 1,8\text{--}2,0 \text{ кг}/\text{кг}$) значения ε_u уменьшаются. Подобное изменение ε_u обусловлено ростом влагопереноса в жидкой фазе вследствие увеличения пленочной составляю-

щей потока влаги, что согласуется с выводами, полученными в работах [2, 5, 6, 12, 14]. Этому состоянию материала соответствуют рост интенсивности испарения влаги и снижение температуры поверхности образца, т. е. при «жестких» режимах сушки на процессы внутреннего и внешнего массообмена в реологически сложных системах оказывает влияние их деформационное поведение (усадка), определяемое интенсивностью релаксационных явлений и реологическими свойствами материала.

Таким образом, с позиций анализа закономерностей механизма процессов переноса влаги, тепла, трансформации структуры торфяных систем как реологически сложных при их обезвоживании (сушке) экспериментально обоснованы факторы, ответственные за перенос влаги в жидкой либо парогазовой фазах с учетом дисперсности материала, содержания в нем физико-химически связанный влаги, а также влаги капиллярной, т. е. способной переносить растворенные соединения.

С использованием водорастворимых радиоактивных индикаторов установлено, что миграционные потоки влаги в торфяных системах зависят как от их структурного состояния, так и от гидрофильтрности, т. е. способности материала в процессе его сушки переносить влагу в зону ее стока (испарения) в виде капиллярной, парогазовой, либо тонких пленок, т. е. влаги, «связанной» поверхностью твердой фазы.

Выполненным исследованиями показано, что структура торфяного сырья, гидрофильтрные свойства, технологии получения продукции на его основе, а также управление процессами переноса влаги в органогенных средах представляют собой единый симбиоз таких свойств органогенных материалов, как реология, массообмен, теплофизика, специфика модификации для решения поставленных задач в области экологии и технологий получения новых материалов, их применения.

Литература

1. Абрамец, А. М. Исследования механизма радиационно-конвективной сушки торфа с добавками ПАВ / А. М. Абрамец // Торф и его переработка : сб. науч. тр. – Л., 1978. – Вып. 41. – С. 40–46.
2. Абрамец, А. М. Использование высокомолекулярных соединений для управления процессами внутреннего массообмена в дисперсных системах / А. М. Абрамец, И. И. Лиштван, Н. В. Чураев // Инж.-физ. журн. – 1982. – Т. 43, № 6. – С. 976–982.
3. Гамаюнов, Н. И. Тепло- и массообмен в торфяных системах : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Н. И. Гамаюнов. – Калинин, 1967.
4. Гамаюнов, Н. И. Изучение внутреннего давления при сушке торфа / Н. И. Гамаюнов, Л. Г. Амусин // Коллоид. журн. – 1975. – Т. 37, № 6. – С. 1156.
5. Гамаюнов, Н. И. Тепломассоперенос в пористых системах / Н. И. Гамаюнов, В. А. Миронов, С. Н. Гамаюнов. – Тверь, 2002.
6. Гамаюнов, Н. И. Тепломассоперенос в открытых системах / Н. И. Гамаюнов, С. Н. Гамаюнов. – Тверь, 2009.
7. Зыкова, В. П. Исследование распределения влагосодержания в процессе полевой сушки низинного кускового торфа / В. П. Зыкова, Г. А. Панкратова. Л. М. Малков // Торф. пром-сть. – 1970. – № 10. – С. 17–20.
8. Исследование механизма сушки торфа, модифицированного ПАВ / А. М. Абрамец [и др.] // Инж.-физ. журн. – 1982. – Т. 42, № 2. – С. 279–285.
9. Исследование потенциала влаги торфа методом микротензиометра / Д. М. Лебедев [и др.] / Д. М. Лебедев // Совещание по физико-химии торфа : сб. тезисов. – Минск, 1976. – С. 50.
10. Исследования влияния дисперсности на внутренний тепло-массоперенос и процессы структурообразования при радиационно-конвективном режиме сушки / И. И. Лиштван [и др.] // Машины и технология торфяного производства. – 1978. – Вып. 8. – С. 58–64.
11. Лиштван, И. И. Исследование физико-химической природы торфа и процессов структурообразования в торфяных системах с целью регулирования их свойств : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / И. И. Лиштван. – Калинин, 1969.
12. Лиштван, И. И. Исследование сушки реологически сложных дисперсных систем (торфа) / И. И. Лиштван, А. М. Абрамец // Коллоид. журн. – 1983. – Т. 45, № 4. – С. 781–784.
13. Лыков, А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. – Минск, 1968.
14. Тепло- и массообмен в капиллярно-пористых телах (включая процессы сушки) / И. И. Лиштван [и др.]. – Минск, 1980. – Т. 7. – С. 29–34.
15. Терентьев, А. А. Исследование влияния внутреннего массопереноса на прочностные свойства торфа / А. А. Терентьев, А. М. Абрамец // Машины и технология торфяного производства. – 1979. – Вып. 9. – С. 136–140.
16. Чураев, Н. В. Водные свойства, структура и процессы переноса влаги в торфе : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Н. В. Чураев. – Калинин, 1961.

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 10.11.2016 г.

И. И. Лиштван, А. М. Абрамец, Ю. Г. Янута, Е. А. Якута

МАССОПЕРЕНОС ПРИ СУШКЕ ОРГАНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Экспериментально с использованием водорастворимого радиоактивного индикатора (S^{35}) исследованы закономерности механизма переноса влаги в образцах торфа (как реологического природного материала) разной дисперсности в форме пластины при радиационно-конвективном режиме сушки. Определены диапазоны влагосодержания материала (торфа), в которых перенос влаги в нем протекает в виде жидкости либо в парогазовой фазе. С позиций потенциальной проницаемости данных реологических сред обоснованы закономерности переноса влаги и растворенных соединений как в самом материале при его сушке, так и в торфяных системах как природных геохимических барьерах.

I. I. Lishtvan, A. M. Abramets, U. G. Yanuta, E. A. Yakuta

MASS TRANSFER DURING THE DRYING OF ORGANOGENOUS MATERIALS

Experimentally, using water soluble radioactive indicator (S^{35}) the regularities of the moisture transfer mechanism in peat samples (as natural rheological material) of different dispersion in the form of plate with a radiation-convection drying mode were investigated. The ranges of water content of the material (peat), in which moisture transfer in it flows as a liquid or vapor-gas phase are determined. From the position of potential permeability data of rheological environments the regularities of the transfer of moisture and dissolved compounds both in the material during its drying as well as peat systems, as natural geochemical barriers are justified.

УДК 662.331(476)

**И. И. Лиштван, В. В. Мулярчик, А. Э. Томсон, Б. В. Курзо, Г. В. Наумова,
Н. А. Жмакова, Т. Я. Царюк, Т. В. Соколова, Н. Л. Макарова,
Т. Ф. Овчинникова, Н. Е. Сосновская, В. С. Пехтерева, Ю. Ю. Навоша,
Л. П. Калилец, И. П. Фалюшина**

ОЦЕНКА ТОРФА МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ТУРШОВКА-ЧЕРТОВО» КАК СЫРЬЯ ДЛЯ ГЛУБОКОЙ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

Приведены результаты научно-исследовательских работ по оценке торфа одного из перспективных месторождений Республики Беларусь с целью определения возможности строительства на его основе горно-химического комбината по глубокой комплексной переработке торфа. Установлена целесообразность создания промышленного предприятия на базе обследованного месторождения, учитывая запасы, состав и свойства залегающего на нем торфа.

Одним из важнейших природных ресурсов Республики Беларусь является торф, запасы которого составляют около 4 млрд т, а торфяные месторождения занимают 14 % ее территории. Торф представлен более чем 40 ботаническими видами, отличающимися большим разнообразием по химическому составу и свойствам [9]. Характерно, что разнообразие торфяной залежи может наблюдаться в пределах одного месторождения, что связано с условиями формирования месторождений торфа, их минеральным питанием, а также с видами болотной растительности, являющихся материнским веществом торфяных отложений.

В последние годы Институтом природопользования НАН Беларуси в рамках Государственной программы «Торф» выполнена оценка современного состояния торфяных ресурсов всех административных областей республики. В соответствии с современными экономическими требованиями проведено распределение имеющихся ресурсов по основным направлениям использования с акцентом на наукоемкие технологии по глубокой комплексной переработке с получением востребованных продуктов и материалов с высокой добавленной стоимостью [2].

Кроме того, в республике имеется научно-техническая база по созданию новых продуктов и материалов на основе торфа, сырьевые ресурсы, а также высокоразвитая, полностью механизированная торфодобывающая отрасль. В этом аспекте экономически целесообразна комплексная переработка торфа на промышленном предприятии (комбинате), позволяющая более эффективно использовать торфяную залежь, добывая и перерабатывая различные категории торфяного сырья в востребованные продукты и материалы [12].

Это послужило основанием для проведения научно-исследовательских работ по определению возможности и целесообразности строительства горно-химического комбината по глубо-

кой комплексной переработке торфа на базе сырья месторождения «Туршовка-Чертово» Крупского района Минской области.

Специалистами Института природопользования НАН Беларуси и РУП «БелНИИтоппроект» в 2015 г. была выполнена доразведка перспективного участка торфа указанного месторождения как первоочередной сырьевой базы для комплексной переработки торфа. Установлено, что на данном участке площадью 300 га балансовые запасы торфа составили 2171 тыс. т при средней мощности 5,3 м и 40 %-ной условной влажности.

Дальнейшей задачей явился отбор проб с различных глубин залежи на перспективном участке и проведение комплексных исследований состава и свойств торфа данного участка с целью определения направлений его использования.

Установлено, что торфяная залежь представлена верховым, низинным и переходным торфом. Всего на доразведенном участке выявлено 23 вида торфа: 9 верхового, 8 переходного и 6 низинного. Среди верховых образцов торфа преобладают пушицево-сфагновый (33,4 %), комплексный (16,5), пушицевый (13,8), шейхцериево-сфагновый верховой (7,2) и магелланникум-торф (5,9 %). Переходный и низинный торф встречаются в меньшем количестве (9,3 и 8,9 % соответственно). Среди переходных видов торфа преобладают осоковый переходный (2,4 %) и древесно-осоковый переходный (2,4 % общей встречаемости). Наибольшую встречаемость среди низинного торфа имеет осоково-гипновый (4,1 %).

Объектами исследования служили 56 образцов торфа, отобранных из 16 пунктов с различных глубин залежи (от 0,5 до 6,0 м).

В отобранных пробах определяли массовую долю влаги, массовую долю минеральных веществ, а также активную кислотность их водных вытяжек. Геоботаническая характеристика образцов и физико-химическая характеристика образцов торфа представлены в табл. 1.

Таблица 1. Геоботаническая и физико-химическая характеристика торфа перспективного участка залежи торфяного месторождения «Туршовка-Чертово»

Номер пункта отбора	Номер образца	Глубина отбора, м	Степень разложения, %	Вид торфа	Зольность, %	pH
1	1.1	0,5–1,0	10–15	Магелланикум-торф	1,89	3,9
	1.2	1,0–2,0	15–20	Комплексный верховой	1,63	4,0
	1.3	2,0–2,5	20–25	Пушицево-сфагновый	1,36	4,0
	1.4	4,0–4,5	35–40	Пушицево-сфагновый	1,41	4,1
2	2.1	0,5–1,0	10–15	Комплексный верховой	1,76	3,9
	2.2	1,0–2,0	15–20	Комплексный верховой	1,48	4,0
	2.3	2,0–2,5	20–25	Шейхцериево-сфагновый	1,20	4,1
	2.4	4,0–4,5	35	Шейхцериевый переходный	1,34	4,3
3	3.1	0,5–1,0	10	Фускум-торф	2,16	4,0
	3.2	1,0–2,0	15–20	Комплексный верховой	1,68	4,1
	3.3	2,0–2,5	20	Магелланикум-торф	1,20	4,1
	3.4	4,5–5,0	45	Пушицевый	1,51	4,1
4	4.1	0,5–1,0	10	Сфагново-мочажинный	2,69	39
	4.2	1,0–2,0	15–20	Шейхцериево-сфагновый	2,06	4,0
	4.3	2,0–2,5	25	Шейхцериево-сфагновый	1,43	4,0
	4.4	3,0–3,5	35	Пушицево-сфагновый	1,37	4,1
5	5.1	0,5–1,0	20	Комплексный верховой	2,08	4,0
	5.2	1,0–2,0	15–20	Пушицево-сфагновый	1,65	4,1
	5.3	2,0–2,5	25	Пушицево-сфагновый	1,21	4,2
	5.4	4,0–4,5	40	Пушицево-сфагновый	1,30	4,2
6	6.1	0,5–1,0	15	Комплексный верховой	1,78	3,9
	6.2	1,0–2,0	20	Комплексный верховой	1,58	4,1
	6.3	2,0–2,5	20	Магелланикум-торф	1,38	4,0
	6.4	3,0–3,5	35–40	Пушицево-сфагновый	1,67	4,1
7	7.1	0,5–1,0	15–20	Комплексный верховой	1,66	4,0
	7.2	1,0–2,0	20	Пушицево-сфагновый	1,45	4,1
	7.3	2,0–2,5	30	Пушицево-сфагновый	1,23	4,2
	7.4	3,0–3,5	40	Шейхцериевый верховой	1,21	4,3
8	8.1	0,5–1,0	15	Магелланикум-торф	2,01	4,0
	8.2	1,0–2,0	15–20	Магелланикум-торф	1,60	4,1
	8.3	2,0–2,5	20	Шейхцериево-сфагновый	1,18	4,2
	8.4	3,5–4,0	30	Шейхцериевый верховой	1,26	4,3
9	9.1	0,5–1,0	15–20	Комплексный верховой	2,31	4,0
	9.2	2,0–2,5	25–30	Пушицево-сфагновый	1,34	4,2
	9.3	3,0–3,5	35	Пушицево-сфагновый	1,65	4,2
10	10.1	1,0–1,5	20	Пушицево-сфагновый	1,55	4,2
	10.2	3,5–4,0	35–40	Пушицевый	1,59	4,2
	10.3	5,5–6,0	35–40	Осоковый	2,29	4,5
11	11.1	1,0–1,5	15–20	Шейхцериево-сфагновый	1,95	4,2
	11.2	3,5–4,0	35	Пушицево-сфагновый	1,14	4,2
	11.3	5,5–6,0	40–45	Осоково-сфагновый переходный	1,50	4,5
12	12.1	0,5–1,0	10	Сфагнум магелланикум-торф	1,92	4,0
	12.2	2,0–2,5	20	Шейхцериево-сфагновый	1,16	4,1
	12.3	4,0–4,5	30	Пушицево-сфагновый	1,09	4,2
13	13.1	0,5–1,0	15	Комплексный верховой	1,48	3,7
	13.2	2,0–2,5	20	Шейхцериево-сфагновый	1,06	4,1
	13.3	3,5–4,0	30	Шейхцериево-сфагновый	1,16	4,4
14	14.1	0,5–1,0	15	Комплексный верховой	2,27	3,6
	14.2	2,0–2,5	20	Пушицево-сфагновый	1,07	4,2
	14.3	4,0–4,5	35	Пушицевый	0,97	4,2
15	15.1	0,5–1,0	15	Фускум-торф	1,77	4,0
	15.2	2,0–2,5	20	Магелланикум-торф	1,05	4,1
	15.3	3,5–4,0	30	Пушицево-сфагновый	1,20	4,3
16	16.1	0,5–1,0	15	Комплексный верховой	2,23	3,9
	16.2	2,0–2,5	20	Комплексный верховой	1,06	4,0
	16.3	4,0–4,5	30	Пушицево-сфагновый	1,21	4,3

Определение влажности торфа, отобранного на неосушенном участке, показало, что она составляет от 92,3 до 95,7 %, существенно не варьируясь в зависимости от глубины отбора и степени разложения торфа. Образцы торфа отличались невысоким содержанием золы (1,0–2,7 %), что является важным фактором при его использовании в производстве новых продуктов и материалов.

Кислотность торфа – один из показателей, который необходимо учитывать при приготовлении на его основе питательных грунтов, органических и органоминеральных удобрений и регуляторов роста растений. Как и следовало ожидать, наиболее низкой кислотностью (рН 3,6–4,0) обладал сфагновый и комплексный верховой торф, сложенный преимущественно остатками

сфагновых мхов. Пушицевый и пушицево-сфагновый торф имел рН 4,1–4,2. Несколько выше рН был у шейхцериевого и осоково-сфагнового переходного торфа – 4,3–4,5. Наиболее низкие значения рН характерны для торфа с глубины 0,5–1,0 м, что обусловлено залеганием в этом диапазоне преимущественно сфагновых торфов. В средних и нижележащих слоях залежи (4,0–4,5 м) величина рН составляет 4,2–4,3.

Важной характеристикой торфа при его оценке не только как топлива, но и как сырья при химической переработке является элементный состав горючей массы. Для оценки этого показателя были выбраны представительные образцы торфа разных видов. Результаты определения элементного состава горючей массы торфяного сырья представлены в табл. 2.

Таблица 2. Элементный состав горючей массы торфа различных категорий с перспективного участка торфяного месторождения «Туршовка-Чертово»

Номер образца торфяного сырья	Содержание на горючую массу, %				Атомное отношение С/Н
	N	C	H	O	
1.1	1,02	43,86	6,01	49,11	0,608
1.2	0,91	45,95	6,12	47,02	0,626
1.3	1,01	48,20	6,26	44,53	0,642
1.4	1,21	50,41	6,29	42,09	0,668
10.3	1,68	49,62	6,21	42,49	0,666
11.3	1,62	53,45	6,25	38,68	0,713

П р и м е ч а н и е. Содержания серы не обнаружено.

Как видно из приведенных данных, наиболее высоким содержанием кислорода и низким – углерода характеризуется торф образцов № 1.1 и 1.2, относящихся к верховому типу с наиболее низкой степенью разложения и с наиболее низкой зольностью (от 5 до 10 %), что обусловлено присутствием в его органической массе значительного количества полисахаридов, богатых кислородом. Так, горючее вещество верхового торфа образца № 1.1 (наименее разложившийся) содержит более 49 % кислорода и около 44 % углерода, в то время как торф такого же типа (образец № 1.4 со степенью разложения 35–40 %) богаче углеродом (50,4 %), чем кислородом (42,1 %).

У низинного и переходного торфа (образцы № 10.3 и 11.3) содержание углерода в горючей массе находится на уровне 49,6 и 53,5 % при значительно более низком содержании кислорода – 42,5 и 38,7 % соответственно.

Характерно, что горючее вещество низинного и переходного торфа богато азотом (1,68 и 1,62 % соответственно), в то время как для горючего вещества верхового торфа этот показатель составляет от 0,91 до 1,21 %. Сера в данном торфяном сырье не обнаружена.

Одним из эмпирических показателей, свидетельствующих о степени метаморфизма (аро-

матичности) твердых горючих ископаемых на основании данных элементного состава, служит атомное отношение С/Н.

Для исследованных образцов торфа месторождения «Туршовка-Чертово» зафиксировано увеличение показателя С/Н от образца № 1.1 малоразложившегося верхового торфа к образцу переходного торфа высокой степени разложения № 11.3 в пределах 0,01–0,02, что свидетельствует о некотором изменении структурной организации органического вещества образцов торфа в области изменения степени его ароматичности, при этом степень их разложения увеличивается практически в 2,0 раза. Наиболее существенные изменения показателя С/Н (от 0,66 до 0,71) наблюдаются при переходе от образца низинного торфа № 10.3 к образцу переходного № 11.3 при почти равных показателях степени разложения. Полученный результат свидетельствует о более существенном изменении структурной организации органического вещества данных образцов.

Как известно, наиболее полной характеристикой органического вещества торфа является компонентный состав, который дает представление о содержании в нем основных групп органических соединений: битумов, легко- и трудногидролизуемых веществ, гуминовых веществ и

«лигнина» (негидролизуемого остатка). К битумам относятся соединения, способные растворяться в органических растворителях. Легкогидролизуемые вещества представлены гемицеллюлозами, которые расщепляются до простых моносахаридов в среде слабых растворов минеральных кислот. Трудногидролизуемые вещества (целлюлоза) под воздействием концентрированной серной кислоты деструктируются также до моноз. Гуминовые вещества извлекаются водными растворами щелочей, а их основная составляющая – гуминовые кислоты, выделяются путем осаждения из щелочных растворов гуминовых веществ при подкислении. Негидролизуемый остаток является наиболее устойчивым компонентом при химической деструкции и мало изменяется в количественном отношении при обработке органическими и минеральными агентами.

Компонентный состав позволяет судить о превращениях углеводного комплекса торфа (легко- и трудногидролизуемых полисахаридов) в процессе его разложения в залежи, о накоплении гуминовых веществ, а также оценить уровень содержания в нем наиболее устойчивого органического компонента – «лигнина», который мало подвержен изменению под воздействием микробиологических факторов. Компонентный состав торфа определяли по методу Инсторфа [3].

Анализ экспериментальных данных, полученных при исследовании битуминозной части торфа, показал, что в зависимости от ботанического вида, степени разложения торфа и глубины его залегания в залежи уровень содержания битума в нем колеблется в диапазоне от 1,3 до 9,7 %.

Наибольшим выходом этого компонента отличался верховой пушицевый и пушицево-сфагновый торф со степенью разложения от 35 до 40 %, в котором присутствовало от 6,5 до 9,7 % битума в расчете на органическую массу исходного торфа. Высокими были также эти показатели у шейхцериевого торфа при достижении им степени разложения 30–40 %, составляя 6,5–6,9 % на органическую массу торфа. Самый низкий уровень битуминозности у сфагнового торфа малой степени разложения (1,3–1,8 %), а также у комплексного верхового 2,8–4,2 %.

На рис. 1 представлены данные по битуминозности исследуемого торфа в зависимости от глубины его залегания.

В верхнем слое залежи (0,5–1,0 м) содержание битума в торфе находится в пределах 1,3–4,1 %, в средней части залежи (глубина 2,0–2,5 м) – 3,8–5,7, а в слое, расположенному на глубине 4,0–4,5 м, этот показатель достигает 6,5–9,7 %,

что позволяет отнести его к категории битуминозных.

Таким образом, исследование образцов торфа на битуминозность показало, что верхние слои залежи, сложенные менее разложившимся торфом, бедны битумом, более глубокие слои (2,0–2,5 м) содержат отдельные линзы битуминозного торфа, а на глубине 4,0–4,5 м торфянная залежь представлена битуминозным торфом с содержанием сырого торфяного воска 6,5–9,7 % в расчете на органическое вещество исходного сырья.

Одним из ценных составляющих органического вещества торфа является его углеводный комплекс, представленный легкогидролизуемыми и трудногидролизуемыми соединениями (гидролизуемые вещества). Первые из них содержат преимущественно гемицеллюлозу, а вторые – целлюлозу. Объектом исследования при изучении углеводного комплекса служили гидролизаты легкогидролизуемых и трудногидролизуемых веществ, полученные из отобранных образцов торфа. Результаты исследований углеводного комплекса торфа представлены на рис. 2.

Полученные данные показывают, что соединениями углеводного характера наиболее богаты верхние горизонты торфяной залежи обследуемого участка. Так на глубине 0,5–1,0 м от поверхности гидролизуемыми веществами представлены от 53,7 до 73,1 % его органической составляющей. На глубинах 2,0–2,5 м их содержание также значительно – от 51,4 до 55,1 %.

Глубокие слои залежи верхового торфа (4,0–4,5 м) характеризуются сравнительно более низким содержанием гидролизуемых веществ – от 41,4 до 44,0 % на органическое вещество, что обусловлено повышением степени разложения торфа в нижних слоях залежи.

