

ISSN 2079-3928

Природо- пользование

ВЫПУСК 25



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ»

Природо- пользование

Сборник научных трудов

Основан в 1996 г.

Выпуск 25



МИНСК

«СтройМедиаПроект»

2014

УДК 504.(476) (082)

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

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

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

РЕДКОЛЛЕГИЯ:

академик, д-р сел.-хоз наук *Н. Н. Бамбалов*, д-р техн. наук *Н. И. Березовский*,
д-р техн. наук *Г. П. Бровка*, д-р геогр. наук *А. А. Волчек*, канд. геогр. наук *О. В. Кадацкая*,
д-р техн. наук *С. В. Какарека*, канд. техн. наук *Г. А. Камышенко*, д-р геогр. наук *Т. И. Кухарчик*
(отв. секретарь), д-р геогр. наук *В. Н. Киселев*, член-корреспондент, д-р геол.-мин. наук
А. В. Кудельский, академик, д-р геогр. наук *В. Ф. Логинов*, академик, д-р техн. наук *И. И. Лиштван*,
канд. техн. наук *В. Н. Марцуль*, академик, д-р геол.-мин. наук *А. В. Матвеев*, д-р техн. наук
Э. И. Михневич, д-р техн. наук *Г. В. Наумова*, 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., Бровка Ю. А.	Тренды и паузы в изменении глобального климата в различные сезоны года	5
Логинов В. Ф., Бровка Ю. А.	Сезонные особенности изменения климата Беларуси	16
Кадацкий В. Б., Лепешев А. А.	Природные ритмы, климатические вариации и погодные риски	23
Киселев В. Н., Матюшевская Е. В., Яротов А. Е., Митрахович П. А.	Региональные эдафические и климатические особенности Белорусского Полесья в изменчивости радиального прироста сосны	29
Камышенко Г. А.	Климатическая составляющая в изменении урожайности картофеля	39
Логинов В. Ф., Табальчук Т. Г.	Изменение площадей агроклиматических областей на территории Беларуси	47
Коляда В. В.	Агроклиматическая оценка продуктивности сельскохозяйственных культур в Беларуси	53
Какарека С. В.	Методические подходы к оценке суммарного загрязнения атмосферного воздуха	61
Ярмошук Т. Д., Ракович В. А., Минке М., Тиле А., Хоффман М.	Эмиссия диоксида углерода с нарушенных и восстанавливаемых болотных экосистем	70
Кадацкая О. В., Санец Е. В.	Тенденции изменения водопользования в Беларуси	82
Власов Б. П.	Изменения экологического состояния озера Червоное под влиянием гидромелиорации водосбора	91
Романкевич Ю. А.	Эколого-геохимическая оценка технологических водоемов в малых городах Беларуси	98
Матвеев А. В., Бордон В. Е., Нечипоренко Л. А.	Оценка эколого-геохимического риска на территории опорного полигона «Парк» (г. Минск)	109
Лукашёв О. В., Жуковская Н. В., Натаров В. М., Лукашёва Н. Г., Савченко С. В.	Ассоциации химических элементов в природных компонентах на территории Березинского биосферного заповедника	115
Кухарчик Т. И., Какарека С. В., Лапко Т. Л., Козыренко М. И.	Выявление и оценка запасов новых стойких органических загрязнителей в Беларуси: подходы, результаты, проблемы	124
Матвеев А. В.	Интегральная оценка особенностей проявления современных экзогенных геологических процессов на территории Беларуси	131
Лис Л. С., Макаренко Т. И., Кунцевич В. Б., Мультан С. Т., Кашинская Т. Я., Калилец Л. П., Шевченко Н. В.	Перспективы эффективного освоения торфяных ресурсов Гродненской области	139
Струк М. И., Флерко Т. Г.	Изменения в сельском расселении восточной части Припятского Полесья и их влияние на природопользование	147
Голубцов А. Г., Черный Н. Г.	Новые подходы к организации природоохранных территорий – применение ландшафтного планирования для разработки проекта Каневского биосферного резервата	157

II. БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Лиштван И. И., Курзо Б. В., Гайдукевич О. М.	Научно-прикладные исследования в области топливного использования торфа	164
Бамбалов Н. Н., Смирнова В. В., Милевич М. С.	Получение и свойства коллоидного раствора гуминовых веществ торфа	172
Бамбалов Н. Н., Смирнова В. В.	Содержание легкогидролизуемых веществ в гуминовых кислотах, выделенных из торфа при различных условиях	179
Лиштван И. И., Дударчик В. М., Крайко В. М., Ануфриева Е. В., Смолячкова Е. А.	Критерии качества, классификация и направления утилизации золы от сжигания твердого топлива	184
Наумова Г. В., Тимофеева В. А., Головченко Л. А., Макарова Н. Л., Овчинникова Т. Ф., Жмакова Н. А., Юферев П. М.	Эффективность применения регулятора роста растений Мальтамин в технологии выращивания декоративных культур	196
Кашинская Т. Я., Шевченко Н. В.	Микроэлементный состав гуминовых торфяных и сапропелевых препаратов	202
Пономаренко Ю. А.	Эффективность использования ЭДТА и ЭДТА железо 3-комплексон мононатриевой соли в комбикормах цыплят-бройлеров	212
Пономаренко Ю. А.	Семена рапса и продукты его переработки в кормлении птицы	217
Цыганов А. Р., Боголицын К. Г., Томсон А. Э., Соколова Т. В., Стригуцкий В. П., Пехтерева В. С., Селянина С. Б., Парфенова Л. Н., Труфанова М. В., Богданов М. В., Мальцева Е. В.	Структурные особенности битумов торфа, сформировавшегося в условиях умеренно континентального и субарктического климата	224

Научные сообщения

Логинов В. Ф., Савич-Шемет О. Г.	Сезонные особенности изменения дневных иочных температур атмосферного воздуха на территории Беларуси	229
---	--	-----

Хроника

Исследования проблем природопользования молодыми учеными Беларуси	233
К юбилею Г. А. Камышенко	235

I. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 551.583

В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий, Ю. А. Бровка

ТRENДЫ И ПАУЗЫ В ИЗМЕНЕНИИ ГЛОБАЛЬНОГО КЛИМАТА В РАЗЛИЧНЫЕ СЕЗОНЫ ГОДА

На основе линейного регрессионного анализа аномалий температуры воздуха выделены периоды со стационарным и скачкообразным характером изменений глобальной температуры. Рассмотрены возможные физические причины особенностей изменения климата. Показано, что наблюдающиеся замедление потепления и зимнее похолодание в период с 2001 по 2013 гг. вступают в противоречие с теорией парникового потепления климата. Представлены сезонные особенности изменения нормированных аномалий глобальной температуры воздуха с 1883 по 2012 гг. Особое внимание уделено периоду современного потепления климата.

Сезонные особенности в изменении глобального климата. Известно, что на Земном шаре в 70-е – начале 90-х гг. прошлого столетия наиболее активно развивалось потепление в зимне-весенний период, что вполне согласуется с его парниковой природой ввиду увеличения содержания углекислого газа в атмосфере [1–4].

Согласно парниковой теории потепления климата больший рост температуры в высоких широтах в холодное время года должен быть обусловлен повышенным альбедо снежного покрова и гравитационной устойчивостью атмосферы, которая создается вследствие выхолаживания воздуха вблизи земной поверхности и является достаточной для подавления в атмосфере конвективного и динамического перемешивания. Как следствие, возникают условия для увеличения потока длинноволнового излучения и его концентрации в тонком приповерхностном слое атмосферы. Формированию роста температуры способствует частое появление инверсионного распределения температуры. Летом роль перечисленных выше процессов незначительна.

В тропиках потепление распределяется по высоте в толстом слое атмосферы и ограничено высотой распространения влажной конвекции. Этим и определяется более слабое проявление потепления климата в тропических широтах.

Если рассмотреть изменения климата в более ранние годы, то в 20-е – начале 40-х гг. XX в. наблюдалось небольшое потепление

климата скорее летне-осеннего типа (VII–XI мес.). В последние годы потепление вновь стало более выраженным в летне-осенний период.

Рассмотрим сезонные особенности потепления климата более детально. Для анализа воспользуемся данными аномалий глобальных температур (отклонений температуры от нормы, высчитанной за 1901–2000 гг.) Национального центра климатических данных, США (National Climatic Data Center, NCDC) [5].

На земном шаре в конце XIX в. и в первой трети XX в. наблюдалась низкая температура, затем отмечался небольшой рост температуры, а с 1973 по 1992 г. рост температуры был максимальным в зимне-весенное время. В последний период (1993–2012 гг.) рост температуры стал существенным летом и осенью, т. е. во вторую половину года (рис. 1, а). Аналогичные особенности в изменении температуры отмечаются в Северном полушарии (рис. 1, б), причем особенно ярко на суще (рис. 1, в).

На суще Северного полушария рост температуры в 70–80-е гг. ХХ в. наблюдался в основном в зимне-весенное время, тогда как в последние два десятилетия (1993–2012 гг.) наиболее интенсивный рост температуры отмечен в летнее и осенне время.

Сезонные особенности изменения температуры воздуха в Южном полушарии приведены на рис. 2, а, сухи Южного полушария – на рис. 2, б.

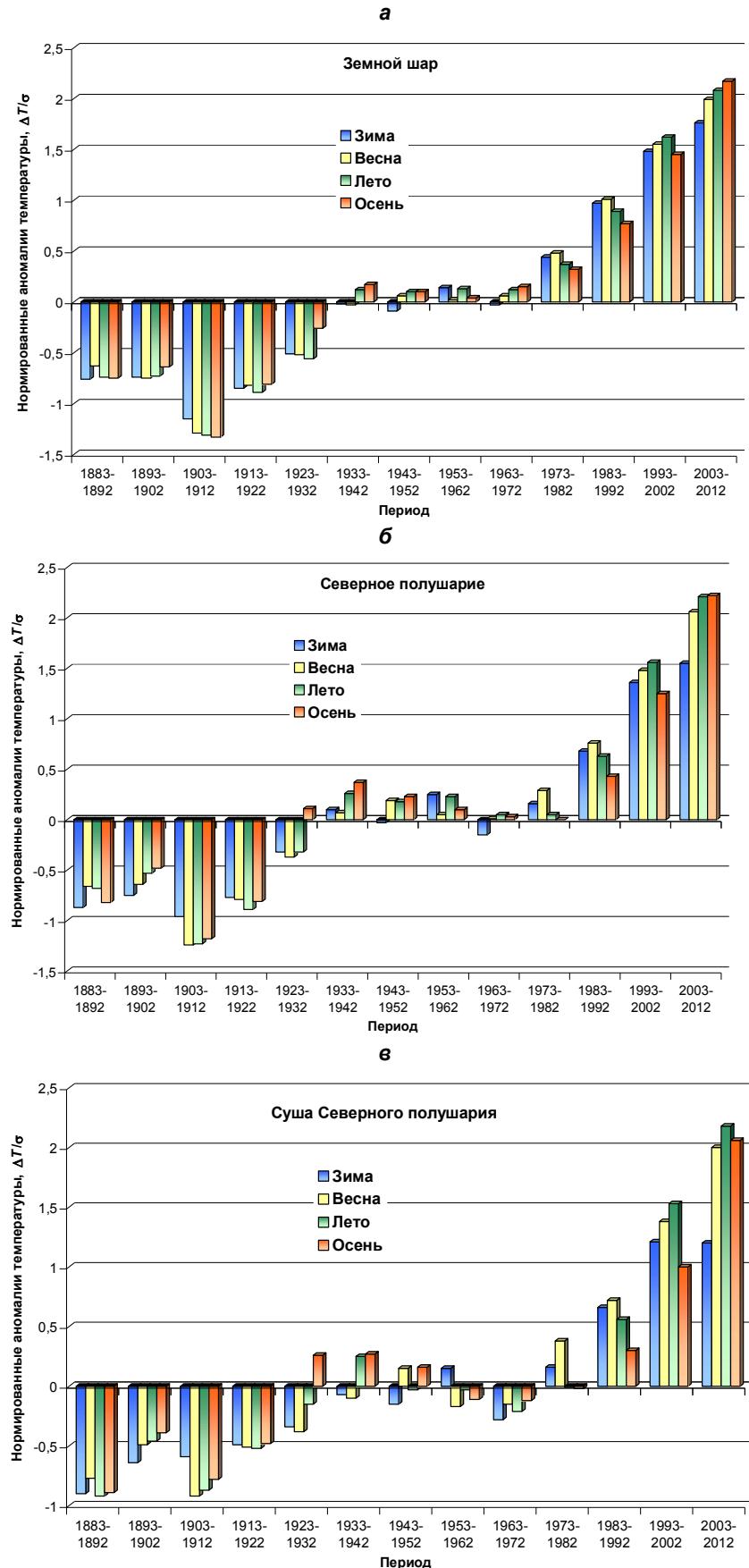


Рис. 1. Сезонные изменения нормированных аномалий температуры на Земном шаре, в Северном полушарии и на суше Северного полушария

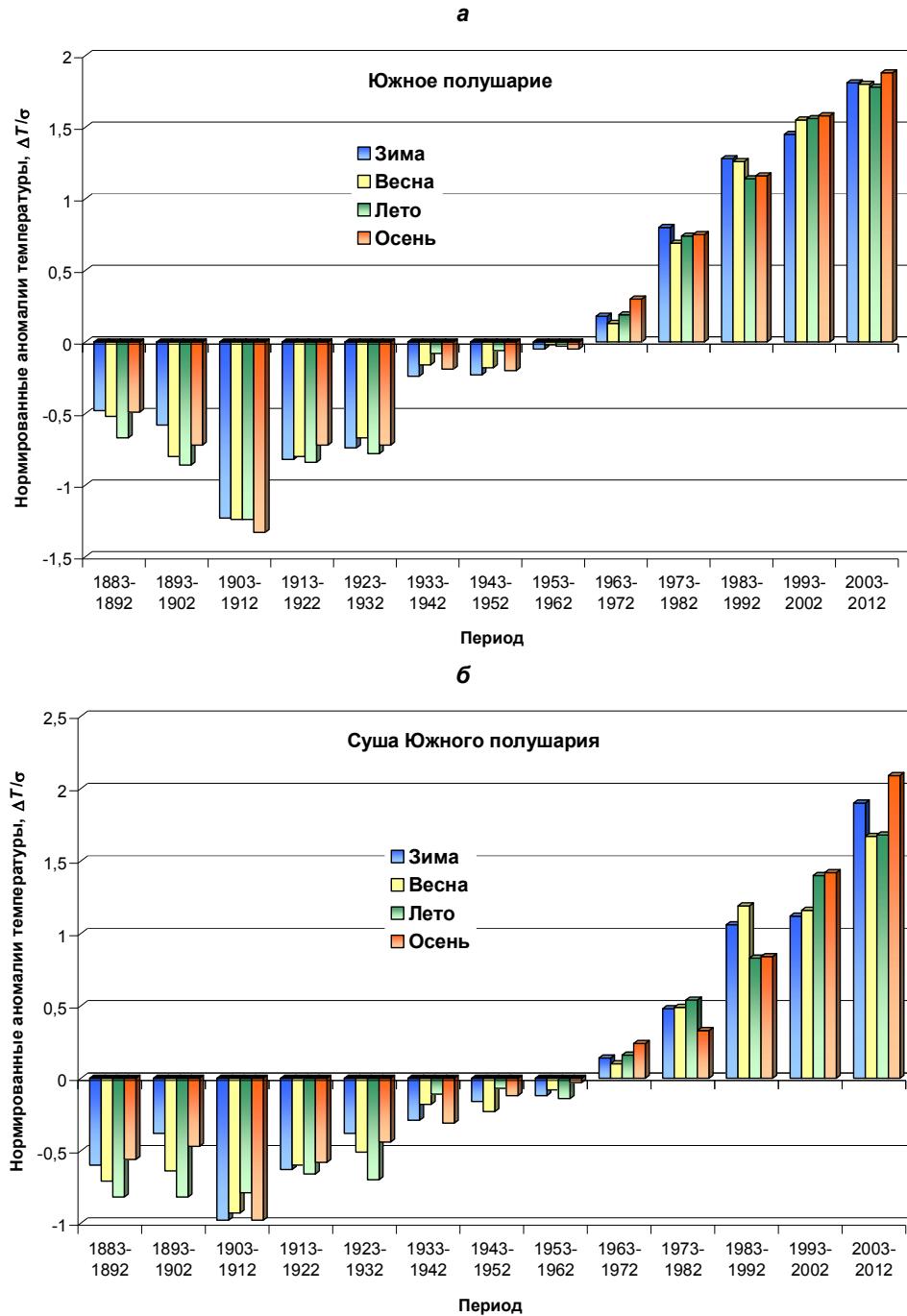


Рис. 2. Сезонные изменения нормированных аномалий температуры в Южном полушарии и на суше Южного полушария

В Южном полушарии до 50-х, а на суше до 60-х гг. ХХ в. наблюдались отрицательные аномалии температур в различные сезоны, причем наибольшие снижения температуры характерны для 1903–1912 гг., чаще отмечалось более холодное лето. С начала 60-х гг. во все сезоны года наблюдаются положительные аномалии температур. В Южном полушарии отмечен их устойчивый рост и более выраженное потепление осенью в последнее десятилетие и в 60-е гг., тогда как в 70–80-е гг. наблю-

дались более теплые зима и зимне-весенний период. Наиболее четко выражены сезонные различия аномалий температур для суши Южного полушария, особенно в последние три десятилетия. В 1983–1992 гг. более теплыми оказались весна и зима, в 1993–2002 гг. – летне-осенний период, а в последнее десятилетие – осень и зима.

Рассмотрим сезонные особенности изменения величин аномалий температуры за период, когда в атмосферу было выброшено более

70 % парниковых газов. Динамика сезонных аномалий глобальной температуры за различные периоды представлена на рис. 3.

Из рис. 3 следует, что активный рост значений аномалий температуры земного шара начался только в период с 1979 по 1998 гг. В последний период времени (2001–2013 гг.) небольшой рост значений аномалий температуры отмечался только летом (рис. 3, г), а зимой отмечалось даже падение значений аномалий температуры. Эта последняя пауза в изменении температуры особенно активно стала обсуждаться в литературе в последние несколько лет [3, 4, 7, 10].

Возможные причины паузы в изменении глобального климата. В литературе можно встретить разные объяснения современной паузы в изменении глобальной температуры:

- 1) понижение температуры в восточной части Тихого океана, связанное с большой повторяемостью и мощностью событий Ла-Ниньо;

- 2) рост аэрозольного загрязнения атмосферы. Одним из главных «поставщиков» антропогенных аэрозолей в атмосферу называют Китай;

- 3) снижение солнечной активности в последнем 24-м 11-летнем солнечном цикле по зюрихской нумерации.

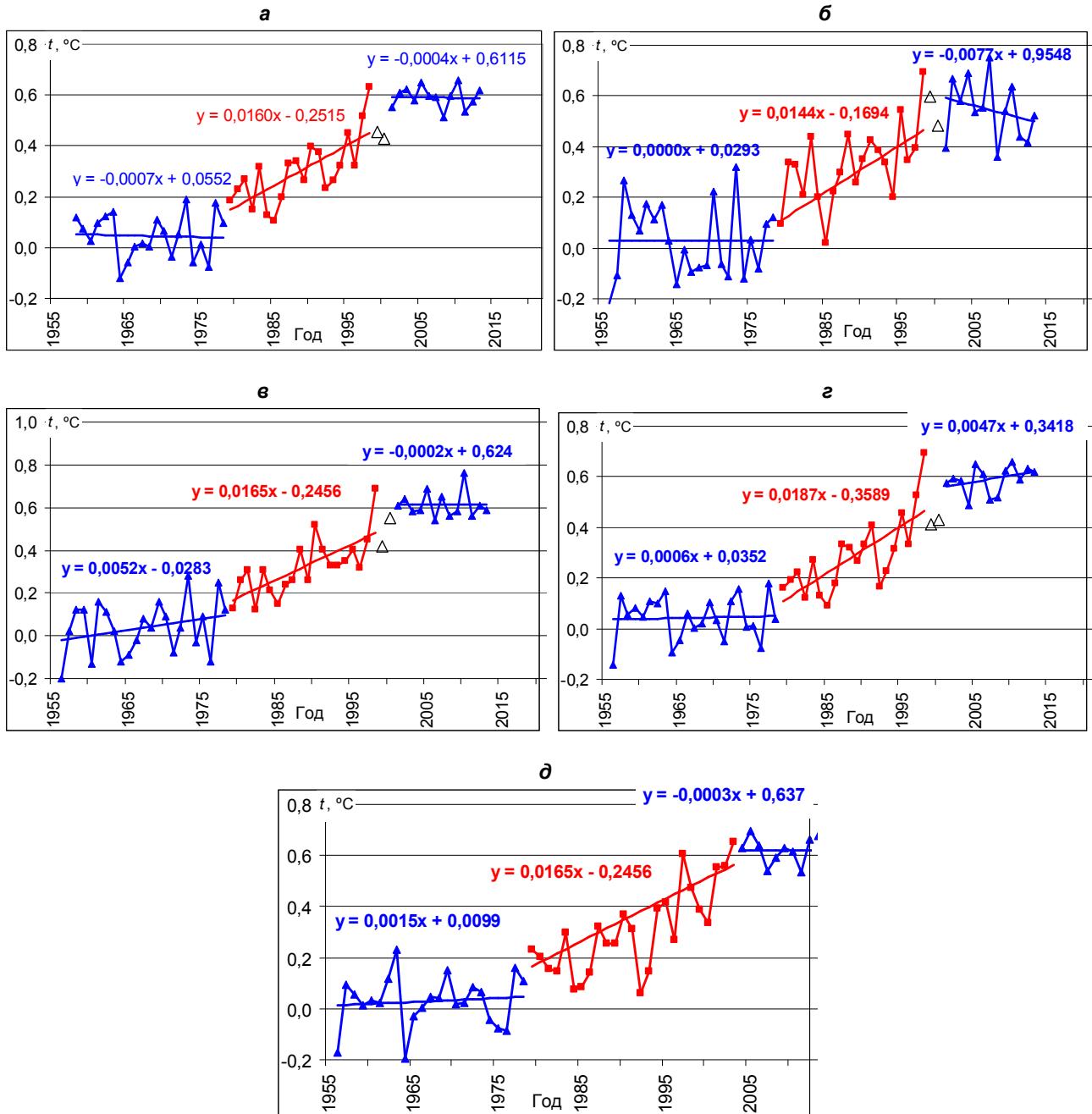


Рис. 3. Аномалии глобальной температуры: среднегодовой (а); зимней (б); весеннеей (в); летней (г); осеннеей (д) и их тренды по периодам 1958–1978, 1979–1998, 2001–2013 гг.

Эти «охлаждающие» атмосферу факторы могут уменьшать скорость потепления климата, связанного с ростом содержания парниковых газов. Рассмотрим отдельно каждый из них.

Если исходить из энергетических соображений, то наиболее обоснованной причиной паузы в скорости роста глобальной температуры за последние 15–16 лет могло быть понижение температуры на востоке и в центре экваториальной части Тихого океана. Как правило, отрицательные аномалии температуры здесь формируются во время так называемых событий Ла-Ниньо.

Известно, что события Ла-Ниньо и Эль-Ниньо – это колебания температуры поверхностного слоя воды в экваториальной части Тихого океана. Они обычно рассматриваются в связи с Южным колебанием, интенсивность которого определяется разностью давления над о. Таити (восток Тихого океана) и ст. Дарвин (Австралия). Низкое давление обычно формируется над теплыми водами, а высокое – над холодными. В восточной части Тихого океана температура обычно ниже на 5–7 °С по сравнению с западной.

Эль-Ниньо совпадает с продолжительными теплыми периодами в центральной и восточной областях тропической части Тихого океана. Существуют два центра действия Южного колебания: австралийско-индонезийский и южно-тихоокеанский. Оба центра действия расположены в тропиках Южного полушария.

Признаками Эль-Ниньо является повышение давления над Индийским океаном, Индонезией и Австралией и падение давления над о. Таити, в центральной и восточной части Тихого океана. В период Эль-Ниньо теплые воды устремляются на восток. Зона конвекции смещается вслед за теплой водой на центральные и восточные районы Тихого океана. Причиной Эль-Ниньо служит ослабление Тихоокеанских пассатов (устойчивые ветры восточной четверти, дующие в течение всего года над океанами на обращенной к экватору периферии субтропических антициклонов в каждом полушарии). Самое интенсивное повышение температуры в Северном и Южном полушариях Земли наблюдалось в период частых и интенсивных событий Эль-Ниньо в 80–90-е гг. ХХ в. Противоположные процессы происходят при усилении пассатов. Известно, что формирование пассатов связано с ячейкой Гадлея.

Известно, что скорость пассатов за последние 20 лет возросла. Их длительное усиление сопровождалось появлением частых событий Ла-Ниньо. Это привело к тому, что прогнозы специалистов в области моделирования климата, уверенно предсказывавших непрерывное повышение температуры воздуха в течение ХХI в. в связи с ростом содержания в атмосфере парниковых газов, не оправдались.

Скорость пассатов оказалась выше, чем предсказывалось в различных климатических моделях. Аномально сильные ветры могут охладить приповерхностные слои воздуха земного шара на 0,1–0,2 °С. Следует отметить, что подобные события развивались и в прошлые годы. Изменения скорости ветра над Мировым океаном были изучены Рамежом по наиболее полному архиву данных (The Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (COADS)), включающему свыше 70 млн. судовых наблюдений с 1854 по 1979 г. [8]. Приведенное исследование показало, что скорость ветра уменьшалась с 1854 по 1920 г. и увеличивалась со второй половины 40-х гг. ХХ в.