Наиболее ценной составляющей углеводного комплекса торфа являются редуцирующие вещества (РВ), содержание которых в гидролизатах легко- и трудногидролизуемых веществ определяли эбулиостатическим методом [8]. Анализ результатов экспериментов показывает, что содержание РВ в исследуемых гидролизатах находится в пределах 26,3–51,5 % на органическую массу торфа. Наблюдается снижение их содержания при переходе от верхних горизонтов залежи к более глубоким ее слоям. Так, верхние горизонты залежи, включающие малоразложившийся сфагновый торф, концентрируют в своем составе до 35,0–51,5 % редуцирующих веществ в расчете на органическое вещество торфа, а в нижних слоях этот показатель снижается до 26,3–30,6 %.

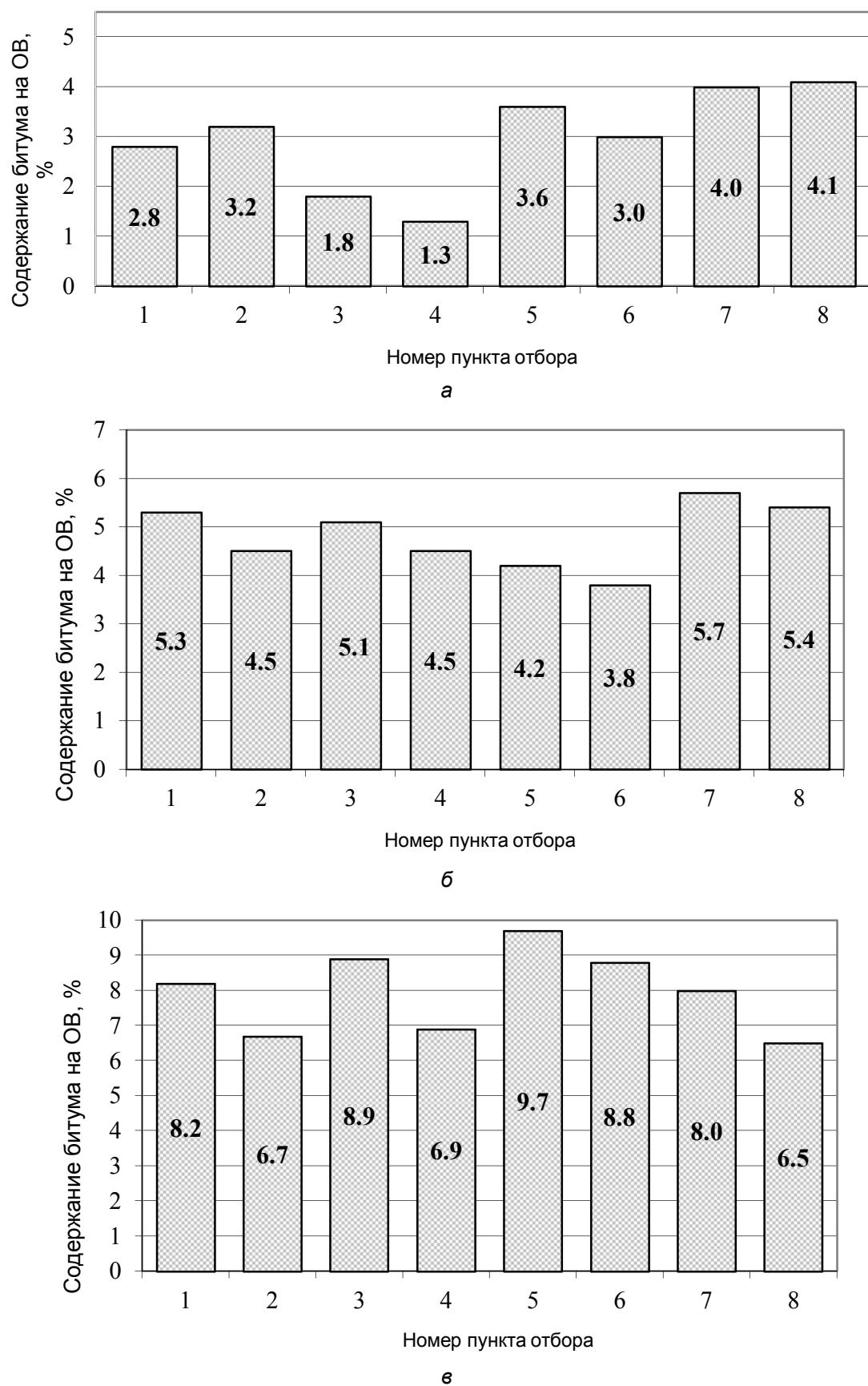


Рис. 1. Битуминозность торфа торфяного месторождения «Туршовка-Чертово». Глубина залежи, м: а – 0,5–1,0; б – 2,0–2,5; в – 4,0–4,5

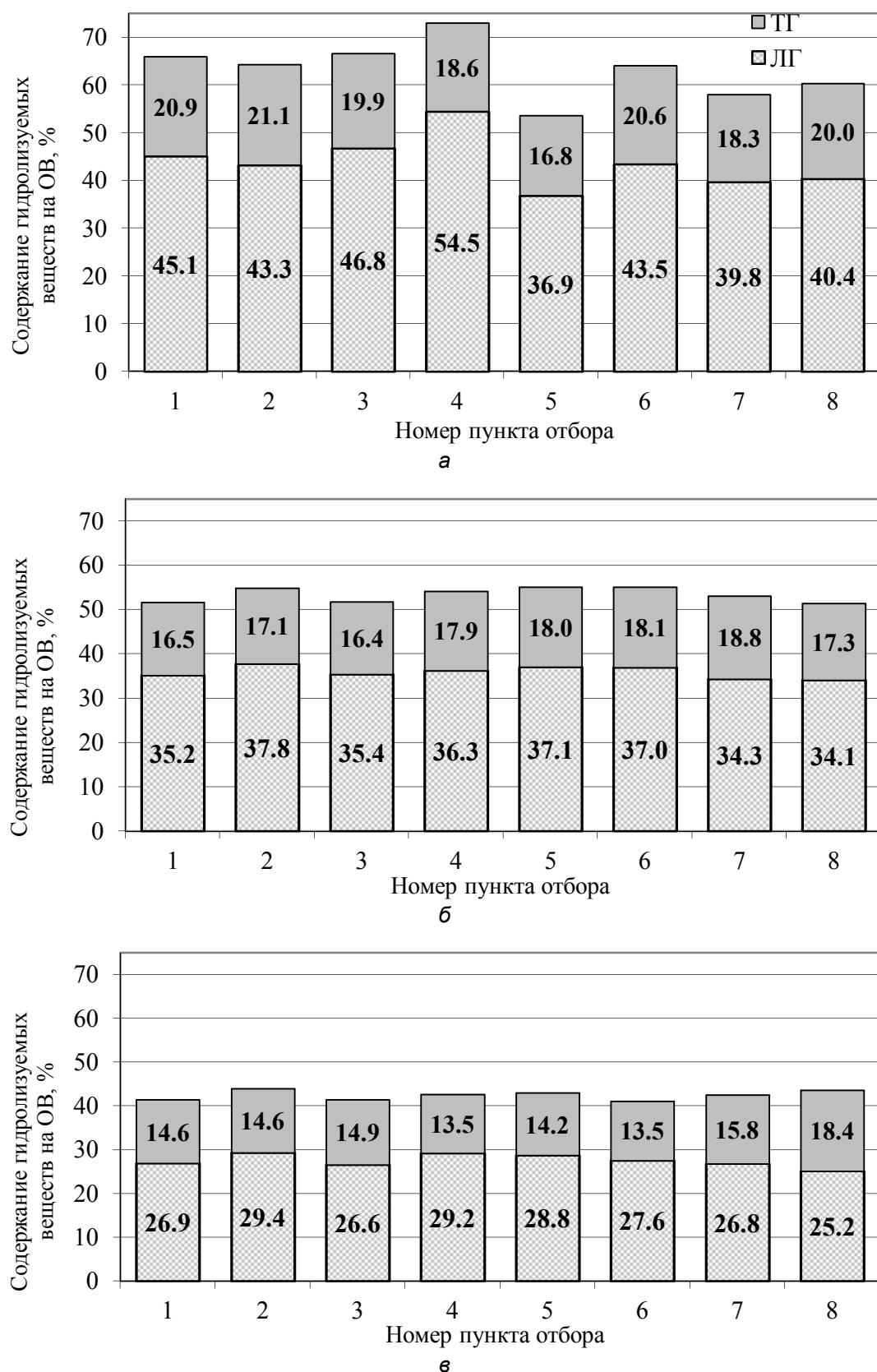


Рис. 2. Содержание легкогидролизуемых и трудногидролизуемых веществ в торфе торфяного месторождения «Туршовка-Чертово». Глубина залежи, м: а – 0,5–1,0; б – 2,0–2,5; в – 4,0–4,5

Результаты определения содержания гуминовых веществ представлены на рис. 3.

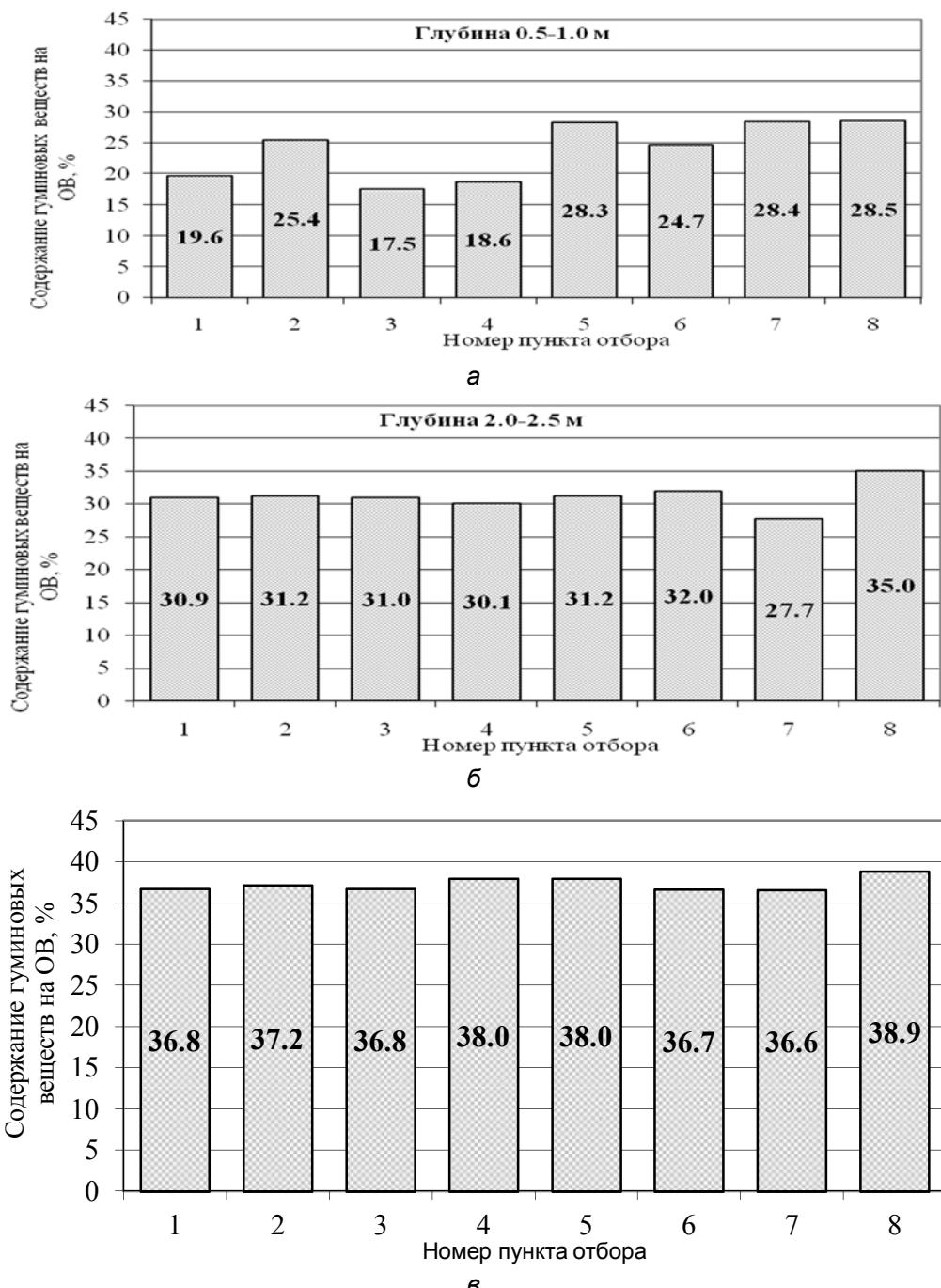


Рис. 3. Содержание гуминовых веществ в торфе торфяного месторождения «Туршовка-Чертово». Глубина залежи, м: а – 0,5–1,0; б – 2,0–2,5; в – 4,0–4,5

Показано, что их выход зависит в первую очередь от степени его разложения, что представляется закономерным. Характерно, что наибольшим содержанием гуминовых веществ отличаются нижние слои залежи, где их выход в расчете на органическое вещество торфа достигает 38,9 %.

В верхнем слое (0,5–1,0 м) торф содержит от 17,5 до 28,5 % гуминовых веществ, а в сред-

нем слое (2,0–2,5 м) эти показатели возрастают от 27,7 до 35,0 %.

Разделение гуминового комплекса на гуминовые кислоты и фульвокислоты показало, что гуминовые кислоты на фоне фульвокислот преобладают в любом из исследуемых образцов торфа. Их содержание в пробах, отобранных в верхней части залежи (0,5–1,0 м), составляет 12,2 % для фускум-торфа со степенью

разложения 10 и 21,8 % для шейхцериево-сфагнового торфа со степенью разложения 15–20 %. Фульвокислоты составляют в органической массе торфа на этой же глубине от 5,3 до 8,9 %. В более глубоких слоях, представленных пущицевым, пущицево-сфагновым и осоковым (переходным) видами торфа со степенью разложения от 30 до 45 %, выход гуминовых кислот достигает 30,9 %.

Следовательно, исследование гуминового комплекса образцов торфа, отобранных на торфяном месторождении «Туршовка-Чертово», показало, что, начиная с глубины 2,0–2,5 м, он содержит от 27,7 до 35,0 % гуминовых веществ, которые практически на 70 % представлены наиболее ценной их частью – гуминовыми кислотами, что позво-

ляет использовать такой верховой торф для производства гуминовых препаратов.

Полученные данные по содержанию основных органических компонентов в образцах торфа позволили расчетным путем по разности между его органическим веществом и суммарным содержанием битумов, легко- и трудногидролизуемых, а также гуминовых веществ установить количество в нем «лигнина» (негидролизуемый остаток), содержание которого в зависимости, в первую очередь от степени разложения торфа и его ботанического вида, находится в пределах от 7 до 14 % на его органическое вещество.

Проведена статистическая обработка результатов компонентного анализа образцов торфа, результаты которой представлены на рис. 4.

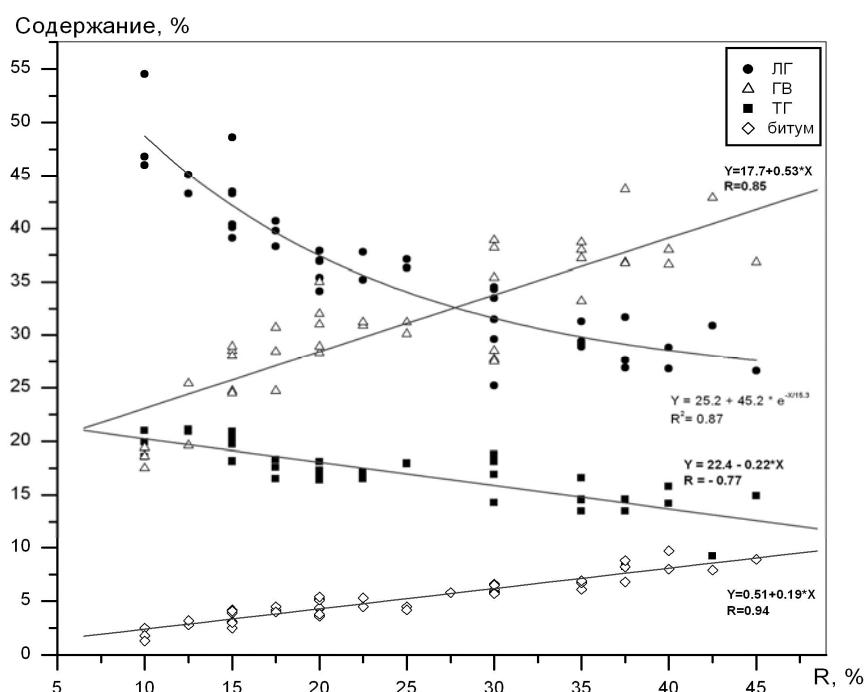


Рис. 4. Зависимость выхода основных компонентов торфа от степени его разложения

Для всех пунктов отбора с глубиной залегания наблюдается монотонное увеличение степени разложения торфа и повышение его битуминозности. Регрессионный анализ показал положительную линейную корреляцию битуминозности (Б, %) со степенью разложения (R , %).

$$Б = 0,505 + 0,189R.$$

Высокое значение коэффициента корреляции ($r = 0,94$) указывает на функциональную зависимость битуминозности торфа от его степени разложения. Полученные результаты свидетельствуют о высокой однородности процессов торфообразования на данном месторождении.

Выход легкогидролизуемых веществ в зависимости от степени разложения изменяется по экспоненциальному кривой и описывается уравнением

$$\text{ЛГ} = 25,2 + 45,2 \cdot e^{-R/15,3}.$$

Коэффициент корреляции $R^2 = 0,86$.

Выход гуминовых веществ прямо пропорционален изменению степени разложения:

$$\text{ГВ} = 17,7 + 0,53R.$$

Коэффициент корреляции – 0,84.

Количество трудногидролизуемых веществ обратно пропорционально изменению степени разложения:

$$\text{ТГ} = 22,4 - 0,22R.$$

Коэффициент корреляции – (-0,77).

Наблюдается четкая зависимость между возрастанием степени разложения торфа и снижением содержания в нем углеводных компонентов,

что связано с более интенсивным микробиологическим и биохимическим разрушением углеводов при одновременном относительном накоплении более устойчивых компонентов – битумов, а также вновь образующегося специфического органического компонента – гуминовых веществ – при незначительном изменении содержания «лигнина», т. е. негидролизуемого остатка торфа.

Анализ результатов, полученных при оценке компонентного состава образцов торфа, отобранных на одинаковых глубинах залежи, показал, что по содержанию отдельных компонентов образцы торфа, отобранные на одной и той же глубине, практически мало отличаются, что свидетельствует об однородности торфяного сырья в этом плане, а также является важным фактором при его добыче поверхностным фрезерным способом и его дальнейшей переработке с получением определенной целевой продукции.

Полученные экспериментальные данные подтверждают известные закономерности по изменению содержания основных компонентов торфа в зависимости от его ботанического вида и степени разложения, полученных в предыдущих исследованиях [3].

Проведенные исследования позволили сделать заключение о широком наборе имеющихся на месторождении разновидностей торфа, их типич-

ности и соответствии основным классификационным характеристикам.

Изучение геоботанического состава, физико-химических свойств и компонентного состава торфа из различных пунктов отбора залежи показало, что верхние пласти залежи сложены малоразложившимся торфом с высоким содержанием легко-гидролизуемых полисахаридов, что позволяет рассматривать его как сорбционный материал, а также как полноценное сырье для получения углеводсодержащих кормовых добавок. Наблюдается четкая зависимость между глубиной залегания торфа в залежи и содержанием в нем углеводов при одновременном относительном накоплении более устойчивых компонентов – битумов и гуминовых веществ. Такой торф можно рассматривать как битуминозное сырье, а также как сырье для производства активированных углей, комплексных гранулированных удобрений, гуминовых препаратов, жидких комплексных гуминовых микроэлементных удобрений, консервантов кормов [1, 4–7, 10–12]. Полученные экспериментальные данные позволили также выполнить расчеты по распределению балансовых запасов торфяной залежи первоочередного участка по направлениям комплексного использования торфа. Результаты проведенных расчетов представлены на рис. 5.

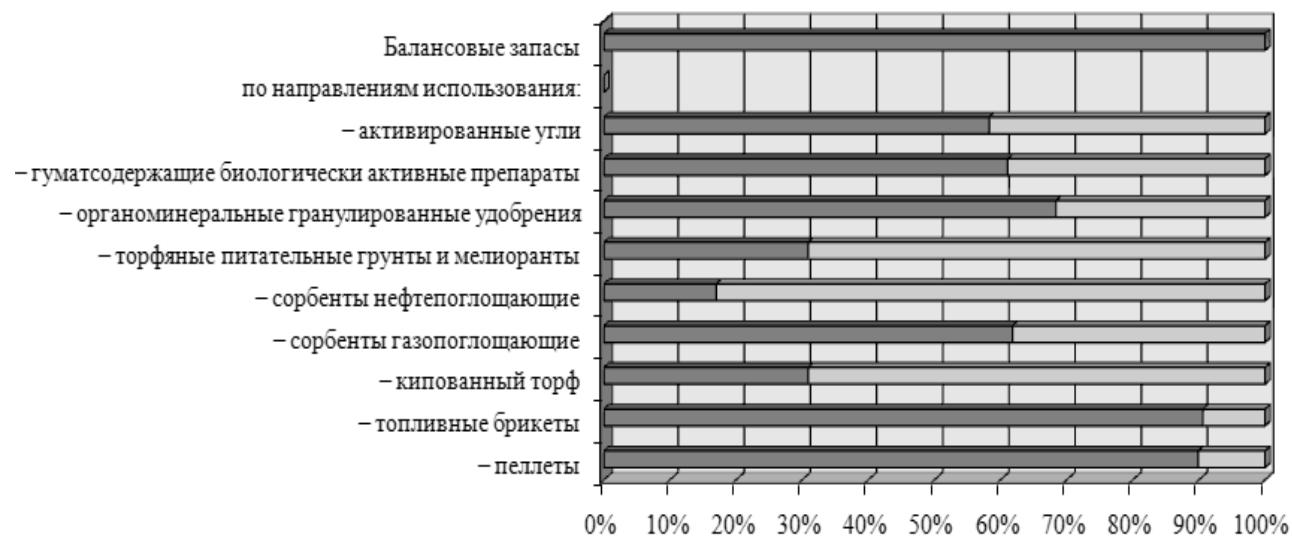


Рис. 5. Распределение балансовых запасов торфяной залежи участка доразведки месторождения «Туршовка-Чертово» по направлениям комплексного использования торфа

Как показали проведенные расчеты, имеющиеся запасы торфяной залежи на первоочередном перспективном участке позволяют использовать торф для получения широкой гаммы торфяной востребованной продукции в опытно-

промышленном и даже промышленном масштабах на намечаемом к созданию комбинате, организуя его комплексную переработку с учетом постепенного залегания торфа с различными качественными показателями.

Литература

1. **Вирясов, Г. П.** Комплексные гранулированные удобрения на основе торфа / Г. П. Вирясов. – Минск, 1988.
2. **Лиштван, И. И.** Торфяные ресурсы и их использование по разработкам Государственной программы «Торф» на 2008–2010 гг. и на период до 2020 г. / И. И. Лиштван, И. Л. Якимович // Природопользование. – 2012. – Вып. 22. – С. 252–257.
3. **Лиштван, И. И.** Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. – Минск, 1975.
4. **Лиштван, И. И.** Исследование состава и свойств торфа с целью повышения эффективности комплексной переработки торфяного сырья / И. И. Лиштван, Н. С. Костюк // Торф. пром. – 1974. – № 12. – С. 18–19.
5. **Лиштван, И. И.** Мелиоранты почв для территорий, нарушенных хозяйственной деятельностью человека и технологические их производства / И. И. Лиштван, А. М. Абрамец // Охрана природы : сб. ст. – Минск, 1995. – С. 144–146.
6. **Мазина, О. И.** Исследования по обоснованию требований к торфам как исходному сырью для производства углеродных адсорбентов / О. И. Мазина, В. Е. Раковский, В. К. Жуков // Углеродные адсорбенты и их применение в промышленности. – Минск, 1983. – С. 74–83.
7. **Низовкин, В. К.** Эбулиостатический метод определения редуцирующих сахаров / В. К. Низовкин, И. З. Емельянова // Журнал прикладной химии. – 1959. – Т. 32, № 11. – С. 2516–2521.
8. **Наумова, Г. В.** Торф в биотехнологии / Г. В. Наумова. – Минск, 1987.
9. **Полезные ископаемые Беларуси.** – Минск, 2002.
10. **Сорбенты на основе торфа в процессах миграции нефти в почвах при аварийных разливах** / А. Э. Томсон [др.] // Торф в решении проблем энергетики, сельского хозяйства и экологии. – Минск, 2006.
11. **Тишкович, А. В.** Свойства торфа и эффективность его использования на удобрение / А. В. Тишкович. – Минск, 1978.
12. **Томсон, А. Э.** Торф в биотехнологии / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. – Минск, 2009.

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 03.11.2016 г.

**И. И. Лиштван, В. В. Мулярчик, А. Э. Томсон, Б. В. Курзо, Г. В. Наумова,
Н. А. Жмакова, Т. Я. Царюк, Т. В. Соколова, Н. Л. Макарова, Т. Ф. Овчинникова,
Н. Е. Сосновская, В. С. Пехтерева, Ю. Ю. Навоша, Л. П. Калилец, И. П. Фалюшина**

ОЦЕНКА ТОРФА МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ТУРШОВКА-ЧЕРТОВО» КАК СЫРЬЯ ДЛЯ ГЛУБОКОЙ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

В Институте природопользования НАН Беларуси проведены научно-исследовательские работы по определению возможности и целесообразности строительства горно-химического комбината по глубокой комплексной переработке торфа на базе сырья месторождения «Туршовка-Чертово» Крупского района Минской области.

Совместно с РУП «БелНИИтоппроект» была выполнена доразведка перспективного участка торфа указанного месторождения как первоочередной сырьевой базы для этого комбината. Установлено, что на данном участке площадью 300 га балансовые запасы торфа составляют 2171 тыс. т при средней мощности 5,3 м и 40 %-ной условной влажности.

Проведен отбор проб с различных глубин залежи и комплексные исследования состава и свойств торфа данного участка с целью определения направлений его использования. Объектами исследования служили 56 образцов торфа, отобранных из 16 пунктов с различных глубин залежи (от 0,5 до 6,0 м).

Установлено, что торфяная залежь представлена верховым, низинным и переходным торфом. Среди верховых образцов торфа преобладают пушицево-сфагновый (33,4 %), комплексный (16,5), пушицевый (13,8), шейхцериево-сфагновый верховой (7,2) и магелланикум-торф (5,9 %). Среди переходных – осоковый переходный (2,4 %) и древесно-осоковый переходный (2,4 %). Наибольшую встречаемость среди низинного торфа имеет осоково-зипновый (4,1 %).

Изучение физико-химических свойств и компонентного состава торфа из различных пунктов отбора показало, что верхние пласти залежи сложены малоразложившимся торфом с высоким содержанием легкогидролизуемых полисахаридов, что позволяет рассматривать его как сорбционный материал, а также как полноценное сырье для получения углеводсодержащих кормо-

вых добавок. Наблюдается четкая зависимость между глубиной залегания торфа в залежи и содержанием в нем углеводов при одновременном относительном накоплении более устойчивых компонентов – битумов и гуминовых веществ. Такой торф можно рассматривать как битуминозное сырье, а также как сырье для производства активированных углей, комплексных гранулированных удобрений, гуминовых препаратов, жидких комплексных гуминовых микроэлементных удобрений, консервантов кормов.

Полученные экспериментальные данные позволили выполнить расчеты по распределению балансовых запасов первоочередного участка торфяной залежи по направлениям комплексного использования торфа.

Проведенные исследования торфа показали, что имеющиеся запасы торфяной залежи на первоочередном перспективном участке позволяют использовать торф для получения широкой гаммы востребованной торфяной продукции в опытно-промышленном и даже промышленном масштабах на намечаемом к созданию комбинате, организуя его комплексную переработку с учетом послойного залегания торфа с различными качественными показателями.

*I. I. Lishtvan, V. V. Mulyarchik, A. E. Tomson, B. V. Kurzo, G. V. Naumova,
N. A. Zhmakova, T. Y. Tsaruk, T. V. Sokolova. N. L. Makarova, T. F. Ovchinnikova,
N. E. Sosnovskaya, V. S. Pehtereva, U. U. Navosha, L. P. Kalilets, I. P. Falushina*

THE ESTIMATION OF PEAT DEPOSIT "TYRSHOVKA-CHERTOVO" AS A RAW MATERIAL FOR DEEP CPMPLEX PROCEEDING

The Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences conducted research work to determine the possibility and feasibility of construction of mining and chemical plant complex for deep processing of peat on the basis raw materials of peat deposit "Turshovka-Chertovo", Krupki, Minsk region.

Together with the RUE "BelNIItopproekt" the further exploration of prospective area of peat of this deposit has been designed as a primary resource base for this plant. It was established that on this area of 300 ha the balanced peat reserves are 2171 thous. t, with an average capacity of 5.3 m and 40 % of conditional humidity.

A sampling from various reservoir depths and complex studies of structure and properties of peat from this area in order to identify the directions of its use was spent. 56 peat samples which had been spent from 16 points from various reservoir depth (from 0,5 till 6,0 m) were objects of the study.

It was established that a peat reservoir is presented by upper, lowland and transitive peat. Cotton grass-sphagnum (33.4 %), complex (16.5 %), cotton grass (13.8 %), scheuchzeriaceae-sphagnum upper (7.2 %) and magellanikum-peat (5.9%) are dominated among the peat samples. Among transitive are sedge transitive (2.4 %) and wood-sedge transitive (2.4 %). The greatest occurrence among lowland peat has a sedge-wort (4.1 %).

The study of physical and chemical features of component content of peat from various points of sampling showed that the upper layers of reservoir are composed of low decomposed peat with a high content readily hydrolysable polysaccharides, which allows to consider it as a sorption material, as well as a complete raw material for carbohydrate-containing food additives. There is a clear dependence between the depth of the peat reservoir and the content of carbohydrates in it, while the relative accumulation of more sustainable components – bitumen and humic substances. Such peat can be considered to be both a bituminous raw material and material for activated coals, complex granulated fertilizers (CGF), humic preparations, liquid complex humic microelement fertilizers, food preservations' production.

Obtaining experimental data allow to execute calculations on the distribution of balance reserves of priority area of peat deposit in the directions of complex use of peat.

Conducted peat research showed that existing stocks of peat deposit on the priority area of interest allow the use peat to produce a wide range of popular products of peat in pilot production, and even on an industrial scale of ta plant which is planned to create, organizing its complex processing based on layered deposition of peat with different quality indicators.

УДК 635.5:579.62

**А. Р. Цыганов¹, А. Э. Томсон¹, А. А. Мартыненко², Т. В. Соколова¹,
Ю. Ю. Навоша¹, Н. Е. Сосновская¹, В. С. Пехтерева¹**

ГРАНУЛИРОВАННЫЙ СОРБЕНТ НА ОСНОВЕ ТОРФА ДЛЯ ПОДСТИЛОЧНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ НАПОЛЬНОМ ВЫРАЩИВАНИИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

На основании результатов исследований физико-химических свойств различных видов торфа, отличающихся ботаническим и фракционным составом, степенью разложения подобраны виды торфа с определенными геоботаническими, техническими, физико-химическими характеристиками, обеспечивающие наиболее эффективное применение их в качестве компонента подстилочного материала при напольном выращивании цыплят-бройлеров. Институтом природопользования НАН Беларуси и ООО «ЭкоГранТорф» разработана технология и изготовлено оборудование, позволяющее получить гранулированный сорбционный материал на основе торфа. Проведены производственные испытания сорбционного материала на ОАО «Агрокомбинат «Дзержинский» (Беларусь) в качестве дополнительного компонента в подстилочный материал.

В современном промышленном птицеводстве используются клеточные и напольные способы содержания и выращивания птицы. Основными требованиями к качеству подстилочного материала при напольном выращивании бройлеров являются оптимальная влагопоглощающая способность, сухость, рыхłość, низкая теплопроводность при использовании в птичниках с необогреваемыми полами, отсутствие бактерий и микроскопических грибов [3, 6]. В качестве подстилки в основном используют дефицитные и дорогие древесные опилки и стружку. В связи с этим поиск эффективных материалов для использования в качестве подстилки, либо одного из ее компонентов, становится актуальным. В качестве подстилающих материалов применяют соломенную резку, торф, измельченные початки кукурузы, мякину, смесь опилок с соломенной резкой или подсолечной лузгой, вспученный перлит и ряд других. Подбор и использование тех или иных материалов в качестве глубокой подстилки кроме технических характеристик должен базироваться на экономической целесообразности, поскольку расход различных подстилочных материалов составляет от 8 до 20 кг на одну голову в год. Экологический аспект использования этих материалов помимо улучшения окружающей среды в зоне функционирования птичников должен учитывать комплекс эффективных и безопасных мероприятий по их утилизации.

Одним из важных свойств материалов, применяемых в качестве подстилки, является их способность поглощать и удерживать влагу, в соответствии с параметром, который характеризует их влагоемкость или водопоглощение. Для различных материалов, в зависимости от природы, строения и физико-химических свойств, этот параметр может колебаться в довольно широких пределах. Так, влагоемкость традиционно используемых в качестве подстилочного материала древесных опилок составляет: для сосновых

опилок – 370 %, еловых – 490, березовых – 520 %. Для ржаной и пшеничной соломы влагоемкость не должна превышать 450 %.

Важным показателем, характеризующим свойства торфяного сырья и продукции на его основе, является водопоглощение. Этот показатель в определенной степени зависит от структуры торфа и позволяет судить о его гидрофильтральных свойствах. Необходимо отметить, что величины водопоглощения для разных видов торфа могут существенно отличаться друг от друга. Для торфа различного типового и видового состава этот показатель колеблется в широких пределах. Наивысшей влагоемкостью обладает верховой торф моховой группы с небольшой степенью разложения. Водопоглощение его в расчете на абсолютно сухое вещество достигает 1000–1800 %, в низинном торфе она равна 300–500 % [2].

В табл. 1 представлены физико-химические свойства некоторых органических материалов. Из исследованных образцов торфа различного видового состава наибольшей сорбционной способностью по отношению к воде обладают малоразложившиеся представители моховой группы с губчатой структурой, содержащие большое количество не распавшихся растительных клеток. Величина водопоглощения для этих видов торфа изменяется от 1300 до 2400 %. При переходе к другим видам торфа со средней ($R = 25\text{--}35\%$) и высокой ($R = 40\%$ и более) степенью разложения, которым присуща мелкозернистая структура, этот показатель уменьшается и составляет для сосново-пушицевого торфа (фракция 1,0–2,0 мм) – 400 %, а для пушицевого ($R = 40\%$) – 150 %. Из всех исследованных образцов наименьшую поглотительную способность по отношению к воде имеют гидролизный лигнин как один из основных компонентов древесины, а также сапропель (природный органический субстрат озерных донных отложений), обладающие мелкозернистой структурой.

Таблица 1. Физико-химические свойства некоторых видов торфа, растений-торфообразователей и других сорбционных материалов

Образец	Степень разложения R , %	Размер частиц d , мм	Насыпная плотность, кг/м ³	Водопоглощение, %
Сфагнум фускус (мох)	—	< 0,5	62	2300
		0,5–3,0	43	2400
Пушица	—	—	80	900
Шейхцерия	—	0,5–3,0	75	840
Сфагновый мочажинный торф	5–10	< 0,5	68	2000
		0,5–3,0	64	2300
Сфагновый торф	10–15	< 0,5	123	830
		0,5–1,0	91	1170
		1,0–2,0	80	1260
		2,0–3,0	60	1320
		< 0,5	225	270
Сосново-пушицевый торф	20–25	1,0–2,0	143	400
		2,0–3,0	125	590
		—	580	130
Пушицевый торф	40	Общая фракция	280	150
Лигнин гидролизный	—		230	270
Органический сапропель	—	0,5–2,0	350	120

Как известно, торф является полидисперсной системой, размер частиц которой колеблется в широком интервале, и его свойства зависят от фракционного состава. Поэтому для исследования влияния дисперсности материала на водопоглощение получены узкие фракции образцов торфа различного видового состава, мха и других материалов с размером частиц < 0,5; 0,5–1,0; 1,0–2,0 и 2,0–3,0 мм. Для всех исследованных образцов получены результаты, указывающие на пропорциональную зависимость поглощения жидкости от дисперсности материалов, а именно: с увеличением размеров частиц растет величина поглощения воды. Как видно из табл. 1, с увеличением размеров частиц сфагнового торфа от < 0,5 до 2,0–3,0 мм величина водопоглощения увеличивается от 830 до 1320 %, для сосново-пушицевого торфа изменение этого параметра составляет от 270 до 590 %.

Из данных, представленных в табл. 1, следует, что для получения высокоэффективной подстилки необходимо выбирать в качестве исходного материала торф верхового типа низкой или средней степени разложения с размерами частиц более 3,0 мм. Одним из основных способов добычи торфа промышленным методом в настоящее время является получение торфяной крошки путем фрезерования верхнего слоя торфяной залежи. Анализ дисперсного состава фрезерного торфа некоторых торфопредприятий Беларуси показал, что добывший таким способом торф содержит более 50 % пылевидной фракции ≤ 0,5 мм. С учетом повышенных требований к содержанию пыли в воздушной среде птичников, использование добывшего фрезерным способом торфа в качестве компонента глубокой подстилки нецелесообразно. На основании данных табл. 1, свидетельствующих о повышении величины во-

допоглощения с увеличением размеров торфяных частиц, торф, используемый в глубокой подстилке, должен находиться в гранулированном виде.

Использование торфа для обезвреживания газовых выбросов предприятий сельскохозяйственного профиля от основных токсичных загрязнителей аммиака и сероводорода базируется на его ионообменных свойствах. В табл. 2 приведены данные поглотительной способности сорбционных материалов на основе торфа различного типового и видового состава по отношению к аммиаку и сероводороду. Из представленных данных следует, что образцы верхового торфа поглощают газообразный аммиак несколько лучше образцов низинного. Отмечается также корреляционная зависимость динамической сорбционной емкости от степени разложения. С ростом степени разложения растет поглотительная способность образцов на основе как верхового, так и низинного торфа, что предполагает основное участие гуминового комплекса в сорбционных процессах. При поглощении из газовоздушных смесей сероводорода адсорбционными материалами на основе торфа столь прямой корреляционной зависимости от степени гумификации исходного материала не наблюдается, что свидетельствует о более сложном механизме взаимодействия сероводорода с органоминеральным комплексом торфа.

Существенным фактором, влияющим на степень поглощения аммиака торфяными сорбентами, является влажность исходного материала. Исследования влияния на величину поглотительной емкости влажности торфа свидетельствуют о значительной роли сорбированной воды в молекулярном взаимодействии с функциональными группами сорбента. Результаты исследо-

вания поглощения аммиака образцами пущицевого торфа ($R = 40\text{--}45\%$) демонстрируют закономерный рост сорбционной емкости с увеличением влагосодержания материала [5]. У торфа, находящегося в глубокой подстилке птичника, т. е. в среде постоянного естественного увлажнения, по мере впитывания влаги наблюдается улучшение сорбционных свойств по отношению к дурнопахнущим веществам птичника. Необходимо отметить, что исследование поглощения ам-

миака такими целлюлозосодержащими материалами, как солома, древесные опилки и рядом других, проведенное нами методом ИК-спектрофотометрии на модельных системах, в области концентраций соответствующих содержанию аммиака в воздушной среде птичников, показало, что эти материалы не способны поглощать и связывать аммиак за счет протекания хемосорбционных процессов в силу особенностей своего строения.

Таблица 2. Поглощение аммиака и сероводорода сорбентами на основе торфа

Вид торфа	Степень разложения, %	Поглощение аммиака, % на навеску	Поглощение сероводорода, % на навеску
<i>Верховой торф</i>			
Фускум	15–20	14,2	7,4
Магелланум	20–25	15,6	—
Пущицевый со сфагновыми мхами	30–35	16,9	4,6
Пущицевый	35–40	18,7	6,8
Сосново-пущицевый	40–45	20,1	—
<i>Низинный торф</i>			
Осоковый	15–20	13,1	5,8
Осоковый с тростником	25–30	14,5	6,2
Тростниково-осоковый	40–45	16,1	2,0

Совместно с Институтом микробиологии НАН Беларуси нами проведено тестирование биоцидной (антисептической) активности образцов пущицево-сфагнового торфа ($R = 20\text{--}25\%$) и некоторых препаратов на его основе по отношению к бактериям рода *Streptococcus* sp. Зафиксирована очень высокая биоцидная активность тестируемых образцов по подавлению деятельности этих бактерий: скорость их размножения на исследуемых образцах торфа снизилась более чем в 150 раз.

Компанией ООО «ЭкоГранТорф» разработана технология и изготовлено оборудование, позволяющее получить гранулированный сорбент на основе верхового торфа низкой и сред-

ней степени разложения, фракцией 3–10 мм с влажностью 25–30 % [4].

Проведены испытания гранулированного торфяного сорбента в качестве компонента глубокой подстилки в производственных помещениях для цыплят-бройлеров ОАО «Агрокомбинат «Дзержинский» (Беларусь). По принципу аналогов было выделено два птичника для выращивания бройлеров кросса «Росс-308». Условия кормления и содержания для птицы опытного и контрольного птичников были аналогичными, принятыми в хозяйстве. Микроклимат в опытном и контрольном птичниках поддерживали одинаковым, согласно технологии, применимой к данному кроссу [1]. Данные производственных испытаний представлены в табл. 3.

Таблица 3. Производственно-экономические показатели птицы опытного и контрольного птичников

Показатель	Контроль	Опыт
Посажено суточных цыплят-бройлеров, гол.	25 000	26 700
Количество голов на м^2 , шт.	16,5	17,6
Живая масса цыплят, г в возрасте суток	40	40
Живая масса всего поголовья суточных цыплят, кг	1000	1068
Срок выращивания, дней	42	42
Среднесуточный прирост живой массы, г/гол.	64,5	65,9
Сохранность, %	97,5	97,9
Санитарный убой, гол., шт.	810	320
Прирост живой массы, г/гол.	2710	2770
Средняя масса одной живой головы перед забоем, г	2750	2810
Сдано на убой голов, шт/%	23 565 (94,26 %)	25 819
Живая масса сданной на убой птицы, кг	64 803,75	72 551,4
Убойный выход, %	70	70
Получено мяса, кг	45 362,62	50 786,00
Получено мяса от одной убойной гол., г	1925	1967
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	1,62	1,6

Как показали производственные испытания, применение гранулированного сорбционного материала на основе торфа в качестве добавки к традиционно используемой подстилке оказало положительное влияние на производственно-экономические показатели при выращивании птицы. Так, в опытном птичнике среднесуточный прирост увеличился на 2,2 %, сохранность – на 0,4, средняя масса одной живой головы перед забоем – на 2,2 %. В то же время в опытном птичнике санитарный убой снизился на 39,5 %, затраты корма на 1 кг прироста живой массы – на 1,2 %. В опытном птичнике сдано на убой 96,7 % от посадки, что на 2,4 % больше, чем в контрольном (94,3 %). Применение нового гранулированного сорбционного материала на основе торфа позволило получить с каждой сданной на убой птицы на 42 г мяса больше. Проведенный расчет экономической эффективности от использования в качестве компонента подстилки нового

гранулированного сорбционного торфяного материала, обладающего природной биоцидной активностью, с учетом нивелировки в разнице количества посаженных цыплят-бройлеров в опытном и контрольном птичниках, показал, что в опытном варианте было получено дополнительно 2,19 т товарного мяса. Прибыль от применения нового технического решения составила примерно 3 тыс. долл. США.

Таким образом, по результатам проведенных производственных испытаний рекомендуется использовать гранулированный сорбционный материал на основе торфа, производимый по технологии ООО «ЭкоГранТорф», для применения в промышленном птицеводстве в качестве дополнительного компонента, добавляемого в подстилочный материал, что позволит улучшить производственно-экономические показатели выращивания птицы, санитарное состояние в птичниках и получить дополнительную прибыль.

Литература

1. Испытания сорбента в подстилочном материале для птицы / В. И. Фисинин [и др.] // Птица и птицепродукты. – 2014. – № 3. – С. 28–30.
2. Лиштван, И. И. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. – Минск, 1975.
3. Основные направления природоохранных мероприятий в животноводстве / В. Г. Тюрин [и др.] // Вест. Росс. гос. заоч. ун-та. – М., 2008. – № 5. – С. 132–134.
4. Сорбционные подстилочные материалы для птичника / А. Р. Цыганов [и др.] // Наше сельское хозяйство. – 2013. – № 16. – С. 61–65.
5. Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. – Минск, 2009.
6. Чарыев, А. Б. Зоогигиеническая оценка подстилочных материалов для бройлеров / А. Б. Чарыев // Птицеводство. – 2011. – № 3. – С. 59–60.

¹Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

²Компания ООО «ЭкоГранТорф», Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 20.10.2016 г.

А. Р. Цыганов, А. Э. Томсон, А. А. Мартыненко, Т. В. Соколова,
Ю. Ю. Навоша, Н. Е. Сосновская, В. С. Пехтерева

ГРАНУЛИРОВАННЫЙ СОРБЕНТ НА ОСНОВЕ ТОРФА ДЛЯ ПОДСТИЛОЧНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ НАПОЛЬНОМ ВЫРАЩИВАНИИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

Проведена оценка физико-химических свойств (степень разложения, размер частиц, насыпная плотность, водопоглощение) некоторых видов торфа, сфагнового мха, гидролизного лигнина и органического сапропеля с точки зрения возможности применения в качестве активного компонента в подстилку при клеточном содержании цыплят-бройлеров. Показано, что наибольшей сорбционной способностью по отношению к воде обладают малоразложившиеся представители торфа моховой группы с губчатой структурой, величина водопоглощения которых изменяется в пределах от 1300 до 2400 %. Изучены сорбционные свойства образцов верхового и низинного торфа по отношению к аммиаку и сероводороду. Установлена корреляционная зависимость динамической сорбционной емкости по аммиаку от степени разложения торфа, что предполагает основное участие гуминового комплекса в сорбционных процессах. С учетом повышенных требова-

ний к содержанию пыли в птичниках в качестве компонента в подстилку обоснована необходимость получения материала в гранулированном виде. Институтом природопользования НАН Беларуси и ООО «ЭкоГранТорф» разработана технология и изготовлено оборудование, позволяющее получить гранулированный сорбционный материал на основе торфа. Проведены производственные испытания сорбционного материала на ОАО «Агрокомбинат «Дзержинский» (Беларусь) в качестве дополнительного компонента в подстилочный материал. Прибыль от применения нового технического решения составила примерно 3 тыс. долл. США.

*A. R. Tsyganov, A. E. Tomson, A. A. Martynenko,
T. V. Sokolova, U. U. Navosha, N. E. Sosnovskaya, V. S. Pehtereva*

**GRANULATED SORBENT ON THE PEAT BASE FOR
BEDDING MATERIAL AT FLOOR GROWING OF BROILER CHICKENS**

The estimation of physic-chemical properties (the degree of decomposition, parts' size, bulk density, water absorption) of some types of peat, sphagnum moss, hydrolytic lignin and organic sapropel from the viewpoint of possible use as an active component in underlay at cellular maintenance of broiler chickens is conducted. It is shown that a few decomposed peat moss representatives of moss group with a spongy structure, in which the amount of water absorption varies from 1300 to 2400 % has the highest sorption capacity against water. The sorption peculiarities of upper and lowland peat against to ammonia and hydrogen sulfide are studied. The correlation dependence of dynamic sorption ammonia tank on the degree of decomposition of peat, which implies the main involvement of humic complex sorption processes. Taking into account the increased demands of dust content in poultry houses as a component in underlay, the necessity of material in granular form obtaining is formulated. Institute for Nature Management of the NAS of Belarus and LTD “EkoGranTorf” develop a technology and produce equipment, which allows to get granulated sorption material on the base of peat. Production tests of the sorption material of "Agrokombinat "Dzerzhinsky" (Belarus) as an additional component in the bedding material were carried out. Profit from the application of new technical solution was about 3 thous. \$ US.