Полученные вариации скорости могут быть в значительной мере объяснены условиями наблюдений и приборным оборудованием. Падение скорости ветра с 1854 по 1920 г. логично связывается с заменой парусного флота паровым, а происходившее в последние 40 лет увеличение числа судов, оборудованных анемометрами, нарушило однородность рядов наблюдений и могло привести к увеличению скорости ветра. Однако автор не исключает наличие и естественного, а не «методического» векового тренда в изменении скорости ветра. Показательно, однако, что после 1950 г., когда роль методических погрешностей была сведена к минимуму, скорость ветра прогрессивно увеличивалась. Это увеличение, составляющее около 1 м/с, представляется, безусловно, реальным. Результаты свидетельствуют о вековой изменчивости скорости ветра в пределах ± 2 м/с, увеличении скорости ветра после 30–40-х гг. ХХ в. и уменьшение ее в предшествующем периоде.

Определенный интерес представляет анализ скорости ветра в отдельных крупных регионах земного шара. Изменения скорости ветра в северной (5–25° с.ш., 150° в.д. – 130° з.д.) и южной (0–20° ю.ш., 160–90° з.д.) части Тихого океана, взятые из работы Висала и др. [1], обнаруживают положительные аномалии скорости западного ветра в 30–40-х гг. ХХ в. В последующие годы наступило снижение скорости западного ветра, и, как следствие, возрастание скорости восточных ветров. Начиная с 50-х годов, обнаружено усиление восточных (пассатных) ветров в Тихом и Атлантическом океанах. В частности, за период 1948–1972 гг. их скорость в Атлантическом океане усилилась на 4 м/с, что совпало с низкой температурой земного шара в это время. Похожая ситуация сложилась в последние годы, когда наступила пауза в изменении температуры земного шара при максимальной скорости роста содержания парниковых газов в атмосфере.

Таким образом, усиление скорости восточных ветров (пассатов) в Тихом океане сопровождается более частым и интенсивным развитием

событий Ла-Ниньо и корреспондирует с низкими температурами (конец 40-х–конец 70-х гг. XX в.) или отсутствием роста температуры Земного шара в последние годы (1998–2013 гг.). Сложнее понять, почему в последние годы произошло столь сильное усиление пассатных ветров. Возможной причиной этого усиления пассатов называют рост содержания парниковых газов [7, 10]. Однако подобные паузы, или периоды слабого падения температуры в Южном и Северном полушариях Земли, наблюдались во второй половине 40-х–середине 70-х гг. XX в., когда содержание основного антропогенного парникового газа – углекислого – в атмосфере составляло всего 0,031–0,032 % и увеличилось менее чем на 25 % по сравнению с предидустриальным уровнем. Его роль в усилении пассатов и изменении климата в эти годы не может быть существенной, а значит, за предыдущую «холодную» паузу в изменении глобальной температуры ответственные другие климатообразующие факторы.

Главный механизм, отвечающий за долгопериодные автоколебания в климатической системе, основан на взаимодействии атмосферы и океана. Оно сопровождается развитием взаимосвязанных систем ветров и морских течений в Мировом океане. Наличие автоколебаний в климатической системе длительностью от нескольких лет до многих десятилетий было обнаружено В. В. Шулейкиным, А. И. Дуваниным, А. И. Угрюмовым, Ш. А. Мусаеляном, Н. И. Яковлевой и др. [1]. Автоколебания, собственно, и могут быть ответственны за формирование циклов, «скакков» и пауз в изменении климата. Модулятором таких автоколебаний в климатической системе, кроме парниковых газов, могут быть аэрозоли естественного и антропогенного происхождения, солнечная активность, долгопериодные приливы в океане и др. факторы.

Вышеизложенное представляет выделение эффекта парниковых газов в изменении климата более сложной задачей, чем это считалось. Рост температуры и увеличение испарения в более холодной (восточной) части Тихого океана приводят к увеличению испарения воды. Этот эффект будет более слабым в теплой тропической западной части Тихого океана, где воздух и без того сильнее насыщен влагой (температура выше на 5–7 °C).

Нагон теплой поверхностной воды пассатами в западную часть Тихого океана, если исходить из наличия связи событий Эль-Ниньо и Ла-Ниньо с определенными фазами многолетнего тихоокеанского колебания (Pacific Decadal Oscillation, PDO) – автоколебания в климатической системе «океан – атмосфера», должен скоро прекратиться, и пауза в изменении температуры Земного шара закончится.

Многолетнее тихоокеанское колебание отличается значительной устойчивостью и особен-

но выражено в северной части Тихого океана, в его североамериканском секторе.

За последний более чем столетний период в тихоокеанском колебании обнаружены длительные «теплые» и «холодные» фазы. «Холодная» фаза была характерна для периода времени с 1890 по 1924 гг. «Теплые» фазы наблюдались в 1925–1946 гг. и с 1977 г. до середины 90-х гг. ХХ в. В последние 15–16 лет вновь наступила «холодная» фаза.

Указанные фазы наблюдались в изменениях глобальной температуры и температуры Северного полушария.

Для Тихоокеанского колебания характерны 15–30-летние и 50–70-летние составляющие. Явления Эль-Ниньо и Ла-Ниньо наиболее характерны для тропической части Тихого океана. Они устойчивы, как правило, в течение 6–18 мес. В их спектре и спектре Южного колебания, тесно связанного с ними, преобладают составляющие длительностью 2–7 лет [1].

Таким образом, для явлений Эль-Ниньо и Ла-Ниньо характерны другие пространственно-временные особенности, чем для PDO, хотя их повторяемость и мощность определенным образом связаны с фазами многолетнего Тихоокеанского колебания: для «теплой» фазы более характерно Эль-Ниньо, а для «холодной» – Ла-Ниньо.

Данные по изменению температуры, которые будут получены в ближайшие несколько лет, подтвердят или отвергнут высказанную выше гипотезу о скором окончании паузы в изменении температуры Земного шара.

В последние годы рост аэрозольного загрязнения атмосферы не обнаруживается [4]. После 1991 г., когда произошло крупное извержение вулкана Пинатубо, последующие извержения вулканов были существенно слабее, а антропогенное аэрозольное загрязнение на территории Китая не могло существенно изменить картину аэрозольного загрязнения на Земном шаре. Нами было показано [1], что воздействие антропогенных аэрозолей уменьшает приток суммарной солнечной радиации всего на 0,02–0,03 % в год, тогда как после крупного вулканического извержения наступает снижение суммарной солнечной радиации на несколько процентов, которое иногда наблюдается в течение 1–2-х лет.

Относительно такого «охлаждающего» атмосферу фактора, как солнечная активность, с большой долей вероятности можно предположить, что нынешний цикл уже достиг своего максимума [6]. При этом его величина составляет всего около 63 единиц относительных чисел Вольфа, что при ранжировании ряда максимумов 11-летних солнечных циклов, начиная с самого низкого (1816 г.), ставит его на третье место (табл. 1).

Таблица 1. Сглаженные относительные числа Вольфа (*W*) в максимумах 11-летних солнечных циклов

Год/месяц	<i>W</i>	Год/месяц	<i>W</i>	Год/месяц	<i>W</i>	Год/месяц	<i>W</i>
1816/5	48,70	1761/6	86,48	1937/4	119,20	1989/7	158,46
1805/2	49,19	1894/1	87,93	2000/4	120,80	1778/5	158,55
2013/6	62,59	1750/4	92,56	1848/2	131,95	1979/12	164,50
1906/2	64,23	1860/2	97,96	1870/8	140,31	1958/3	201,26
1829/11	71,54	1917/8	105,39	1788/2	141,18		
1884/3	72,50	1968/11	110,63	1837/3	146,93		
1928/4	78,13	1769/9	115,78	1947/6	151,73		

Таким образом, солнечная активность текущего 24-го цикла солнечной активности по Цюрихской нумерации оказалась одной из самых низких за весь период наблюдений с 1750 г. Однако величина снижения притока солнечной радиации при уменьшении солнечной активности (яркости солнечного диска) в 11-летнем цикле в 2,5–4 раза меньше по сравнению с изменением величин притока солнечной радиации за счет изменения содержания аэрозолей и парниковых газов в атмосфере [4]. Максимальный вклад солнечной активности в изменение климата не превышает нескольких десятых Bt/m^2 , а средняя величина вклада – около 0,1 Bt/m^2 .

Характер линейных трендов глобальной температуры. С целью обоснования выбора указанных периодов и получения количественных характеристик скорости изменения температуры в различных пространственно-временных интервалах был проведен линейный регрессионный анализ аномалий глобальной температуры и отдельно температуры Северного и Южного полушарий. Полученные коэффициенты линейных регрессий аномалий температуры характеризуют скорость изменения как аномалий температуры, так и самой температуры.

Проведенный для различных сезонов года Северного и Южного полушарий анализ показал (табл. 2), что для периода времени с 1955 по

1978 г. характерен статистически незначимый рост температуры в Южном полушарии (0,006–0,010 $^{\circ}\text{C}/\text{год}$). В Северном полушарии почти во всех сезонах и за год в целом отмечалось слабое падение температуры (0,005–0,010 $^{\circ}\text{C}/\text{год}$). На суше Северного полушария в зависимости от сезона наблюдались либо небольшие скорости падения, либо роста значений температуры (+/-0,001–0,020 $^{\circ}\text{C}/\text{год}$).

Для второго периода времени с 1979 по 1998 г. во все сезоны и для года в целом наблюдался наибольший рост значений температуры, как в Северном, так и в Южном полушариях. Наибольший рост значений температуры отмечался зимой на суше Северного полушария (0,0352 $^{\circ}\text{C}/\text{год}$), что согласуется с теорией парникового потепления климата. На материалах 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. На океанах поглощение прямой солнечной радиации происходит в поверхностном слое днем, а длинноволновой – в поверхностной пленке, что стимулирует рост испарения и, следовательно, снижение температуры воды поверхности океана [3].

Таблица 2. Коэффициенты линейных трендов температуры, $^{\circ}\text{C}/\text{год}$

Масштаб осреднения	Сезон	Период		
		1955–1978	1979–1998	2001–2013
Северное полушарие (суша)	Год	0,0010	0,0294	0,0046
–»–	Зима	-0,0143	0,0352	-0,0342
–»–	Весна	0,0214	0,0322	0,0171
–»–	Лето	-0,0017	0,0286	0,0231
–»–	Осень	0,0004	0,0203	0,0162
Северное полушарие	Год	-0,0049	0,0218	0,0011
–»–	Зима	-0,0104	0,0221	-0,0126
–»–	Весна	0,0032	0,0220	0,0047
–»–	Лето	-0,0062	0,0238	0,0102
–»–	Осень	-0,0054	0,0184	0,0045
Южное полушарие (суша)	Год	0,0073	0,0162	0,0131
–»–	Зима	0,0103	0,0237	0,0093
–»–	Весна	0,0055	0,0234	0,0209
–»–	Лето	0,0091	0,0098	0,0192
–»–	Осень	0,0061	0,0098	0,0036

Окончание табл. 2

Масштаб осреднения	Сезон	Период		
		1955–1978	1979–1998	2001–2013
Южное полушарие	Год	0,0092	0,0098	-0,0016
—»—	Зима	0,0090	0,0129	-0,0007
—»—	Весна	0,0098	0,0099	0,0020
—»—	Лето	0,0109	0,0064	-0,0025
—»—	Осень	0,0079	0,0103	-0,0044

В Южном полушарии в силу его большей океаничности и, как следствие, инерционности климатической системы, рост значений температуры ниже, чем в Северном полушарии. Он также максимальен зимой на суше Южного полушария.

В период с 2001 по 2013 г. рост значений температуры существенно замедлился. Тренд температуры зимой в Северном полушарии, а в Южном полушарии в большинстве сезонов года, стал даже отрицательным, что вступает в противоречие с теорией парникового потепления климата, поскольку за указанный период содержа-

ние парниковых газов увеличилось более, чем на 25 %, и скорость роста основного антропогенного парникового газа CO₂ составила более 2 % в год.

Анализ трендов глобальных изменений температуры для периода максимального роста температуры летних и зимних сезонов. В целом для земного шара самый быстрый рост положительных аномалий зимних и летних температур наблюдается с 1977 г. (рис. 4). Из рисунка видно, что, начиная с 1990 г., происходит более быстрое увеличение температуры воздуха летом, чем зимой.

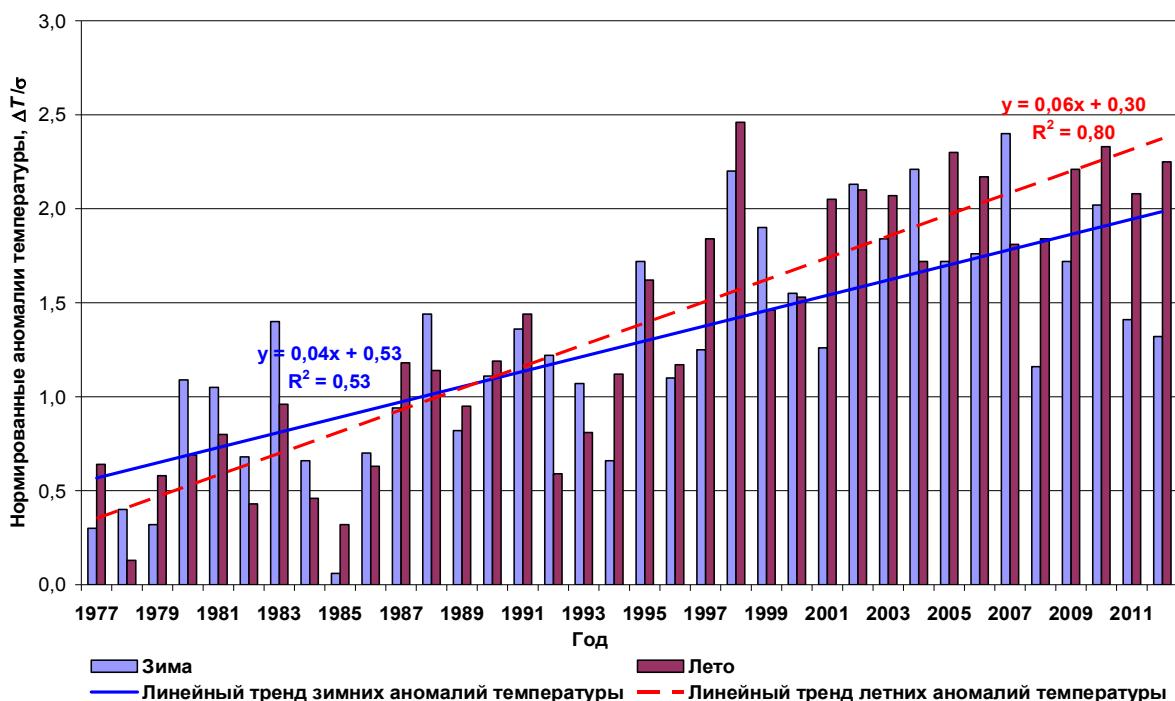
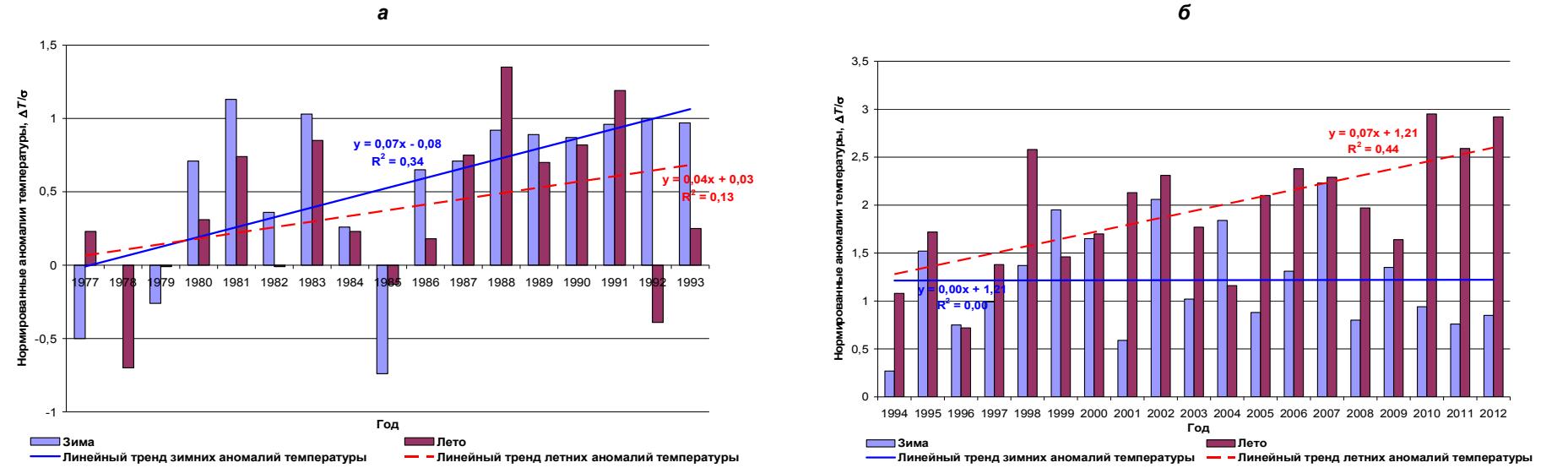
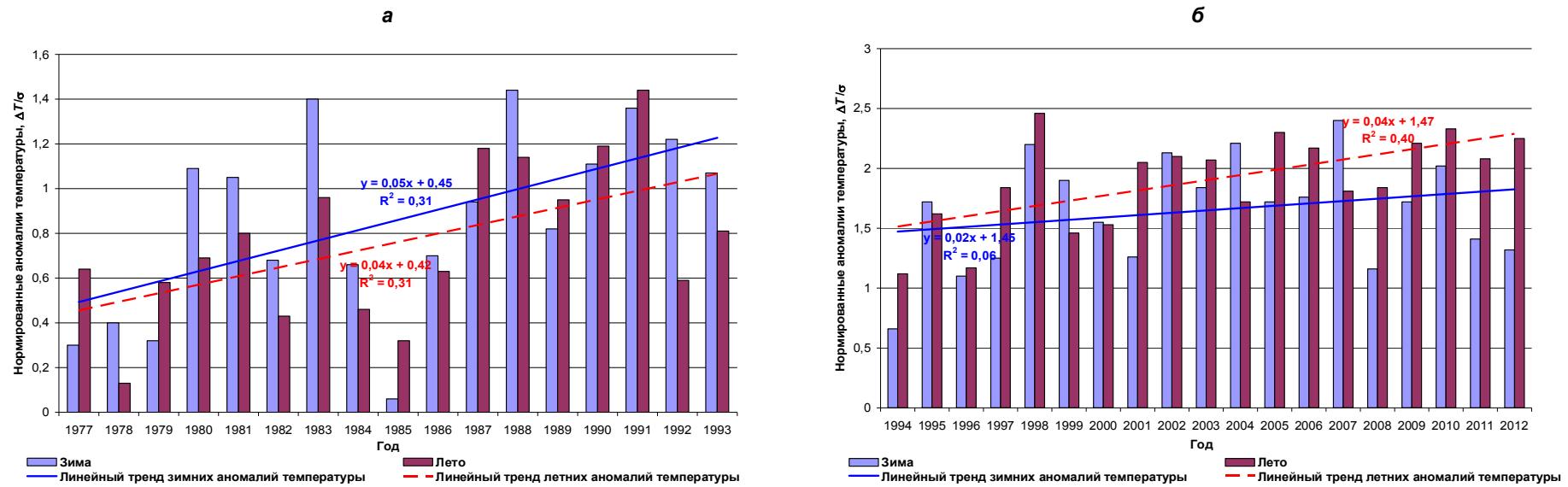


Рис. 4. Изменение нормированных аномалий глобальной температуры в летний и зимний периоды (Земной шар)

Особенности изменения нормированных аномалий летних и зимних температур в Северном полушарии и на суше Северного полушария за 1977–2012 гг. трудно объяснить только ростом содержания парниковых газов в атмосфере. Среди других причин следует назвать изменение аэрозольного загрязнения атмосферы: в последние 12 лет отмечена более «чистая» атмосфера по сравнению с предыдущим периодом. Из внутренних климатообразующих факторов следует выделить общую циркуляцию атмосферы, харак-

тер которой существенно изменился за последние десятилетия [3].

Линейные тренды температуры Земного шара за более короткие периоды представлены на рис. 5 а для суши Северного полушария – на рис. 6. Из рис. 5 следует, что температура летом и зимой с 1977 по 1993 г. изменилась практически с одной и той же скоростью, тогда как в период с 1994 по 2012 г. скорость роста температуры летом была почти в 2 раза выше, чем зимой.



Изменения температуры на суше Северного полушария более выражены (см. рис. 6, а, б): до начала 90-х гг. ХХ в. (1977–1993 гг.) температура зимой возрастала быстрее, чем летом, тогда как в последнее время (1994–2012 гг.) рост температуры зимой прекратился, а в летнее время скорость роста температуры увеличилась

почти в 2 раза. Аналогичные особенности изменения нормированных аномалий температур отмечены в целом для Северного полушария.

Таким образом, ряд выявленных особенностей изменения температуры трудно интерпретировать, исходя только из теории парникового потепления климата.

Л и т е р а т у р а

1. **Логинов, В. Ф.** Причины и следствия климатических изменений / В. Ф. Логинов. Минск, 1992.
2. **Логинов, В. Ф.** Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. Минск, 2008.
3. **Логинов, В. Ф.** Глобальные и региональные изменения климата и их доказательная база / В. Ф. Логинов // Доклад на Межд. научн. конф. «Глобальные и региональные изменения», 16–19 ноября 2010 г., Киев, Украина. 2011. С. 23–37.
4. **Логинов, В. Ф.** Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата / В. Ф. Логинов. Минск, 2012.
5. National Climatic Data Center [Electronic resource] / Made of access : <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/anomalies/>. Дата доступа : 03.02.2014.
6. National Geophysical Data Center (NGDC). Solar Indices Data [Electronic resource] // Made of access : <http://www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/results?t=102827&s=1&d=8,4,9;> <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/space-weather/solar-data/solar-indices/sunspot-numbers/international/>. Дата доступа : 26.02.2014.
7. Kosaka, Yu. Recent globale-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling / Yu. Kosaka, Shang Ping Xie. Doi: 10.1038 / Nature 12534.
8. Ramage, C. S. Secular change in reported surface wind speed over the Ocean / C. S. Ramage // J. Clim. Appl. Meteorol. 1987. Vol. 26. P. 525–528.
9. The Pacific Decadal Oscillation (PDO) / Made of access : <http://jisao.washington.edu/pdo>. Дата доступа : 29.01.2014.
10. Tollefson, J. The case of the missing heat / J. Tollefson // Nature. 16 January, 2014. Vol. 505. P. 276–278.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 5.03.2014 г.

В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий, Ю. А. Бровка

ТРЕНДЫ И ПАУЗЫ В ИЗМЕНЕНИИ ГЛОБАЛЬНОГО КЛИМАТА В РАЗЛИЧНЫЕ СЕЗОНЫ ГОДА

Проведен анализ сезонных аномалий температуры для различных пространственных масштабов. На основе линейного регрессионного анализа выделены периоды, характеризующиеся стационарным и скачкообразным характером изменения температуры. Рассмотрены возможные причины обнаруженных особенностей изменения климата, связанные с автоколебаниями в системе «океан – атмосфера», событиями Эль-Ниньо и Ла-Ниньо, аэрозольным загрязнением атмосферы и солнечной активностью.

Анализ сезонных изменений нормированных аномалий температуры с 1883 по 2012 г. показал, что на Земном шаре с 1973 по 1992 г. рост температуры был максимальным в зимне-весенное время, в последний период (1993–2012 гг.) – летом и осенью. Аналогичные особенности в изменении температуры отмечаются в Северном полушарии, более ярко на его суше. В Южном полушарии наиболее четко выражены сезонные различия аномалий температуры на суше с 1983 по 2012 г. В 1983–1992 гг. более теплыми оказались весна и зима, в 1993–2002 гг. – летне-осенний период, а в последнее десятилетие – осень и зима.

Представлены тренды нормированных аномалий температуры в зимний и летний сезоны. В целом для Земного шара самый быстрый рост положительных аномалий зимних и летних температур наблюдается с 1977 г. Причем температура летом и зимой с 1977 по 1993 г. изменялась

практически с одной и той же скоростью, тогда как в период с 1994 по 2012 г. скорость роста температуры летом была почти в 2 раза выше, чем зимой. В Северном полушарии, и особенно на его суще, изменения температуры в эти сезоны более выражены.

Отмечено, что наблюдающееся замедление потепления, а также похолодание в Южном полушарии в большинстве сезонов года и зимой – в Северном полушарии в период с 2001 по 2013 г. вступает в противоречие с теорией парникового потепления климата и требует более полного анализа взаимодействия океана и атмосферы, а также влияния других внешних и внутренних климатообразующих факторов.

V. F. Loginov, V. S. Mikytski, U. A. Brovka

TRENDS AND PAUSES IN GLOBAL CLIMATE'S CHANGING IN DIFFERENT SEASONS

The analysis of seasonal temperature anomalies for different spatial scales have been held. The periods which are characterized by stationary and spasmodic character of temperature change have been distinguished on the base of linear regression analysis. Possible causes of discovered features of climate change, which are connected with self-oscillation in «ocean – atmosphere» system, in El Niño and La Niña events, aerosol pollution of the atmosphere and solar activity have been considered.

The analysis of seasonal changes and normalized temperature anomalies of globe for the period from 1883 till 2012 have shown that the temperature changes which are different in size and in sign of the velocity have been observed on the globe. In the last period (1993–2012) the speed of temperature growth was more significant in summer and autumn. Similar features in the temperature changes are observed in the Northern Hemisphere and particularly bright on the land in the Northern Hemisphere. The seasonal differences of temperature anomalies on land in the last three decades most clearly expressed in the Southern Hemisphere. In 1983–1992 the most warm were spring and winter, in 1993–2012 – the summer – autumn period, and in the last decade – autumn and winter.

The trends of normalized temperature anomalies in the winter and summer seasons are presented. In general, the Globe's fastest growth of positive anomalies of winter and summer temperatures have been observed since 1977. The temperature in summer and winter from 1977 till 1993 have been measured practically at the same speed, while in the period from 1994 till 2012 the speed of temperature growth in summer was almost two times higher than in winter. In the Northern hemisphere, and particular on its land the temperature changes are more pronounced in these seasons.

It has been noted, that the observed thaw slowdown, and cooling in south hemisphere in most seasons and winter – in north hemisphere in the period from 2001 till 2013 is colliding greenhouse warming theory and demand more exhaustive analysis of ocean and atmosphere interaction, and also the roles of other external and internal climate-factors.

УДК 551.583 (476)

В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка

СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА БЕЛАРУСИ

Приведены результаты исследований сезонных особенностей изменения нормированных аномалий температуры воздуха на территории Беларуси за период с 1881 по 2012 г. Особое внимание уделено изменению сезонных и среднемесячных аномалий температуры воздуха в период современного потепления климата (1988–2012 гг.). Выявлены особенности годового хода нормированных аномалий температуры воздуха с учетом аэрозольной загрязненности атмосферы.

Многочисленные исследования климатических изменений на территории Беларуси [1, 2, 4–8] показали, что, начиная с конца XIX в. до конца 80-х гг. XX в., кратковременные периоды потеплений сменялись близкими по величине и продолжительности периодами похолоданий. Самое значительное по продолжительности и интенсивности потепление началось в 1988 г., затем температура резко повысилась зимой 1989 г., который оказался самым теплым за столетний период (на 2,0 °C выше нормы). Предыдущее, не большое по мощности потепление климата относится к 30–40-м гг. XX в. Оно было особенно выражено в теплое время года.

С целью более корректной оценки изменений сезонных характеристик температуры, а так-

же влияния на них естественных и антропогенных факторов было проведено исследование нормированных среднемесячных аномалий температуры с 1881 по 2012 г. Такое нормирование выравнивает веса среднемесячных аномалий температуры в осредненных нормированных сезонных характеристиках.

Многолетние изменения среднегодовой температуры воздуха на территории Беларуси представлены на рис. 1. Нормированные аномалии среднегодовой температуры рассчитаны как отношение отклонения среднегодовой температуры от нормы к ее стандартному отклонению σ . Как следует из рис. 1, нормированные аномалии среднегодовой температуры находятся в интервале от $-2,7\sigma$ до $2,3\sigma$.

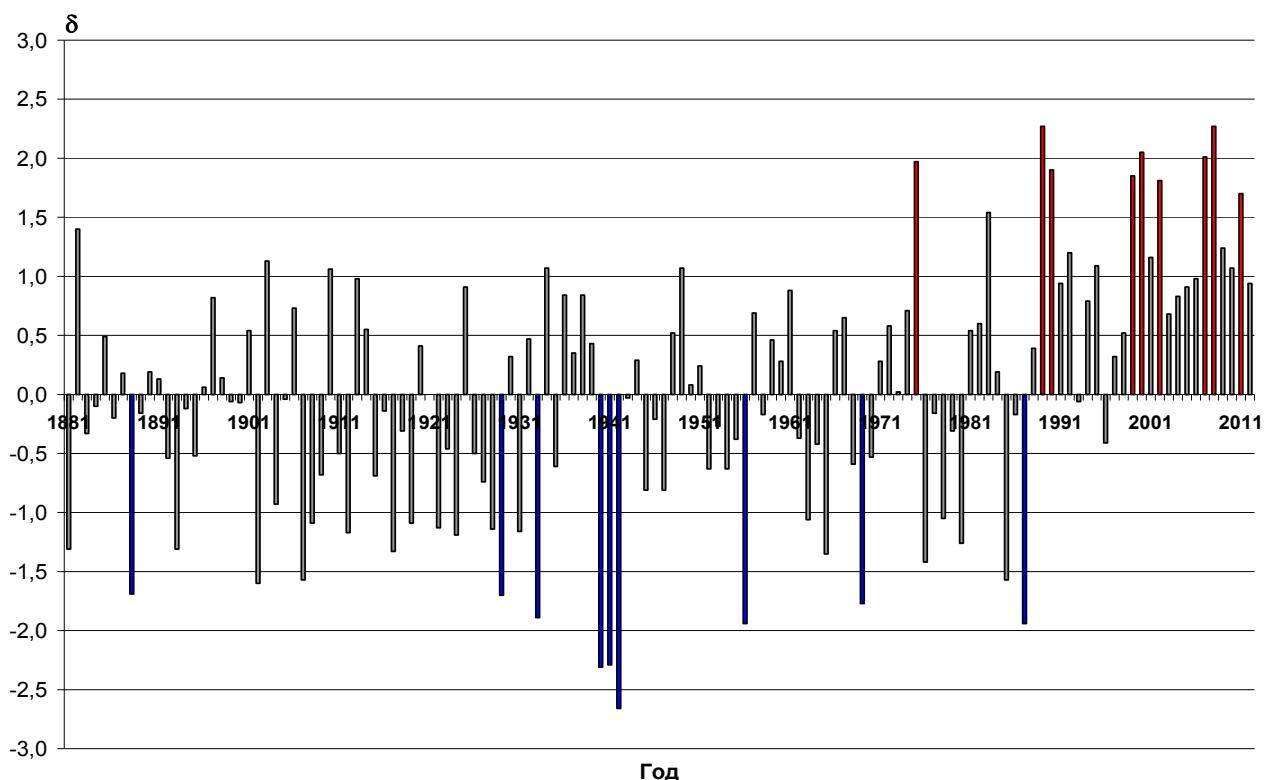


Рис. 1. Нормированные отклонения среднегодовой температуры воздуха в Беларуси за период 1881–2011 гг.

В пределах от $-1,65 \sigma$ до $+1,65 \sigma$ находится около 90 % всех вариантов. К теплым годам относятся 1975, 1989, 1990, 1999, 2000, 2002, 2007, 2008 и 2011 гг., к холодным – 1888, 1929, 1933, 1940, 1941, 1942, 1956, 1969 и 1987 гг. На рисунке такие годы выделены цветом.

Как видно из рис. 1, холодные годы отмечались в период до 1987 г., тогда как все теплые годы, за исключением 1975 г., – в последний период. С 1999 г. постоянно наблюдались положительные аномалии среднегодовой температуры воздуха.

Отклонения температуры воздуха от климатической нормы, рассчитанной для периода 1881–2012 гг., в различные сезоны года по десятилетиям представлены на рис. 2.

Как видно из рис. 2, до начала 80-х гг. прошлого столетия почти во все десятилетия выде-

лялся только один сезон с положительными аномалиями температуры (до $0,2 \sigma$) и 2–3 сезона с отрицательными аномалиями (до $-0,4$ – $-0,5 \sigma$). Можно выделить десятилетия с наиболее холодными сезонами: 1933–1942 (зима и весна), 1963–1972 и 1923–1932 (зима), 1973–1982 (лето) и 1913–1922 (осень). Обратная ситуация отмечается в последующие два десятилетия (1983–1992 и 1993–2002 гг.), для которых характерны значительные положительные аномалии температуры зимой и весной (около $0,4$ – $0,6 \sigma$), а для 1993–2002 гг. – также небольшая положительная аномалия летом. Последний период отличается положительными аномалиями температуры во все сезоны, наиболее высокими летом и осенью (около $0,6$ – $0,7 \sigma$) при заметном снижении зимней температуры.

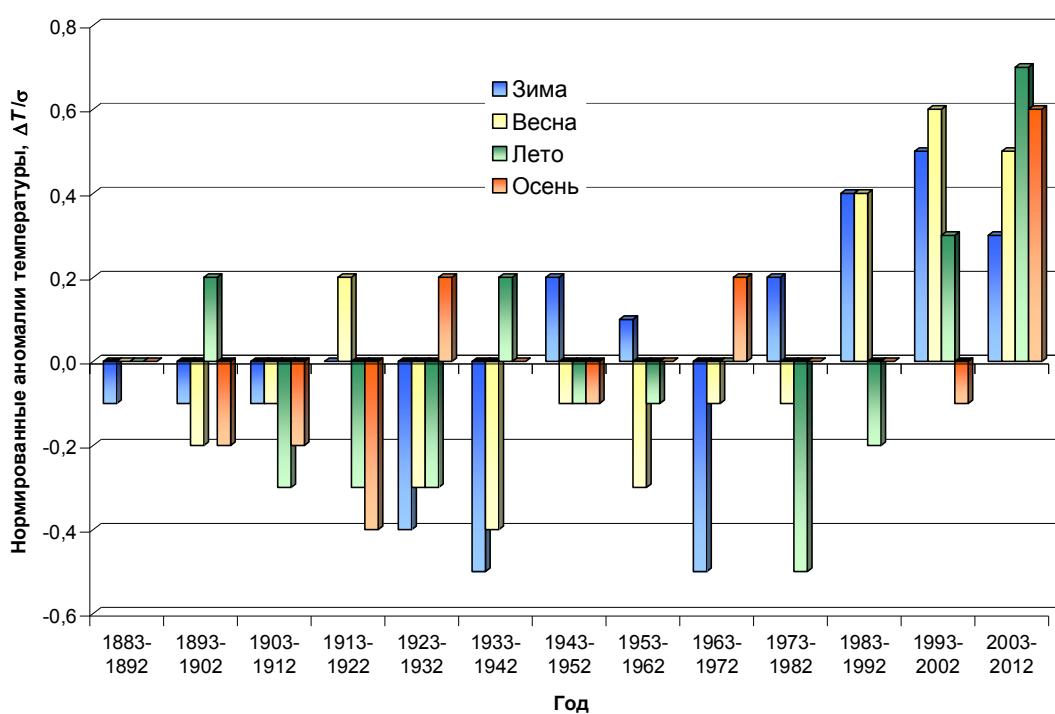


Рис. 2. Сезонные изменения нормированных аномалий температуры воздуха в период 1883–2012 гг.

Таким образом, современное потепление климата, начавшееся в конце 80-х гг. прошлого столетия как потепление зимнего типа, в последние 10–12 лет сменилось более выраженным летним потеплением, когда нормированные положительные аномалии летом значительно превышают нормированные аномалии в зимний сезон. Этот вывод подтверждается более детальным исследованием сезонных изменений температуры воздуха на территории Беларуси по 5-летним и 12-летним периодам с начала потепления климата (рис. 3, 4).

Как видно из рис. 3, потепление было максимальным зимой и весной в период с 1988 по 2002 г. В последние два пятилетних периода

потепление более ярко проявляется летом и осенью. Особенно быстрый рост аномалий температуры в эти периоды наблюдается в осенний сезон, по сравнению с тремя предыдущими пятилетними периодами (1988–2002 гг.). Величина весенних аномалий температуры в последний пятилетний период приближается к летним.

Период современного потепления климата на территории Беларуси можно разделить на два равных по длительности интервала (рис. 4). Для первого из них (1989–2000 гг.) характерно потепление зимне-весеннего типа, а для второго (2001–2012 гг.) потепление более ярко выражено летом и в меньшей степени весной и осенью.

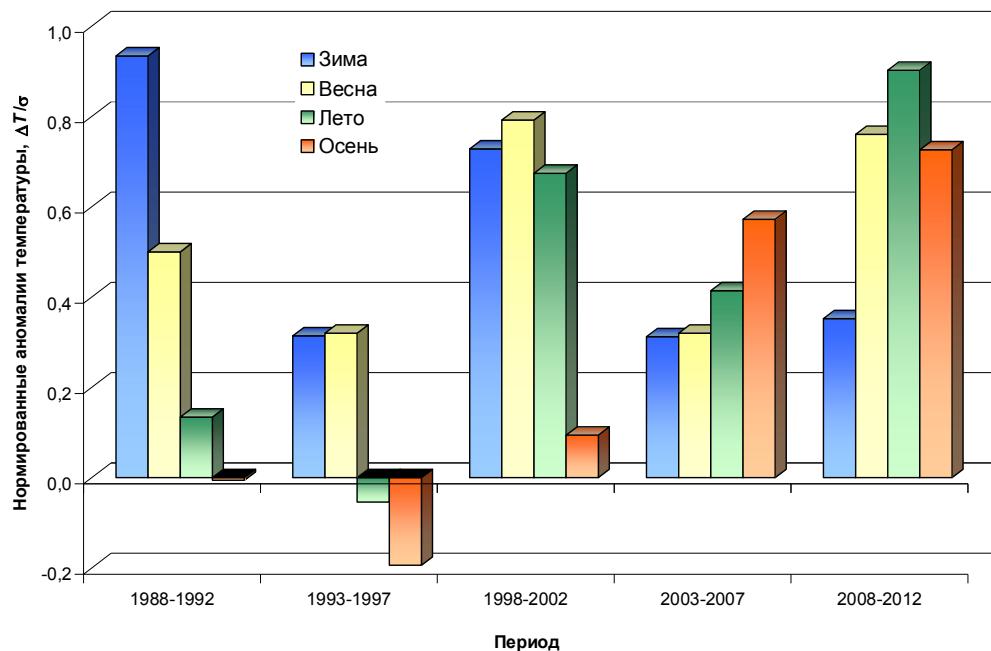


Рис. 3. Сезонные изменения нормированных аномалий температуры воздуха за период современного потепления климата

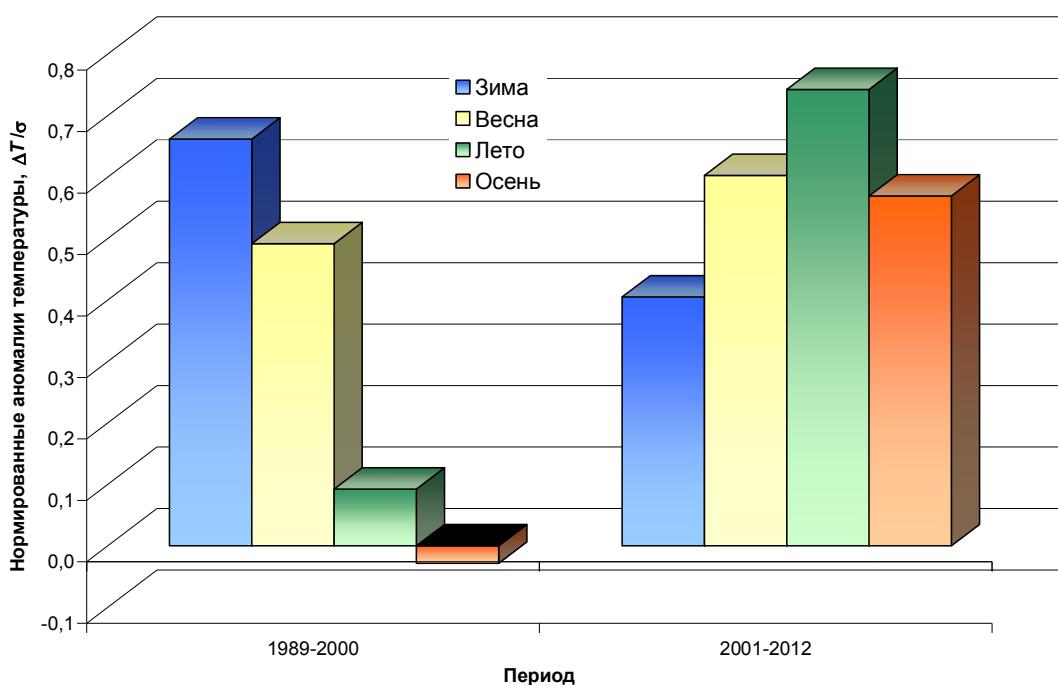


Рис. 4. Сезонные изменения нормированных аномалий температуры воздуха в периоды зимнего и летнего потепления климата

Следует отметить, что в 1989–2000 гг. наблюдалось шесть наиболее теплых зим: 1989–1990, 1991–1992, 1992–1993, 1994–1995, 1997–1998, 1999–2000 гг. [3]. В последующие 12 лет число теплых зим уменьшилось (2000–2001, 2006–2007, 2007–2008 гг.). В этот же период отмечена наиболее продолжительная за период наблюдений

засуха (май – начало сентября 2002 г.) и наиболее интенсивная засуха в июле–августе 2010 г., когда на протяжении длительного времени максимальная температура воздуха превышала 30 °C, а во многие дни на метеостанциях зафиксированы абсолютные суточные максимумы температуры за весь период наблюдений.

Рассмотрим этот вопрос более детально. Годовой ход нормированных аномалий температуры для двух периодов представлен на рис. 5. Из рисунка видно, что в 1989–2000 гг. потепление климата было выраженным в январе, феврале, марте и апреле. В 2001–2012 гг. нормированные положительные аномалии температуры наблюдаются на протяжении всего года, однако их величина стала максимальной во вторую половину года (июль – ноябрь), тогда как в первый период (1988–2000 гг.) максимальные положительные аномалии темпера-

туры отмечались в первую половину года (январь – апрель).

Ранее нами было показано [5], что сезонные особенности изменения температуры связаны с аэрозольной загрязненностью атмосферы. Изменение величин нормированных аномалий температуры для минимальной и максимальной мутности атмосферы приведены в табл. 1. Последние годы (1965–2012 гг.), когда влияние аэрозольной мутности трудно выделить на фоне интенсивного роста парниковых газов, из расчета исключены.

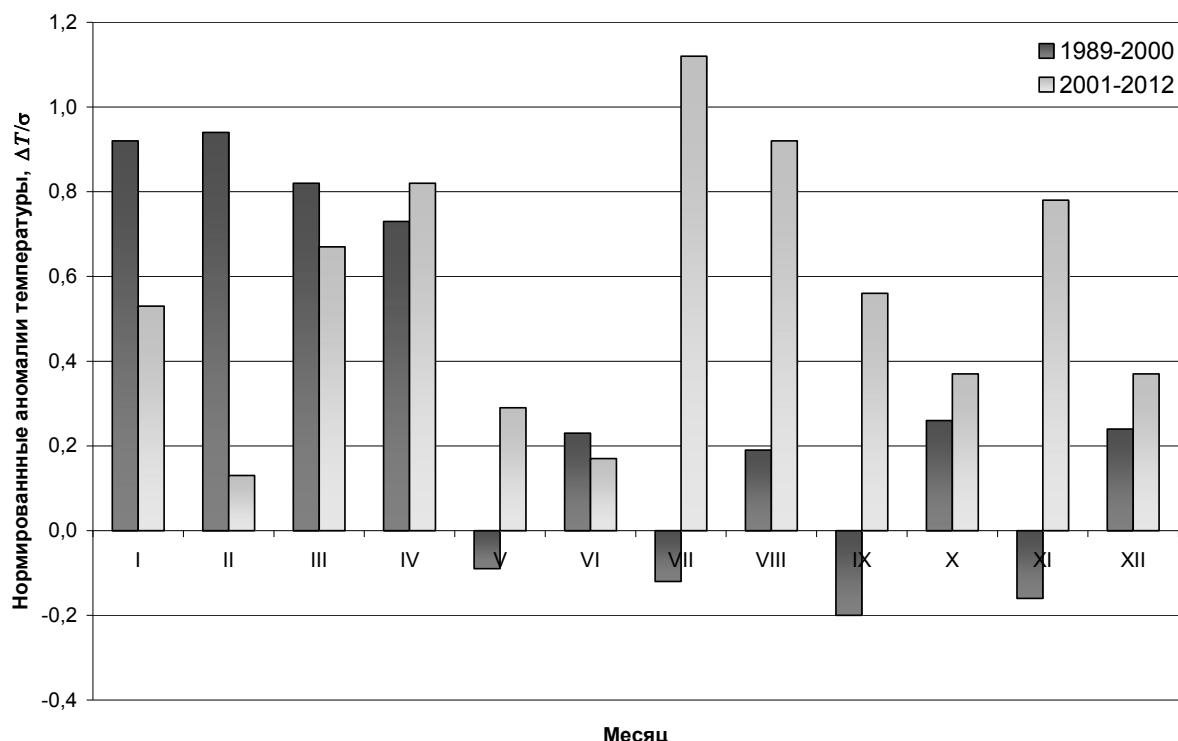


Рис. 5. Годовой ход нормированных аномалий среднемесячной температуры воздуха для двух периодов потепления климата

Таблица 1. Среднемесячные нормированные аномалии температуры воздуха на территории Беларуси в периоды минимальной и максимальной аэрозольной мутности атмосферы

Период	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1881–1901*	-0,16	-0,01	-0,20	-0,28	0,37	0,06	0,35	0,06	0,01	0,05	-0,24	-0,21
1902–1923	0,02	-0,04	0,10	0,05	-0,25	-0,14	-0,41	-0,58	-0,20	-0,40	-0,37	-0,13
1924–1945	-0,43	-0,30	-0,36	-0,56	-0,11	-0,40	0,11	0,17	0,06	0,01	0,21	-0,38
1946–1964	0,07	-0,21	-0,48	0,04	-0,19	0,24	-0,20	-0,11	0,01	-0,02	0,04	0,23
Минимум мутности атмосферы	-0,30	-0,16	-0,28	-0,43	0,12	-0,17	0,23	0,11	0,04	0,03	-0,01	-0,30
Максимум мутности атмосферы	0,05	-0,12	-0,17	0,05	-0,22	0,03	-0,31	-0,36	-0,10	-0,22	-0,18	0,04
Разность	-0,35	-0,04	-0,11	-0,48	0,34	-0,20	0,54	0,47	0,14	0,25	0,17	-0,34

Шрифтом выделены периоды с наиболее чистой атмосферой (ее минимальной мутностью).

*В этот период отмечаются последствия воздействия на солнечную радиацию аэрозолей, выброшенных в атмосферу при извержении вулкана Кракатау. Вероятно, более корректно рассматривать период 1893–1901 гг.

Включение в анализ температуры воздуха только за 1893–1901 гг. показало, что разности температуры оказались более значительными. Однако здесь в целях сравнимости с предыдущей работой [5] приведены температуры с использованием всего периода 1881–1901 гг.

Из табл. 1 видно, что положительные аномалии температуры при минимальной замутненности атмосферы отмечены в июле – августе, близкие к норме – в сентябре – ноябре. При

замутненной атмосфере наименьшее изменение температуры отмечается зимой, а также в апреле, июне.

Если рассмотреть весь доступный период наблюдений за температурой воздуха на территории Беларуси (1881–2012 гг.), то можно выявить ряд особенностей годового хода нормированных аномалий температуры в периоды с высокой и низкой аэрозольной загрязненностью атмосферы (рис. 6).

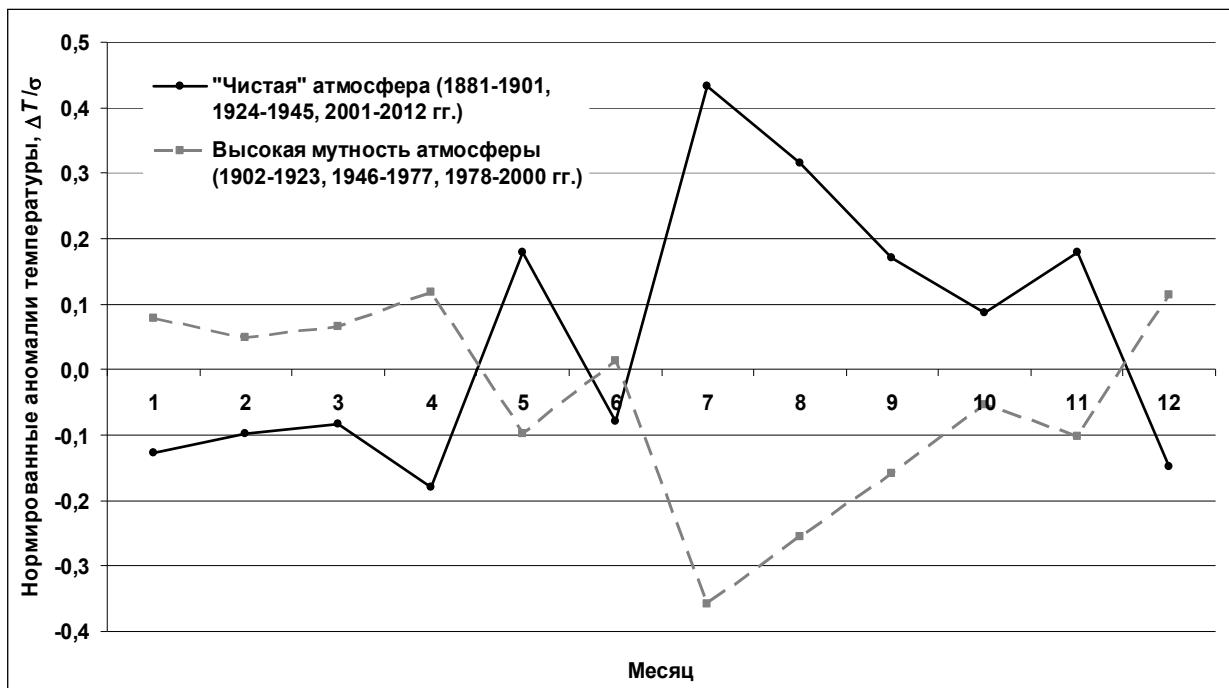


Рис. 6. Годовой ход нормированных аномалий температуры воздуха в Беларуси в периоды с высокой и низкой аэрозольной загрязненностью атмосферы

В периоды с «чистой» атмосферой наибольшие положительные нормированные аномалии температуры отмечены в самые теплые месяцы (июль – август), отрицательные аномалии – в основном в декабре – апреле. При высокой замутненности атмосферы наиболее значительные снижения температуры отмечены в июле–августе, а положительные нормированные аномалии температуры – в декабре – апреле. Это означает, что одним из важных факторов, определяющих знак и характер изменений нормированных аномалий температуры в годовом ходе, является аэрозольная загрязненность атмосферы.