Н. И. Шепелева, В. Н. Марцуль, И. В. Войтов**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОТЕСТИРОВАНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД
ДЛЯ СРАВНЕНИЯ ВАРИАНТОВ ИХ ОБРАБОТКИ**

Рассматриваются результаты исследования токсичности продуктов термообработки осадков сточных вод методами биотестирования и исследования влияния катионного флокулянта, используемого при обезвоживании осадков сточных вод на их токсичность. Показано, что термообработка осадков сточных вод приводит к снижению показателей токсичности. Установлено, что присутствие катионного флокулянта не оказывает существенного влияния на токсичность обезвоженных осадков сточных вод.

Развитие химической промышленности сопровождается появлением множества новых веществ органической и неорганической природы, что приводит к неизбежному поступлению значительного количества различных соединений в состав городских сточных вод.

Несмотря на сложный состав городских сточных вод, санитарно-гигиенический контроль на очистных сооружениях канализации проводится по ограниченному перечню загрязнителей, как правило, это ионы тяжелых металлов (Cr, Ni, Fe, Cu, Zn, Co, Cd, Pb, Mn), взвешенные вещества, различные формы соединений азота, хлориды, сульфаты, нефтепродукты, фосфаты и фосфор общих, поверхностно-активные вещества и др. Однако, даже в случае, когда значения ПДК по указанным веществам не превышаются, нельзя однозначно сказать, что очищенные воды будут являться нетоксичными.

Осадки сточных вод являются неизбежным побочным продуктом процессов очистки городских сточных вод. Их состав также разнообразен и зависит от условий и особенностей конкретной местности, но в большей степени определяется составом сточных вод, поступающих на очистку.

В связи с отсутствием альтернативных направлений использования, осадки сточных вод, образующиеся на очистных сооружениях канализации Республики Беларусь, направляются для длительного хранения на иловые площадки. В настоящее время на таких площадках накоплено более 9 млн т осадков, что позволяет говорить о них как о неиспользуемых многотоннажных отходах биологической очистки городских сточных вод. Количество осадков в ближайшие десятилетия будет неизбежно увеличиваться, учитывая рост населения, главным образом в городах.

Депонирование осадков на иловых площадках не является рациональным вариантом обращения с ними, поскольку существует множество альтернативных способов использования. Осадки характеризуются уникальным составом и высоким энергетическим потенциалом, поэтому

при проведении соответствующей обработки они могут использоваться в качестве как почвоулучшающих добавок, так и местного топливно-энергетического ресурса.

В Республике Беларусь не контролируется содержание в осадках преобладающей части опасных для окружающей среды и здоровья человека загрязнителей. В первую очередь это связано с их многокомпонентным составом, который часто не позволяет однозначно определить вещества, требующие специальных мер санитарно-гигиенического контроля. Поэтому в настоящее время не все вещества, содержащиеся в осадке, идентифицированы, и не для всех установлены нормативы ПДК.

Однако использование сельскохозяйственного и энергетического потенциала осадков сточных вод с соблюдением принципов устойчивого развития, возможно только в случае получения экологически безопасных продуктов на их основе.

Загрязнители, обусловливающие токсичность осадков сточных вод и, следовательно, продуктов на их основе (зола, кокс, сброшенный остаток и др.) можно условно разделить на следующие группы: потенциально токсичные элементы и органические загрязнители.

В группу потенциально токсичных элементов входят тяжелые металлы, такие как кадмий, хром (в виде Cr^{3+} и Cr^{6+}), медь, ртуть, никель, свинец и цинк. Тяжелые металлы, присутствующие в городских сточных водах как в составе взвешенных веществ, так и в растворенном виде, в процессе биологической очистки преимущественно переходят в осадки сточных вод. Тем не менее более 20 % от первоначального количества металлов может покидать очистные сооружения в составе очищенных сточных вод. Например, с очищенными сточными водами может сбрасываться до 40–60 % никеля, поступающего на очистные сооружения [7].

К группе органических загрязнителей относят полиароматические углеводороды, полихлорированные бифенилы, полихлорирован-

ные дибензо-п-диоксины и дибензо-п-фураны, ди-(2-этилгексил)-фталат, линейные алкилбензосульфонаты, нонилфенол и нонилфенол этоксилат [10].

В городских сточных водах и осадках обнаружено уже более 6000 органических соединений преимущественно антропогенного происхождения. Большая часть органических соединений, присутствующих в сточных водах, подвергается биодеградации на очистных сооружениях и не представляет опасности. Однако соединения, входящие в группу органических загрязнителей, практически не подвергаются биодеградации и способны накапливаться в осадках сточных вод и объектах окружающей среды [8].

Все большее внимание уделяется влиянию флокулянтов на токсичность обезвоженных осадков сточных вод и безопасному использованию таких осадков в сельском хозяйстве [13, 9]. В Республике Беларусь на некоторых очистных сооружениях канализации осадки подвергают механическому обезвоживанию, для интенсификации которого в них чаще всего вводят высокомолекулярные синтетические водорастворимые полимеры – флокулянты. Наиболее эффективными при обезвоживании осадков являются катионные флокулянты на основе полиакриламида, однако в ряде исследований, связанных с определением их токсичности [12–14], сообщается об ингибирующем влиянии флокулянтов на рост некоторых видов водорослей (*Closterium ehrenbergii*), высших растений (*Brassica rapa L.*, *Sesamum indicum L.*, *Triticum aestivum L.* и др.), а также об угнетении процессов размножения почвенных бактерий (*Bacillus subtilis*), что ставит вопрос об экологической безопасности использования данных флокулянтов под сомнение.

Обобщая вышеизложенное, необходимо отметить, что в связи с наличием в составе осадков сточных вод широкого спектра опасных загрязнителей, подход к определению токсичности осадков на основе результатов аналитического контроля содержания всей совокупности загрязнителей является дорогостоящей и трудоемкой процедурой, которая затрудняет выбор экологически безопасных способов обращения с ними, а в ряде случаев и вовсе препятствует использованию осадков из-за высоких экономических затрат.

В качестве альтернативы такому подходу, которая позволит однозначно определить степень токсичности осадков и не будет сопровождаться высокими экономическими затратами, можно предложить проведение аналитического контроля по ограниченному списку приоритетных загрязнителей (потенциально-токсичные элементы и органические загрязнители) в сочетании с использованием методов биотестирования.

Биотестированием называют процедуру установления токсичности среды с помощью тест-объектов, сигнализирующих об опасности, независимо от того, какие вещества и в каком сочетании вызывают изменения у них жизненно важных функций [5]. Таким образом, биотестирование позволяет определить интегральную токсичность, обусловленную совокупностью всех присутствующих в пробе опасных загрязнителей и их метаболитов.

Благодаря своей надежности, относительной дешевизне проведения и быстроте получения результатов, методы биотестирования получили широкое распространение при определении токсичности образцов, обладающих сложным составом (сточные, грунтовые и поверхностные воды, загрязненные почвогрунты, отходы производства). Методики биотестирования не только позволяют получить информацию о величине интегрального загрязнения, но и более полно отражают сами последствия загрязнения. Говорить об универсальности таких методик было бы неверно из-за наличия у некоторых видов тест-организмов особой (избирательной) чувствительности к одним группам загрязнителей по сравнению с другими.

Цель работы – определить токсичность продуктов, полученных при различных видах обработки осадков сточных вод, методами биотестирования. О токсичности продуктов обработки осадков сточных вод судили по результатам тестирования полученных из них водных вытяжек.

В ходе исследований также определяли влияние флокулянта марки «Зетаг 8185», использующегося на Минской очистной станции, на токсичность водных вытяжек, полученных из обезвоженных осадков сточных вод. Согласно технологическому регламенту Минской очистной станции, расход флокулянта составляет до 3 кг/т сухого вещества осадка.

Флокулянт марки «Зетаг 8185» относится к катионным полиэлектролитам, является сополимером акриламида и четвертичного катионного мономера. Данные о термической устойчивости флокулянта в настоящее время отсутствуют, однако можно сделать предположение о сходстве его физических свойств с полиакриламидом, который является устойчивым в диапазоне температур 25–100 °C. Токсичность водных растворов флокулянта для различных видов рыб и дафний составляет $\text{ЛК}_{50-96} = 1-10 \text{ мг/л}$ и $\text{ЭК}_{50-48} = 10-100 \text{ мг/л}$ соответственно. Флокулянт слабо подвергается биологической деградации [11].

Объектом исследования являлась обезвоженная и не обезвоженная смесь осадка сточных вод и избыточного активного ила (далее – осадок сточных вод). Пробоотбор осуществляли на Минской очистной станции в период с 01.02.2015 г. по 01.02.2016 г.

Для получения данных о токсичности продуктов обработки осадков сточных вод проводили серию опытов в количестве не менее 20 испытаний для каждого из исследуемых продуктов с использованием трех видов тест-объектов, результаты определений подвергали статистической обработке. В качестве тест-объектов использовали оборотный активный ил из аэротенков Минской очистной станции, культуру микроводоросли *E. gracilis* и популяцию зоопланктона *Daphnia Magna Str.*

Образцы осадков сточных вод обрабатывали при следующих температурных режимах:

- выдержка при температуре 20 ± 5 °C (имитация сушки осадка на иловых площадках в естественных условиях окружающей среды);
- сушка при температуре 105 °C до удаления гигроскопической влаги;
- обработка при температуре 270 °C (неполное озоление);
- прокаливание при температуре 570 °C (полное озоление).

Водные вытяжки из продуктов обработки осадков сточных вод получали по методике [6]. Вытяжки готовили при соотношении твердая фаза : жидкость, равном 1 : 10. В качестве жидкой фазы использовали дистиллированную воду. Твердую фазу суспензии в течение 8 ч поддерживали во взвешенном состоянии при помощи перемешивающего устройства LS-110 (ЛАБ ПУ-01) при частоте колебаний платформы 100 об/мин. Затем проводили отстаивание суспензии в течение 12 ч. После этого отделяли надосадочную жидкость от взвешенных частиц фильтрованием через фильтр «белая лента». Полученный фильтрат использовали для проведения биотестирования.

Биотестирование методом определения дегидрогеназной активности ила (ДАИ) осуществляли по методике [3]. Микроорганизмы активного ила, используемые на очистных сооружениях канализации, очищают сточные воды от загрязнений за счет выработки катализаторов белковой природы и ферментов, активность которых определяет скорость и глубину процессов биологического окисления. Суммарная активность ферментов дегидрогеназ является показателем общей биологической активности ила. ДАИ обусловливается активностью самих микроорганизмов, а также количеством и степенью загрязненности среды.

Принцип метода заключается в восстановлении бесцветной окисленной формы трифенилтетразолия хлористого в красный формазан, не растворимый в воде, но растворимый в этаноле, ацетоне, бензоле и других веществах. Количество образованного формазана (судят по интенсивности окраски спиртовой вытяжки) пропорционально активности дегидрогеназ.

В качестве показателя токсичности водных вытяжек, полученных из продуктов термообработки осадков сточных вод, использовали значение относительной ДАИ $D_{\text{отн.}}$, которое определяли как отношение оптической плотности спиртового экстракта опытной пробы (оборотного активного ила, к которому добавляли водную вытяжку) к оптической плотности спиртового экстракта холостой пробы (оборотный активный ил без добавления вытяжки):

$$D_{\text{отн.}} = \frac{D_0 - D_i}{D_0}, \quad (1)$$

где D_0 – оптическая плотность спиртового экстракта холостой пробы; D_i – оптическая плотность спиртового экстракта i -й опытной пробы.

Биотестирование методом определения относительной подвижности клеток тест-культуры микроводоросли *E. gracilis* проводили согласно работе [2]. Микроводоросль широко распространена в природных водоемах и проявляет достаточно высокую чувствительность к загрязнению воды. Для экспериментов использовали трехсупочную культуру. В качестве контрольной среды использовали питательную среду Лозино-Лозинского. О токсичности водных вытяжек из продуктов термообработки осадков сточных вод судили по изменению скорости движения клеток *E. gracilis*, для чего замеряли время пробега отдельными клетками фиксированного расстояния (60 мкм) в контрольной и анализируемой средах.

Токсичность водных вытяжек, полученных из продуктов термообработки осадков сточных вод, (T , %), рассчитывали следующим образом:

$$T = \left(1 - \frac{V}{V_k} \right) \cdot 100, \quad (2)$$

где V – средняя скорость движения клеток в анализируемой водной вытяжке, мкм/с; V_k – средняя скорость движения клеток в среде Лозина-Лозинского, мкм/с.

Биотестирование по гибели популяции зоопланктона *Daphnia Magna Str.* осуществляли согласно методике [6]. В ходе исследований водных вытяжек, полученных из продуктов термообработки осадков сточных вод, определяли среднюю летальную концентрацию вытяжек, вызывающую гибель 50 % тест-объектов за 96-часовую экспозицию (ЛК_{50-96}). Критерием острой летальной токсичности вытяжек считали гибель 50 % дафний и более в опыте в течение 96 ч при условии, что в ходе контрольного эксперимента с использованием культивационной воды их гибель не превышала 10 %.

Для определения острой летальной токсичности водных вытяжек рассчитывали процент

погибших в тестируемой вытяжке дафний ($A, \%$) по сравнению с контролем (культивационной водой) следующим образом:

$$A = \frac{X_k - X_t}{X_k} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где X_k – количество выживших дафний в контроле, шт.; X_t – количество выживших дафний в исследуемой водной вытяжке из продуктов обработки осадков сточных вод, шт.

При $A \leq 50\%$ водная вытяжка, полученная из продуктов обработки осадков сточных вод, не оказывает острого токсического действия (безвредная концентрация), а при $A \geq 50\%$ она оказывает острое токсическое действие (средняя летальная концентрация).

Количество флокулянта, переходящее из обезвоженного осадка в водную вытяжку, определяли согласно методике [1]. Для этого из обезвоженного осадка в день пробоотбора готовили водные вытяжки согласно методике [6] и определяли в них концентрацию флокулянта марки «Зетаг 8185» фотометрическим методом. К 10 мл водной вытяжки приливали 10 мл цитратного буфера ($\text{pH} = 3,5$) и 1 мл 0,05 %-го водного раствора эозина. Через 5 мин проводили фотометрирование при длине волн 535 нм в кювете с толщиной слоя 10 мм. Раствором сравнения служила водная вытяжка без добавления эозина. Концентрацию флокулянта в исследуемой пробе рассчитывали по градуировочному графику.

При определении количества флокулянта, переходящего в водную вытяжку, проводили серию экспериментов, состоящую из 10 определений для каждого вида исследуемых продуктов обработки обезвоженных осадков сточных вод. Результаты определений подвергали статистической обработке. Усредненные результаты определения количества флокулянта марки «Зетаг 8185», переходящего в водную вытяжку из продуктов обработки осадков сточных вод, представлены в табл. 1.

Как видно из представленных данных, концентрация флокулянта марки «Зетаг 8185» в водных вытяжках с увеличением длительности и температуры выдержки образцов снижается. При повышении температуры сушки до 105°C , концентрация флокулянта в вытяжке была ниже предела обнаружения (менее 1 мкг/л), что также свидетельствует о его низкой термической устойчивости и склонности к биодеградации в аэробных условиях.

Усредненные результаты исследования токсичности водных вытяжек (полученных из продуктов термической обработки осадков сточных вод) методом определения ДАИ представлены на рис. 1, из которого видно, что значения относительной дегидрогеназной активности водных вытяжек, полученных из продуктов термической обработки осадков сточных вод, преимущественно находятся в области положительных значений, что указывает на слабую степень угнетения тест-объекта (биоценоза активного ила). Значения относительной дегидрогеназной активности большинства образцов находятся в пределах 0,06–0,32.

Таблица 1. Результаты определения содержания флокулянта марки «Зетаг 8185» в водных вытяжках

Номер образца	Наименование	Продолжительность и условия выдержки образца до начала анализа	Концентрация флокулянта в вытяжке, мг/л
1	Обезвоженный сырой осадок	Менее 24 ч, $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$, анаэробные условия	$5,46 \pm 0,27$
2		7 сут., $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$, анаэробные условия	$2,74 \pm 0,14$
3	Высушенный обезвоженный осадок	7 сут., $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$, аэробные условия	$2,1 \pm 0,11$
4		3 сут., 105°C , аэробные условия	$> 0,001$

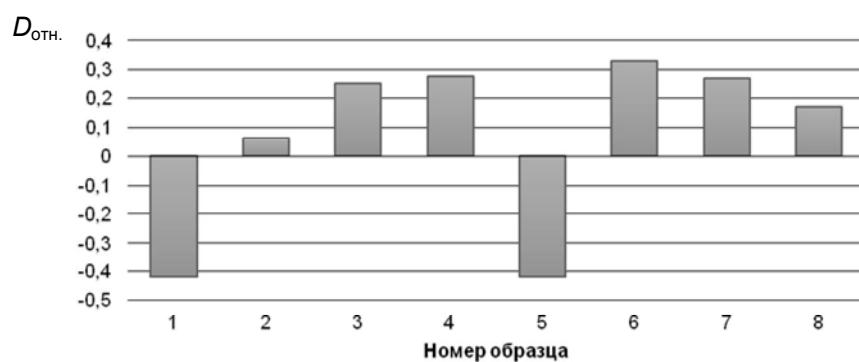


Рис. 1. Результаты исследования токсичности водных вытяжек методом определения ДАИ для образцов осадков до (1–4) и после (5–8) обезвоживания, обработанных при температуре, °С: 1, 5 – 20 ± 5 ; 2, 6 – 105 ; 3, 7 – 270 ; 4, 8 – 570

Существенные различия в значении относительной дегидрогеназной активности наблюдаются для вытяжек, полученных из осадков сточных вод, которые были высушены при температуре 20 ± 5 °C. Как видно из представленных данных, эти образцы обладают наибольшей токсичностью. Значения относительной дегидрогеназной активности данных водных вытяжек в целом сопоставимы и составляют $-0,415$ и $-0,413$ соответственно. Таким образом, можно сделать вывод о том, что наличие флокулянта марки «Зетаг 8185» в обезвоженном осадке не оказывает существенного влияния на показатели токсичности продуктов его термообработки.

Усредненные результаты исследования токсичности водных вытяжек (полученных из продуктов термообработки осадков сточных вод) методом определения относительной подвижности клеток микроводоросли *E. gracilis* представлены на рис. 2. Из диаграммы видно, что показатели токсичности водных вытяжек лежат в широком диапазоне значений (от 7 до 73 %). В целом прослеживается тенденция к снижению токсичности водных вытяжек с увеличением температуры обработки осадков сточных вод. Причем наибольшей токсичностью обладают водные вы-

тяжки, полученные из образцов необезвоженного осадка, обработанных при температуре 20 ± 5 и 105 °C, а также вытяжка из обезвоженного осадка, высущенного при 20 ± 5 °C, что сопоставимо с результатами, полученными при использовании метода определения ДАИ.

При исследовании токсичности продуктов термообработки осадков сточных вод методом определения гибели зоопланктона *Daphnia Magna Str.* анализировали водные вытяжки в 1, 3, 9, 30 и 100 %-ных концентрациях, согласно работе [6], в которых затем рассчитывали долю дафний (*A*, %), погибших в течение 96 ч. Для приготовления разбавлений водных вытяжек использовали культивационную воду, которую получали путем отстаивания и аэрирования водопроводной воды в течение 3 сут. в бутылках из бесцветного стекла. Результаты эксперимента представлены в табл. 2, из которой видно, что в водных вытяжках, полученных из обезвоженных и необезвоженных осадков сточных вод, обработанных при 270 и 570 °C, доля выживших дафний составила 100 %. Этот факт указывает на то, что данные водные вытяжки не оказывают острого токсического действия на особей *Daphnia Magna Str.* даже при 100 %-ных концентрациях.

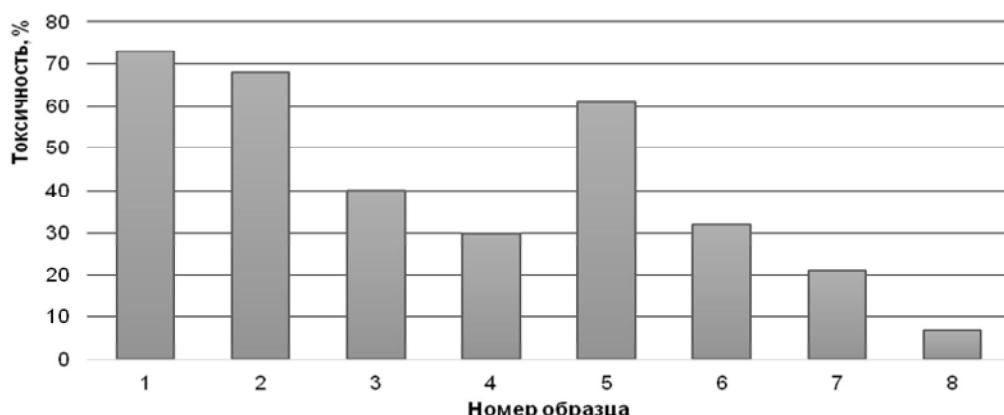


Рис. 2. Результаты определения токсичности водных вытяжек с использованием тест-культуры *E. gracilis* для образцов осадков до (1–4) и после (5–8) обезвоживания, обработанных при температуре, °C: 1, 5 – 20 ± 5 ; 2, 6 – 105 ; 3, 7 – 270 ; 4, 8 – 570

Таблица 2. Процент погибших в ходе эксперимента дафний

Осадок сточных вод, обработанный при температуре, °C	Концентрация водной вытяжки, %				
	1	3	9	30	100
	Доля погибших в тестируемой вытяжке дафний (<i>A</i>), %				
<i>До обезвоживания</i>					
20±5	0	0	43	71	100
105	0	14	57	100	100
270	0	0	0	0	0
570	0	0	0	0	0
<i>После обезвоживания</i>					
20±5	0	0	14	86	100
105	0	14	43	100	100
270	0	0	0	0	0
570	0	0	0	0	0

При тестировании прочих водных вытяжек из продуктов термообработки осадков сточных вод (20 ± 5 °C, 105 °C) была зафиксирована смертность особей в ходе эксперимента, поэтому для данных вытяжек рассчитывали среднюю летальную концентрацию ($ЛК_{50-96}$) неграфическим методом согласно работе [6]. Результаты расчета представлены в табл. 3. Из имеющихся в ней данных видно, что значения летальных концентраций вытяжек находятся в достаточно высоком (с точки зрения токсикологии) диапазоне концентраций – 9,7–16,4 %, который по классификации В. В. Метелева [4] соответствует пятой группе токсичности (очень слаботоксичные вещества, $ЛК_{50-96} > 0,1$ %).

Таблица 3. Результаты расчета $ЛК_{50-96}$

Осадок сточных вод, обработанный при температуре, °C	$ЛК_{50-96}$, %
20±5	12,1
105	16,4
270	9,7
570	10,0

Заключение. С использованием методов биотестирования исследована токсичность продуктов, полученных при различных режимах термической обработки осадков сточных вод. На основании реакции тест-организмов (оборотного активного ила, микроводоросли *E. gracilis* и зоопланктона *Daphnia Magna Str.*) на состав водных вытяжек, полученных из продуктов термообработки осадков сточных вод, выявлено, что наибольшей токсичностью обладают осадки, высушенные при температуре 20±5 и 105 °C.

Установлено, что наличие в составе обезвоженного осадка флокулянта марки «Зетаг 8185» не приводит к существенному увеличению токсичности по сравнению с необезвоженным осадком сточных вод. Выявлено, что флокулянт склонен к разложению в аэробных условиях при длительном хранении осадков сточных вод, а также является термически неустойчивым в диапазоне температур от 20±5 до 105 °C.