Таким образом, в изменении температуры воздуха на территории Беларуси в послед-

ние несколько лет наметилась тенденция к ее повышению во вторую половину лета и осенью. Если потепление климата определялось ранее как потепление зимнего типа, то с середины 90-х гг. прошлого столетия быстро повышались летние и осенние температуры. Почти все случаи аномально высокой среднегодовой температуры воздуха отмечены в период современного потепления климата (1988–2012 гг.), тогда как значительное снижение среднегодовой температуры наблюдалось в предшествующие годы.

Выявленные сезонные особенности изменения температуры трудно объяснить, оставаясь в рамках теории парникового потепления климата.

Л и т е р а т у р а

1. **Логинов, В. Ф.** Причины и следствия климатических изменений / В. Ф. Логинов. Минск, 1992.
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.** Экстремальные климатические явления: пространственно-временные закономерности их изменений и предпосылки прогнозирования / В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка. Минск, 2012.
5. **Логинов, В. Ф.** Оценка радиационного воздействия аэрозолей и углекислого газа на температуру воздуха в Беларуси за период с 1881 по 2012 гг. / В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка // Природопользование. Минск, 2013. Вып. 23. С. 12–21.
6. **Логинов, В. Ф.** Изменение климата, экстремальных погодных и климатических явлений и их связь с типами циркуляции атмосферы Северного полушария по Б. Л. Дзердзеевскому / В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка, В. С. Микуцкий // Природопользование. Минск, 2013. Вып. 24. С. 5–10.
7. **Логинов, В. Ф.** Анализ однородности рядов температуры, типизация годового хода температуры и выбор годов – аналогов жаркого лета / В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий // Природопользование. Минск, 2013. Вып. 24. С. 11–16.
8. **Мельник, В. И.** Изменение климата на территории Беларуси: возможные меры адаптации / В. И. Мельник, Е. В. Комаровская // Экологія. Минск, 2010. № 3. С. 7–11.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 28.02.2014 г.

В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка

СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА БЕЛАРУСИ

Приведены результаты исследования особенностей изменения нормированных аномалий температуры воздуха в различные сезоны на территории Беларуси с 1881 по 2012 г. Детально рассмотрены сезонные и среднемесячные аномалии температуры воздуха в период современного потепления климата (1988–2012 гг.). Выявлены изменения годового хода нормированных аномалий температуры воздуха в периоды с низкой и высокой аэрозольной загрязненностью атмосферы.

Для периода потепления климата характерны почти все случаи аномально высокой среднегодовой температуры воздуха, тогда как наиболее значительное ее снижение отмечалось в предшествующие годы. Установлено, что современное потепление климата, начавшееся в конце 80-х гг. прошлого столетия как потепление зимнего типа, в последние 10–12 лет сменилось более выраженным летним потеплением, когда нормированные положительные аномалии летом значительно превышают нормированные аномалии в зимний сезон.

Выявлено, что в 2001–2012 гг. нормированные положительные аномалии температуры наблюдаются на протяжении всего года, однако их величина стала максимальной во вторую половину года (июль – ноябрь), тогда как в 1988–2000 гг. максимальные положительные аномалии температуры отмечались в первую половину года (январь – апрель).

Одним из важных факторов, определяющих знак и характер изменений нормированных аномалий температуры за период наблюдений с 1881 по 2012 гг., является аэрозольная загрязненность атмосферы. В периоды с чистой атмосферой наибольшие положительные нормированные аномалии температуры отмечены в самые теплые месяцы (июль – август), отрицательные аномалии – в основном в декабре – апреле. При высокой замутненности атмосферы наблюдаются противоположные результаты.

V. F. Loginov, U. A. Brovka

SEASONAL CLIMATE CHANGES FEATURES OF BELARUS

The studies results of the features changes of air temperature normalized anomalies in different seasons in Belarus from 1881 to 2012 are given. The seasonal and monthly air temperature anomalies during the modern climate warming (1988–2012) have been discussed in detail. The changes of the annual variation of air temperature normalized anomalies during periods of low and high aerosol pollution are identified.

For a period of global warming observed in almost all cases of abnormally high mean annual air temperature, whereas its most significant reduction was registered in previous years. It has been found that the current climate warming, which began in the late 80s of the last century as a warming winter type, in the last 10–12 years has replaced by a more pronounced summer warming when normalized positive anomalies in the summer significantly exceed the normalized anomalies in the winter season.

It has been revealed that in 2001–2012 the normalized positive temperature anomalies are observed throughout the year, but their value has become the maximum in the second half of the year (July – November), whereas in 1988–2000 maximum positive temperature anomalies have been registered in the first half of the year (January – April).

One of the important factors determining the nature and the sign of normalized temperature anomalies changes in the annual for the observation period from 1881 to 2012 is aerosol pollution. In periods with a clean atmosphere the largest positive normalized temperature anomalies observed in the warmest months (July – August), negative anomalies – mainly in December – April. An opposite results observed at high atmospheric turbidity.

В. Б. Кадацкий, А. А. Лепешев**ПРИРОДНЫЕ РИТМЫ, КЛИМАТИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ
И ПОГОДНЫЕ РИСКИ**

Рассматривается устойчивость земной природы, которая, несмотря на разномасштабные климатические ритмы, сохраняет оптимальные для живых организмов параметры на протяжении геологической истории. Современное нарастание погодных «сюрпризов и аномалий» трактуется как ответная реакция биосфера на техногенные изменения в отдельных компонентах ландшафта.

В последние годы, при чтении фундаментальных географических дисциплин на факультете естествознания БГПУ, преподаватели все чаще сталкиваются с вопросами студентов, связанными с проблемами выживания человечества. Эти вопросы порождаются тем, что многие природоведы в печатных изданиях бесконечно муссируют разнообразные негативные сценарии будущего. Среди них и представления о скором исчерпании природных ресурсов, и опасения по поводу безудержного роста населения планеты, и нарастание разнообразных экологических проблем, а также грядущие нежелательные климатические изменения и др. Общая направленность подобной тематики невольно акцентирует внимание на том, что современная цивилизация уже подошла к некому пределу благополучного существования и в ближайшем будущем ее ожидают непреодолимые трудности. Тревожные выводы из этого направления постоянно размещаются в интернете, широко распространяются и обсуждаются прежде всего в молодежной среде, вызывая у учащихся понятный интерес.

Что касается авторов статьи, то они как преподаватели обязаны удовлетворять студенческую любознательность, объясняя причины и существование различных гипотез и сценариев по поводу ближайшего будущего. Дополнительно приходится разъяснять, что никто не владеет правом на истину при прогнозировании тренда развития природных процессов. В качестве показательного примера может служить дляящаяся уже не менее полувека дискуссия в отношении проблемы глобальных климатических изменений, на одном полюсе которой приводятся доказательства якобы начавшегося губительного потепления на планете, на другом – излагаются не менее веские обоснования грядущего похолодания вплоть до скорого наступления очередного ледникового периода. Остановимся на этой ситуации подробнее.

История развития различных наук показывает, что никакие сложные проблемы никогда не решались полностью. Найденные, казалось бы, удовлетворительные объяснения раньше или

позже всегда пересматриваются. Анализируя развитие процесса познания на современном этапе, научоведы пришли, в частности, к переосмыслению самого понятия «факт». В ряде работ обосновывается, что в результате непосредственных (эмпирических) наблюдений мы получаем не научное понимание факта, а лишь простое, обыденное представление о нем.

Современные методологические требования к научным фактам стали совсем иными. Их получение связано, в частности, с учетом уже существующих определенных представлений, основанных на прошлом научном опыте. То есть современная наука оперирует такими фактами, которые являются уже «теоретически (концептуально) нагруженными» [3]. И, действительно, прежде чем получить некий факт, исследователь решает сложную процедуру: где, каким образом, когда и посредством каких методов можно выполнить необходимое эмпирическое наблюдение. Кроме того, удовлетворительное объяснение наблюдаемого факта возможно лишь тогда, когда он наделяется смысловой интерпретацией и включается в определенную схему (гипотезу, концепцию), что и позволяет сравнивать его с другими известными фактами. Наконец, каждый исследователь в силу многих причин (образованности, интеллекта, врожденной ментальности и т. д.) привносит в трактовку наблюдения субъективную интерпретацию. Следовательно, в результатах познания фигурируют не сами факты, а их абстрактные образы и авторская интерпретация в рамках некой гипотезы (концепции). По этой причине современная развитая наука оперирует уже не просто фактами, а обоснованными представлениями, теоретическими схемами, проработанными моделями. Но и они со временем становятся недостаточными для понимания происходящего и возникающих дополнительных вопросов. В данной связи и появляется необходимость в формулировании новых гипотез (концепций), которые, с одной стороны, все более полно объясняют реальные объекты, явления, процессы, а с другой – позволяют конкурировать с выдвинутыми ранее соответствующими кон-

цепциями (гипотезами, теориями). В конечном итоге приоритетной становится та из них, которая обладает большей практичесностью [5].

Приведенное методологическое отступление позволяет объяснить позицию авторов в данном контексте, которая основывается на том, что ключ к выяснению настоящего и будущего состояния природной среды находится:

- во-первых, в изучении природно-климатических ритмов прошлого (как палеогеографического прошлого, так и исторического);

- во-вторых, в анализе общего устойчивого состояния биосфера, сохраняющегося в течение всей геологической истории, несмотря на внутренние (оледенения, вулканализм, землетрясения) и внешние (выпадение крупных метеоритов, взрывы сверхновых, рост светимости Солнца) катаклизмы.

Обратимся к климатическим изменениям прошлого на фоне разномасштабных природных ритмов, причины которых вызывают постоянно растущий исследовательский интерес.

Природно-климатические ритмы в дочетвертичной истории планеты. Палеогеографические материалы свидетельствуют о непрерывных климатических ритмах. Чередование наиболее крупных из них имеет многомиллионнолетние циклы. Геологи давно установили, что уже в начале протерозоя (около 2,5–2,3 млрд лет назад) климатическая ситуация на Земле привела к возникновению оледенений. В слоях этого возраста обнаружены ледниковые (моренные) отложения, так называемые тиллиты, представляющие собой уплотненные и метаморфизованные валунные глины. Они отмечены в Австралии, Южной Америке, но особенно представительны в Северной Америке в районе Великих озер. Здесь мощность моренной толщи, включающей огромные валуны, достигает 500–3000 м. Местами, на территории Восточно-Европейской платформы включая Беларусь, тиллиты встречаются в позднем протерозое. Отложения имеют многослойную структуру: тиллиты переслоены песчаниками, ленточными глинами, что свидетельствует о неоднократных наступлениях и отступлениях ледниковых покровов. Интересно отметить, что этому похолоданию предшествовало повсеместное накопление мощных толщ железистых кварцитов, которые своим происхождением обязаны функционированию одно- и многоклеточных бактерий (железобактерий).

Впоследствии периодические ледниковые эпохи проходят через всю историю Земли и выступают в качестве надежной основы для выделения глобальных климатических циклов. Так, бурное развитие животного мира водоемов ордовика (500–440 млн лет назад) и силура (440–410 млн лет назад), ознаменовалось выходом растений на сушу. Параллельно в это же время происходит грандиозное повсеместное накопле-

ние горючих сланцев. И завершается данный этап эволюции живого грандиозным ордовикско-силурским оледенением, о чём свидетельствуют обширные отложения тиллитов, в частности в западной Африке и Сахаре.

В начале каменноугольного времени происходит следующее глобальное похолодание. Оно достигло своего максимального распространения примерно 280–300 млн лет назад и получило название карбоново-пермский ледниковый период. В свою очередь ему, в частности, предшествовало накопление крупнейших верхнепалеозойских месторождений угля. Наконец, интенсивное увеличение биомассы в неогене (25–2 млн лет назад), послужившее основой кайнозойского максимума углеобразования, предшествовало четвертичному (антропогеновому) ледниковому периоду.

Таким образом, ретроспективный экскурс показывает выраженную корреляцию между вспышками органического мира и последующими глобальными похолоданиями. Иными словами, оледенения никогда не охватывали всю биосферу и не являлись препятствием для эволюции живого. Что же касается причин возникновения миллионолетних ритмов, то по этому поводу высказываются предположения, что они связаны с вращением Солнечной системы вокруг центра галактики. Практическая и теоретическая ценность данных событий заключена в обобщающем выводе о глобальной устойчивости биосферы на протяжении (3,6–3,7 млрд лет) и ее способности регулировать температурные и влажностные параметры в своих пределах.

Оледенения и межледниковые плейстоцена. Климатические ритмы менее продолжительного уровня отчетливо проявляются на протяжении последних примерно 1,8 млн лет (плейстоцена), составляющих основную часть четвертичного (антропогенного) периода. В течение плейстоцена неоднократные похолодания сопровождались разрастанием материковых оледенений в высоких и умеренных широтах Северного полушария, а внеледниковые области характеризовались повышением влажности. В межледниковые эпохи ледниковые покровы практически исчезали, а прибрежные низменности затапливались в связи с морскими трансгрессиями. Уровень Мирового океана в периоды оледенений понижался, а в межледниковые повышался на 80–120 м. На территории бывших внеледниковых областей климат становился более сухим. Продолжительность ледниковых и межледниковых эпох исчислялась тысячами и десятками тысяч лет. Следует также подчеркнуть, что на протяжении плейстоцена климатические колебания сопровождались эволюционными изменениями растительности и животного мира, которые постепенно приобретали современные черты. И, конечно же, важнейшим событием антропогено-

вого периода стало окончательное становление человека современного типа.

Причины четвертичных похолоданий и разделяющих их потеплений также до сих пор не ясны. Остаются дискуссионными количество, длительность ледниковых и межледниковых эпох, соподчиненность их внутренних более мелких подразделений. Тем не менее они продолжают находиться в центре внимания палеогеографов, поскольку, в свою очередь, нацелены на выявление закономерностей и прогнозирование климатических событий.

Основные ритмы голоцена. После завершения последнего плейстоценового оледенения (поозерского, валдайского, вюргского), финал которого приурочен примерно к 10–12 тыс. лет назад, начинается заключительная геологическая фаза четвертичного периода – голоцен (последледниковые), которая включает и настоящее время. В свою очередь она делится на этапы, которые были установлены при изучении растительных остатков в торфяниках. На их основе внутри голоцена выделяют чередование следующих эпох: преобореал – бореал – атлантик – суббореал – субатлантик, для них всех характерны собственные, хотя и сглаженные, похолодания и потепления. За это время окончательно установилась географическая зональность, континенты и моря приняли нынешние очертания, завершилось формирование современного облика рельефа.

Заключительный отрезок голоцена (субатлантический) составляет около 2,5 тыс. лет. И в нем выделяются отчетливые колебания климата, которые по своей продолжительности можно назвать вековыми. Среди них особый интерес вызывают природные ритмы с конца первого тысячелетия новой эры, поскольку они наиболее хорошо изучены, позволяют судить, на каком этапе подобных изменений мы находимся и, с большой долей вероятности, позволяют предполагать, чего следует ожидать в ближайшее время.

Природная характеристика последнего тысячелетия. Независимые разнообразные палеогеографические материалы показали, что на этом отрезке времени можно выделить четыре этапа (ритма), которые также отличаются значимыми колебаниями природных условий. Длительность каждого периода составляет примерно 3–4 столетия. Причем выделены данные периоды около века назад [4], а реконструируемые при этом климатические характеристики прошлого согласуются с историческими событиями, зафиксированными в сказаниях, преданиях, летописях и древних манускриптах.

Первый из вышеупомянутых этапов (IX–XII вв.) характеризуется относительно высокими температурами и повсеместным уменьшением увлажнения в сравнении с современностью. Среднемесячные температуры июля были

на 1–3 °C теплее, а суммы эффективных температур выше 10 °C превышали современные соответственно на 200–500 °C в средних и еще больше в высоких широтах. Это время достаточно свободного плавания викингов в северных морях. В этот же отрезок времени они открыли остров с зеленым южным побережьем и назвали его Гренландией (в настоящее время Гренландия практически полностью, за исключением отдельных мест, покрыта ледниками и снежниками). На Кольском полуострове леса вышли непосредственно к береговой линии, а в Хибинах они поднялись на 100–150 м выше современного уровня. В Карпатах, Крыму и на Кавказе древесные породы продвинулись еще выше – на 200–300 м. В этом же периоде происходит расцвет Киевской Руси в лесостепной зоне. Палеогеографы отмечают, что во второй половине данного этапа заметно преобладали сухие и теплые аномалии.

Второй период климатических изменений начался в конце XII – начале XIII в., продолжался до XVI в. и характеризовался перестройкой атмосферной циркуляции, повсеместным снижением снеговой линии в горах и отступанием лесов вниз по склону. Зато залесенность степи и лесостепи на территории нынешней Украины стала больше, что свидетельствует о повышении увлажненности юго-восточной Европы. В Скандинавии начинает формироваться новая стадия оледенения. Многие северные островные колонии викингов прекратили существование из-за суровой ледовой обстановки, не позволяющей поддерживать жизнеобеспечивающие связи с южными континентальными областями.

Третий период, начавшийся с XVI в. и продолжавшийся до середины XIX в., называется *малым ледниковым периодом*. В общем плане этот период характеризуется наибольшей нестабильностью природных условий и самыми холодными среднегодовыми температурами за последние 2 тыс. лет. Стихийные бедствия следовали одно за другим. Сильные дожди и необыкновенно суровые зимы приводили к неоднократной гибели урожаев и вымерзанию садов в Западной Европе. Летние сезоны были то очень засушливыми и жаркими, то очень холодными и дождливыми. В Восточной Европе наряду с суровыми зимами наблюдалась череда дождливых сезонов в летний период. Повсеместно на континенте на протяжении этого этапа от голода, холода и эпидемий погибли сотни тысяч человек. Неоднократно возникали крестьянские бунты. С XVII в. отмечается увеличивающаяся регрессия северных морей, которая особенно отчетливо проявилась в XVIII в. В начале XIX в. их ледовитость достигла своего максимума. К этому времени на территории Норвегии ледники получили исторически предельное распространение.

Со второй половины XIX в. начинается четвертый период, который, судя по длительности предшествующих этапов, может продлиться до середины или даже конца XXII в. Древесная растительность стремится восстановить свои позиции в высокогорьях, утраченные еще в XII в., но, чтобы достичь прежних границ, ей понадобится не менее полутора–двух веков.

В целом настоящий период характеризуется дальнейшим потеплением в умеренной зоне Европы, что позволяет сопоставлять его с первым периодом. Продление этой тенденции должно будет обеспечить повышение средней температуры еще на 1–1,5 °C, и климатические параметры станут напоминать те, что были во времена расцвета Киевской Руси и плаваний норманнов в высоких широтах. Существенно сократятся ледовые поля Арктики, белая Гренландия больше «зазеленеет» в своих южных районах, а лесная растительность Европы вновь выйдет в прибрежные территории северных морей.

Таким образом, исходя из реалий последнего тысячелетия, и для него варьирование климатических параметров носит циклический характер. Кроме того, продолжительность этих циклов составляет около трех–четырех столетий, и установлены они были еще в начале XX в. Понятно, что в то время они имели значимость только для узкого круга специалистов и не представляли никакого общественного интереса. В настоящее время циклы заслуживают особого внимания, поскольку позволяют предложить альтернативную точку зрения на генезис современных климатических вариаций, которые многие специалисты объясняют «парниковым эффектом».

Представления о современном глобальном потеплении. Сама идея «парникового эффекта» в связи с ростом поступления в атмосферу техногенных газов была высказана почти 200 лет назад. Однако «раскручена» она была только в 1970–1980 гг. группой советских и американских климатологов. С помощью журналистов эта проблема получила беспрецедентный общественный интерес, особенно в связи с ожидаемыми негативными последствиями в результате таяния вечных льдов, подъемом уровня Мирового океана, затоплением пониженных прибрежных территорий.

По мере приближения к рубежу XXI в. стала очевидной несостоительность прогнозируемых сценариев глобального потепления на 2–3 °C. Независимые данные метеонаблюдений свидетельствуют, что само потепление составило примерно 0,5–0,6 °C и может рассматриваться как естественная вариация, которая была намечена задолго до ее обсуждения [4]. В этой связи радикальные сторонники скорого антропогенного потепления были вынуждены корректировать свои прогнозы. Последовали дополнительные объяснения того, что наряду с парниковыми

газами одновременно нарастает антропогенное запыление атмосферы, ведущее к поглощению части лучистой энергии и ослабляющее возможный рост температуры. А кардинальное повышение температуры приземной атмосферы до 3 °C и даже 5 °C было перенесено на середину или конец наступившего века. Основой таких прогнозов служат различные модели. Вместе с тем по поводу моделирования природных ситуаций следует высказать замечание. Модели строятся на основе, как известно, использования чисел натурального ряда. В природных ситуациях нет ни чисел, ни их долей, и, как справедливо отмечает ряд исследователей, существуют только феномены – исключительные факты и явления. В связи с этим высказывание великого А. Эйнштейна: «Если теоремы математики прилагаются к отражению реального мира, то они неточны; они точны до тех пор, пока не ссылаются на действительность», объясняет, почему моделирование природных ситуаций только отдаленно напоминает реальность.

Подтверждением вышесказанному являются постоянные сетования специалистов (синоптиков, гидрометеорологов, климатологов) о невозможности достоверных прогнозов более чем на декаду, не говоря уже о более длительных сроках. Таким образом, на фоне давно обоснованного естественного потепления умеренных широт Северного полушария, продолжающееся декларирование его роста только за счет повышения концентрации парниковых газов, по меньшей мере, неубедительно. Не следует также забывать, что биосфера как саморегулирующая система способна подавлять любые негативные ситуации, происходящие в ее пределах, что и доказывает ее почти 4-миллиардная история. Как известно, основные парниковые газы и аэрозоли являются компонентами биосферных процессов: окислительно-восстановительных реакций, почвенного «дыхания», вулканической активности. Одновременно биосфера обладает грандиозными защитными механизмами, направленными на нейтрализацию избыточных ингредиентов посредством усиления фотосинтеза, карбонатонакопления, объединения подвижных форм различных химических элементов в труднорастворимые соединения и т. д. Эти природные механизмы весьма эффективны и целесообразны. В связи с этим, по мере необходимости, свободные и излишние объемы газов и аэрозолей постоянно изымаются из тропосферы и переводятся либо в дополнительную первичную продукцию (урожай), либо связываются в почвенных и донных отложениях различного минерального состава.

Современные погодные риски. Необходимо коснуться еще одного аспекта, связанного с состоянием погодной ситуации, которая в наши дни характеризуется повсеместными проявлениями «рекордных», прежде всего гидрометео-

рологических, явлений (сильные ветры, обильные осадки, температурные экстремумы и др.). Ряд исследователей считает их активизацию результатом начавшегося глобального антропогенного потепления, которое способно нарушить существующее природное равновесие. Однако имеются и другие точки зрения. Около трех десятилетий тому назад было обосновано положение о неизбежном нарастании природных «сюрпризов и аномалий» как ответной реакции сложной системы «биосфера» на антропогенную трансформацию потоков вещества и энергии в ее пределах [1]. В связи с принципиальностью момента приведем одну из оригинальных обобщающих цитат: «Наблюдаемая глобальная дестабилизация погодных условий является реакцией биосферы на свершившуюся и продолжающуюся антропогенную деградацию ландшафтной среды и дает основание для предположения об усилении этих процессов в ближайшей перспективе» [1].

Схема возникновения дополнительных нежелательных природных явлений следующая. Повсеместная антропогенная трансформация ландшафтов, включая их загрязнение, а также изменение природного альбено поверхности суши и Мирового океана, ведет к нарушениям в количестве поступающей солнечной энергии и к изменениям ее перераспределения последствием воздушного переноса. Как известно, нижняя тропосфера – весьма динамичная и одновременно сбалансированная система, которая обеспечивает четкую сезонную и суточную смены температуры и влажности воздуха. В этой связи даже локальные антропогенные воздействия на ландшафты способны посредством положительной обратной связи усиливать и одновременно дестабилизировать ее функционирование в отдельных частях. В результате осуществляются резкие нарушения в характере устоявшихся приземных атмосферных процессов,

что в одних регионах способствует усилению перемещения воздушных масс (ураганы, шторма, бури), приводящих к неожиданным ливням, обильным снегопадам и, соответственно, возникновению наводнений. Одновременно в других частях света проявляются компенсирующие явления: сокращение количества осадков и уменьшение влагообеспеченности ландшафтов, повышение в их пределах температуры воздуха, формирование засух, пожароопасных ситуаций и т. д.