На основании реакции зоопланктона *Daphnia Magna Str.* выявлено, что водные вытяжки, полученные из осадков, обработанных при температуре 20±5 и 105 °C, являются очень слаботоксичными, а значения $ЛК_{50-96}$ данных вытяжек находятся в диапазоне 9,7–16,4 %. При исследовании водных вытяжек из осадков сточных вод, обработанных при температуре 270 и 570 °C, не было выявлено острого токсического воздействия на популяцию зоопланктона.

В целом установлено, что термообработка осадков сточных вод позволяет не только сокращать объемы их образования, что особенно важно в условиях дефицита земель для размещения иловых площадок, но и получать из них продукты (золу, шлак), обладающие меньшей токсичностью для окружающей среды и здоровья человека по сравнению с необработанными осадками.

На основании сопоставимости результатов, полученных с использованием трех различных видов тест-организмов, можно сделать вывод о целесообразности применения методов биотестирования при проведении сравнительной оценки токсичности осадков и различных продуктов, полученных в ходе их обработки.

Литература

1. Аналитическое определение остаточных количеств поли-N, N-диметил-N, N-диалиламмоний хлоридов при использовании их как флокулянтов / Ю. А. Клячко [и др.] // ВХО им. Д. И. Менделеева. – 1984. – Т. 29, № 1. – С. 111–113.
2. Игнатенко, А. В. Анализ детоксикации водных сред методом биотестирования / А. В. Игнатенко, М. А. Сазановец // Труды БГТУ. – 2014. – № 4. – С. 179–182.
3. Инструкция по лабораторному контролю очистных сооружений на животноводческих комплексах. – М., 1984. – Ч. 3 : Определение биогенных веществ, анализ осадков и ила.
4. Метелев, В. В. Водная токсикология / В. В. Метелев, А. И. Канаев, Н. Г. Дзасохова. – М., 1971.
5. Обзор методов биоиндикации и биотестирования для оценки состояния окружающей среды / А. С. Еремеева [и др.] // Молодой ученый. – 2015. – № 11. – С. 537–540.
6. ФР.1.39.2007.03222. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. – М., 2007.
7. ICON final report: Pollutants in urban waste water and sewage sludge / I. Thornton [et al.] // Office for official publications of the European Communities. – 2001. – 232 р.
8. Paxéus, N. Organic pollutants in the effluents of large waste water treatment plants in Sweden / N. Paxéus // Water research. – 1996. – Vol. 30, № 5. – P. 1115–1122.
9. Polyacrylamide in agriculture and environmental land management / R. E. Sojka [et al.] // Advances in Agronomy. – 2007. – Vol. 92. – P. 75–162.
10. RIWA report: Municipal waste water treatment plant effluents – a concise overview of the occurrence of organic substances / Ir. Eric [et al.] // Association of River Waterworks. – 2007.
11. Safety Data Sheet Zetag® 8185 [Electronic resource]. – BASF Corporation., 2016. – Mode of access : http://worldaccount.bASF.com/wa/NAFTA~en_US/Catalog/WaterSolutions/doc4/BASF/PRD/30478204/.pdf. – Date of access : 10.10.2016.

12. The effect of suspended solids and naturally occurring dissolved organics in reducing the acute toxicities of cationic polyelectrolytes to aquatic organisms / G. A. Cary [et al.] // Environmental toxicology and chemistry. – 1987. – Vol. 6, № 6. – P. 469–474.

13. Toxicity of cationic polymer flocculants to higher plants / T. Kuboi [et al.] // Soil Science and Plant Nutrition. – 1984. – Vol. 30, № 3. – P. 311–320.

14. Transfer and degradation of polyacrylamide based flocculants in hydrosystems: a review / A. G. Guezennec [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. – 2015. – Vol. 22, № 9. – P. 6390–6406.

**Белорусский государственный
технологический университет, Минск, Беларусь**

Поступила в редакцию 04.11.2016 г.

Н. И. Шепелева, В. Н. Марцуль, И. В. Войтов

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОТЕСТИРОВАНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД
ДЛЯ СРАВНЕНИЯ ВАРИАНТОВ ИХ ОБРАБОТКИ**

Сообщается о результатах исследования токсичности продуктов термообработки осадков сточных вод методами биотестирования и оценке влияния кационного флокулянта марки «Зетаг 8185» на токсичность обезвоженных осадков.

На основании реакции тест-организмов (оборотного активного ила, *E. gracilis* и *Daphnia Magna Str.*) на состав водных вытяжек, полученных из продуктов термообработки осадков, установлено, что увеличение температуры обработки способствует снижению токсичности вытяжек. Выявлено, что водные вытяжки из осадков, обработанных при 20±5 и 105 °C, являются очень слаботоксичными, а значения LC_{50-96} данных вытяжек находятся в диапазоне 9,7–16,4 %. При исследовании водных вытяжек из осадков, обработанных при 270 и 570 °C, не было выявлено острого токсического воздействия на тест-объекты.

Установлено, что присутствие в составе обезвоженного осадка флокулянта марки «Зетаг 8185» не приводит к существенному увеличению токсичности по сравнению с необезвоженным осадком. Сообщается о высокой скорости разложения флокулянта в аэробных условиях, а также о термической неустойчивости в диапазоне температур от 20±5 до 105 °C.

Отмечается, что термообработка осадков сточных вод позволяет получать продукты, обладающие меньшей токсичностью для окружающей среды и здоровья человека по сравнению с необработанными осадками. Сообщается о целесообразности использования методов биотестирования при проведении сравнительной оценки токсичности осадков и различных продуктов, полученных в ходе их обработки.

N. I. Shepeleva, V. N. Martsul, I. V. Voytov

**THE USE OF BIOTESTING OF SEWAGE SLUDGE SEDIMENTS
FOR THE COMPARISON OF VARIANTS OF THEIR PROCESSING**

The results of sewage sludge thermally treated products toxicity investigation and assessment of flocculant “Zetag 8185” influence on dewatered sludge toxicity are reported.

Based on the test-organisms (active sludge, *E. gracilis* and *Daphnia Magna Str.*) on a content of water extracts which are derived from sewage sludge thermally treated products, the toxicity decrease with higher treatment temperatures was determined.

Water extracts derived from 20±5 and 105 °C treated sewage sludge are detected to be less toxic with LC_{50-96} equal to 9,7–16,4 %. No toxic properties were detected due to the analysis of water extracts derived from 270 and 570 °C treated sewage sludge.

The presence of “Zetag 8185” in dewatered sludge provided no significant toxicity increase in comparison to liquid sludge. Rapid degradation velocity of the flocculant under aerobic conditions and 20±5 – 105 °C heating range is outlined.

Thermal treatment is reported to be the reason of toxicity reduction for sewage sludge thermally treated products. It is reported about the appropriateness of the biotesting methods for the purposes of comparative toxicity assessment of sewage sludge and sludge-derived products.

В. П. Иванов, В. А. Дронченко

УТИЛИЗАЦИЯ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

С применением физико-математических моделей эмульгирования и горения капель эмульсии разработаны технологические процессы приготовления водной эмульсии из нефtesодержащих отходов и ее использования в качестве материала противоадгезионных покрытий поверхностей форм для изготовления железобетонных изделий и в виде вторичного энергоресурса как добавки к топливу паровых котлов. Выполнена оптимизация этих процессов по критерию наименьшей себестоимости.

Жидкие отходы вспомогательного производства предприятий нефтехимического комплекса представляют собой сточные воды с отработавшими растворами технических моющих средств (ТМС) и нефtesодержащей составляющей из масел моторного (65–90 об.%) и трансмиссионного (6–10 об.%), топливных фракций (2–6 об.%) и пластичных смазок (1–2 об.%). Эти отходы являются потенциально опасными веществами, которые вследствие своих физических, химических и токсикологических свойств предопределяют риск для здоровья рабочих и представляют угрозу окружающей среде. Так, например, загрязнение вод нефtesодержащими отходами (НСО) составляет более 30 % общего техногенного загрязнения [5].

Необходимость разработки процесса утилизации нефtesодержащих сточных вод нефтехимического комплекса обусловлена: их вредностью на рабочих местах; наличием на производстве большого количества таких отходов в виде вторичных энергоресурсов; высокими требованиями к защите окружающей среды и исключением штрафов за загрязнение почвы, воздушного и водного бассейнов; более низкими затратами, связанными с использованием термического способа утилизации, по сравнению с химическим и биологическими способами; более полным сгоранием топлива в котлах со снижением температуры и длины факела в присутствии капель нефtesодержащей эмульсии, уменьшением выбросов оксидов азота и углерода в атмосферу.

Утилизация отходов предполагает преобразование в неопасные соединения путем эмульгирования и использование полученных эмульсий в качестве как противоадгезионных покрытий рабочих поверхностей форм для получения железобетонных изделий, так и добавки к топливу котельных агрегатов. Первое направление позволит дополнительно отказаться от использования дорогих промышленных эмульсололов и смазок, а второе – уменьшить объем выбросов оксидов азота и углерода с дымовыми газами в атмо-

сферу за счет управляемого изменения процесса сгорания топлива.

Цель работы – добиться снижения загрязнения окружающей среды путем разработки и внедрения технологии переработки и утилизации НСО.

Технологический процесс утилизации НСО производства включает три части (рис. 1):

- приготовление из НСО нефtesодержащей эмульсии;
- использование эмульсии в качестве материала противоадгезионных покрытий;
- использование НСО в качестве добавки к котельному топливу.

Как материал противоадгезионного покрытия, так и вторичный топливный энергетический ресурс получают эмульгированием собранных из очистных сооружений отстоявшихся нефтяных фракций. Срок хранения эмульсий, получаемых в промышленных смесителях, не превышает одной недели. Повышение стабильности эмульсий обеспечивают уменьшением размеров ее капель с использованием пневматического излучателя, генерирующего ударные волны.

Технологический процесс приготовления нефtesодержащей эмульсии включает следующие операции:

- сбор и подготовку НСО и сточных вод, содержащих нефтепродукты, к переработке. Сточные воды, содержащие НСО (из очистных сооружений), подают в бак 1 (рис. 2), в котором они отстаиваются, а воду сливают в обратную систему водоснабжения;
- подготовку раствора эмульгатора. В рабочую емкость 3 заливают воду (объем, который определяют по высоте столба жидкости), затем добавляют эмульгатор (объем которого измеряют мерной колбой), жидкость перемешивают до полного растворения эмульгатора с помощью пневматического излучателя 4. В качестве эмульгатора используют ТМС Лабомид-101 в количестве 3 % от объема воды и негашеную известь в количестве 1,5 % от объема воды.

Содержание воды в товарной эмульсии при продаже другим предприятиям составляет 30 %, а при использовании непосредственно на своем предприятии – 40 %;

– подачу НСО в раствор эмульгатора. Отстоявшиеся отходы из бака насосом 2 подают в рабочую емкость с пневматическим излучателем. Измерение объемов жидкости проводят путем измерения ее глубины в рабочей емкости, диаметр которой известен;

– подогрев компонентов при помощи трубчатого электронагревателя до температуры 293 К, а при использовании пластичной смазки ЛЗЦНИИ – до 363 К;

– приготовление эмульсии при помощи пневматического излучателя. Давление подаваемого сжатого воздуха должно находиться в пределах 0,4–0,6 МПа. Частота импульсов – 90 мин⁻¹. Продолжительность эмульгирования – 15 мин. Стабильность эмульсии зависит от времени воздействия пневматического излучателя, однако по истечении указанного времени рекомбинация начинает уравновешивать диспергирование и дальнейшее эмульгирование не повышает качество материала;

– перекачку приготовленной эмульсии насосом в сборный бак 5 или в емкости для доставки потребителям.

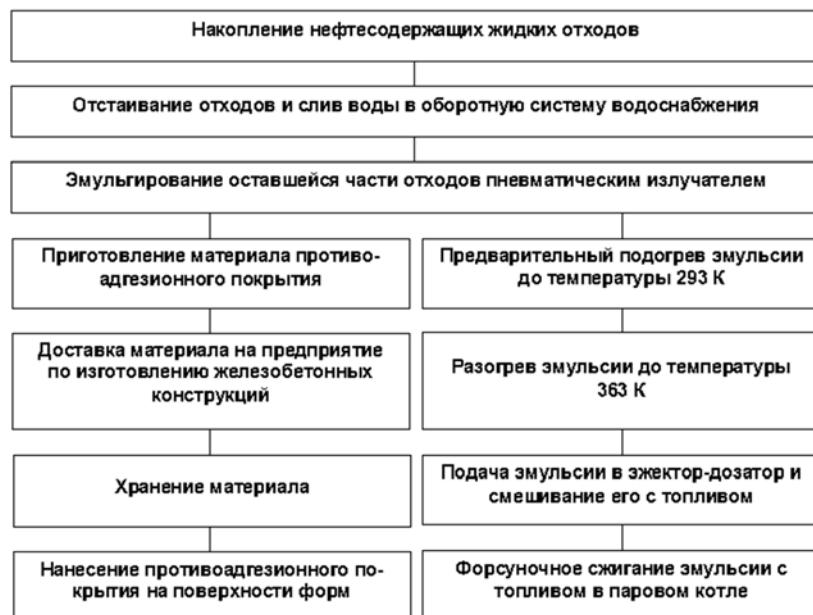


Рис. 1. Схема процессов приготовления эмульсии из НСО и ее последующего использования

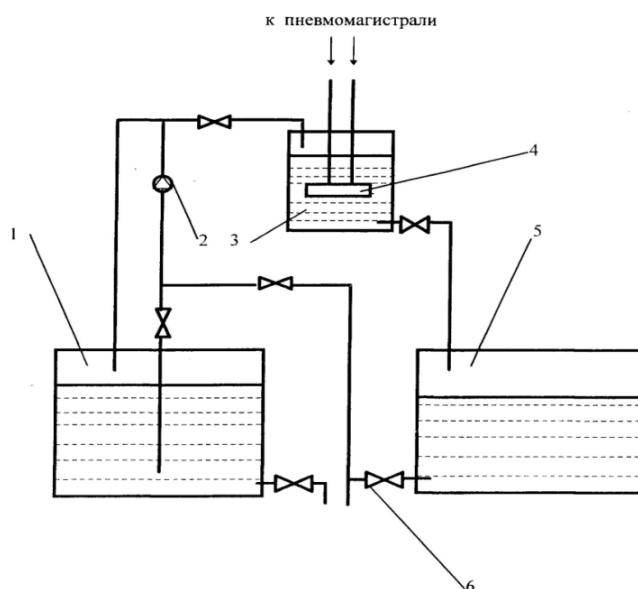


Рис. 2. Схема установки для эмульгирования отработавших НСО: 1 – бак для отстаивания сточных вод; 2 – насос; 3 – рабочая емкость; 4 – пневматический излучатель; 5 – бак сборный; 6 – вентиль

Стабильность эмульсии как способность сохранять свои первоначальные свойства во всем объеме в течение нормативного отрезка времени определяется объемом выделившегося неэмульгированного вещества в процентах от общего объема эмульсии [2]. Данный показатель в основном зависит от размера фрагментов и вязкости среды. Скорость оседания капель воды v в эмульсии выражается формулой Стокса:

$$v = 2 \frac{(\rho_2 - \rho_1)r^2 g}{9\eta}, \quad (1)$$

где ρ_2 – плотность воды, кг/м³; ρ_1 – плотность эмульсии, кг/м³; r – радиус капли воды, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; η – вязкость эмульсии, Па·с.

Чем меньше радиус капли, тем больше стабильность эмульсии. Так, например, капля размером 30–50 мкм будет оседать на глубину 1 м более месяца. Полученная ранее модель разрушения поверхности раздела двух несмешивающихся жидкостей при эмульгировании [3] показывает, что от поверхности колеблющейся жидкости с длиной волны λ отрывается капля радиусом $r = \lambda/4$, а после отрыва капли на поверхности раздела остаются волны, амплитуда которых равна $\lambda/8$. Эти волны являются начальными возмущениями для последующего отрыва капель. К уменьшению размеров неразрушенных капель в эмульсии и, следовательно, к повышению ее стабильности приводят увеличение критерия Струхала и волнового числа максимально неустойчивого возмущения, повышение плотности более легкой жидкости, уменьшение скорости течения при одновременном росте круговой частоты ее пульсации и снижение поверхностного натяжения жидкости. Уменьшение поверхностного натяжения раздела жидкостей с 0,06 до 0,03 Н/м приводит к уменьшению длины волны поверхности раздела в 2,0 раза. Снижение средней скорости течения жидкостей с 2,73 до 0,98 м/с при одновременном увеличении круговой частоты пульсаций скорости потока с 0,014 до 0,378 Гц, а также увеличение безразмерного волнового числа с 0,20 до 2,51 и критерия Струхала с 0,8 до 31 приводят к уменьшению длины волны поверхности раздела жидкостей с 200 до 20 мкм и, соответственно, диаметра неразрушенной капли в эмульсии – с 100 до 10 мкм.

Размеры капель приготовленной эмульсии, измеренные с помощью микроскопа МБС–10, должны составлять до 16 мкм. При этом нормативная стабильность эмульсии с содержанием воды до 30 % при температуре окружающей среды 18 °C поддерживается в течение не менее чем 30 сут.

Использование эмульсии в качестве материала противоадгезионных покрытий.

Технологическая операция производства сборного железобетона с использованием приготовленной эмульсии в качестве материала противоадгезионных покрытий включает следующие части:

- 1) сборку формы и нанесение противоадгезионного покрытия на ее рабочие поверхности;
- 2) закладку бетонной смеси и арматуры и взаимодействие покрытия со свежей бетонной смесью, подверженной вибрации (уплотнению);
- 3) выдержку бетонной смеси (твердение при установленных температуре и влажности);
- 4) разборку формы с извлечением изделия и очистку поверхности формы от остатков бетона.

Во второй и частично третьей частях операции происходят физико-химические и физические процессы, которые определяют чистоту поверхности изделий, наличие на ней раковин и других дефектов, механическую прочность материала изделия и его поверхностного слоя, а также возможность проведения в дальнейшем штукатурных и окрасочных работ.

Основными требованиями к противоадгезионному покрытию на стадии его нанесения являются прочная связь с поверхностью формы во избежание стекания и минимальная адгезия к свежей бетонной смеси, а затем к поверхности затвердевшего бетона.

Предложены следующие составы материала противоадгезионных покрытий:

- товарный эмульсол (70 % НСО с содержанием топливных фракций до 6 % и 30 %-ный водный раствор ТМС Лабомид-101 в количестве 3 % и 1,5 % негашеной извести);
- эмульсол, изготавляемый непосредственно на предприятии – изготовителе железобетонных изделий (60 % НСО с содержанием топливных фракций до 6 % и 40 %-ный водный раствор ТМС Лабомид-101 в количестве 3 % и 1,5 % негашеной извести);
- эмульсол, изготавляемый непосредственно на предприятии – изготовителе железобетонных изделий (70 % НСО, не содержащих топливных фракций, и 30 %-ный водный раствор ТМС Лабомид-101 3 %);
- эмульсол, изготавляемый непосредственно на предприятии – изготовителе железобетонных изделий (60 % НСО, не содержащих топливных фракций, и 40 %-ный водный раствор ТМС Лабомид-101 3 %).

Предлагаемый материал соответствует требованиям СТБ 1707 «Смазки для форм и опалубок. Общие технические требования», предъявляемым к противоадгезионному покрытию. Полученный материал покрытия не оставляет на поверхности изделий масляных пятен, вздутий и отслоений; не вызывает коррозионное воздействие на стальные поверхности форм;

средняя относительная величина снижения адгезии составляет 81,3 %; он способен удерживаться на вертикальной поверхности (показатель способности удерживаться на поверхности равен для покрытия на основе НСО и равен 76,4 %, для покрытия на основе отработавшей смазки ЛЗ-ЦНИИ – 84,8 %). В цехах филиала «Новополоцкожелезобетон» ОАО «Кричевцементношифер» изготавливались железобетонные изделия при положительных температурах с категориями чистоты бетонной поверхности А3–А7. Ни одно изделие, изготовленное с использованием противоадгезионного покрытия на основе НСО, не показало удельную эффективность естественных радионуклидов, превышающую 370 Бк/кг.

В филиале «Новополоцкожелезобетон» ОАО «Кричевцементношифер» производилось изготовление лестничных маршей ЛМП 57.11.14-5 с использованием эмульсии на основе НСО. Эмульсию наносили на рабочую поверхность форм, расход ее на одно изделие составил 2,657 кг, что сопоставимо с нормами расхода приобретаемых в 2015 г. смазок на единицу продукции при изготовлении лестничного марша ЛМП 57.11.14-5, которые для промышленного эмульсола «АТ-5-Б» составили 2,646 кг, а для эмульсола «Бетанол-С» – 2,275 кг. Показатели качества поверхностей при использовании предлагаемого материала, смазок «АТ-5-Б» и «Бетанол-С» соответствовали требованиям, предъявляемым предприятием к качеству поверхности лестничного марша ЛМП 57.11.14-5. При этом материал покрытия на основе НСО оказался в 1,4–2,5 раза дешевле.

Утилизация нефтесодержащей эмульсии путем ее использования в качестве добавки к топливу при сжигании в топке парового котла состоит из таких операций, как:

- доставка и хранение эмульсии в емкости при котельной;
- подогрев подаваемой к паровому котлу эмульсии при помощи трубчатого электронагревателя до температуры 293 К;
- нагрев эмульсии непосредственно перед использованием до температуры 363 К;
- подача нагретой эмульсии в топку парового котла топливной струей, проходящей через эжектор-дозатор форсунки, при этом заданное соотношение эмульсия–топливо поддерживается автоматически при изменении расхода топлива;
- сжигание топливной смеси.

Исследования проводили при сжигании газообразного топлива (природного газа) с добав-

лением нефтесодержащей эмульсии в котле ДКВр-6,5-13 ГМ, оснащенном экономайзером ЭП-1-330 и дутьевым вентилятором ВД-10. Температуру пламени измеряли платинородиевой термопарой ТПР, размеры пламени – при помощи модели стальной линейки, а содержание вредных составляющих в дымовых газах – анализатором «Testo-350».

Было проделано пять серий экспериментов. В каждой серии были проведены эксперименты с эмульсией, влагосодержание которой составляло $w = 0; 5; 10; 15, 20, 25 \%$. В результате были получены следующие полиномиальные регрессионные зависимости:

– квадратичная для температуры факела, °С:

$$T_{\Phi} = -2354,3w^2 - 112,3w + 1665,5 \quad (2)$$

– кубическая для размеров пламени:

$$I_e / I_0 = 63,2w^3 - 18,46w^2 - 0,19w + 1,003, \quad (3)$$

где I_e – длина факела при сжигании топлива с добавлением эмульсии; I_0 – длина факела при сгорании обезвоженного топлива.

Проверку значимости коэффициентов проводили по t -критерию Стьюдента при 5 %-ном уровне значимости. Были определены доверительные интервалы $\Delta\sigma$ (табл. 1). Адекватность уравнений регрессии (2) и (3) была проверена с помощью критерия Фишера при уровне значимости 5 %. Для уравнений были вычислены расчетные значения критерия F_p .

Сравнение значений коэффициентов уравнений регрессии с их доверительным интервалом подтвердило, что все коэффициенты значимые. Сравнение расчетных значений F -критерия с его табличными значениями подтвердило возможность интерпретации полученных зависимостей.

Содержание 10 % воды в эмульсии от объема смеси обуславливает снижение температуры факела примерно на 30–50 °С, а при содержании воды 20 % – на 100–150 °С. В результате, уменьшая температуру факела, можно снизить содержание оксидов азота NO_x в дымовых газах. Для малых значений w изменение температуры прямо пропорционально изменению выделившейся при сгорании теплоты. Увеличение влагосодержания топливной смеси обуславливает уменьшение относительной длины факела I_e / I_0 . Это объясняется тем, что при дроблении парами воды капель эмульсии осколки их разлетаются в разные стороны и поперечные размеры факела увеличиваются при одновременном сокращении

Таблица 1. Проверка адекватности уравнений регрессии и значимости их коэффициентов

Номер уравнения	F_T	F_p	t_T	Квадратичная ошибка коэффициента регрессии s_k	$\Delta\sigma$
(2)	2,87	18,43	2,086	10,67	±22,298
(3)	3,24	43,27	2,131	0,02135	±0,04553

относительной длины факела. Объем факела практически не изменяется. Уменьшение длины факела ведет к уменьшению времени пребывания продуктов сгорания в высокотемпературной зоне, чем объясняется снижение доли оксидов азота NO_x в дымовых газах.

Балансовыми испытаниями установлено следующее. При подаче воздуха в горелки с расходом $637 \text{ м}^3/\text{ч}$ под давлением 1,9 кПа (нагрузка близка к номинальной) содержание оксидов азота изменялось от 145 до $170 \text{ мг}/\text{м}^3$ (в пересчете на NO_2 в сухих газах при стандартных условиях: 101,3 кПа, 273 К и 6 % O_2) в зависимости от коэффициента избытка воздуха. Среднее содержание C_{NO_2} (при коэффициенте избытка воздуха за экономайзером 2,26 и содержании $C_{\text{CO}} = 9 \text{ мг}/\text{м}^3$) оказалось равным $160 \text{ мг}/\text{м}^3$. Этому значению соответствует масса выбросов $M_{\text{NO}_2} = 0,35 \text{ г}/\text{с}$. Содержание NO_x зависит от нагрузки котла, по мере

снижения которой происходит уменьшение содержания оксидов азота в дымовых газах с 160–200 до 110–140 $\text{мг}/\text{м}^3$. Наблюдалось снижение оксидов углерода на 43–59 %. Содержание оксидов серы в выбросах не обнаружено, поскольку в потребляемом природном газе она практически отсутствует в отличие от случаев использования в качестве топлива мазута.

Таким образом, добавление к топливу, скижаемому в котельных установках, мелкодисперсной эмульсии на основе НСО не только позволяет утилизировать эти вещества, но снизить содержание оксидов азота и углерода в дымовых газах путем повышения влагосодержания скижаемого топлива и уменьшения температуры и длины факела [4]. Сжигание сильно обводненных горючих отходов нефтепродуктов с топливом при равномерном распределении воды по всему объему материала в котле ДКВР-10-13 позволяет уменьшить потребление основного топлива на 3–5 %.

Таблица 2. Морфологическая матрица составляющих процессов приготовления и использования эмульсии из НСО

Операции общие			
Наименование		Исполнения	Координаты вершин графа
Накопление отходов		Непрерывное	1б
		Прерывное	1д
Разделение отходов на фазы		Отстаиванием	2в
		Центрофугированием	2г
Эмульгирование отходов		Ударными волнами	3б
		Растиранием	3д
Операции специальные			
Наименования		Исполнения	Координаты вершин графа
для материала	для скижаемой эмульсии		
Приготовление материала	–	Использованием ТМС	4а
		Использование извести	4б
–	Предварительный подогрев	Электрический	5г
		Паровой	5д
		Огневой	5е
		В обратной таре	6б
Доставка материала	–	В универсальной цистерне	6в
–	Нагрев эмульсии	Электрический	7г
		Паровой	7д
		Огневой	7е
		Сроком 1–3 дня	8а
Хранение материала	–	Сроком 3–5 дней	8б
		Сроком 5–15 дней	8г
		Сроком 15–30 дней	8в
		Инъекцией	9е
Нанесение покрытия	Подача эмульсии в дозатор	Насосом	9д
		Пневмоподавлением	10б
		Кистью	10в
–	Сжигание эмульсии	Отневое	11д

Обоснование технических решений при выборе технологических процессов. Стремление повысить эффективность достижения поставленной цели обусловило разработку моделей технологических процессов в виде графов и их оптимизацию. Здесь новизну решений определяет «морфологический анализ» [1, 6], рассматривающий на графах сотни или тысячи сочетаний составляющих операций, среди которых обнаруживаются патентоохраные решения. Эффективность решений обуславливает применение динамического программирования [1].

Морфологическая матрица и соответствующие графы вариантов технологических процессов с затратами производственных ресурсов на подготовку и выполнение операций в долях базовой величины (БВ) приведены в табл. 2 и на рис. 3 и 4. Указанные рисунки при мысленном наложении друг на друга образуют общий процесс приготовления эмульсии из НСО и ее последующего использования в качестве противоадгезионного покрытия или добавки к топливу.

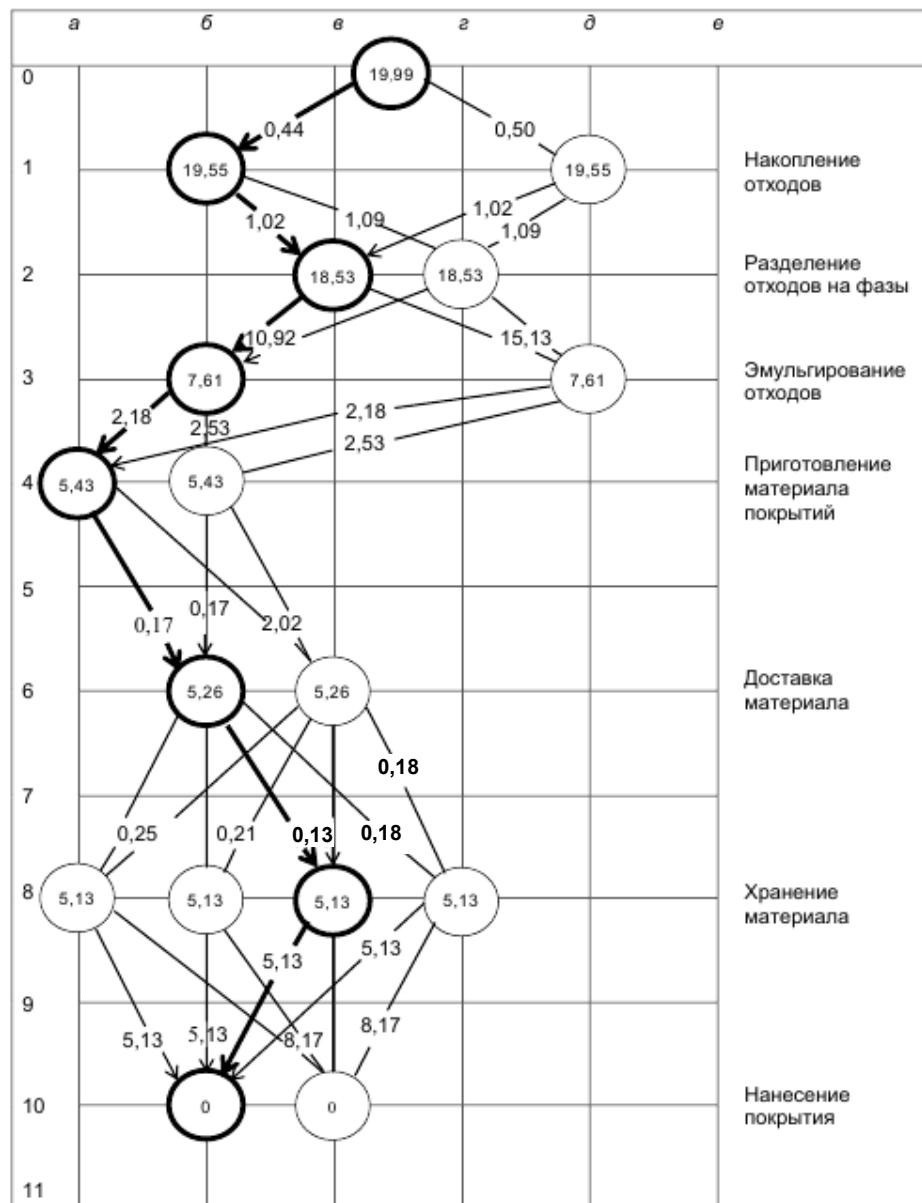


Рис. 3. Граф вариантов технологических процессов приготовления эмульсии из НСО, приготовления и использования из нее противоадгезионного покрытия

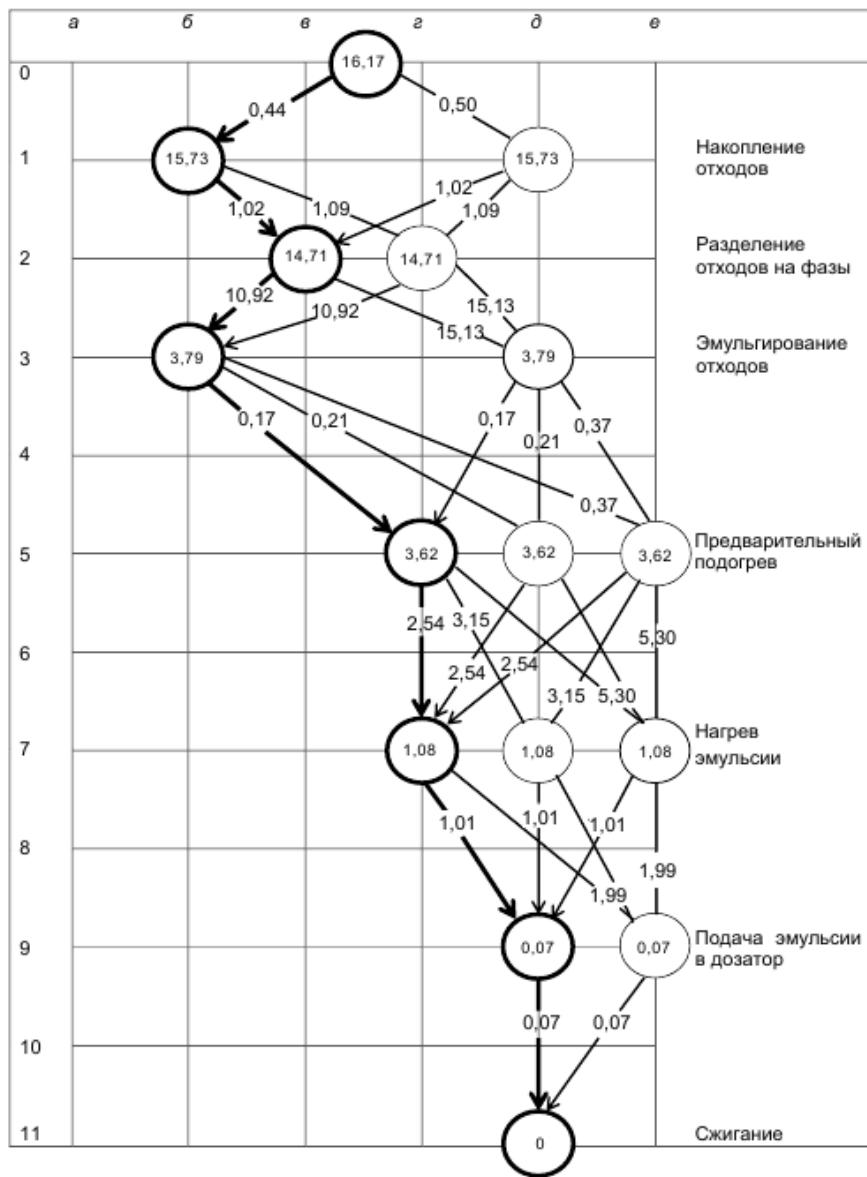


Рис. 4. Граф вариантов технологических процессов приготовления и сжигания эмульсии из НСО

Различные сочетания операций, образующие технологические процессы, выбирают из графов, составленных из вершин и дуг. Каждый горизонтальный ряд вершин графа – это i -е подмножество однотипных технологических операций ($i = 1 \dots k$), виды которых выбирают из логических и эвристических представлений о различных способах преобразования энергии и вещества, использовании новых материалов и различных физических эффектов. В граф включают лишь те операции, которые обеспечивают установленные ограничения по безопасности труда, охране окружающей среды и производительности. Модель рассматривает все различные технологические операции, как

реально существующие, так и потенциально возможные, которые могут быть использованы в производстве.

Расход производственных ресурсов в стоимостном выражении, отнесенных к 1 т перерабатываемых отходов на подготовку и выполнение одной технологической операции включает капиталовложения в здания, оборудование, приспособления и инструменты, текущие затраты на амортизацию основных фондов, затраты на работу и поддержание (техническое обслуживание) и восстановление ресурса (ремонт) оборудования и приспособлений, стоимость материалов и энергии в объеме их норм расхода, заработную плату с начислениями и утилизацию отходов:

$$\text{ПР} = \sum_1^k M_k \text{Ц}_k + \sum_1^n \mathcal{Э}_n C_n + \sum_1^m \frac{t_{\text{ш.-к}}}{60} \left(C_{\text{ч.р}} + C_{\text{м-ч.о}} + \frac{K_o k_o}{\Phi_{\text{д.о}}} \right), \text{ руб.}, \quad (4)$$

где M_k и Ц_k – норма расхода (кг, м³ и др.) и цена материала (руб/кг, руб/м³ и др.) k -го вида, соответственно; $\mathcal{Э}_n$ и C_n – норма расхода (Дж) и стоимость энергии (руб/Дж) n -го вида, соответственно; $t_{\text{ш.-к}}$ – трудовой норматив времени (норма штучно-калькуляционного времени), мин; $C_{\text{ч.р}}$ – часовая ставка рабочего, руб/ч; $C_{\text{м-ч.о}}$ – стоимость машино-часа работы оборудования, руб/м.ч.; K_o – капиталовложения в оборудование, руб.; k_o – доля капиталовложений, приходящихся на год эксплуатации оборудования, год⁻¹; $\Phi_{\text{д.о}}$ – годовой действительный фонд времени работы оборудования, ч/год.

Длины дуг графа соответствуют указанным затратам и приведены в их разрывах.

Оптимизация решения выражается в поиске кратчайшего пути из вершины О в одну из вершин нижнего яруса графа а, соответственно, подмножество вершин на этом пути определяет содержание оптимального технологического процесса. Процедура оптимизации заключалась в следующем [1, 6]: в каком бы состоянии ни находилась производственная система в результате определенного числа шагов, последующее управление на ближайшем шаге выбирают таким образом, чтобы оно в совокупности с оптимальным управлением на всех последующих шагах приводило к минимальному расходу производственных ресурсов (ПР) на всех оставшихся шагах, включая данный:

$$\begin{aligned} \text{ПР}_{i+1} = \min & (\text{по всем вершинам графа}) \times \\ & \times [\text{ПР}_i + \text{ПР}_{(i+1)-1}], \end{aligned} \quad (5)$$

где i – операции процесса; ПР_{i+1} – расход производственных ресурсов при выполнении $i+1$ операций; ПР_i – расход ресурсов при выполнении i -й операций при условии, что соответствующая часть процесса выбрана оптимальным образом; $\text{ПР}_{(i+1)-1}$ – расход ресурсов при выполнении $(i+1)$ -й операции процесса.

Граф имеет ярусы 0–11, из которых ярусы 1, 2 и 3 обозначают общий процесс приготовления эмульсии из НСО. При этом вершины ярусов 4, 6, 8 и 10 определяют процесс приготовления и использование материала противоадгезионных покрытий, а вершины ярусов 5, 7, 9 и 11 – сжигания эмульсии с основным топливом в топке парового котла.

Расчеты начинают с определения минимального значения функции ПР_{i+1} в вершинах предпоследних 8-го или 9-го ярусов графов, поскольку значения затрат ресурсов ПР_i ниже 10-го и 11-го ярусов графов соответственно формально равны нулю.

Поиск оптимальных технологических процессов приготовления эмульсии из НСО, приготовления и использования из нее противоадгезионного покрытия следующий (см. рис. 3). Рассматривали вершины 8-го яруса. Парное сравнение между собой длин дуг $8a - 10b$ и $8a - 10e$, $8b - 10b$ и $8b - 10e$, $8e - 10b$ и $8e - 10e$, $8g - 10b$ и $8g - 10e$ дает основание утверждать, что более короткие дуги ведут в вершину графа 10б. Обозначаем эти дуги стрелками. Значения ПР_8 в вершинах 8-го яруса равны 5,13 БВ.

Аналогичные расчеты и построения подтверждают, что дуги из 6-го яруса направлены в вершину $8g$, из вершин 4-го яруса – в вершину $6b$, из вершин 3-го яруса – в вершину $4a$, из вершин 2-го яруса – в вершину $3b$, из вершин 1-го яруса – в вершину $2e$, а из вершины нулевого яруса – в вершину $1b$. Значения ПР_6 равны 5,26 БВ, ПР_4 – 5,43, ПР_3 – 7,61, ПР_2 – 18,53, ПР_1 – 19,55, ПР_0 – 19,99 БВ. Обобщенный оптимальный технологический процесс включает такие операции, как: накопление отходов – непрерывное; разделение отходов на фазы – отстаиванием; эмульгирование НСО – ударными волнами, генерируемыми пневматическим излучателем; приготовление материала покрытия – с использованием ТМС; доставка материала – в оборотной таре; хранение материала – в течение 15–30 дней; нанесение покрытия – пневматическим распылением.

Аналогичный поиск оптимальных технологических процессов приготовления эмульсии из НСО и ее сжигания в топке парового котла см. на рис. 4. Обобщенный технологический процесс включает следующие операции: накопление отходов – непрерывное; разделение отходов на фазы – отстаиванием; эмульгирование НСО – ударными волнами, генерируемыми пневматическим излучателем; предварительный и основной нагрев материала – электрический; подача эмульсии в дозатор – насосом под давлением; сжигание эмульсии – огневое. Расход производственных ресурсов в финансовом отношении на приготовление и сжигание 1 т отходов составляет 16,17 БВ.

Больший доход предприятию обеспечивает приготовление из НСО материала противоадгезионных покрытий.

В эмульгированном состоянии НСО оказывают меньшее воздействие на организм рабочего, чем в неэмульгированном. Содержание масел минеральных (веретенного, машинного, цилиндрового и др.) в воздухе рабочей зоны уменьшилось с 0,0195 до 0,0155 мг/м³, углеводородов

ароматических – с 0,0120 до 0,0095 мг/м³, углеводородов предельных алифатического ряда С₁–С₁₀ – с 5,2 до 4,8 мг/м³. В эмульгированном состоянии НСО равномерно распределены по всему объему среды, поэтому они меньше испаряются. Расчет индекса риска здоровью рабочих показал его снижение на 20–30 % по сравнению с индексом влиянием веществ в неэмульгированном состоянии и переводе степени загрязнения воздуха в рабочей зоне из II (слабой) в I (допустимую).

Заключение. Использование модели эмульгирования двух несмешивающихся жидкостей перед утилизацией для обеспечения стабильности мелкодисперсной эмульсии показывает, что длина волны наиболее неустойчивого возмущения поверхности раздела жидкостей и наименьший размер неразрушенных капель в эмульсии определяется волновым числом, круговой частотой пульсаций скорости потока и критерием Струхала. Эмульсия с размером капель до 16 мкм при содержании воды в ней до 30 % при температуре окружающей среды 288 К может храниться в течение не менее чем 30 сут. Увели-

чение содержания воды в нефтесодержащей эмульсии до 10 %, сжигаемой с природным газом в паровом котле, приводит к уменьшению длины факела в 1,1–1,3 раза, а при содержании воды 20 % – в 1,2–1,6 раза, со снижением температуры факела на 30–50 и 100–150 К соответственно, что обуславливает снижение содержания оксидов азота в дымовых газах на 23–44 % с уменьшением расхода первичного топлива на 3–5 %.

Эмульсии из НСО, применяемые в качестве противоадгезионных покрытий на поверхности форм при производстве железобетонных изделий соответствуют требованиям СТБ 1707 и могут заменить промышленные смазки.

С использованием предложенного метода выбора и обоснования технологического процесса, связанного с охраной труда и окружающей среды с учетом ограничений безопасности и требований эффективности, отличающегося эффективностью, наглядностью и универсальностью, разработаны оптимальные технологические процессы получения и использования водных эмульсий по критерию наименьшей себестоимости.

Литература

1. Беллман, Р. Динамическое программирование / Р. Беллман ; пер. с англ. – М., 1960.
2. Дронченко, В. А. Влияние содержания воды на стабильность эмульсии на основе отработавших нефтесодержащих продуктов / В. А. Дронченко // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2015. – № 11. – С. 82–86.
3. Иванов, В. П. Разрушение поверхности раздела двух несмешивающихся жидкостей при эмульгировании / В. П. Иванов, В. А. Дронченко // Вестник БрГТУ. Машиностроение. – 2014. – № 4 (88). – С. 38–42.
4. Иванов, В. П. Математическое моделирование разрушения капель эмульсии из отходов производства в факеле парового котла / В. П. Иванов, В. А. Дронченко // Вестник ГГТУ. – 2016. – № 1. – С. 45–51.
5. Смазочные материалы и проблемы экологии / А. Ю. Евдокимов [и др.]. – М., 2000.
6. Zwicky, F. Entdecken, Erfinden, Torschen im morphologischen Wettbild / F. Zwicky. – Munchen ; Zurich ; Knauir, 1966.

Полоцкий государственный университет, Полоцк, Беларусь

Поступила в редакцию 21.10.2016 г.

В. П. Иванов, В. А. Дронченко

УТИЛИЗАЦИЯ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Определен состав жидких отходов вспомогательного производства предприятий нефтехимического комплекса из сточных вод с отработавшими растворами технических моющих средств и нефтесодержащей составляющей из масел моторного и трансмиссионного, топливных фракций и пластичных смазок, представляющих риск для здоровья рабочих и угрозу окружающей среде, и определена необходимость и направленность их утилизации. С использованием модели эмульгирования двух несмешивающихся жидкостей определены условия обеспечения стабильности мелкодисперсной эмульсии и предложен процесс ее получения. Разработаны четыре состава эмульсолов на основе нефтесодержащих отходов, применяемых в качестве материала противоадгезионных покрытий, наносимых на поверхности форм для изготовления железобетонных изделий.

Предложен процесс утилизации нефтесодержащих отходов путем сжигания эмульсии из них как добавки к газообразному топливу. Управляемое сжигание позволяет уменьшить содержание оксидов азота в дымовых газах с 160–200 до 110–140 мг/м³ с уменьшением расхода первичного топлива на 3–5 %. Апробирован метод выбора и обоснования технологического процесса, связанного с охраной труда и окружающей среды с учетом ограничений безопасности и требований эффективности, отличающегося эффективностью, наглядностью и универсальностью, разработаны оптимальные технологические процессы получения и использования водных эмульсий из нефтесодержащих отходов.

V. P. Ivanov, V. A. Dronchenko

DISPOSAL OF OIL WASTE OF SECONDARY PRODUCTION OF PETROCHEMICAL ENTERPRISES

The composition of the liquid waste of secondary production of the enterprises of the petrochemical complex of waste water from exhaust solutions of technical detergents or oil-containing component of motor and transmission oils, fuel fractions and plastic lubricants that pose a risk to the health of workers and the threat to the environment is determined, and the need for direction of their utilization is identified. Using the model of the emulsification of two immiscible liquids the conditions for the stability of fine emulsions are determined and the process of its preparation is proposed. Four compositions of the emulsions based on oil waste are developed used as material of anti-adhesion coatings applied on the surface of moulds for manufacture of concrete products. The disposal of oil waste by combustion of an emulsion of them as additives to a gaseous fuel is proposed. Controlled burning allows to reduce the content of nitrogen oxides in flue gases with 160–200 mg/m³ to 110–140 mg/m³, with reduction of primary fuel consumption by 3–5 %. The method of selection and justification of the technological process associated with occupational health and the environment given the constraints of safety and efficiency requirements that are characterized by efficiency, clarity and versatility designed for the optimal technological processes of obtaining and use of water emulsions of oil waste is tested.

Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья: современное состояние и пути решения

Полесье – уникальный географический регион, своеобразие которого обусловлено сохранением малоизмененных природных систем, разнообразием растительного и животного мира, минерально-сырьевых ресурсов, значительной долей осушенных земель в структуре земельных угодий, интенсивным развитием сельскохозяйственного производства, а также этнокультурной самобытностью проживающего здесь коренного населения.

Уникальностью Полесья является и тот факт, что этот целостный в природном отношении регион располагается в пределах нескольких стран – Беларуси, Украины, Польши и России. Тесные связи между ними, не признающие государственных границ, а также сходные проблемы в сохранении и использовании природных ресурсов обуславливают необходимость международного сотрудничества для изучения, использования и сохранения природы региона.

В этой связи 14–17 сентября 2016 г. в г. Минске была проведена Международная научная конференция «Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья». Конференция была организована Национальной академией наук Беларусь совместно с Российской академией наук, Польской академией наук, Национальной академией наук Украины, Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Государственным комитетом по науке и технологиям Республики Беларусь, Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований, Министерством образования и науки Российской Федерации, Национальной академией аграрных наук Украины.

Конференция проведена с целью обобщения имеющегося в разных странах опыта использования природных ресурсов Полесья, сохранения уникальных полесских ландшафтов, выбора научно-технических приоритетов в области природо- и недропользования, обеспечивающих устойчивое социально-экономическое развитие трансграничного Полесского региона.

В конференции приняли участие более 350 ученых и специалистов из Беларуси, Польши, России, Украины, Германии и Хорватии.

Конференция включала пленарные заседания, работу 5 секций, в том числе 16 тематических подсекций и 2 научные полевые экскурсии на территорию Полесья.



С приветственным словом выступает Председатель Президиума НАН Беларуси, председатель оргкомитета конференции академик НАН Беларуси В.Г. Гусаков

Во время открытия конференции с приветственным словом к участникам конференции обратился Председатель оргкомитета конференции, Председатель Президиума Национальной академии наук Беларусь, академик НАН Беларусь В.Г. Гусаков. Участников конференции приветствовали также Министр природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь А.М. Ковхуто, директор Института географии и пространственной организации Польской академии наук профессор Марек Дегорски, главный научный сотрудник Института истории естествознания и техники Российской академии наук член-корреспондент РАН В.А. Снытко, директор Института географии Национальной академии наук Украины академик НАН Украины Л.Г. Руденко. Леонид Григорьевич Руденко зачитал приветствие участникам конференции Президента Национальной академии наук Украины академику НАН Украины Б.Е. Патона.



Участниками конференции были представлены 280 докладов по широкому спектру вопросов, касающихся состояния и использования природных ресурсов Полесья, социально-экономических и экологических проблем природопользования в Полесском регионе, сохранения историко-культурного наследия Полесья.

В ходе 4-х пленарных заседаний заслушаны 16 докладов. Доклад Председателя Президиума НАН Беларусь академика НАН Беларусь В.Г. Гусакова и директора Института природопользования НАН Беларусь академика НАН Беларусь А.К. Карабанова был посвящен анализу особенностей природопользования в Полесском регионе и обоснованию приоритетных направлений научных исследований в данной области.

Особенности и тенденции развития Украинского Полесья были освещены в докладе академика НАН Украины Л.Г. Руденко (соавторы А.И. Бочковская и Е.А. Поливач). В докладе директора Института географии и пространственной организации Польской академии наук профессора Марека Дегорского был охарактеризован природный потенциал Западного Полесья как фактор устойчивого развития региона. Показано, что качество природной среды может рассматриваться как важный фактор устойчивого развития при условии, что местное население осознает его ценность.

Вопросам мелиоративной освоенности Полесского региона и эффективности мелиорации и сельскохозяйственного использования земель Полесья в разных странах были посвящены доклады директора Института водных проблем и мелиорации НАН Украины академика НАН Украины М.И. Ромашенко, директора Института мелиорации НАН Беларусь к.т.н. Н.К. Вахонина и главного научного сотрудника этого же института д.с.-х.н. А.С. Мееровского. Проблемам постмелиоративного использования земель Мещерской низменности был посвящен доклад заведующего кафедрой физической географии и ландшафтования географического факультета МГУ члена-корреспондента РАН К.Н. Дьяконова и соавторов д.т.н. П.И. Пыленка и к.г.н. Т.И. Харитоновой. Проблемы сохранения природных комплексов Полесья в условиях широкомасштабной мелиоративной освоенности Полесья были представлены в докладе академика НАН Беларусь В.И. Парфенова.

Результатам новейших исследований химии воды был посвящен доклад директора Института коллоидной химии НАН Украины академика НАН Украины В.В. Гончарука. Докладчиком обосновывалась необходимость применения методов оценки качества питьевой воды по интегральным показателям, позволяющим в короткие сроки и с наименьшими экономическими затратами оценить пригодность питьевой воды для потребления человеком. Структура и водные



Выступление Министра природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь А.М. Ковхута



Выступление директора Института природопользования НАН Беларусь академика НАН Беларусь А.К. Карабанова



Выступление директора Института географии НАН Украины академика НАН Украины Л.Г. Руденко



Выступление доктора географических наук, члена-корреспондента РАН В.А. Снытко

свойства торфа, перспективные направления его использования, включая глубокую переработку, были рассмотрены в докладе академика НАН Беларуси И.И. Лиштвана.

Проблемам радиоактивного загрязнения почв/земель Полесского региона и их восстановлению были посвящены доклады главного научного сотрудника Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси академика НАН Беларуси И.М. Богдевича и директора Института агрэкологии и природопользования НААН Украины академика НААН Украины А.Г. Таарико (соавторы д.с.-х.н. В.П. Ландин, М.Ю. Таарико, В.А. Захарчук, А.А. Мельничук). Было показано, что несмотря на улучшение радиационной обстановки проблемные вопросы сконцентрировались в сельских подворьях и тех сельскохозяйственных организациях, где преобладают малопродуктивные, зачастую переувлажненные, песчаные и торфяные почвы, характеризующиеся высокими коэффициентами перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в продукцию, которая зачастую убыточна. Требуются дальнейшая корректировка специализации земледелия, целевых параметров, состава и объемов защитных мер, пересмотр зонирования загрязненной радионуклидами территории и дальнейшая оптимизация системы радиационного контроля и мониторинга.

О разнообразии минерально-сырьевых ресурсов Украинского Полесья и перспективах их использования говорилось в докладе Председателя Государственной комиссии Украины по запасам полезных ископаемых профессора Г.И. Рудько.

Значимости для Полесского региона и мировой сети охраняемых территорий трансграничного трехстороннего биосферного заповедника «Западное Полесье» (Польша, Беларусь, Украина) был посвящен доклад профессора Романа Соя из Института географии и пространственной организации Польской академии наук.

Заместитель директора Института природопользования НАН Беларуси, д.г.н. В.С. Хомич от группы соавторов к.г.н. М.И. Струка, академика НАН Беларуси А.К. Карабанова, академика НАН Беларуси И.И. Лиштвана, академика НАН Беларуси И.М. Богдевича, к.б.н. А.В. Пугачевского, к.г.н. О.В. Кадацкой, д.т.н. Б.В. Курзо, к.т.н. Э.Н. Шкутова, к.с.-х.н. Н.А. Юргенсон и к.г.н. Е.В. Санец представил доклад о состоянии и стратегических направлениях использования природных ресурсов Припятского Полесья, подготовленный по результатам научного обеспечения Государственной программы социально-экономического развития и комплексного использования природных ресурсов Припятского Полесья, реализованной в 2010–2015 гг.



Выступление академика НАН Беларуси И.И. Лиштвана



Выступление директора Института географии и пространственной организации Польской академии наук профессора Дегорского Марека



Проблемам сохранения онимной лексики Полесья, как важной части нематериального историко-культурного наследия белорусов, был посвящен доклад директора Института языкоznания имени Якуба Коласа Центра исследований белорусской культуры, языка и литературы НАН Беларуси, канд. филол. наук И.Л. Копылова.

Второй день работы конференции был посвящен обсуждению различных аспектов развития Полесского региона на секционных заседаниях.

На секции «Экономика и экологические аспекты природопользования» был заслушан доклад профессора Е.А. Антиповой (Белорусский государственный университет) «Особенности демографического развития малых городов Белорусского Полесья», в котором на примере Полесских городов Брестской области представлен региональный сценарий демографического развития, характеризующийся рядом существенных различий по сравнению с другими регионами и городскими населенными пунктами Беларуси. Миграционная составляющая динамики численности населения административно-территориальных районов Брестской области рассмотрена в докладе к.г.н. А.А. Сидоровича (Брестский государственный университет им. А.С. Пушкина).

Методические основы и система показателей для определения экономической ценности природных объектов, в том числе месторождений полезных ископаемых для решения задач экономического развития регионов с учетом экологического фактора были представлены в докладе к.э.н. А.В. Унуковича и А.В. Krakowecкого (Институт природопользования НАН Беларуси).

В докладе д.э.н. С.С. Полоника (Белорусский государственный университет), к.э.н. Э.В. Хоробрых и А.А. Литвинчук (Институт экономики НАН Беларуси) представлен авторский подход к оценке конкурентоспособности регионов (государства, области, города) с учетом экономической, экологической и социальной составляющих. Алгоритм оценки включает построение на первом этапе системы показателей/индикаторов, на втором – расчет групповых индексов экономической, экологической и социальной составляющих с последующим определением интегрального индекса, позволяющего судить о степени устойчивости социально-экономического развития региона.

Экономические аспекты устойчивого природопользования в Полесском регионе были рассмотрены в докладах профессора А.В. Неверова, к.э.н. Н.А. Масилевич, к.э.н. А.В. Равино (Белорусский государственный технологический университет) и к.г.н. С.В. Андрушко (Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины).

Ряд докладов был посвящен вопросам дифференциации Полесского региона по особенностям природных условий и природопользования. В докладе профессора Белорусского государственного университета Г.И. Марцинкевич были рассмотрены история формирования ландшафтов и природопользования в Полесском регионе, обусловившие структуру и состояние современных ландшафтов Полесья, приведено районирование последних по степени антропогенизации. Ведущий научный сотрудник Института географии НАН Украины к.г.н. Л.Ю. Сорокина представила методику составления среднемас-

штабной ландшафтной ГИС-карты Украины и продемонстрировала результаты картографирования и возможности ее геопространственной интерпретации при решении проблем природопользования на примере Украинского Полесья. Профессор Т.А. Романова (соавтор к.с.-х.н. А.Н. Червань) представила подход к определению границ почвенных комбинаций – наиболее информативных территориальных единиц учета и оценки природных условий в регионе Белорусского Полесья и возможности их автоматизированной идентификации. Ведущий научный сотрудник Института природопользования НАН Беларуси к.г.н. М.И. Струк (соавторы д.г.н. В.С. Хомич, к.б.н. А.В. Пучило, к.т.н. Э.Н. Шкутов, к.с.-х.н. Н.А. Юргенсон, С.Г. Живнач) обосновал методику построения и представил схему эколого-хозяйственного зонирования Припятского Полесья с выделением зон преимущественно природоохранного назначения, преимущественно хозяйственного назначения и радиоактивного загрязнения, а также территориальных выделов более низкого ранга, дал оценку их состояния, предложил оптимизационные меры.

В ряде докладов были рассмотрены результаты эколого-геохимических исследований Украинского Полесья. Сотрудники Института геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семененко НАН Украины профессор И.В. Кураева и к.геол.н. Е.С. Злобина (соавторы к.геол.н. Ю.Ю. Войтюк и к.геол.н. Т.В. Огарь) проанализировали особенности распределения тяжелых металлов в почвах Украинского Полесья. Особое внимание в их докладах было уделено формам нахождения тяжелых металлов (ТМ) и буферной способности почв. О содержании подвижных форм ТМ в почвах юго-западной части Белорусского Полесья шла речь в докладе директора Полесского аграрно-экологического института к.б.н. Н.В. Михальчука. Были показаны более высокие уровни накопления подвижных форм некоторых ТМ в поверхностном (0–10 см) слое фоновых почв по сравнению с их агротехнологическими аналогами, обоснован вклад техногенной составляющей в содержание подвижных форм ТМ в 0–10 см слое фоновых почв.

В докладе д.с.-х.н. Т.А. Мыслива (соавторы д.с.-х.н. П.П. Надточий, Ю.А. Белявский, С.Н. Бигула) из Житомирского национального агроэкологического университета были показаны высокие уровни накопления свинца, кадмия, меди и цинка в съедобных грибах произрастающих в пределах природных лесных экосистем на территории Житомирского Полесья. Установлено при этом, что микологическая продукция, произрастающая в условиях исследуемого региона, является экологически опасной, а ее употребление в пищу может приводить к увеличению канцерогенного риска.

Различные аспекты формирования и качества поверхностных вод в разных регионах Полесья были рассмотрены в докладах академика НАН Украины А.В. Яцыка (Украинский НИИ водохозяйственно-экологических проблем, Киев), к.г.н. И.В. Гопчака (Институт водных проблем и мелиорации НАН Украины, Киев), Т.А. Басюк (Международный экономико-гуманитарный университет им. академика С. Демьянчука, Ровно); Д.В. Барбикова (ОАО «Беларуськалий», Солигорск), к.г.-м.н. А.М. Гречко, С.Н. Кацемба, В.О. Кутырло (ОАО «Белгорхимпром»), к.г.н. Д.М. Курловича («Белорусский государственный университет»); к.г.н. Е.В. Санец, к.г.н. О.В. Кацацкой и к.г.н. Е.П. Овчаровой (Институт природопользования НАН Беларуси). Е.В. Санец были также проанализированы конфликтные гидро-экологические ситуации, характерные для Припятского Полесья, и факторы их формирования. Проблемы комплексного использования водных объектов в условиях изменения водопользования при развитой системе гидротехнических сооружений были рассмотрены в докладе Л.Н. Гертман и П.П. Рутковского (ЦНИИКИВР, г. Минск). Влиянию стока с торфяных болот на гидрологические, гидрохимические и гидробиологические процессы в водоприемниках был посвящен доклад д.т.н. Ю.Н. Женихова, К.Ю. Женихова (Тверской государственный технический университет), к.т.н. В.В. Кузовлева (Тверской центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Тверь), д.н. М. Шлеттерера (Университет Инсбрука, Австрия).

По результатам обсуждения заслушанных докладов рекомендовано учреждениям академий наук Беларуси, Польши, России и Украины, учреждениям науки и образования других министерств включить в планы исследований следующие задачи:

в области социально-экономических исследований и рационального использования рекреационных ресурсов:

разработка организационно-экономических мер по повышению привлекательности Полесья для развития аграрного сектора и как ресурса для рекреационных и туристических услуг местного и международного уровней;

мониторинг демографического развития малых городов Полесья в целях изучения положительного опыта создания благоприятных условий жизнедеятельности населения;

в области климатических исследований:

изучение тенденций и разработка научного прогноза климатических изменений в Полесье, повторяемости экстремальных погодных и климатических явлений под влиянием естественных и антропогенных факторов; уязвимости и мер по адаптации климатозависимых отраслей экономики в условиях изменяющегося климата;

изучение проблем трансграничного переноса загрязняющих веществ;

в области рационального использования водных ресурсов:

внедрение бассейнового подхода в управлении водными ресурсами Полесского региона.

Более 50 ученых и специалистов приняли участие в работе секции «Геологические условия и минерально-сырьевые ресурсы». Академик НАН Беларуси Р.Г. Гарецкий (Институт природопользования НАН Беларуси) представил доклад, посвященный результатам изучения структуры платформенного чехла и глубинного строения территории Полесья. Соотношение процессов соляной тектоники и галокинеза в солеродных бассейнах разного типа на примере Припятской и Прикаспийской впадин было рассмотрено в докладе д.г.-м.н. Ю.А. Воложа и к.г.-м.н. М.П. Антилова (Геологический институт РАН, Москва)).

В коллективном докладе профессора Л. Маркса (Польский геологический институт, Варшава), академика НАН Беларуси А.К. Карабанова, д.г.-м.н. Т.Б. Рыловой и соавторов были представлены результаты межрегиональной корреляции геологических особенностей и стратиграфии четвертичных отложений приграничных регионов Польши и Беларуси. Палеогеографическим аспектам развития Полесья в послепедниковое время и роли человека в преобразовании естественных ландшафтов региона был посвящен доклад к.г.н. В.П. Зерницкой и академика НАН Беларуси А.В. Матвеева (Институт природопользования НАН Беларуси). Развитие растительного покрова и климата в межледниковые эпохи было рассмотрено в докладах д.г.н. Я.К. Еловичевой, Н.М. Писарчук, Е.Н. Дрозд (Белорусский государственный университет); д.г.-м.н. Т.Б. Рыловой, академика НАН Беларуси А.К. Карабанова (Институт природопользования НАН Беларуси), А. Маецкой, Б. Воронко (Варшавский Университет, Польша), профессора Л. Маркса, Т. Крживицкого, К. Похоцкой-Шварц, Я. Рихель (Государственный Геологический Институт – Государственный Исследовательский Институт, Варшава, Польша), профессор Е. Нитихорук, Д. Збуцкого (Государственная Высшая Школа им. Папы Яна Павла II, Бяла Подляска, Польша).

Директор Центра геофизического мониторинга НАН Беларуси к.ф.-м.н. А.Г. Аронов (соавторы к.ф.-м.н. Р.Р. Сероглазов, к.г.-м.н. Т.И. Аронова, В.А. Аронов) представил результаты сейсмотектонических исследований в северо-западной части Припятского прогиба. Основные направления региональной стратегии использования минерально-сырьевых ресурсов для устойчивого развития Припятского Полесья отражены в докладе д.т.н. Б.В. Курзо (Институт природопользования НАН Беларуси).

Перспективы разработки янтареносных отложений Польши, Беларуси и Украины, а также экологические последствия и экономический ущерб от несанкционированной добычи янтаря представили профессор М.А. Богдасаров (Брестский государственный университет им. А.С. Пушкина), профессора Л. Натканец-Новак, Д. Чапла (Горно-металлургическая академия им. С. Стасица, Краков, Польша), к.г.-м.н. М.В. Криницкая (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Ровно, Украина), А. Кутыла-Олесюк, П. Джевич (Государственный геологический институт, Варшава, Польша); профессор П.П. Надточий, д.с.-х.н. Т.Н. Мыслыва, к.г.н. Ю.А. Белявский (Житомирский государственный университет). Результаты исследований радионовой опасности грунтов на территории Белорусского Полесья были изложены в докладе академика НАН Беларуси А.В. Матвеева. Проблемам изучения потенциальных источников нетрадиционных углеводородов был посвящен доклад члена-корреспондента НАН Беларуси Р.Е. Айзберга и к.г.-м.н. Я.Г. Грибика (Институт природопользования НАН Беларуси). Использование минерально-сырьевых ресурсов для получения силикатного и агрохимического сырья нашло отражение в докладах сотрудников Научно-производственного центра по геологии и Белорусского государственного технологического университета (к.г.-м.н. Г.Д. Стрельцова, к.г.-м.н. О.Ф. Кузьменкова, М.А. Бабец, В.Н. Босак, С.Е. Баранцева, А.И. Позняк и др.) Ряд докладов был посвящен качеству подземных вод, оценке экологических рисков и совершенствованию мониторинга подземных вод (к.г.-м.н. Б.И. Коробейников, к.г.-м.н. О.В. Васнёва, к.г.-м.н. О.А. Берёзко, О.А. Буйневич). Результаты исследований новых типов минеральных подземных вод, выявленных на территории Белорусского Полесья, были представлены в докладе члена-корреспондента НАН Беларуси А.В. Кудельского и к.г.-м.н. В.И. Пашкевича. Проблемы, связанные с поступлением ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{210}Pb и ^{210}Po в грунтовые воды и источники питьевого водоснабжения, освещены в докладах к.г.-м.н. Н.В. Сасиной (Научно-производственный центр по геологии) и Е.А. Клементьевой с соавторами (Институт радиобиологии НАН Беларуси). В докладе к.г.н. О.В. Шершнёва и к.г.н. А.И. Павловского (Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины) рассмотрены вопросы влияния крупных промышленных объектов на химический состав и качество подземных вод.

По результатам обсуждения заслушанных докладов рекомендовано учреждениям науки и образования Беларуси, Польши, России и Украины включить в планы исследований следующие **задачи в области рационального использования минерально-сырьевых ресурсов:**

проблемы развития минерально-сырьевой базы в Полесье;

разработка научно-обоснованных технологий глубокой переработки и комплексного использования промышленно значимых видов минерально-сырьевых ресурсов Полесья;

изучение соотношения структуры платформенного чехла и глубинного строения Полесья и сопредельных территорий;

комплексные исследования геологических разрезов плейстоцена и голоценов Полесья, реконструкция изменений климата и окружающей среды;

геолого-генетические модели янтареносных отложений Беларуси, Украины, России и Польши;

совершенствование региональных и локальных систем мониторинга подземных вод Полесья, создание гидрогеологических постов трансграничного мониторинга.

На секции «Земельные ресурсы, мелиорация, торф» были заслушаны и обсуждены, как теоретические доклады, так и практической направленности. Профессор Ян Островски в докладе «Кислородный режим почв на территории Западного Полесья Польши» (Институт технологических и естественных наук, Фаленты, Польша) рассмотрел вопросы оптимизации кислородного режима почв при различных условиях их увлажнения и представил ориентировочные показатели кислородного состояния минеральных пахотных почв преобладающих в структуре землепользования Западного Полесья.

Профессор С.Н. Гамаюнов (соавторы: профессор Б.Ф. Зюзин и профессор О.С. Мисников; Тверской государственный технический университет, Россия) в докладе «Особенности осмотического массопереноса в торфяной залежи» представил обобщенное уравнение переноса, учитывающее диффузию молекул жидкости и их сорбцию во внутриворовом пространстве торфяного слоя, что позволяет учесть потоки, вызванные градиентами температуры и внешнего давления. К.т.н. В.А. Гнеушев (соавтор А.С. Стадник; Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Ровно, Украина) в докладе «Диалектика возобновляемости торфяных ресурсов» показал, что для восстановления сработанного фрезерным способом в течение 1 года торфяного месторождения нужно 200–300 лет. Поскольку в Украинском Полесье на 1 га разрабатываемых площадей приходится 200–300 га неосущенных месторождений, на которых продолжаются процессы торфообразования и торфонакопления, сложившуюся в настоящее время ситуацию в регионе в отношении торфяных ресурсов необходимо оценивать как устойчивую. В докладе академика НАН Беларуси И.И. Лиштвана, к.т.н. А.М. Абрамца и к.т.н. Ю.Г. Януты (Институт при-

родопользования НАН Беларуси) были представлены результаты исследования межмолекулярного взаимодействия водорастворимых гуминовых веществ с ионообменными материалами. Поскольку образующиеся связи имеют различную устойчивость, была показана возможность извлечения адсорбированных водорастворимых гуминовых веществ из образующегося комплекса.

Ряд докладов был посвящен состоянию земельных и торфяных ресурсов Полесья. К.г.н. М.И. Струк (Институт природопользования НАН Беларуси) проанализировал изменения землепользования в Белорусском Полесье в постсоветский период в увязке с экономическим развитием региона, показал повсеместное увеличение доли природных угодий в его структуре в условиях экономического роста. Для эффективного использования потенциала луговых земель рекомендовал проведение эколого-хозяйственного зонирования территории и строительство небольших животноводческих ферм в дополнение к крупным комплексам. К.с.-х.н. В.М. Ящухо (Белорусский государственный университет) и к.э.н. Е.С. Ольшевской (УП «ГеоИнтех») были представлены результаты исследования обеспеченности агроресурсным потенциалом 35 административных районов Белорусского Полесья. Показано, что выход продукции растениеводства в кормовых единицах в расчете на 1 га сельскохозяйственных земель (ц.к.е./га) в основном определяется и зависит от совокупного влияния плодородия сельскохозяйственных земель, качества внесенных удобрений и затрат на оборотные средства. Предложены территориально-организационные мероприятия по рациональному использованию агроресурсного потенциала для административных районов Белорусского Полесья.