Понятно, что с биосферных позиций перечисленные явления весьма целесообразны. Во-первых, механически гасится избыточная энергия, увеличение которой может привести к общему нарушению теплового баланса, нежелательному для живого. Во-вторых, осуществляется перемешивание, дробление, разбавление, а также связывание дополнительных и посторонних примесей (как природного, так и техногенного происхождения), что способствует самоочищению отдельных природных сред и биосфера в целом. А это обеспечивает ее дальнейшее жизнеобеспечивающее функционирование.

Заключение. Поскольку в обозримом будущем никаких кардинальных изменений в характере взаимоотношения «общество–природа» не просматривается, то и антропогенное воздействие на природные процессы будет усиливаться. В этой связи с неизбежностью будет происходить ответное нарастание нежелательных природных явлений, которые будут случаться все чаще, а их амплитуды будут усиливаться [1, 2]. Погодные «сюрпризы и аномалии» последних лет повсеместно подтверждают этот вывод, что не только доказывает эффективность защитных механизмов биосфера по гашению излишней техногенной активности, но и сулит цивилизации новые риски.

Литература

1. Кадацкий, В. Б. Климат как продукт биосферы / В. Б. Кадацкий. Минск, 1986.
2. Лепешев, А. А. Тенденция оживления эрозионной деятельности на территории Республики Беларусь / А. А. Лепешев, В. Б. Кадацкий // Весці БДПУ. Серыя 3. 2007. № 1 (51). С. 59–62.
3. Сторожук, А. Ю. Проблема определения соответствия теории фактам / А. Ю. Сторожук // Философия науки. 2003. № 1 (16). С. 89–101.
4. Турманова, В. И. Растения рассказывают / В. И. Турманова. М., 1987.
5. Хайн, В. Е. О некоторых актуальных проблемах методологии геологических наук / В. Е. Хайн, А. Г. Рябухин, А. А. Наймарк // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 4. Геология. 2010. № 4. С. 3–11.

Государственный педагогический университет им. М. Танка

Поступила в редакцию 03.03.2014 г.

В. Б. Кадацкий, А. А. Лепешев

ПРИРОДНЫЕ РИТМЫ, КЛИМАТИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ И ПОГОДНЫЕ РИСКИ

Статья посвящена теме смены природно-климатических ритмов в биосфере, генезис, масштабы и соподчиненность которых продолжают оставаться дискуссионными. Тем не менее их изменения никогда не препятствовали эволюции живого. На этом фоне современное потепление в умеренных и высоких широтах Северного полушария можно рассматривать не как результат антропогенного «парникового эффекта», а как очередную естественную вариацию, которая была намечена палеоботаническими исследованиями еще в начале минувшего века. Что касается современного нарастания погодных «сюрпризов и аномалий», то они свидетельствуют о способности саморегулирующейся системы «биосфера» реагировать на результаты негативных антропогенных воздействий, происходящих в ее пределах и «подавлять» их. По сходному сценарию можно ожидать дальнейшее усиление подобных процессов.

B. Kadatsky, A. Lepeshev

NATURAL RHYTHMS, CLIMATIC VARIATIONS AND WEATHER RISKS

Article is devoted to the change of climatic rhythms in the biosphere, the genesis, scope and subordination of which continues to be controversial. Nevertheless, their changes never prevented the evolution of living. Against this background, the current warming in temperate and high latitudes of the Northern Hemisphere can be seen not as the result of anthropogenic «greenhouse effect» and another as a natural variation, which was scheduled by palaeobotanical studies in the early last century. As for the rise of modern weather «surprises and anomalies», they demonstrate the ability of self-regulating system «biosphere» to respond to the negative results of human activities occurring within it and «suppress» them. On a similar scenario can be expected to further strengthen these processes.

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

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЭДАФИЧЕСКИЕ И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ В ИЗМЕНЧИВОСТИ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА СОСНЫ

В статье анализируется влияние региональных эдафических и климатических факторов на изменчивость радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*) в Белорусском Полесье.

Введение. Региональной особенностью ландшафтов Белорусского Полесья является то, что их литофацциальной основой на преобладающей площади региона являются третичные кварцевые пески, перемытые и переотложенные водно-ледниками потоками, речными и озерными водами в четвертичное время. То, что эта горная порода подстилает торфянную залежь на полесских болотах, было известно давно, еще в XIX в. [17] Однако при изыскательских работах, обеспечивающих принятие проектных решений по мелиоративному освоению болот и заболоченных земель, и при научных исследованиях по оценке экологических последствий их выполнения данная региональная особенность не учитывалась.

Кварцевые пески как почвообразующая порода не включают глинистых минералов, которые необходимы для возникновения почвенного поглощающего комплекса. По этой причине происходит быстрая полная сработка маломощных торфяников, преобладающих на освоенных массивах, до образования «седых» пашен, у которых пахотный горизонт представляет смесь кварцевых песков и торфа, содержание последнего быстро сокращается. К тому же, кварцевые пески обладают повышенной порозностью и малой водоудерживающей способностью, являясь, по существу, решетом, через которое инфильтруются атмосферные осадки вместе с продуктами разрушения торфа.

Автоморфные, только атмосферного увлажнения, почвы на кварцевых песках отличаются исключительной бедностью. Набор факторов, лимитирующих радиальный прирост деревьев на них, ограничен. Эти своеобразные почвы не учитываются также при перспективе ведения лесного хозяйства с искусственным (лесные культуры) возобновлением нового поколения древостоя.

Хорологически ландшафты на кварцевых песках включают болотно-карбонатно-солончаковый и мезотрофно-болотно-дерновый ландшафтно-мелиоративные комплексы (по В. Н. Киселеву [10]), распространяясь за их пределы в большинстве своем на песчаные междуречья, занятые в основном сосновыми насаждениями.

Среди современных проблем в лесном хозяйстве выделяется проблема, которая вызвана динамикой климатических условий, оказывающей влияние на состояние и стволовую продуктивность пород-лесообразователей. Изменчивость климата выдвигает ряд задач экологической направленности.

Осушение и освоение болот и заболоченных земель привели к практически полной трансформации природной среды региона, что должно было отразиться на состоянии лесов, рост и развитие которых протекает также под влиянием климатических факторов. Выделить климатический фактор в их динамике чрезвычайно сложно, так как обнаружить на Полесье великовозрастные насаждения трудно по причине сплошных рубок в XIX и XX вв., как и найти территории, на которых не выполнялась осушительная мелиорация, или они не оказывались в зоне искусственного снижения грунтовых вод.

Постоянное подчеркивание роли осушительной мелиорации в изменении природной среды не способствует решению возникающих проблем с охраной и воспроизводством земельных и лесных ресурсов. В частности, широко распространено мнение, что многие беды экологического порядка в лесном хозяйстве, включая усыхание ели и угнетение сосны, вызваны осушением болот и заболоченных земель. Однако изменение географических условий на заключительном этапе мелиоративных работ является продолжением естественной динамики его обводненности в предшествующие столетия.

Радиальный прирост – объективный индикатор происходящих изменений в природной среде, существенно нивелирующий субъективный фактор, связанный с личностным восприятием ее изменений. Его изменчивость маркирует состояние не только лесных экосистем, но и природной среды в целом, оказывающей прямое или косвенное влияние на все аспекты хозяйственной деятельности человека. Здесь важно понять сам механизм воздействия на него региональных (для Полесья) факторов, чтобы предотвратить, если будет возможным, вероятные угрозы, которые могут быть вызваны изменчивостью климата и антропогенным влиянием.

Целый ряд естественных явлений или явлений, возникших в результате антропогенного воздействия, связанных с современным состоянием природной среды, пока не получили надежного аргументированного объяснения. В частности, нерешенной проблемой остается выяснения причин прогрессирующего снижения, начиная с 1960-х гг., стволовой продуктивности сосны и снижения экологической устойчивости ее насаждений.

Материалы и методика исследования.

Главенствующей лесообразующей породой на почвах, развитых на кварцевых песках в Белорусском Полесье, являются сосна обыкновенная, или лесная (*Pinus sylvestris* L.), относящаяся к светолюбивым растениям. Как известно, светолюбивые растения нуждаются в ярком рассеянном освещении [3].

Выявление особенностей формирования радиального прироста ее древесины в условиях флюктуаций и современных трендов изменения климата Белорусского Полесья выполнялось в соответствии с концепцией и методикой дендроклиматических исследований [2, 4]. Исследования проводились на выбранном по материалам лесоустройства тест-полигоне, который расположен в лесном массиве Светлогорского лесхоза, равноудаленном на 3 км на юго-восток от села Великий Лес и на северо-восток от села Залье, на первой надпойменной террасе реки Ипы, канализированной еще Западной экспедицией И. И. Жилинского в последней четверти XIX в. Последнее переустройство мелиоративной сети осуществлено в начале 1960-х гг.

Образцы древесины (керны) отбирались возрастным буравом на высоте 1,3 м. Величина текущего радиального прироста сильно варьирует. Для исключения индивидуальных особенностей отдельных деревьев проводилось осреднение данных по нескольким модельным деревьям, принадлежавшим к одной возрастной серии (группе). Модульные коэффициенты вычислялись с применением пятилетнего скользящего сглаживания.

Как показал опыт дендроклиматических исследований, достаточно не менее 10 образцов древесины для получения надежной осредненной информации по радиальному приросту [15]. Получить столько образцов от великовозрастных деревьев (более 100 лет) не представлялось возможным по причине их ограниченного количества. Ряды годичных колец одиночных деревьев в этом случае рассматривались как уникальные по продолжительности и другим признакам. На образцах их древесины нами измерялась ширина колец, так как погодичная изменчивость ширины ранней и поздней древесины тесно связана с изменением годичного слоя в целом [8].

Тест-полигон включал два сопредельных тест-участка в сосновке мшистом и сосновке черничном. Сосновка мшистый с разновозрастным древостоем и крайне бедным напочвенным по-

кровом с доминированием мха Шребера занимает автоморфные дерново-подзолистые слаборазвитые почвы на мелкозернистых кварцевых песках со следующими горизонтами: лесная подстилка A_0 (0–1 см), элювиально-гумусный A_1A_2 (1–24 см, пылеватый, монотонный светло-серый) и материнская порода, слабо затронутая почвенными процессами, BC (24–200 см, рыхлый, беловато-светло-желтоватый).

В сосновке черничном, расположеннном по рельефу на 1,0–1,5 м ниже, преобладают редко стоящие крупномерные деревья, под которыми среди кустарников доминирует усыхающая крушина ломкая, в подросте – отдельные угнетенные экземпляры дуба черешчатого, березы бородавчатой и ели. Почва – полугидроморфный илювиально-гумусово-железистый подзол под достаточно мощной (8–12 см) подстилкой на кварцевых песках со следующими горизонтами: A_1A_2 (10–24 см, темно-серый до черного с белесой присыпкой); A_2 (24–39 см, белесый); B_h (39–51 см, темно-бурый, плотный, глыбистый); B_{2g} (51–80 см, оранжевый) и B_{3g} (беловато-светло-желтый с редкими оранжевыми пятнами). Майский уровень грунтовых вод – на глубине 1,6 м (влияние мелиоративной сети) – значительно ниже, чем у этого типа леса на немелиорированных территориях.

До крупномасштабной осушительной мелиорации ландшафты Белорусского Полесья находились на капиллярно-гидроморфной стадии развития, что отразилось не только на формировании гидроморфных почв (в данном случае илювиально-гумусово-железистого подзола), но и на стволовой продуктивности лесообразующих пород. Таксационные характеристики древостоя сосны на исследованных тест-участках тому подтверждение. После осушительной мелиорации песчаные гидроморфные почвы оказались с измененным водным режимом в результате понижения грунтовых вод и, следовательно, зоны увлажнения при их капиллярном поднятии. Современные лесные сообщества после смены поколений образующих их древесных пород развиваются уже в новых условиях увлажнения при изменяющемся климате.

Сведения о тестированных деревьях представлены в табл. 1, а многолетний ход изменчивости их радиального прироста на рис. 1, 2.

Таблица 1. Сведения о тестированных деревьях

Тип леса	Возраст, лет	Количество деревьев	Диаметр, см	Высота, м
Сосновка мшистый	190	2	54–58	26
	150	9	52–58	26
	115	14	40–54	22–24
	75	14	32–40	16–22
Сосновка черничный	155	1	74	32
	135	10	56–72	28–32
	100	16	40–56	22–26

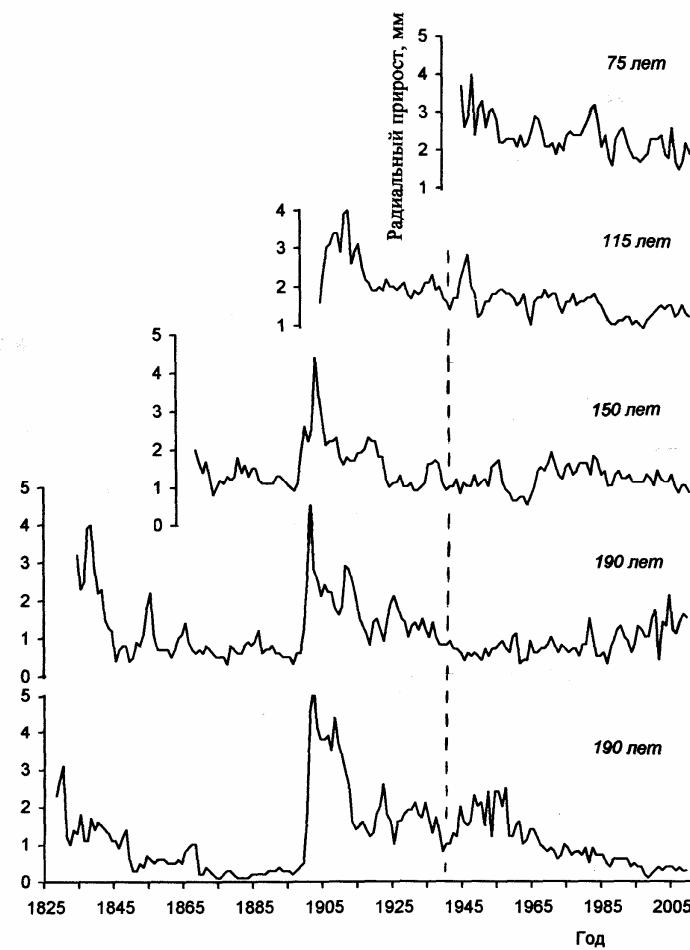


Рис. 1. Многолетний ход изменчивости радиального прироста сосняка мшистого; 75 лет и др. – возрастные серии деревьев. Штриховой линией показан 1940 г.

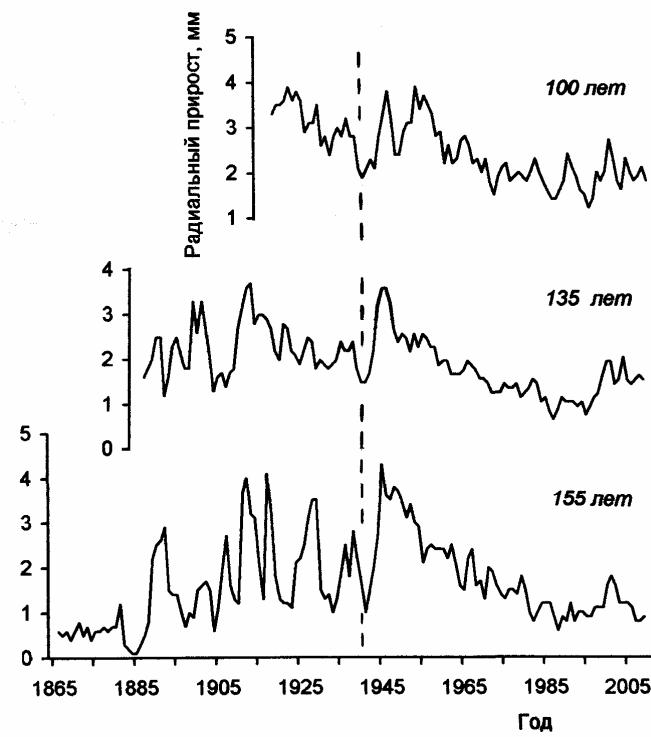


Рис. 2. Многолетний ход изменчивости радиального прироста сосняка черничного

Статистическая обработка данных выполнялась с использованием пакета программ для автоматизации статистических исследований SPSS. Для оценки уровня синхронности между дендрохронологическими рядами внутри полигона и на разнесенных полигонах рассчитывался межсерийный коэффициент линейной корреляции Пирсона.

Влияние климатических факторов (температуры и осадков) на стволовую продуктивность древостоя в исследуемых насаждениях оценивалось по коэффициенту корреляции между их значениями и фактическим радиальным приростом, так как у сосны отсутствует выраженная кривая большого роста [5].

Региональные дендрохронологические исследования с применением спектрального анализа выявляют 2–4-, 6–8-летние и другие короткопериодичные циклы. Однако их природа во временном климатическом аспекте трудно объяснима [1, 19]. Короткопериодичные циклы вызываются периодичностью семеноношения. Процессы взаимоотношения прироста и плодоношения у древесных растений взаимосвязаны и могут обусловливаться климатическими факторами.

Образование плодов и семян снижает интенсивность роста деревьев (в годы обильных урожаев годичные кольца имеют минимальную ширину), что связано, очевидно, с расходом питательных веществ на репродуктивные органы, а также, возможно, с действием ингибирующих веществ, вырабатываемых созревающими плодами и семенами. Чередование процессов интенсивного и замедленного роста порождает его ритмичность [21]. По этой причине выявленные нами спектральным анализом такие короткопериодичные циклы в дендроклиматическом аспекте не анализировались.

Для количественной характеристики межгодичных колебаний радиального прироста древесных растений под влиянием климатических факторов был рассчитан коэффициент чувствительности Кч, который показывает степень воздействия данных факторов на изменение величины прироста [25]. Древесные породы обладают определённой стабильностью прироста, в связи с чем незначительное влияние какого-либо фактора в достаточной степени не проявляется и, как правило, не фиксируется при исследовании [22]. Для выявления влияния экологических факторов мы оперировали фактическими значениями радиального прироста как по каждому дереву (для выявления индивидуальной реакции великоговорастных деревьев), так и средними значениями по группе деревьев (для выявления групповой реакции или реакции насаждения).

В дендроклиматологии основными факторами изменчивости радиального прироста определены температура воздуха и осадки, о чём

свидетельствуют многочисленные публикации. Для дендрохронологических и дендроклиматических обобщений привлечены наблюдения на метеостанции Василевичи за температурой воздуха и осадками, начатые в 1890 г., а также сведения А. И. Войкова [6] о климате региона (осадки за 1879–1890 гг. пересчитаны с поправочным коэффициентом 1,3 [12]).

В дендроклиматологии нередко применяются следующие периоды роста: май–июнь, май–июль, май–август [26]. Анализ временной изменчивости метеофакторов (температуры воздуха и осадков) выполнен для следующих периодов гидрологического года, начало которого 1 октября (далее по тексту года): мая–июня (активный рост древесных растений), мая–сентября (вегетационный период), октября–апреля (безлистственный период, период покоя).

Обсуждение результатов. В климате Полесья, как и во всей республике, за историю инструментальных наблюдений на метеостанциях Белгидромета, начиная с 1880-х гг. (в пересчете на гидрологический год), было выделено две эпохи (до и после 1940 г.), различающиеся по условиям увлажнения: влажная (после 1891 г.) и неустойчиво влажная (с меньшим количеством осадков), в последней из них – две фазы (до и после 1976 г.): похолодания и потепления [12]. Эти фазы полностью отвечают изменению климата на Русской равнине. Похолодание в 1945–1976 гг. было незначительным. С 1977 г. началось быстрое потепление. Согласовалось оно с быстрым ростом суммарной годовой продолжительности меридиональной южной циркуляции, т. е. стремительным выходом циклонов из низких широт в высокие. Максимум ее продолжительности составил 201 день (при средней в 46 дней) и держался на высоком уровне по 1997 г. (179 дней). В 1998–2010 гг. на Русской равнине наступил следующий период потепления с более высоких стартовых позиций при стабилизации среднегодовой температуры Северного полушария [14].

Хронология радиального прироста двух 190-летних деревьев является уникальной для Белорусского Полесья, так как после сплошных рубок в XIX и XX вв. деревья такого возраста обнаружить крайне затруднительно. Высокое значение ширины их годичных колец в 1828 и в 1835 гг. не противоречит высокой стволовой продуктивности другой хвойной породе в регионе – ели в первой половине XIX в. [24].

Продолжительное (около 30 лет) угнетение радиального прироста 190- и 150-летних сосен до начала 1890-х гг. отражает ухудшение климатической ситуации в республике при окончании малой ледниковой эпохи. По всей видимости, это угнетение укладывается в максимальное похолодание 1857–1891 гг. на Русской равнине в холодный период 1573–1891 гг. [20]. Подобная си-

туация сложилась и для хвойных лесов практически на всей территории страны [24].

Очевидно, угнетение радиального прироста сосны 190- и 150-летних поколений на кварцевых песках с автоморфными почвами произошло из-за неблагоприятной климатической обстановки, связанной с окончанием малой ледниковой эпохи. Максимальное угнетение этих старейших деревьев было в тридцатилетие с 1867 по 1897 г. Радиальный прирост сократился до 0,1–0,3 мм – до значений, свойственных сосне на верховых болотах [24], и в большинстве лет совпал со временем работы Западной экспедиции по осушению болот под руководством И.И. Жилинского и Е. В. Оппокова в 1873–1898 гг.

По наблюдениям на метеостанции Васильевичи безлистенный период (октябрь–апрель) 1879–1897 гг. был холодным (средняя температура -0,7 °C при средней многолетней -0,2 °C), в то время как температурные условия месяцев активного роста (15,4 °C) и вегетационного периода (15,8 °C) отвечали средним многолетним (соответственно 15,4 и 15,7 °C).

Увлажнение данного тридцатилетия отличалось контрастностью. После аномально сильных засух 1868 и 1874 гг., 1876–1879 гг. были дождливыми – болота переполнены водой, яровые хлеба и сенокосы затоплены [16]. После 1879 г. (708 мм осадков) наступило засушливое десятилетие 1880–1889 гг. – в среднем за год выпадало 486 мм осадков при норме 645 мм. Особенно засушливыми были 1881 г. (360 мм) и 1882 г. (362 мм). Менее засушливыми оказались 1883 г. (460 мм), 1884 г. (477), 1886 г. (450), 1888 г. (423) и 1889 г. (471 мм). Именно эта погодная аномалия породила острую дискуссию о климатических последствиях осушения полесских болот (засуха 1891 г. в земледельческой части России) и обмеления рек (особенно Днепра), которая отголосками сохранилась до сих пор [10]. Свидетельством крайне контрастных погодно-климатических условий, особенно сильных засух, выступает угнетенное состояние сосны на кварцевых песках, не способных компенсировать эти лимитирующие условия своим низким плодородием.

Несмотря на то, что в последующие 12 лет (1890–1901 гг.) количество осадков увеличилось (в среднем за год до 648 мм, что соответствует норме) и температурные условия отвечали средним многолетним, угнетение насаждения не прекратилось. «Взрывной» скачок радиального прироста начался в 1902 г., в котором осадки (742 мм) на 189 мм превысили их значение в предшествующем засушливом году (553 мм). Наибольший прирост сосны в возрасте 190, 150 и 110 лет продолжался в течение 1902–1910 гг., хотя его спад у деревьев этих возрастов заканчивался неодновременно. Вершина «взрыва» проявилась так же неодновременно – у 190-летних деревьев в 1902 г. (4,6 мм), у 150-летней группы в 1903 г. (4,4 мм) и у

115-летних в 1910 г. (3,9 мм). Эта череда лет (1902–1910 гг.) характеризуется повышенной увлажненностью: в среднем за год выпадало 775 мм осадков (за вегетационный период 411 мм, за безлистственный 364 мм) с рекордным количеством в 1906 гидрологическом году (1097 мм, в календарном году 1115 мм) что, очевидно, послужило наиболее благоприятным экологическим фактором для сосны на автоморфных почвах с кварцевыми песками. Температурные условия были на 0,2 °C холоднее средних многолетних. Несмотря на «взрывной» характер, его максимальное проявление не превысило значений радиального прироста для насаждений сосны этого типа на эдафотонах атмосферного увлажнения в других регионах республики [24].

Максимально возможный радиальный прирост отрицательно связан с предшествующим его значением: дерево с небольшим приростом при улучшении условий увеличивает его во много раз, в то время как дерево с большим приростом не имеет такой возможности [28]. Резкое усиление радиального прироста деревьев в экологическом оптимуме происходит также из-за улучшения условий, связанных с гибеллю соседних деревьев [27, 29]. «Взрывы роста» могут вызываться восстановительными и возрастными сменами, а также явлениями возрастного развития самих древостоя [13]. Подобного скачка в радиальном приросте сосны в других эдафотонах на территории страны не обнаружено [24], хотя они не исключаются.

Очевидно, что в онтогенезе сосны на кварцевых песках главное значение принадлежит условиям влагообеспеченности. Только обильные осадки в состоянии заметно увеличить содержание влаги в них. Отсутствие осадков вызывало общее угнетение древостоя. Выход из относительно холодного климата с продолжительной засухой в оптимальные гидротермические условия явился основной причиной многократного увеличения радиального прироста сосны на почвах с кварцево-песчаным литологическим профилем. При этом не исключается гибель отдельных угнетенных деревьев в неблагоприятных условиях или их частичная вырубка.

Нельзя исключать вероятное изменение увлажненности почвы на кварцевых песках в результате снижения зоны капиллярного поднятия грунтовых вод после осушения сопредельных болот в XIX и XX вв. Сокращение осадков в неустойчиво влажную климатическую эпоху, наступившую после 1940 г., обострило дефицит влаги, определив невысокую столовую продуктивность сосны независимо от температурных условий. Ее низкие показатели были как при похолодании (до 1976 г.), так и при потеплении (после 1976 г.).

В многолетней изменчивости глубокое (до 0,1 мм) угнетение радиального прироста у сосны черничного (см. рис. 2) отмечено в 1884–

1885 гг. после взрыва вулкана Krakatau в 1883 г. (у старейшего 155-летнего дерева). Безлистенный период холодного 1884 г. (-5,3 °C) был одним из самых морозных (-2,8 °C) за историю инструментальных наблюдений на метеостанции Василевичи. Угнетение древостоя у 135-летней группы деревьев в пятилетие после 1906 г., очевидно, вызвано продолжительным переувлажнением эдафотопа с приповерхностным залеганием грунтовых вод.

Депрессия прироста в холодное начало

1940-х гг. выражена более четко, чем у сосновка мшистого. В условиях влажной климатической эпохи изменчивость радиального прироста в этом биогеоценозе была более контрастной, чем у сосновка мшистого. Наибольшая стволовая продуктивность возникла в 1950-е гг., сокращаясь к концу XX в. с малоамплитудными подъемами и падениями. Коэффициент чувствительности сосны к климатическим факторам (табл. 2) был наибольшим до 1905 г. (для одиночных деревьев он и стандартное отклонение не определялись).

Таблица 2. Чувствительность сосны к климатическим факторам и стандартное отклонение σ ее индексового прироста

Тип леса	Возраст, лет	Коэффициент чувствительности КЧ			Стандартное отклонение σ			
		до 1905 г.	1906–1940 гг.	1941–1976 гг.	после 1976 г.	до 1905 г.	1906–1940 гг.	1941–1976 гг.
Сосновка мшистый	150	0,38	0,18	0,33	0,25	15,2	12,1	14,5
	115	-	0,21	0,24	0,16	-	8,9	11,9
	75	-	-	0,26	0,25	-	-	10,7
Сосновка черничный	135	0,41	0,24	0,18	0,28	21,4	10,8	7,5
	100	-	0,17	0,26	0,28	-	8,1	10,2
								16,3

Чувствительность сосновка мшистого с наименьшими значениями в условиях влажного климата 1905–1940 гг. незначительно увеличилась при сокращении осадков с наступлением неустойчиво влажной климатической эпохи. Дисперсия (стандартное отклонение σ) индексового прироста в выделенных временных отрезках с различающейся климатической ситуацией изменилась мало. Только у сосновка черничного эти показатели реакции на изменчивость климатических условий были наибольшими при потеплении после 1976 г.

Нельзя отрицать пополнение грунтовых вод атмосферными осадками и их влияние на увлажненность корнеобитаемого горизонта. Однако плотный иллювиально-гумусово-железистый слой не проникает для корней сосны, почти вся масса которых сосредоточена в верхнем элювиально-гумусовом горизонте [9].

Для нарастания стволовой массы большое значение имеет минеральное, особенно азотное, питание древесных растений. После понижения грунтовых вод, сопровождающего осушительную мелиорацию, увеличение годичного прироста может происходить за счет вовлечения минеральных ресурсов почвы в корневое питание, потребность в котором возросла с потеплением климата. В минеральном питании растений особое значение принадлежит азоту – важнейшему элементу, который контролирует фотосинтез [18].

В частности, азотные удобрения у части деревьев в насаждении в зависимости от климатических факторов увеличивают интенсивность деятельности камбия, а также способствуют удлинению периода его активности. В результате чего у удобренных деревьев в тече-

ние вегетационного периода формируются более широкие годичные кольца по сравнению с контролем [23].

Наиболее плотно микроорганизмами заселена подстилка, в которой четко выражена сезонная динамика ее численности и биомассы [7]. В исследованном сосновке черничном, как отмечалось, мощность подстилки составляет 8–12 см. Изменение жизненного состояния сосны, очевидно, вызвано сезонной динамикой микробиологической активности почвы в череде возникших при потеплении климата зим с малоснежным покровом или без него.

Фактический прирост сосновка черничного в отличие от сосновка мшистого положительно статистически значимо коррелировал с температурой воздуха и осадками безлистенного периода в текущем и следующем году и, как следствие, гидрологического года в целом (табл. 3). Такую двухлетнюю реакцию сосны на изменение этого климатического фактора выявил А. И. Русаленко, привлекая ее индексовый прирост [22], что, по всей видимости, связано с двухлетней продолжительностью жизни хвои, которая опадает на третий год. Причем повышение температуры и осадков в месяцы активного роста и за вегетационный период оказывало негативное влияние на ее стволовую продуктивность в полугидроморфном эдафотопе.

Положительная реакция сосны на температуру безлистенного периода при потеплении климата указывает на возросшее значение данного периода для состояния и продуктивности лесных биогеоценозов черничного типа, как на Полесье, так и на остальной территории республики [24]. Следует отметить, что такая же прямая зависимость прироста от этих метеофакторов

возникала и у ели в «островных» локалитетах с иллювиально-гумусово-железистым подзолом [11]. На автоморфных слаборазвитых почвах с кварцевыми песками, как отмечалось, только обильные осадки в течение нескольких лет вызывали возмущения в дендрометрических рядах.

Изучение изменчивости радиального прироста сосны на почвах с литологическим профилем из кварцевых песков и с ограниченным набором лимитирующих экологических факторов показало, что биопродукционный процесс в ее насаждениях контролируется климатическими условиями даже при слабом минеральном питании.

Современное изменение климата с сокращенными осадками создает серьезную проблему ведения лесного хозяйства на территориях с

кварцевыми песками. Сосна в плужных бороздах на вырубках и на сельскохозяйственных землях после передачи их лесному хозяйству заранее обречена на борьбу за выживание. И эта борьба не всегда приводит к успеху (рис. 3). В результате формируются насаждения полупустынного облика (рис. 4). В экстремальных условиях никакая другая древесная порода, кроме сосны, выжить не может. Такая смена поколений леса указывает на то, что самой природой Полесья определены ограничения в использовании ее лесных и земельных ресурсов. Для сохранения экологического значения сосновых лесов на кварцевых песках, как представляется, необходимо сократить их роль в лесопромышленных целях не зависимо от вероятных изменений климата.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции ($r = 0, \dots$) радиального (мм) прироста сосны с температурой воздуха и осадками после 1976 г. ($n = 35$)

Возраст, лет	Период	t °C		Осадки	
		текущий	следующий	текущий	следующий
		$r = 0,..$	$r = 0,..$	$r = 0,..$	$r = 0,..$
Сосняк мшистый					
150	Безлистенный	05	13	-03	-06
	Май–июнь	-11	13	05	-06
	Вегетационный	-27	-07	05	-05
	Год	-06	07	-12	-08
115	Безлистенный	04	-02	20	11
	Май–июнь	-13	04	-21	-23
	Вегетационный	-02	04	-24	-31
	Год	-01	-03	-09	22
75	Безлистенный.	18	31	19	02
	Май–июнь	-08	00	-06	-18
	Вегетационный	-13	04	04	-21
	Год	10	26	15	-18
Сосняк черничный					
135	Безлистенный	36	39	60	41
	Май–июнь	-24	-07	-25	-39
	Вегетационный	12	24	-22	-41
	Год	34	41	19	-11
100	Безлистенный	56	50	47	38
	Май–июнь	-34	-17	-25	-11
	Вегетационный	-16	22	-10	-37
	Год	43	50	34	21

Примечание. Полужирным начертанием выделены значения коэффициента корреляции при $P = 0,95$, полужирным курсивом – при $P = 0,99$, подчеркнутым полужирным курсивом – при $P = 0,999$.

Заключение. Региональные эдафические особенности Белорусского Полесья, заключающиеся в преобладании почв с кварцево-песчаным литологическим сложением, отразились в реакции сосны – основной лесообразующей породы в этом регионе на динамику погодно-климатических условий. Локальные различия (соседство автоморфных и полугидроморфных почв) определили различия в связи ее радиального прироста с климатическими факторами.

Изменение климата в XX в. (от влажного к

неустойчиво влажному, от похолодания к потеплению) слабо отразилось в общем ходе многолетней изменчивости угнетенного радиального прироста у сосняка мшистого на автоморфной почве, хотя и вызывало возмущения в дендрохронологиях. Максимальное угнетение его отмечено при завершении малой ледниковой эпохи. Температурные условия и осадки безлистенного периода прибрели важнейшее значение для стволовой продуктивности сосняка черничного на полугидроморфном иллювиально-гумусово-

железистом подзоле при потеплении климата после 1976 г. с участившимся появлением мало-снежных зим.

Насаждения сосны на почвах с кварцево-песчаным литологическим сложением будут находиться в постоянном угнетении при альтернативных сценариях дальнейшего изменения климата (потепления или похолодания). При вероятности сокращения осадков не исключена их

полная деградация при смене поколений леса путем искусственного возобновления в изменившихся гидрологических условиях после крупномасштабной осушительной мелиорации. В данном случае существуют ограничения по использованию лесных ресурсов в народном хозяйстве, допускающие только выборочные рубки и ограничивающие практикующуюся высадку саженцев в плужные борозды.



Рис. 3. Опасность угнетения культуры сосны на автоморфной почве с кварцевыми песками реальна



Рис. 4. Вероятный сценарий конечного развития культуры сосны на кварцевых песках Белорусского Полесья в изменяющихся климатических условиях при уменьшении его увлажненности

Литература

1. **Балябина, А. Н.** Климатические факторы динамики радиального прироста хвойных деревьев в лесных фитоценозах Прибайкалья : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.23 / А. Н. Балябина. Иркутск, 2002.
2. **Битвинскас, Т. Т.** Дендроклиматические исследования / Т. Т. Битвинскас. Л., 1974.
3. **Былова, А. М.** Экологические группы растений по отношению к свету и их адаптивные способности / А. М. Былова, Н. М. Чернова // Общая экология. М., 2007.
4. **Ваганов, Е. А.** Система мониторинга лесов как основа их рационального использования и устойчивого развития / Е. А. Ваганов, Ф. И. Плещиков // Сиб. экол. журнал. 1998. Т. 5. № 1. С. 3–8.
5. **Вихров, В. Е.** Основы и методы дендрохронологии / В. Е. Вихров, Б. А. Колчин // Сов. археология, 1962, № 1. С. 91–112.

6. **Воейков, А. И.** Климат Полесья / А. И. Воейков // Приложение к Очерку работ Западной экспедиции по осушению болот 1873–1898. СПб, 1899. С. 1–132.
7. **Головченко, А. В.** Сезонная динамика численности и биомассы микроорганизмов по профилю почвы / А. В. Головченко, Л. М. Полянская // Почвоведение. 1996. № 10. С. 1227–1283.
8. **Гортинский, Г. Б.** Опыт причинного анализа факторов, определяющих погодичную динамику прироста древесины / Г. Б. Гортинский // Структура и продуктивность еловых лесов южной тайги : сб. ст. Л., 1973. С. 204–222.
9. **Киселёв, В. Н.** Ландшафтно-экологические исследования Белорусского Полесья / В. Н. Киселев, К. Д. Чубанов. Минск, 1979.
10. **Киселёв, В. Н.** Белорусское Полесье: экологические проблемы мелиоративного освоения / В. Н. Киселев. Минск, 1987.
11. **Киселёв, В. Н.** Почвенный микрофлористический фактор в изменчивости радиального прироста ели / В. Н. Киселев, Е. В. Матюшевская // Лесное хозяйство. 2009. № 2. С. 22–23.
12. **Киселёв, В. Н.** Экология ели / В. Н. Киселёв, Е. В. Матюшевская. Минск, 2004.
13. **Колесников, Б. П.** Кедровые леса Дальнего востока / Б. П. Колесников. М.; Л., 1956.
14. **Кононова, Н. К.** Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзэрзееевскому / Н. К. Кононова. М., 2009.
15. **Матвеев, С. М.** Этапонные дендрохронологические шкалы ЦЧР: построение, хранение, применение / С. М. Матвеев, Ю. А. Нестеров // Вестник ВГУ. Серия география и экология. 2003, № 2. С. 77–85.
16. **Оппоков, Е. В.** Режим Днепра в связи с вопросом о влиянии на него осушения болот / Е. В. Оппоков // Метеорологический вестник, 1901. № 2. С. 452–479.
17. **Полесье** : энциклопедический словарь. Т. XXIV. Издатели Ф. А. Брокгауз, И. А. Ефрон, 1898. С. 456–458.
18. **Попова, Э. П.** Азот в лесных почвах / Э. Ю. Попова. Новосибирск, 1983.
19. **Тимофеев, А. В.** Динамика сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*) под влиянием естественных и антропогенных факторов в условиях лесостепного Поволжья : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.23 / А. В. Тимофеева. СПб, 2002.
20. **Тюрин, А. М.** Датирование Малого Ледникового Периода по естественнонаучным данным [Электронный ресурс]. Режим доступа : http://new.chronologia.org/volume5/tur_mlp.html. Дата доступа : 29.03.2011 г.
21. **Рост растений. Лесная энциклопедия** : в 2-х т. Т. 2. 1986. С. 319–320.
22. **Русаленко, А. И.** Годичный прирост деревьев и влагообеспеченность / А. И. Русаленко. Минск, 1986.
23. **Степаненко, И. И.** Вегетационная динамика формирования годичных слоев в удобренных сняках / И. И. Степаненко // Научн. труды Моск. гос. ун-та леса. 1998. № 289. С. 116–126.
24. **Хвойные леса Беларуси в современных климатических условиях (дендроклиматический анализ)** / В. Н. Киселев [и др.]. Минск, 2010.
25. **Douglass, A. E.** Climatic cycles and tree growth / A. E. Douglass. Wash. Publ. Vol. 3. 1936.
26. **Fritts, H. C.** Tree rings and climate / H. C. Fritts. Academic Press Inc. (London) Ltd., 1976.
27. **Lorimer, C. G.** A method for estimating canopy disturbance frequency and intensity in dense temperate forest / C. G. Lorimer, L. E. Frelich // Canadian Journal of Forest Research. 1989. № 19. P. 651–663.
28. **Properties of boundary-line release criteria in North American tree species** / B. F. Black [et al.]. Annals of Forest Science. 2008. N 66(2).
29. **Rubino, D. L.** Comparative analysis of dendroecological method used to assess disturbance events / D. L. Rubino, B. C. McCarthy // Dendrochronologia. 2004, № 21. P. 97–115.

**Белорусский государственный
педагогический университет им. М. Танка,
Белорусский государственный университет**

Поступила в редакцию 28.03.2014 г.

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

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЭДАФИЧЕСКИЕ И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ В ИЗМЕНЧИВОСТИ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА СОСНЫ

Региональные эдафические особенности Белорусского Полесья, заключающиеся в преобладании почв на кварцевых песках, определили реакцию сосны на динамику погодно-климатических условий. Локальные различия (соседство автоморфных и полуgidроморфных почв) определили различия в связи ее радиального прироста с климатическими факторами. Изменение климата в XX в. (от влажного к неустойчиво влажному, от похолодания к потеплению)

слабо отразилось в общем ходе многолетней изменчивости угнетенного радиального прироста у сосняка мшистого на автоморфной почве, хотя и вызывало возмущения в дендрохронологиях. Температурные условия и осадки безлистенного периода прибрели важнейшее значение для стволовой продуктивности сосняка черничного на полугидроморфном иллювиально-гумусово-железистом подзоле при потеплении климата после 1976 г. с участием появления мало-снежных зим. Насаждения сосны на почвах с кварцевыми песками будут находиться в постоянном угнетении при альтернативных сценариях дальнейшего изменения климата (потепления или похолодания). При вероятном дальнейшем сокращении осадков не исключена их полная деградация в изменившихся гидрологических условиях после крупномасштабной осушительной мелиорации. В данном случае существуют ограничения по использованию лесных ресурсов в народном хозяйстве, допускающие только выборочные рубки и ограничивающие практикующуюся высадку саженцев в плужные борозды.

V. N. Kiseljov, E. V. Matjushevskaya,
A. E. Jarotov, P. A. Mitrachovich

**REGIONAL EDAPHIC AND CLIMATIC FEATURES
OF BELARUSIAN POLESYE IN THE PINE TREE-RING GROWTH VARIATION**

Regional edaphicall features Belarusian Polesie consisting in pre- possession soil quartz sand, pine identified reaction dynamics of climatic conditions. Local differences (neighborhood automorphic and semi-hydromorphic soils), identified differences in connection with its radial growth to climatic factors. Climate change in the twentieth century (from wet to moist unstable, from cooling to warming) is weakly reflected in the general course of long-term variability of the oppressed radial growth in mossy pine forest on automorphic soils, although resented in dendrochronology. Temperature and rainfall conditions have acquired a more important period defoliated for stem pine forest productivity blueberry on semihydromorphic illuvial-humus-iron podzol under climate warming after 1976 with the advent of participants little snow winters. Pine plantations on soils with quartz sand will be in constant oppression under alternative scenarios of future climate change (warming or cooling) . When the likelihood of further reduction of precipitation is not excluded in their complete degradation of hydrogeological conditions changed after large-scale drainage. In this case, there are restrictions on the use of forest resources in the economy, allowing only selective logging practices and limiting planting of seedlings in the plow furrow.

Г. А. Камышенко

КЛИМАТИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ В ИЗМЕНЕНИИ УРОЖАЙНОСТИ КАРТОФЕЛЯ

Представлены результаты территориально-временного анализа урожайности картофеля, ее отклонений от тренда, абсолютного (центнеры на гектар) и относительного (проценты) показателя изменчивости, климатообусловленной доли продуктивности культуры. Помощью программного комплекса сформированы территориальные односвязные кластеры, позволившие выявить неоднородность по урожайности картофеля на территории страны для временного периода с 1997 по 2011 г.

Анализ урожайности сельскохозяйственных культур и современных климатических изменений свидетельствует о том, что в настоящее время основные потери в растениеводстве связаны с воздействием на посевы опасных природных явлений, таких, как засухи, заморозки, сильные ливни, град и т. д. [3, 10, 13]. При этом в районах, отличающихся более высоким уровнем культуры земледелия, последствия от неблагоприятных погодных условий на продуктивность сельскохозяйственных культур снижаются.

Другой важной причиной недобора урожая является традиционно установленная привязка основных сельскохозяйственных культур к определенным почвенно-климатическим зонам без учета происходящих климатических изменений [4, 8, 9], требующих корректировки структуры и размеров посевных площадей.

Вышесказанное свидетельствует об актуальности исследований по адаптации растениеводства к изменениям климата.

Цель исследования – территориально-временная оценка урожайности картофеля в зависимости от изменяющихся погодных условий и выявление территорий, наиболее пригодных для возделывания этой культуры.

Исследование базируется на опубликованных статистических данных Министерства статистики и анализа Республики Беларусь, представленных на уровне административных районов за период с 1997 по 2011 г. [11, 12]. Для анализа применяются картосхемы, построенные средствами ГИС-технологий, предоставляющие пользователю широкие возможности отражения, анализа и моделирования географических объектов и явлений.

Выбор картофеля в качестве исследуемой культуры обусловлен не только традиционно сложившейся важностью картофелеводства для народного хозяйства Республики Беларусь, но и изменениями, наблюдаемыми в этой отрасли. Уменьшились размеры посевных площадей, выделяемых под культуру. В 1985 г. в хозяйствах всех категорий под картофель было выделено 708,0 тыс. га посевных площадей. В течение по-

следующих 12 лет их размеры изменялись незначительно и в 1997 г. составили 700,0 тыс. га, затем последовало их снижение: в 2004 г. – до 509,0 тыс. га, а в 2011 г. – до 344,8 тыс. га, т. е. за последние 15 лет произошло двукратное сокращение размеров посевных площадей, выделенных под культуру.

Изменились и валовые сборы картофеля. Так, в 1985 г. было собрано почти 10,6 млн т, в 1997 – 6,9, в 2004, наиболее благоприятном году для возделывания сельскохозяйственных культур, валовой сбор составил 9,9, в 2011 г. – 7,7 млн т. По валовому сбору картофеля среди всех областей страны лидирует Минская.

Показатели продовольственных и сырьевых ресурсов, необходимых для обеспечения населения, исходя из научно обоснованных норм, формирования стабилизационных фондов, резервов и экспортного потенциала, должны быть таковы: зерно – 8–9 млн т; картофель – 8–9; овощи – 1,5–1,7; сахарная свекла – 2,5–2,8 млн т [2].

Согласно статистическим данным, урожайность картофеля растет, однако рост носит волнобразный характер (рис. 1), что свидетельствует о неустойчивости продуктивности культуры. Значительный недобор урожая картофеля отмечен в 2002 г., основной причиной которого явились экстремальные погодные условия (засухи) [13]. Последний спад урожайности отмечен в 2009 г. В этот год валовой сбор картофеля во всех категориях хозяйств уменьшился по сравнению с предыдущим на 18,6 % и составил 7,1 млн т. Прогнозные показатели по валовому сбору картофеля были выполнены на 77,4 %.

Ранее в [5] нами была установлена отрицательная тенденция развития процесса относительно устойчивости урожайности картофеля, свидетельствующая о том, что рост теплообеспеченности и уменьшение увлажнения территории в летние месяцы последних лет [6, 7, 10] отрицательно сказались на развитии картофелеводства в республике. Из представленного выше материала следует, что в области картофелеводства наблюдаются определенные проблемы, требующие своего разрешения. Постановлением

Совета Министров Республики Беларусь от 8 августа 2013 г. № 696 одобрен проект программы Союзного государства «Инновационное развитие производства картофеля и топинамбура», разработанный Национальной академией наук Беларусь, что свидетельствует о признании необходимости принятия мер по дальнейшему развитию картофелеводства.

С целью проведения территориально-временного анализа урожайности картофеля в период с 1997 по 2011 г. нами рассчитаны средние значения продуктивности культуры на уровне административных районов в пятилетние периоды 1997–2001, 2002–2006 и 2007–2011 гг., а также отклонения урожайности от определяемых агротехническими факторами трендовых составляющих за весь исследуемый период. Исследовался короткий временной интервал, охватыва-

ющий 15 лет, характеризующихся стабильным уровнем и положительной тенденцией развития агротехники и культуры земледелия, поэтому на графиках урожайности картофеля правомерно выделение агротехнических трендов линейного типа. Отклонения от тренда обусловлены, как правило, изменяющимися погодно-климатическими условиями. Надежность построенных трендов линейного типа по средней урожайности культуры в административных областях в период с 1997 по 2011 г. подтверждается достаточно высокими значениями коэффициента детерминации R^2 , изменяющегося в диапазоне от 0,56 до 0,73. Для административных районов значение последнего варьирует в более широком интервале, что свидетельствует о субъективности выбора единого для всех районов типа агротехнического тренда.

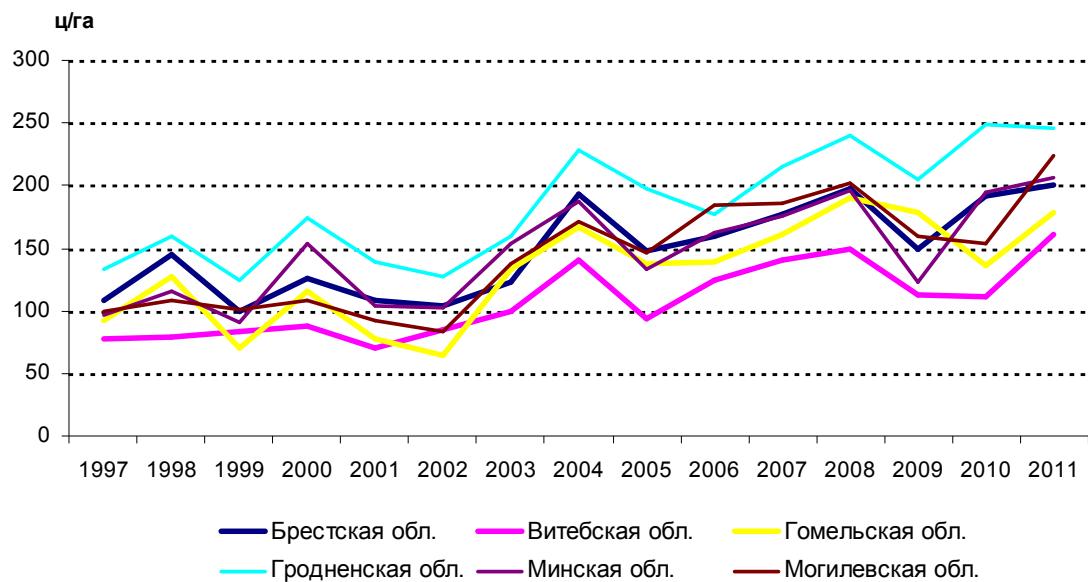


Рис. 1. Динамика урожайности картофеля в административных областях Республики Беларусь за период 1997–2011 гг.