В докладе профессора В.С. Мошинского и к.т.н. В.А. Гнеушева (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Ровно, Украина) «Критерии и методика предварительной оценки экологического состояния торфяных месторождений Полесья» было показано, что для аргументированной оценки тенденций экологического состояния торфяного месторождения и прогнозирования его способности выполнять присущие торфяникам биосферные функции минимально достаточны три показателя: влажность и зольность торфа, а также толщина пласта торфяной залежи со сравнением их значений с теми, что были получены в предыдущие годы во время геологической разведки.

Вопросы комплексного использования торфяных и древесных ресурсов при разработке торфяных месторождений на примере Тверской области Российской Федерации были рассмотрены в докладе профессора Б.Ф. Зюзина, к.т.н. А.И. Жигульской и соавторов (Тверской

государственный технический университет, Тверь, Россия).

В докладе к.т.н. Н.И. Тановицкой, академика НАН Беларуси Н.Н. Бамбалова, О.Н. Ратниковой и Е.П. Леонович (Институт природопользования НАН Беларуси) были приведены результаты распределения торфяных ресурсов Белорусского Полесья по направлениям использования согласно Схеме распределения торфяников по направлениям использования на период до 2030 года, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30.12.2015 № 1111. Были представлены также рекомендации по минимизации негативных последствий добычи торфа и предотвращению деградации сельскохозяйственных земель Полесья с осушенными торфяными почвами согласно Стратегии сохранения и рационального (устойчивого) использования торфяников. В докладе Т.И. Макаренко, к.т.н. В.Б. Кунцевича, к.т.н. Л.С. Лиса и И.В. Агейчик (Институт природопользования НАН Беларуси) были рассмотрены особенности торфяных месторождений Припятского Полесья, показано отличие последствий проведения осушительных работ на торфяных почвах в регионе.

Были также рассмотрены вопросы восстановления нарушенных торфяных месторождений и болот. В докладе к.т.н. В.А. Раковица, академика НАН Беларуси Н.Н. Бамбалова, Н.В. Молоковой и Т.В. Селивончик (Институт природопользования НАН Беларуси) были приведены результаты исследования воздействия выработанных торфяных месторождений на окружающую среду, включая гидрологический режим прилегающих территорий, загрязнение поверхностных и подземных вод продуктами разложения торфа, эмиссию диоксида углерода в атмосферу и изменение ландшафтов. Была представлена также система рекомендаций по повышению эффективности выработанных торфяных месторождений. В докладе д.т.н. П.И. Пыленка (Всероссийский НИИ гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова – Мещерский филиал, Рязань, Россия) предложена рециклинговая технология ренатурализации выбывших из эксплуатации осушенных торфяных месторождений, соединяющая принцип слияния водных потоков (осушение) и принцип разделения (бифуркации) водных потоков (увлажнение).

Два доклада были посвящены исследованиям возможности фиторекультивации выбывших из эксплуатации торфяных месторождений. В докладе к.б.н. Г.И. Булавко и соавторов (Центральный ботанический сад НАН Беларуси) были представлены результаты изучения активности почвенно-биологических процессов постмелиоративных нарушенных территорий с разным составом наземной растительности и сделан вывод об их пригодности для проведения фиторекуль-

тивации. Агроприемы повышения урожайности клюквы крупноплодной в условиях опытной культуры на выхвивших из эксплуатации участках торфяного месторождения «Глинка» в Припятском Полесье были рассмотрены в докладе к.б.н. А.П. Яковлева, члена-корреспондента Ж.А. Рупасовой, академика И.И. Лиштвана и соавторов (Центральный ботанический сад НАН Беларусь).



Участники конференции: профессор Б.Д. Зозин, академик НАН Беларусь И.И. Лиштван, академик НАН Украины В.В. Гончарук, к.т.н. О.М. Гайдукевич, д.т.н. Б. В. Курзо

Ряд докладов был посвящен технологическим аспектам исследований и повышения эффективности использования земель. В докладе С.С. Бричевой и В.М. Матасова (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия) была продемонстрирована возможность использования метода георадиолокации для картографирования торфяной залежи, позволяющего получить данные об отложениях торфа с точностью 15–20 см при мощности залежи до 3–4 м. Георадиолокация позволяет также оперативно определять УГВ, что может быть использовано для контроля водного режима при мониторинге и освоении торфяных месторождений.

О возможности существенно сократить потери органического вещества на осушенных торфяных почвах по сравнению с чёрной культурой, улучшить агрофизические свойства почв, повысить агрономическую, экономическую и экологическую эффективность их сельскохозяйственного использования говорилось в докладе академика НАН Беларусь Н.Н. Бамбалова (Институт природопользования НАН Беларусь) и к.т.н. Н.М. Авраменко (Полесская опытная станция мелиоративного земледелия и луговодства НАН Беларусь).

В докладе к.т.н. Л.Н. Лученок (Институт мелиорации, Минск) «Стратегия формирования устойчивого агроторфяного слоя и предотвращение деградации его плодородия» был показан механизм трансформации торфяных почв Полесья и представлены приемы предотвращения деградации и управления плодородием осушенных земель при их сельскохозяйственном использовании. Варианты наиболее эффективных технических решений при реконструкции мелиоративных систем на торфяных комплексах Полесья были рассмотрены в докладе к.т.н. Э.Н. Шкутова и к.т.н. Л.Н. Лученок (Институт мелиорации, Минск).

В докладе члена-корреспондента НАН Украины М.И. Ромашенко, к.с.-х.н. А.Н. Шевченко, Д.П. Савчук, А.А. Забуга (Институт водных проблем и мелиорации НАН Украины, Киев) «Риски пирогенной деградации осушаемых торфяных почв Украинского Полесья» была показана участившаяся в последние годы повторяемость торфяных пожаров и представлен комплекс мероприятий и технических решений для предупреждения неблагоприятных пирогенных ситуаций, повышения уровня противопожарной защиты торфяных почв на осушительных и осушительно-увлажнительных системах.

Результаты исследования агрогенной трансформации морфологических, физико-химических и экофизиологических свойств дерново-слабоподзолистых почв Волынского Полесья были представлены в докладе к.б.н. И.М. Шпакивской (Институт экологии Карпат НАН Украины, Львов). В докладе к.х.н. Г.А. Соколик, к.х.н. С.В. Овсянниковой, М.В. Попеня, Е.В. Войниковской, Т.Г. Ивановой (Белорусский государственный университет) была показана возможность использования биоугля в качестве мелиорирующей добавки к песчаным и супесчаным почвам дерново-подзолистого типа.

В ряде докладов были рассмотрены проблемы использования радиационно загрязненных земель. К.с.-х.н. Н.Н. Цыбулько (Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь) и к.с.-х.н. А.Ф. Черныш (Институт почвоведения и агрохимии, Минск) представили разработанную ими типологию загрязненных радионуклидами сельскохозяйственных земель Беларусь. Различия типов земель по компонентному составу почв и их свойствам, влияющим на параметры перехода радионуклидов в растения, определяют разную пригодность земель по радиологическому фактору под сельскохозяйственные культуры. К.с.-х.н. Г.З. Гуцевой (Институт радиобиологии НАН Беларусь, Гомель) в докладе «Распределение радионуклидов в агроэкосистемах Полесья и приемы позволяющие сни-

зить поступление ^{137}Cs и ^{90}Sr в сельскохозяйственную продукцию» на основе полевого стационарного опыта было показано, что среди приемов направленных на снижение перехода радионуклидов из почвы в сельскохозяйственную продукцию наиболее целесообразным является подбор видов и сортов растений. Такой прием является экономически обоснованным, так как не требует изменений в структуре посевных площадей и значительных дополнительных затрат. В докладе Н.В. Шамаль, к.с.-х.н. Е.А. Клементьевой, Р.А. Король, С.О. Гапоненко, к.б.н. А.А. Дворника, Р.К. Спирова, Г.А. Леферд (Институт радиобиологии НАН Беларусь, Гомель) была показана перспективность применения микробиологического препарата ЕМ-1 «Конкур» и ферментированного мелиоранта «бокаши» на радиоактивно загрязненных землях, которые положительно влияют на ростовые процессы и устойчивость растений к воздействию неблагоприятных факторов и способствуют снижению перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в растения без дополнительного внесения минеральных удобрений.

В докладе к.г.н. А.Л. Шевченко, В.А. Несторовского (Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко) и д.б.н. В.В. Долина (Институт геохимии окружающей среды НАН Украины, Киев) «Использование осушительных систем в условиях радиоактивного загрязнения» была представлена методология оценки радиоактивного загрязнения водной системы осушаемых ландшафтов и барьера устойчивости водосборных бассейнов, разработанная для решения проблемы минимизации водного выноса радионуклидов за пределы зоны отчуждения.

По результатам обсуждения заслушанных на секции докладов рекомендовано включить в планы исследований следующие **задачи в области охраны и рационального использования торфяных месторождений:**

изучение физико-химических свойств различных по генезису торфов применительно к организации их комплексной глубокой переработки;

разработка методологии и проведение оценки сохранности органического вещества торфяных почв с учетом их вещественного состава;

изучение свойств торфяных почв и разработка на их основе технологий минимизации потерь урожая сельскохозяйственных культур в результате действия экстремальных метеорологических явлений;

в области повышения эффективности мелиоративного земледелия и луговодства:

повышение продуктивности и устойчивости мелиоративного земледелия, создание ареалов

высокопродуктивного лугового и полевого кормопроизводства на осушенных землях на основе использования современных материальных и информационных технологий;

с учетом тенденций аридизации климата обоснование и реализация мер по эффективному использованию осушительно-увлажнительных систем, восстановлению гарантированных водоисточников (прудов, водохранилищ), сохранению влагозапасов и их рациональному использованию;

разработка системы мелиоративного земледелия и луговодства, адаптированной к изменяющимся почвенно-гидрологическим условиям и обеспечивающей минимизацию потерь органического вещества на основе культивирования многолетних бобовых и злаковых трав;

продолжение работ по развитию мясного скотоводства на основе преимущественно травяных кормов;

совершенствование методов инвентаризации, картографирования и оценки состояния мелиоративных систем с использованием современных геоинформационных технологий.

Более 50 научных докладов было заслушано на секции «Ресурсы биологического разнообразия», заседания которой были проведены в Институте экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларусь и Научно-практическом центре НАН Беларусь по биоресурсам.

Состояние растительности на территории Полесья и основные направления использования растительных ресурсов были рассмотрены в докладах директора Института леса НАН Беларусь к.с.-х.н. А.И. Ковалевича и И.В. Ермониной, директора Института экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларусь к.б.н. А.В. Пугачевского и сотрудников института к.б.н. А.В. Судника, к.б.н. В.В. Савельева, д.б.н. И.М. Степановича, к.б.н. М.Л. Романовой, Г.В. Ермоленковой, к.б.н. А.В. Пучило, к.с.-х.н. М.В. Кудина, Р.В. Цвирко, С.Г. Русецкого; к.с.-х.н. А.Н. Черваня (Институт почвоведения и агрохимии, Минск), А.Ч. Паца (Институт природопользования НАН Беларусь), А.А. Шиманской (Национальный институт образования Министерства образования Республики Беларусь) и д.с.-х.н. С.С. Позняка (Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова БГУ). Проблемы озеленения городов Полесья анализировались в докладах к.г.н. Л.А. Кравчук и Н.М. Баженовой (Институт природопользования НАН Беларусь), Д.А. Трофимчука (Белорусский государственный университет). Динамика лесной растительности в зоне аварии на Чернобыльской АЭС была рассмотрена в докладе к.б.н. Д.Г. Груммо и М.М. Сак (Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларусь).

В ходе обсуждения докладов было обращено внимание участников конференции на неблагоприятную ситуацию в области полезащитного лесоразведения на территории Белорусского Полесья, что ведет к негативным экологическим последствиям и недобору урожая сельскохозяйственных культур, в особенности на осушанных землях. В этой связи было предложено инициировать комплекс мероприятий или государственную программу (подпрограмму) по развитию полезащитного разведения.

Ресурсный потенциал хозяйственно полезных растений, имеющиеся и потенциальные объемы заготовок лекарственного и пищевого сырья с учетом допустимых норм изъятия были рассмотрены в докладе И.П. Сысои, А.В. Левкович, и Р.В. Шиманович (Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларусь). Было показано, что на территории административных районов Полесья имеются значительные ресурсы дикорастущего растительного сырья (пищевого, лекарственного, технического), которые могут и должны значительно шире вовлекаться в хозяйственный оборот в целях устойчивого развития региона и создания дополнительных рабочих мест в сельской местности. Участники конференции поддержали идею создания региональных заготовительных центров и развития инфраструктуры заготовительных организаций.

Состояние и тенденции изменения ресурсов животного мира, проблемы оптимизации численности охотничьих видов животных и рыбопродуктивности водоемов были рассмотрены в докладах к.б.н. И.В. Абрамовой и д.б.н. В.Е. Гайдук (Брестский государственный университет им. А.С. Пушкина); Е.В. Винценк и А.П. Григорчик; Е.К. Востокова, д.в.н. Ю.Г. Ляха и А.В. Морозова; к.б.н. А.В. Дерункова; А.В. Зубей; к.б.н. Г.Г. Януты; к.б.н. Е.Э. Хейдоровой, к.б.н. Е.С. Гайдученко и И.А. Крищук (Научно-практический центр НАН Беларусь по биоресурсам) и к.х.н. А.В. Василевской (Институт биоорганической химии НАН Беларусь); к.б.н. А.А. Саварина и А.Н. Молош (Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины). В докладе А.В. Морозова и д.в.н. Ю.Г. Ляха (Научно-практический центр НАН Беларусь по биоресурсам) была проанализирована встречаемость условно-патогенных бактерий у ресурсных видов животных в западной части Белорусского Полесья.

Состояние и опыт сохранения биологического и ландшафтного разнообразия в Полесском регионе был рассмотрен в докладах к.б.н. А.В. Козулина, М.В. Максименкова и В.В. Шакун (Научно-практический центр НАН Беларусь по биоресурсам); профессора И.М. Степановича; к.б.н. Е.Я. Куликовой, Г.В. Ермоленковой, к.б.н. Д.В. Дубовик, Н.Л. Вознячука; к.б.н. Н.А. Зеленевич, к.б.н. Д.Г. Груммо, А.Н. Скуратович,

Е.В. Мойсейчик и к.б.н. О.В. Созинова (Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларусь); к.б.н. И.Э. Самусенко; к.б.н. А.В. Кулак (Научно-практический центр НАН Беларусь по биоресурсам) и Е.А. Держинского (Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия). По результатам обсуждения предложено усилить исследования биологического разнообразия Полесья, главным образом с использованием современных методов и подходов, с акцентом на популяционный уровень редких и находящих под угрозой исчезновения видов.

Вопросы ресурсной и экологической значимости особо охраняемых природных территорий (ООПТ), перспектив развития природно-заповедного фонда, увязки ООПТ и экологических сетей в трансграничном аспекте были рассмотрены в докладах академика НАН Украины Л.Г. Руденко, д.г.н. С.А. Лисовского и к.г.н. Е.А. Маруняк; Е.И. Иваненко (Институт географии НАН Украины); к.б.н. Д.Г. Груммо, к.б.н. Н.А. Зеленевич, Е.В. Мойсейчик (Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларусь); д.б.н. А.В. Лукаша и Т.Л. Андринко-Малюк (Черниговский национальный педагогический университет им. Т.Г. Шевченко, Украина); И.В. Мироненко, В.М. Матасова и А.В. Федин (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва); к.г.н. А.А. Новик (Белорусский государственный университет); к.т.н. З.А. Ничипорович и Е.Н. Каждан; к.с.-х.н. Н.А. Юргенсон, А.И. Чайковский и Е.А. Шляхтич (Научно-практический центр НАН Беларусь по биоресурсам); В.А. Сипач, А.А. Новиков, О.А. Семенов, Д.Г. Волонцевич, В.Н. Вяльцев (Научно-инженерное предприятие «Геоинформационные системы», Минск, Беларусь), В.С. Люштык, О.С. Ежова (ГПУ «Национальный парк «Нарочанский», к.п. Нарочь, Беларусь), О.Н. Сипач (Научно-исследовательский экономического институт Министерства экономики Республики Беларусь); С.В. Артёменко и И.Л. Фёдоровой (Брестский государственный университет им. А.С. Пушкина)

Негативные тенденции в изменении биологического разнообразия Полесья, проблемы инвазий чужеродных видов растений и животных были рассмотрены в докладах д.б.н. И.Н. Данилика, С.В. Сосновской (Институт экологии Карпат НАН Украины, Львов), Л.М. Борсукевич (Ботанический сад Львовского национального университета им. И. Франко, Львов); к.б.н. О.М. Масловского, Л.С. Чумакова и Ю.С. Подрез (Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларусь); В.В. Вежновец и А.И. Макаренко (Научно-практический центр НАН Беларусь по биоресурсам). В ходе обсуждения участники конференции выразили обеспокоенность массовым проникновением в природные экосистемы

Полесья чужеродных вредоносных растений и животных и наносимым ими экологическим, социальным и экономическим ущербом. В этой связи было предложено образовать региональную межкадемическую комиссию (Совет) по чужеродным вредоносным организмам для своевременного выявления, информирования всех стран и уполномоченных национальных органов об угрозе новых инвазий, координации усилий по их мониторингу и обмена опытом по преодолению негативных последствий.

Использование болотной биомассы в энергетических целях было рассмотрено в докладе профессора С.П. Кундаса, к.т.н. О.И. Родькина (Белорусский национальный технический университет, Минск), В. Вихтмана (Фонд имени М. Зукова, Грайфсвальд, Германия), О.В. Сивогракова и И.П. Залесского (Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова БГУ). Технологии возделывания растений для биоэнергетических целей были представлены профессором В.В. Пановым, Е.Е. Кукушкиной, Ю.Н. Жениховым (Тверской государственный технический университет, Россия) и А.В. Сорока, Е.А. Брыль, А.С. Антонюк, Н.Н. Костюченко (Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларусь) и С.В. Василевич (Институт энергетики НАН Беларусь). Участники конференции положительно оценили опыт использования биомассы древесно-кустарниковой растительности и травостоев заброшенных естественных лугов и открытых болот в качестве местного энергетического сырья и для производства других продуктов.

По результатам обсуждения заслушанных на секции докладов рекомендовано включить в планы исследований следующие **задачи в области рационального использования биологических ресурсов и сохранения биоразнообразия:**

разработка комплекса мероприятий по охране уникальных ландшафтов Полесья, сохранению биологического и ландшафтного разнообразия; по развитию особо охраняемых природных территорий (ООПТ), увязке ООПТ и экологических сетей в трансграничном аспекте;

разработка комплекса мер и мероприятий по предотвращению негативных тенденций в изменении биологического разнообразия Полесья, трансграничных инвазий чужеродных видов растений и животных;

активизация популяционно-экологических исследований видов флоры и фауны в целях разработки эффективных планов управления по сохранению популяций редких и устойчивому использованию хозяйствственно-ценных ресурсных видов.

Программой конференции было предложено таксами **абмеркаванне пытанняў гісто-**

рыка-культурнай спадчыны на территории Палескага рэгіёна. У Інстытуце гісторыі НАН Беларусі працавала падсекцыя «Палессе на гістарычных скрыжаваннях», у Цэнтры даследавання беларускай культуры, мовы і літаратуры НАН Беларусі праходзілі пасяджэнні падсекцый «Праблемы захавання культурнай спадчыны», «Палессе ў літаратурна-мастацкім адлюстраванні» і «Моўная адметнасць Палескага рэгіёна». З навуковымі дакладамі выступілі больш за 40 навукоўцаў з Беларусі, Украіны і Расіі. Па выніках абмеркавання заслушаных дакладаў былі сфармульованы наступныя прапановы:

1. Абапіраючыся на палажэнні Закона Рэспублікі Беларусь «Аб найменнях геаграфічных аб'ектаў» і Кодэкса Рэспублікі Беларусь аб культуре распрацаваць крытэрый аднясення тапонімаў Палесся да помнікаў гісторыка-культурнай спадчыны і з улікам гэтых крытэрыяў сформіраваць базу ўласных геаграфічных назваў рэгіёна, якія падлягаюць ахове з боку дзяржавы.

2. Прыняць дзяржаўную праграму па зборы мікратапанімі палескага рэгіёна, у выкананні якой павінны быць задзейнічаны акадэмічныя вучоныя-анаматолагі, выкладчыкі і студэнты ВНУ, настаўнікі і школьнікі, мясцовыя краязнаўцы і работнікі сельсаветаў. Адказнасць за забеспячэнне рэалізацыі праграмы павінна быць ускладзена на мясцовыя органы кіравання.

3. Падрыхтаваць комплекснае выданне па гісторыі Піншчыны, якое будзе ўключаць гістарычныя дакументы 14–17 стст. (Пінскія акты), забяспечыць іх навуковымі каментарыямі, стварыць на аснове выдання лексікаграфічны даведнік, што з'яўляецца важным для паглыбленні звестак пра гістарычнае мінулае Палесся, для пашырэння ўяўленняў пра яго як важны асяродак беларускай культуры перыяду Сярэднявечча.

4. З мэтай папулярызацыі моўнай унікальнасці Палескага рэгіёна рэкамендаваць Міністэрству адукацыі Рэспублікі Беларусь уключыць у праграму па беларускай мове ў якасці абавязковага ўрок па беларускай дыялекталогії.

В ходе работы конференции были проведены 2 **научные полевые экскурсии** на территорию Полесья: в Солигорский район и на Полесскую опытную станцию мелиоративного земледелия и луговодства НАН Беларусь (Лунинецкий район). Во время экскурсий были обсуждены проблемы использования и охраны торфяно-болотных почв и торфянных месторождений, проблемы мелиорации и использования мелиорированных земель, методы предотвращения деградации осущенных торфянных почв и сохранения органического вещества при их сельскохозяйственном использовании.



реализации принципов устойчивого развития в Полесском регионе считать целесообразным рекомендовать национальным академиям наук Беларуси, Польши, России и Украины до конца 2016 года определить своих представителей для создания Международного научного совета по проблемам развития Полесья. Состав совета представить на утверждение в правительства соответствующих стран.

- Считать актуальной задачей создаваемого научного совета разработку в 2017 году Концепции Международной научной программы по комплексному изучению Полесья и дорожной карты ее реализации.
- Считать целесообразным проводить международные научные конференции по проблемам Полесья 1 раз в 3 года поочередно в заинтересованных странах.



Представленные на конференции научные доклады опубликованы в сборнике докладов конференции в 2-х томах:

Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья : сб. докл. Междунар. науч. конф. (Минск, 14–17 сент. 2016 г.). В 2 т. Т. 1 / Наци. акад. наук Беларуси [и др.] ; редкол: В.Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2016. – 618 с.

Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья : сб. докл. Междунар. науч. конф. (Минск, 14–17 сент. 2016 г.). В 2 т. Т. 2 / Наци. акад. наук Беларуси [и др.] ; редкол: В.Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2016. – 691 с.

**Академик НАН Беларуси А.К. Карабанов,
академик НАН Беларуси И.И. Лиштван,
кандидат биол. наук А.В. Пугачевский,
доктор геогр. наук В.С. Хомич**

Во время заключительного пленарного заседания были поддержаны рекомендации, сформулированные на секционных заседаниях и принят ряд общих рекомендаций:

- С целью продолжения работ по сохранению природного и культурного наследия и

Научное издание
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Сборник научных трудов
Выпуск 30

Редактор *Н. Т. Гавриленко*
Компьютерная верстка *Т. Н. Козловская*
Переводчик *М. Ю. Козловская*

Подписано в печать 12.12.16. Формат 60×90/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. 18,39. Уч.-изд. л. 16,85.
Тираж 110 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение
Государственное предприятие «СтройМедиаПроект».
Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/43 от 03.10.2013,
№ 2/42 от 13.02.2014.
Ул В. Хоружей, 13/61, 220123, г. Минск