На рис. 2 представлены картосхемы средней урожайности картофеля (а) и ее климатообусловленных отклонений от тренда в абсолютных величинах (б) в пятилетние временные интервалы 1997–2001, 2002–2006 и 2007–2011 гг.

Средняя продуктивность картофеля в республике в исследуемые пятилетние периоды составляет 107,3; 141,0 и 178,0 ц/га соответственно, т. е. построенные картосхемы различаются уровнем продуктивности. Между соседними временными отрезками выявлена положительная корреляционная связь урожайности культуры со значениями коэффициента корреляции 0,84 и 0,83.

К самым высокоурожайным по картофелю районам можно отнести Берестовицкий, Волковысский, Гродненский, Кореличский, Мостовский

и Щучинский районы Гродненской области, а также Копыльский, Клецкий и Несвижский районы Минской области, из которых два последних отличаются самыми плодородными в стране пахотными землями. На картограмме, отражающей среднюю урожайность за период 2007–2011 гг., дополнительно можно выделить Толочинский район Витебской области со средней урожайностью 334,6 ц/га, а также два района Могилевской области – Бобруйский и Кировский с урожайностью 331,6 и 283,8 ц/га соответственно. Самыми низкоурожайными районами в исследуемые периоды были Браславский, Дубровенский, Россонский и Шумилинский районы Витебской области со средней урожайностью картофеля ниже 100 ц/га.

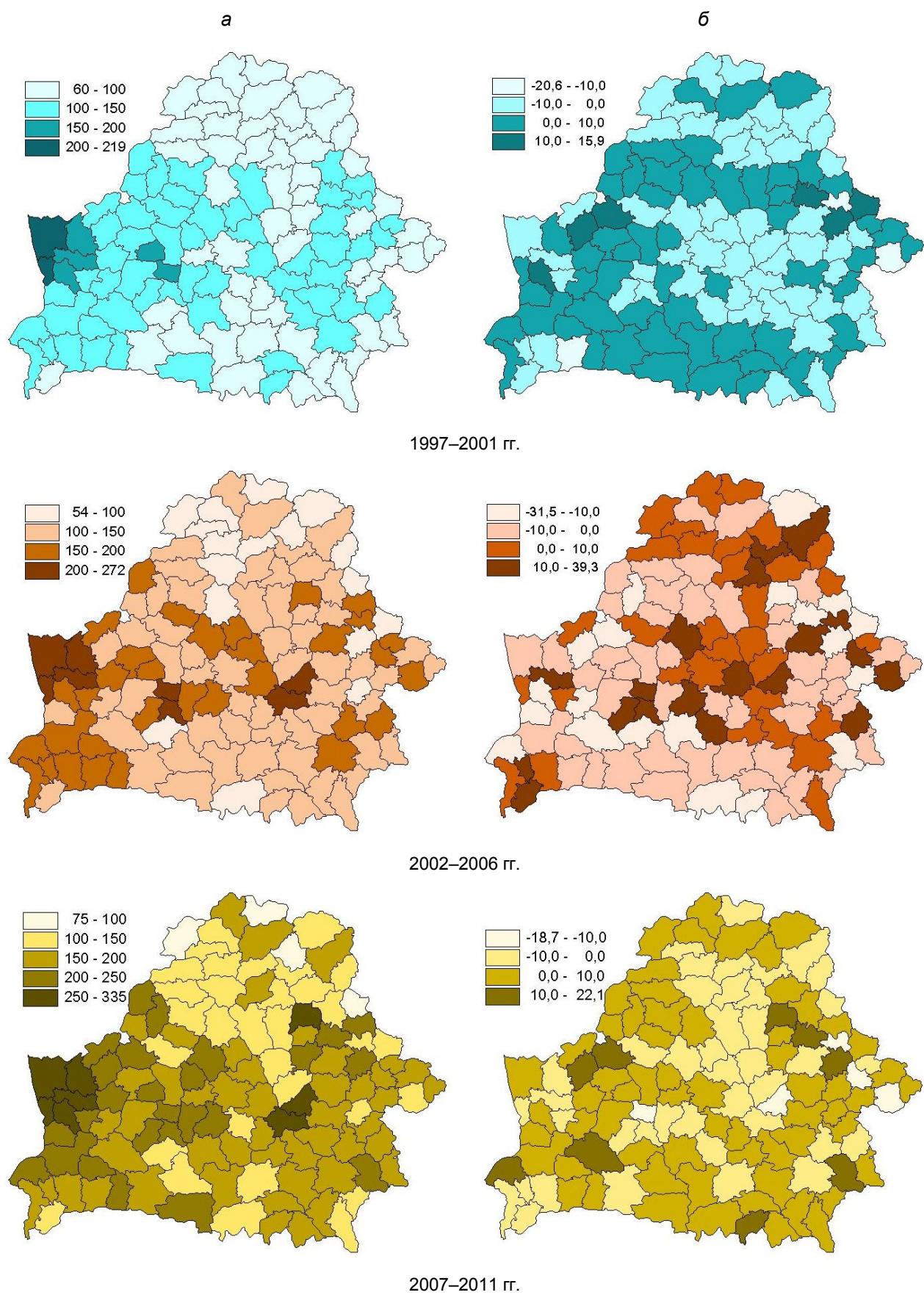


Рис. 2. Картосхемы средней урожайности картофеля (а) и ее климатоусловленных отклонений от линейного тренда (б) в пятилетние периоды 1997–2001, 2002–2006 и 2007–2011 гг., ц/га

Анализ отклонения продуктивности картофеля от линейного тренда на исследуемых временных отрезках показал, что самые значительные в абсолютном выражении климатообусловленные снижения и приrostы урожайности культуры были в 2002–2006 гг., они изменялись в диапазоне от -31,5 до 39,3 ц/га.

Коэффициент корреляции между картосхемами климатообусловленных отклонений от тренда первых двух пятилетних интервалов отрицательный и равен -0,92. Между картосхемами по второму и третьему временными отрезкам он также отрицательный и равен -0,93, что свидетельствует о тесной обратной связи между климатообусловленными отклонениями урожайности картофеля соседних временных интервалов. В большинстве административных районов отрицательные значения (снижения урожайности) предшествующего пятилетнего интервала сменялись положительными значениями (приростами), а приrostы – потерями. В частности, если в конце 90-х гг. прошлого столетия на юге страны наблюдались незначительные приrostы урожайности картофеля, то в начале первого десятилетия 2000-х гг. на этой территории отмечались потери, сменившиеся в 2007–2011 гг. на большей части Припятского Полесья климатообусловленными приростами. Такая же картина характерна для большей части территории страны. Таким образом, в последние годы наблюдается нестабильность отклонений продуктивности картофеля от технологического тренда, свидетельствующая о сложности характера зависимости урожайности культуры от изменяющихся погодно-климатических условий.

Картосхемы, отражающие отклонение урожайности картофеля от тренда, не дают полного представления о происходящих процессах. Основным абсолютным показателем изменчивости урожайности считается стандартное отклонение (или среднее квадратическое отклонение) от тренда $S_y(t)$ [1]:

$$S_y(t) = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N \varepsilon_t^2}{N-p}}, \quad (1)$$

где ε_t – отклонение временного ряда от тренда; N – число уровней ряда; p – число параметров уравнения тренда.

Относительный (нормированный) показатель изменчивости $V_y(t)$ рассчитаем как отношение среднего квадратического отклонения от тренда к среднему значению временного ряда [1]:

$$V_y(t) = \frac{S_y(t)}{\bar{y}} 100\%, \quad (2)$$

где \bar{y} – среднее значение временного ряда.

Нами построены картосхемы абсолютного показателя изменчивости урожайности картофеля, рассчитанного по формуле (1), и относительного – в процентах, рассчитанного по формуле (2). Картосхемы представлены на рис. 3.

Абсолютный показатель изменчивости (стандартное отклонение от тренда) является важнейшей характеристикой рассеяния признака, характеризующего исследуемые ряды длиной $N = 15$ (в соответствии с временными интервалом 1997–2011 гг.) по 118 административным районам в абсолютных единицах (центнеры на гектар).

Коэффициент корреляции представленных на рис. 3 картосхем равен 0,63, что свидетельствует о тесной связи между ними.

Изменчивость урожайности картофеля относительно тренда в абсолютных величинах территориально растет в направлении с севера на юго-восток, варьируя в диапазоне от 16,0 до 45,0 ц/га и выше. Самый высокий уровень стандартного отклонения климатообусловленного колебания наблюдается на юго-востоке страны. Следует отметить большую изменчивость урожайности культуры в западной и центральной частях страны, где высок уровень агротехники, а пахотные почвы отличаются высоким баллом плодородия.

В относительных величинах картина несколько иная: коэффициент изменчивости продуктивности картофеля растет в восточном направлении, изменяясь от 12 до 33 и выше процентов. Несмотря на высокие абсолютные значения климатообусловленной изменчивости урожайности на западе республики, в процентном отношении на 15-летнем временном интервале рассчитанный коэффициент изменчивости минимален. На остальной части территории республики эти величины (абсолютная в центнерах на гектар и относительная в процентах) практически совпадают по значимости.

Для полноты исследования изменчивости урожайности картофеля нами рассчитана доля климатообусловленной продуктивности культуры в процентах (рис. 4). Положительные значения характеризуют климатообусловленные приrostы урожайности в процентах, отрицательные – климатообусловленные снижения (отклонения от тренда).

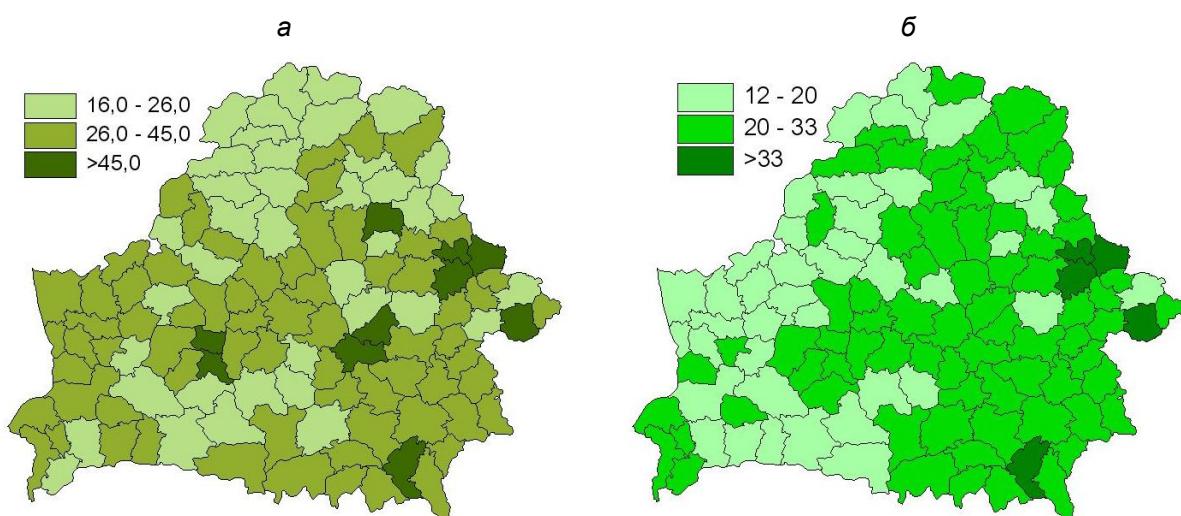


Рис. 3. Картосхемы абсолютного (а) (ц/га) и относительного (б) (%) показателей изменчивости урожайности картофеля в 1997–2011 гг.

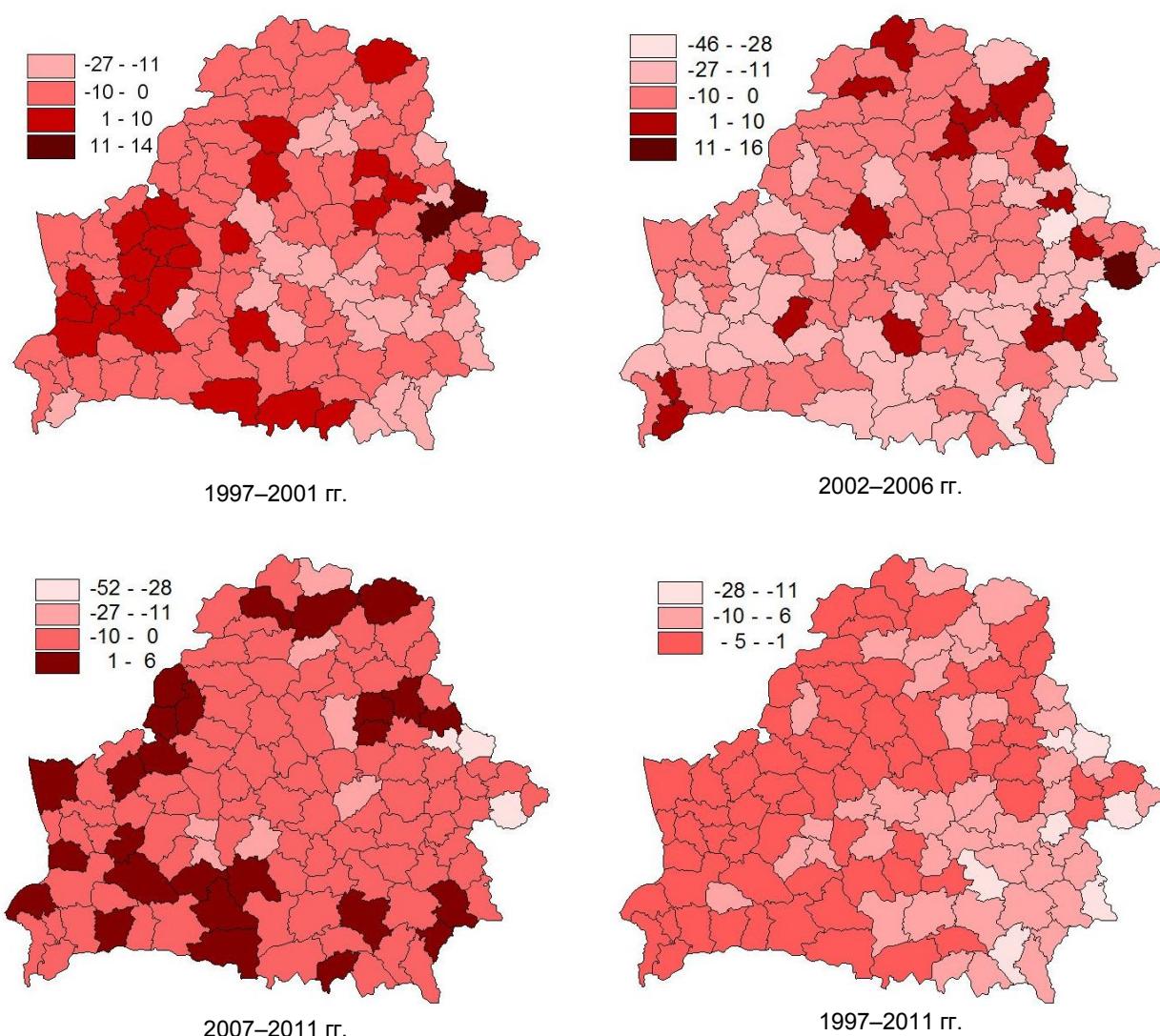


Рис. 4. Картосхемы климатообусловленной доли урожайности картофеля, % (отрицательные значения – недоборы, положительные – приросты продуктивности)

Согласно построенным картосхемам, ситуация по климатообусловленным вариациям урожайности от пятилетки к пятилетке изменяется. Так, если в 1997–2001 гг. пахотные площади 25 административных районов из 118 (21,2 %) характеризуются как благоприятные для возделывания картофеля в современных погодных условиях, то в последующие пять лет количество таких районов уменьшилось до 16 (13,6 %), достигнув в 2007–2011 гг. – 26 (22,0 %), что свидетельствует о волнообразном характере изменчивости продуктивности культуры, обусловленной современными погодно-климатическими условиями. В 1997–2001 и 2007–2011 гг. климатообусловленные снижения продуктивности в большинстве районов не вышли за пределы 10 % от средней урожайности культуры, тогда как в 2002–2006 гг. достаточно большие пахотные площади республики характеризуются потерями, превышающими 10 %.

Итоговая картосхема, аккумулирующая информацию за весь исследуемый период (1997–2011 гг.), свидетельствует о негативном влиянии роста теплообеспеченности территории на урожайность картофеля, что проявляется в климатозависимых снижениях продуктивности культуры. В большинстве районов такие климатообусловленные недоборы не превышают 5 %, однако в восточной части страны и особенно на юго-востоке преобладают пахотные площади, снижение урожайности на которых превышает 6 %, а в семи административных районах (Добрушском, Кормянском, Светлогорском и Хойникском районах Гомельской области; Дрибинском, Костюковичском и Мстиславском районах Могилевской области) потери продуктивности культуры изменяются в диапазоне от 11 до 28 %. Здесь недоборы урожая обусловлены не только изменившимися погодно-климатическими условиями,

но и сложившимися социально-экономическими условиями, наличием низкоплодородных пахотных земель.

Следует отметить, что в Витебской области, несмотря на превалирование низкопродуктивных пахотных земель, снижения урожайности относительно тренда на 2/3 территории области не превышают 5 %. Можно предположить, что изменение погодных условий на севере страны благоприятно сказывается на возделывании картофеля. Аналогичный вывод сделан учеными из Белорусского государственного университета при исследовании зависимости урожайности картофеля от метеорологических показателей периода вегетации [3].

Для исследуемого временного интервала с 1997 по 2011 г. методом автоматической классификации выделены территориальные кластеры, объединяющие наиболее близкие в признаваемом пространстве (по урожайности картофеля) группы административных районов и построена кластерная картограмма урожайности культуры (рис. 5). Особенностью компьютерного алгоритма автоматического районирования территории является возможность группировать объекты как по многомерным (многопризнаковым) данным, так и по одномерному ряду. Именно второй вариант используется нами в данном исследовании. Оптимальное число выделенных таксонов подбирается эмпирически. Дополнительно к полученной схеме кластеризации районов применяется неформальная процедура агрегирования, решающая задачу укрупнения таксономических единиц посредством объединения двух и более смежных таксонов, минимально отличающихся между собой, в кластеры. Отметим, однако, что такая компьютерная трансформация результата в значительной степени субъективна.

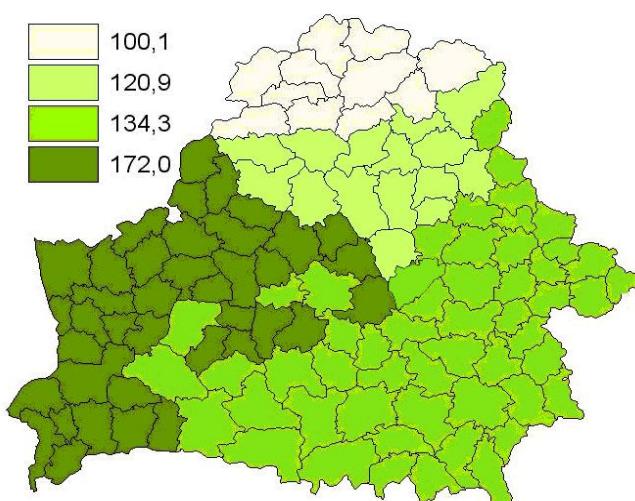


Рис. 5. Кластерная картограмма средней урожайности картофеля в период с 1997 по 2011 г., ц/га

В качестве односвязных кластеров выделены четыре зоны, три из которых – субширотные. Первый кластер охватывает 11 самых низкопродуктивных относительно урожайности картофеля районов Витебской области, затем выделены в кластер 15 районов со средней урожайностью 121 ц/га. Урожайность повышается с севера на юг. Наиболее обширный кластер объединяет 52 административных района (44 % от общего количества районов). Западная часть территории с захватом отдельных центральных районов отличается самой высокой продуктивностью картофеля (172,0 ц/га).

Выявленная территориальная структура урожайности картофеля свидетельствует о региональной неоднородности территории страны по продуктивности этой культуры.

Таким образом, в результате анализа построенных картограмм, характеризующих продуктивность картофеля и ее изменчивость, установлено, что в целом по стране в период с 1997 по 2011 г. изменяющиеся погодные условия

сопровождались климатообусловленными снижениями урожайности культуры, что подтверждает ранее сделанный вывод о негативном влиянии роста теплообеспеченности территории на развитие картофелеводства в республике.

Климатообусловленная изменчивость продуктивности картофеля растет в восточном направлении. На юго-востоке страны преобладают пахотные площади, для которых характерны значительные колебания и снижения урожайности культуры. Наименьшие потери от изменяющихся погодных условий характерны для западной части территории страны. На севере республики (в Витебской области) наблюдается уменьшение отрицательного влияния изменяющихся погодных условий на развитие отрасли.

С помощью математико-статистических методов выполнена кластеризация агроландшафтов Республики Беларусь по уровню урожайности картофеля для 1997–2011 гг., позволившая выявить региональную неоднородность относительно продуктивности данной культуры на территории страны.

Литература

1. Афанасьев, В. Н. Анализ временных рядов и прогнозирование / В. Н. Афанасьев, М. М. Юзбашев. М., 2001.
2. Гусаков, В. Г. Стратегия устойчивости развития АПК – продовольственная безопасность / В. Г. Гусаков [и др.]. Минск, 2008.
3. Давыденко, О. В. Зависимость урожайности картофеля и сахарной свеклы от метеорологических показателей периода вегетации / О. В. Давыденко, П. С. Лопух // Весці БДПУ. Сер. 3. 2010. № 3. С. 56–62.
4. Камышенко, Г. А. Агроресурсный потенциал пахотных земель Минской области и урожайность картофеля // Земляробства і ахова раслін. 2008. № 5. С. 18–22.
5. Камышенко, Г. А. Анализ устойчивости урожайности сельскохозяйственных культур Беларуси (на примере озимой пшеницы и картофеля) / Г. А. Камышенко // Природопользование. Минск, 2010. Вып. 18. С. 97–102.
6. Камышенко, Г. А. Оценка пространственно-временной однородности рядов атмосферных осадков Беларуси / Г. А. Камышенко // Природопользование. Минск, 2012. Вып. 21. С. 52–61.
7. Камышенко, Г. А. Оценка пространственно-временной однородности рядов температуры воздуха Беларуси / Г. А. Камышенко // Природопользование. Минск, 2011. Вып. 20. С. 26–34.
8. Камышенко, Г. А. Оценка эффективности использования почвенно-климатических ресурсов при территориальном распределении посевов / Г. А. Камышенко // Весці БДПУ. Сер. 3. 2008. № 1. С. 66–71.
9. Логинов, В. Ф. Агроклиматическая оценка эффективности территориального распределения посевных площадей под различные культуры / В. Ф. Логинов [и др.] // Природопользование. Минск, 2003. № 9. С. 59–61.
10. Логинов, В. Ф. Экстремальные климатические явления: пространственно-временные закономерности их изменений и предпосылки прогнозирования / В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка. Минск, 2012.
11. Регионы Республики Беларусь, 2005. (Стат. сб.). Минск, 2005.
12. Регионы Республики Беларусь. Социально-экономические показатели. 2012. (Стат. сб.). Т.1. Минск, 2012.
13. Сачок, Г. И. Факторы и модели изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур Беларуси / Г. И. Сачок, Г. А. Камышенко / Под ред. В. Ф. Логинова. Минск, 2006.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 04.03.2014 г.

Г. А. Камышенко

КЛИМАТИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ В ИЗМЕНЕНИИ УРОЖАЙНОСТИ КАРТОФЕЛЯ

Представлены результаты территориально-временного анализа урожайности картофеля, ее отклонений от тренда, абсолютного (центнеры на гектар) и относительного (проценты) показателей изменчивости, климатообусловленной доли продуктивности культуры. Исследования выполнены на уровне административных районов страны, охватывают временной интервал с 1997 по 2011 г.

Установлено, что в целом по республике в исследуемый период изменяющиеся погодные условия сопровождались климатообусловленными снижениями урожайности культуры, что свидетельствует о негативном влиянии роста теплообеспеченности территории на развитие картофелеводства.

Климатообусловленная изменчивость продуктивности картофеля растет в восточном направлении. На юго-востоке страны преобладают пахотные площади, для которых характерны значительные колебания и снижения урожайности культуры. Наименьшие потери от изменяющихся погодных условий характерны для западной части территории Республики Беларусь. На севере (в Витебской области) наблюдается снижение отрицательного влияния погодных условий на развитие отрасли.

С помощью математико-статистических методов выполнена кластеризация агроландшафтов Республики Беларусь по уровню урожайности картофеля для 1997–2011 гг., позволившая выявить региональную неоднородность территории страны относительно продуктивности культуры.

G. A. Kamyshenko

CLIMATIC CONTAIN IN POTATO YEILDS CHANGING

The results of geographically-temporal analysis of potato yield, its deviations from the trend, absolute (centners per hectare) and relative (percentage) performance variability, climate-share crop productivity have been given. The studies were performed at the level of the administrative regions of the country, cover the time interval from 1997 to 2011.

It has been found that the changing weather conditions have accompanied by climate-crop yield declines in the whole country during the study period, which indicate the negative impact of growth on the development of the territory in potato heat.

Variability of climate-productivity of potato grows in an easterly direction. The arable land, which are characterized by large fluctuations and reduce crop yields are dominated in the south-east of the country. The smallest losses from changing weather conditions are typical for the western part of the Republic of Belarus. The decrease the negative impact of weather conditions on the development of the industry is observed in the north (in the Vitebsk region).

With the help of mathematical and statistical methods the clustering agrolandscapes of Republic of Belarus by the potato yields level for 1997–2011 has been done, which will reveal the regional heterogeneity of the country regarding crop productivity.

УДК 551.583 (476)

В. Ф. Логинов, Т. Г. Табальчук

ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Рассмотрены изменения сумм активных температур $>10^{\circ}\text{C}$ на территории Беларуси для различных временных периодов. На основе полученных значений построены карты распределения сумм активных температур по территории республики. Выполнена оценка изменения площадей агроклиматических областей на территории Беларуси.

Агроклиматические ресурсы территории характеризуются тремя основными показателями: количеством тепла и влаги в вегетационный период и условиями перезимовки сельскохозяйственных культур. Для территории Беларуси в целом характерны достаточно благоприятные для развития сельского хозяйства агроклиматические условия. От правильности учета и успешности прогнозов погоды и климата в значительной степени зависит успешность ведения сельского хозяйства и обеспечение продовольственной безопасности страны. По термическим ресурсам вегетационного периода и условиям обеспеченности его влагой территория Беларуси разделена А. Х. Шкляром [6] на три агроклиматические области: умеренно теплую влажную Северную, теплую умеренно влажную Центральную и теплую неустойчиво влажную Южную. Для выделения этих областей использованы суммы температур воздуха выше 10°C , число дней с температурой от 5 до 15°C и показатели увлажнения за период наблюдений с 80-х гг. XIX в. до 1967 г. Изолинии сумм температур выше 10°C проведены при строгом учете мезорельефа через 200°C и почти полностью совпадают с границами естественноисторических районов, выделенных на территории Беларуси. Так, изолиния сумм температур в 2200°C служит южной границей провинции Белорусско-Валдайского Поозерья и Смоленско-Московской провинции и соответствует южной границе ареала ольхи серой и северной геоботанической подзоны елово-широколиственных лесов. Изолиния сумм температур в 2400°C является южной границей Западно-белорусской и Предполесской провинции, а также центральной геоботанической подзоны елово-грабовых дубрав; южнее этой изолинии расположена Полесская провинция и геоботаническая подзона грабовых дубрав.

В 2008 г. была опубликована работа В. И. Мельника и Е. В. Комаровской [4], в которой рассмотрено влияние современных изменений климата на ведение сельскохозяйственного производства в Белорусском Полесье. Авторы пришли к выводу об улучшении теплообеспеченности сельскохозяйственных культур и увеличении суммы активных температур на $70\text{--}180^{\circ}\text{C}$ за пе-

риод потепления, что равносильно сдвигу климатических областей по территории в широтном направлении на 60–150 км. В результате Северная область распалась на две отдельные части, а на юге Полесья образовалась новая более теплая агроклиматическая область, характеризующаяся самой короткой и теплой в пределах Беларуси зимой и наиболее продолжительным и теплым вегетационным периодом. Новая агроклиматическая зона охватывает юг Брестской области (города Брест и Пинск) и небольшой участок на востоке Гомельской области (непосредственно вокруг Гомеля).

На появление территорий с суммами активных температур выше 10°C , превышающих 2600°C , только в крупных городах обращено внимание в работе В. Ф. Логинова и В. В. Коляды [3]. В работе использованы среднемесячные значения температур за период с 1881 по 2005 г. Для вычисления суммы активных температур выше 10°C использованы данные агроклиматических справочников, где представлены суммы активных температур выше 10°C за различные периоды времени, а также использованы суммы температур за теплый период (май–сентябрь). В последнем случае реальные даты перехода через 10°C не принимались в расчет. Естественно такой подход позволяет оценить изменения площадей агроклиматических областей и их границ достаточно грубо. Получено, что на метеостанциях юга Беларуси разница между суммами активных температур выше 10°C для городских и сельских станций составляет от 15 до 121°C (в зависимости от рассматриваемого периода). Это означает, что появление четвертой агроклиматической зоны частично связано с эффектом урбанизации. В этой же работе проведено сравнение суммы активных температур на станциях юга Беларуси и ряде станций северной Украины. Сравнение показало, что на городских станциях юга Беларуси суммы активных температур оказались выше, чем на севере Украины. В результате аномально высокие значения сумм температур на метеостанциях юга Беларуси могут быть частично обусловлены локальным эффектом урбанизации, который проявляется в региональных оценках изменения теплообеспеченности в со-

временный период. Из представленных результатов следует, что выделение новой, четвертой агроклиматической области на территории Беларуси с использованием данных наблюдений до 2005 г. не имело достаточных оснований и требовало проведения дальнейших исследований.

Как показали последующие исследования, границы первой и второй агроклиматических зон действительно изменились за последние 15–20 лет. Наши результаты полностью подтверждают ранее полученные В. И. Мельником и Е. В. Комаровской: северная агроклиматическая зона (сумма температур воздуха менее 2200 °C) стала занимать только самую северную часть территории Беларуси, ее площадь сократилась не менее чем в 3 раза. Но ее граница должна проходить несколько южнее крупных городов, Полоцка и Витебска, а не севернее их, в силу наличия островов тепла в этих городах.

Столь существенное сужение этой зоны связано с несколько более быстрым, хотя и статистически незначимым повышением температуры в северных районах страны по сравнению с южными [2].

Таким образом, продвижение в северном направлении второй (2200–2400 °C) и третьей (2400–2600 °C) агроклиматических зон действительно реально, однако, если учесть наличие островов тепла в городах, расположенных на севере страны (Полоцк, Витебск) и на юге второй агроклиматической зоны (Гродно, Бобруйск), то положение северной и южной границ этих зон должно быть несколько откорректировано.

Третья агроклиматическая зона (2400–2600 °C) действительно заняла большую площадь. Она оказалась приблизительно равной половине площади территории Беларуси и увеличилась по сравнению с площадью третьей агроклиматической зоны, выделенной А. Х. Шкляром, как минимум на 30 %. В самые последние годы, когда температура в летнее время года интенсивно увеличивалась, перспектива образования четвертой агроклиматической зоны стала более реальной [1].

С целью подтверждения этого вывода нами использованы данные об изменениях температуры на городских и сельских станциях до 2013 г. включительно. При этом использованы не

среднемесячные, а суточные данные, которые позволяют вычислить точные даты перехода через 10 °C и следовательно более корректно определить сумму активных температур больше 10 °C по сравнению с использованием среднемесячных значений.

В работе даты устойчивого перехода через 10 °C определены путем сопоставления положительных и отрицательных отклонений сумм средних суточных температур воздуха. Согласно этому методу, за устойчивый переход температуры воздуха через 10 °C в сторону повышения принимается первый день периода, когда сумма положительных отклонений за 5 дней превышает сумму отрицательных, а за переход в сторону понижения – первый день того периода, сумма отрицательных отклонений которого превышает сумму положительных отклонений любого из последующих положительных отклонений [5].

Исходными материалами для исследования послужили данные среднесуточных температур воздуха на метеостанциях Беларуси за период 1955–2013 гг. Рассмотрено три периода: предшествующий современному потеплению климата на территории Беларуси с 1955 по 1987 г., с 1988 по 2013 г., совпадающий с современным потеплением, и отдельно период 2006–2013 г., который вообще не подвергался анализу в более ранних публикациях. Отдельно рассмотрена температура на метеорологических станциях в крупных городах и сельской местности.

К городским отнесены станции, расположенные в населенных пунктах, имеющих численность населения 100 тыс. чел. и более (Барановичи, Бобруйск, Борисов, Брест, Витебск, Гомель, Гродно, Лида, Минск, Могилев, Пинск, Полоцк), к сельским – остальные (Брагин, Василевичи, Верхнедвинск, Вилейка, Волковыск, Горки, Житковичи, Лепель, Марьина Горка, Новогрудок, Пружаны, Славгород, Шарковщина). Такое деление метеорологических станций в какой-то мере позволяет учесть влияние урбанизации на динамику агроклиматических областей.

Для метеостанций Беларуси получены средние значения годовой суммы активных температур выше 10 °C и отдельно суммы активных температур для городских и сельских метеостанций (табл. 1).

Таблица 1. Различия сумм активных температур >10 °C между городскими и сельскими станциями для различных периодов времени

Станция	Период			
	1955–1987 гг.	1955–2013 гг.	1988–2013 гг.	2006–2013 гг.
Все станции	2265	2366	2495	2588
Городские	2290	2396	2530	2620
Сельские	2250	2347	2471	2566
Разница сумм температур «город–село»	40	49	59	54

Из таблицы следует, что сумма активных температур в период потепления (1988–2013 гг.) по сравнению с периодом с 1955 по 1987 г. возросла на 230 °C. На городских метеостанциях рост сумм активных температур был выше, чем на сельских. Особенно значительный рост сумм температур отмечался в самый последний период (2006–2013 гг.) по сравнению с периодом с 1955 по 1987 г. и составил 323 °C.

Для пространственного отображения результатов вычислений полученные данные обработаны в программе ArcGIS 9.3 и проинтерполированы на территории Беларуси. Построены карты и выделены районы с суммой активных температур 2000–2200, 2200–2400, 2400–2600 и > 2600 °C.

В первом случае построение карт проводилось с учетом всех метеостанций, по которым имелись данные (рис. 1). Среди этих карт наиболее близкой к распределению агроклиматических областей, выделенных Шкляром, оказалась карта за период 1955–1987 гг., предшествующий современному потеплению климата.

В период современного потепления климата (1988–2013 гг.) картина меняется. Первая аг-

роклиматическая зона полностью исчезает с территории Беларуси. Вторая зона продвигается на север, занимая Витебскую область, северную часть Могилевской области, а также Новогрудскую возвышенность. Третья зона занимает центральную часть Беларуси. На юге большую часть Брестской и Гомельской областей занимает четвертая зона с суммой активных температур > 2600 °C.

В наиболее теплые последние годы (2006–2013) вслед за исчезновением первой, практически полностью исчезает и вторая агроклиматическая область, сохранившись лишь в районе Верхнедвинска. Третья зона занимает практически всю северную и центральную часть страны, а на юге в окрестностях Бреста и Гомеля сумма активных температур даже превышает 2600 °C.

Для всего периода (1955–2013 гг.) первая агроклиматическая область распалась на два небольших участка в окрестностях Верхнедвинска и Горок. Граница между второй и третьей областями проходит вблизи 53° с.ш., а в районе Бреста и Гомеля появляется четвертая зона.

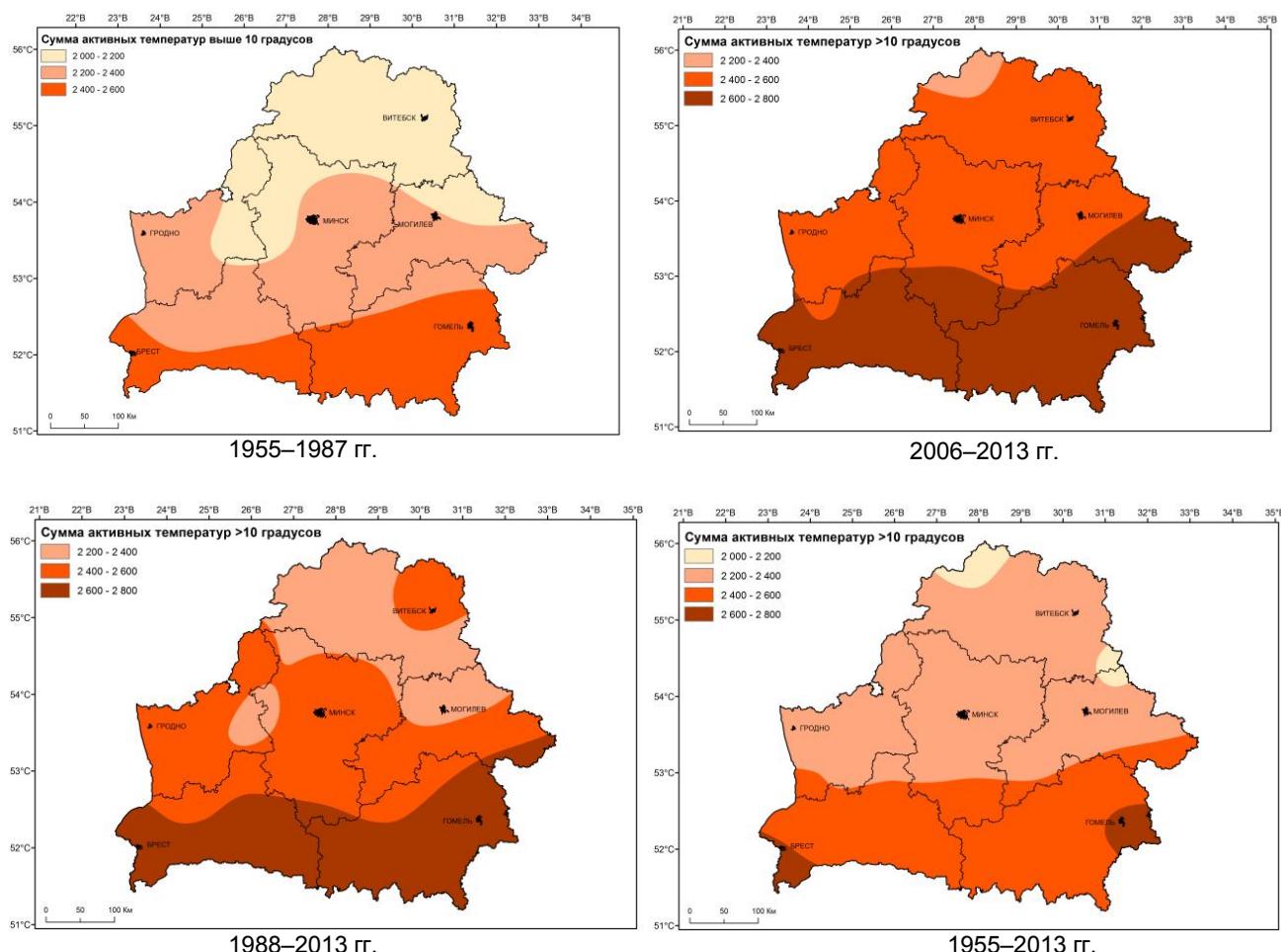


Рис. 1. Карты распределения сумм активных температур > 10 °C на территории Беларуси с учетом всех метеостанций для различных периодов времени

Для того, чтобы исключить влияние урбанизации на рост температуры, отдельно построены карты с использованием данных на станциях, приуроченных к малым городам (рис. 2).

Для периода 1955–1987 гг. граница первой и второй агроклиматической области практически совпадает с границей, проведенной А. Х. Шкляром, а третья область присутствует только в центральной и южной части Гомельской области и на юго-востоке Брестской.

В период современного потепления (1988–2013 гг.) место первой области занимает вторая, место второй – третья, а на юге вместо третьей области появляется четвертая.

Для последних восьми лет (2006–2013) вторая агроклиматическая область занимает лишь небольшой участок на северо-западе Витебщины. Большую часть территории страны занимает третья область. Дальше к северу продвинулась граница 2600 °C.

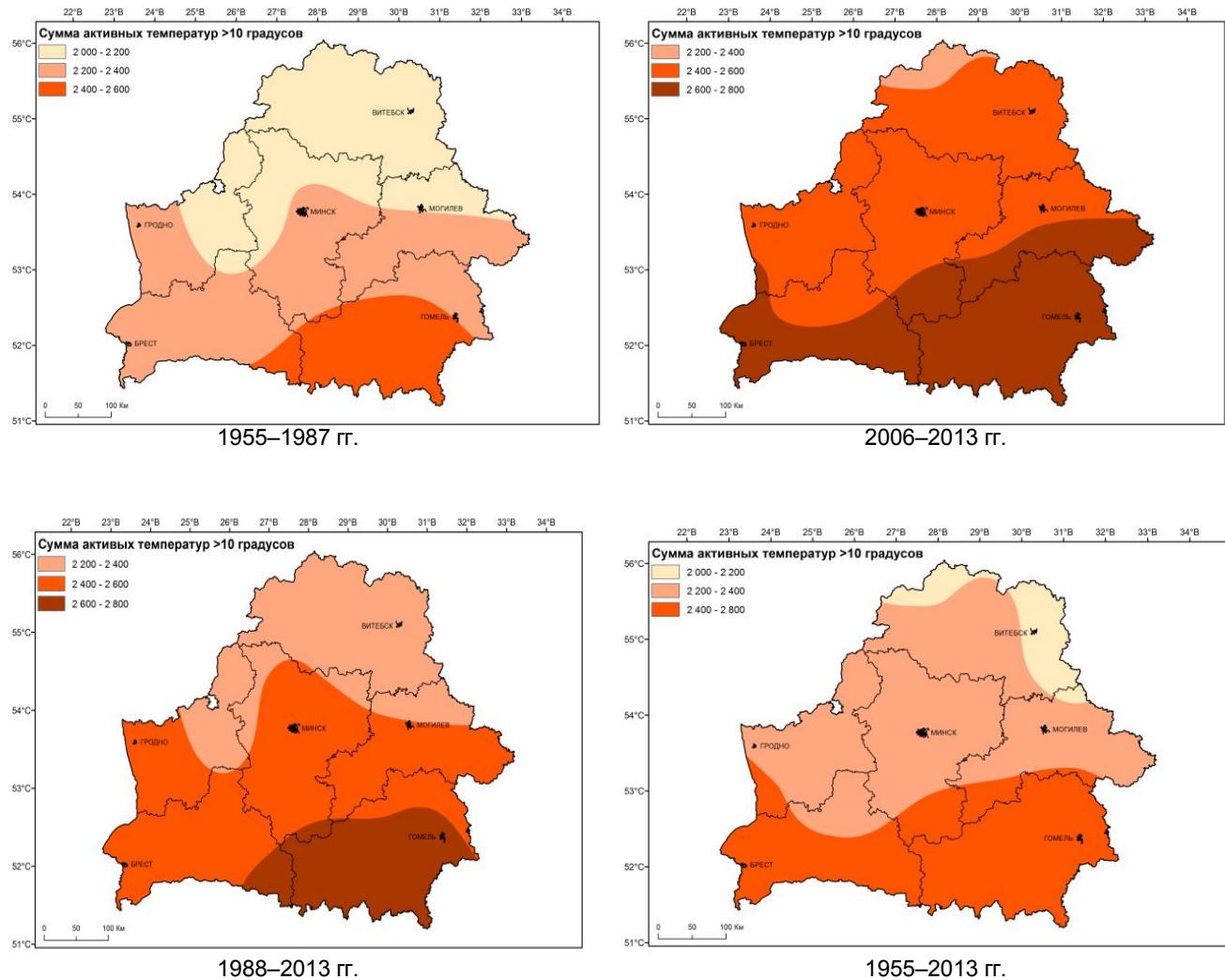


Рис. 2. Карты распределения сумм активных температур > 10 °C на территории Беларуси по данным сельских метеостанций

Для всего периода 1955–2013 гг. первая агроклиматическая область сохраняется только на севере и северо-востоке страны, а граница между второй и третьей областями практически совпадает с проведенной Шкляром.

Изменения в размере площадей, занимаемой той или иной агроклиматической областью, отражены в табл. 2 и на рис. 3.

В результате исследования установлено, что положение границ агроклиматических обла-

стей зависит в первую очередь от рассматриваемого временного периода. Появление четвертой агроклиматической области характерно для периода потепления климата особенно для последних лет (2006–2013). Она ярко выражена и занимает наибольшую площадь при использовании данных наблюдений в крупных городах, где появившиеся «острова тепла» приводят к смещению границ агроклиматических областей в северном направлении.

Таблица 2. Динамика площадей агроклиматических областей на территории Беларуси по данным для всех метеостанций и сельских, тыс. км²

Период, гг.	Область			
	первая	вторая	третья	четвертая
	Все метеостанции			
1955–2013	5,7	117,3	78,3	6,5
1955–1987	70	88,9	48,7	
1988–2013		49,1	95,8	62,8
2006–2013		4,5	112,4	90,8
Сельские метеостанции				
1955–2013	15,7	113,4	78,7	
1955–1987	82,1	93,4	32	
1988–2013		65,7	96	45,9
2006–2013		5,2	118,1	84,4

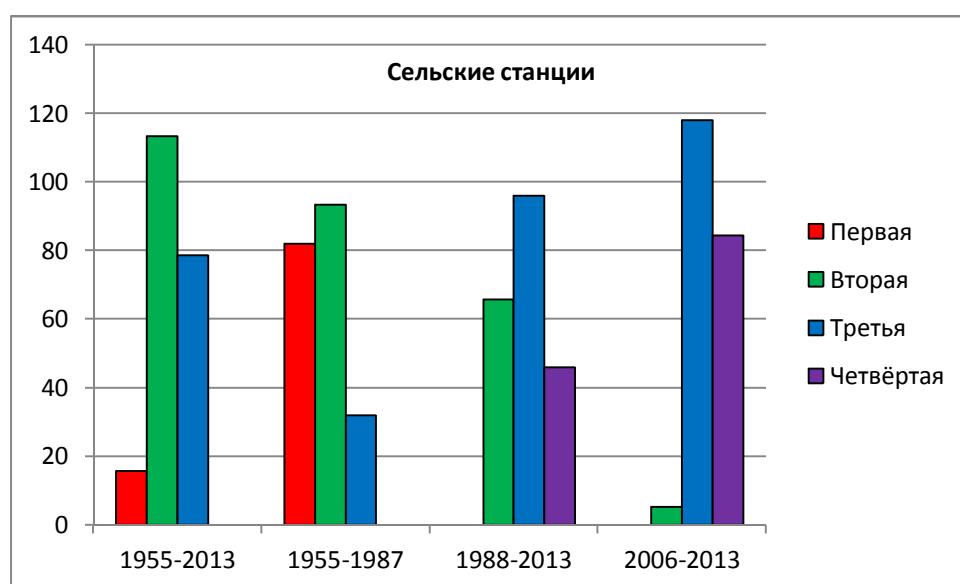
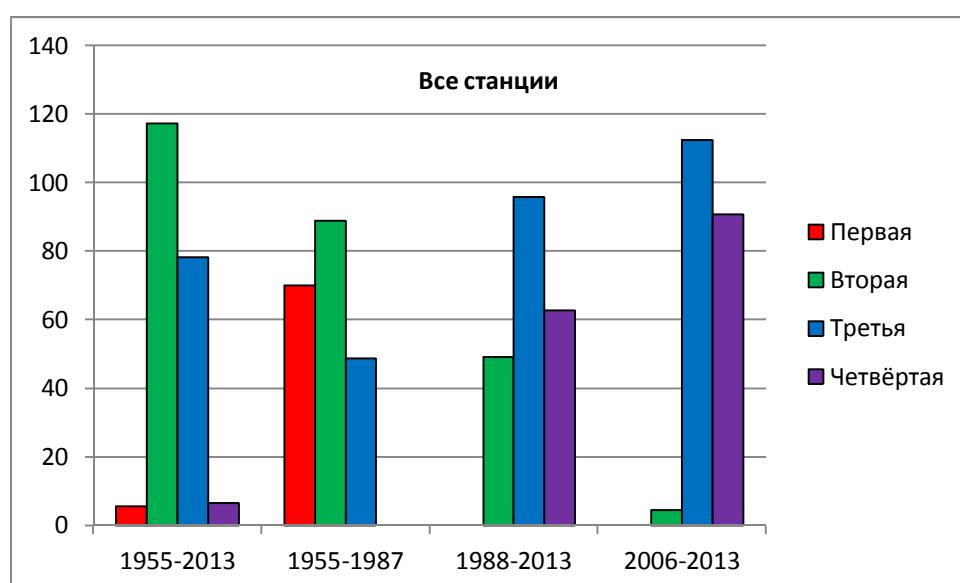


Рис. 3. Изменение площадей агроклиматических зон на территории Беларуси за период с 1955 по 2013 г., тыс. км²

Литература

1. **Логинов, В. Ф.** Изменения климата и их влияние на различные отрасли экономики / В. Ф. Логинов // Аналитический доклад. Ин-т природопользования НАН Беларуси. Минск, 2013.
2. **Логинов, В. Ф.** Пространственно-временные особенности изменений разностей осадков и температуры в различных районах Беларуси за период инструментальных наблюдений / В. Ф. Логинов, Е. Н. Каждан // Природопользование, Минск, 2004. Вып. 10. С. 37–40.
3. **Логинов, В. Ф.** Влияние урбанизации на увеличение термических ресурсов юга Беларуси / В. Ф. Логинов, В. В. Коляда // Природопользование. Минск, 2010. Вып. 18. С. 9–15.
4. **Мельник, В. И.** Влияние современных изменений климата на ведение сельскохозяйственного производства в Белорусском Полесье / В. И. Мельник, Е. В. Комаровская // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця. Брест, 2008. Вып. 1. С. 51–53.
5. **Температура** воздуха на Украине / В. Н. Бабиченко [и др.]. Л., 1987.
6. **Шкляр, А. Х.** Климатические ресурсы Белоруссии и использование их в сельском хозяйстве / А. Х. Шкляр. Минск, 1973.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 22.04.2014 г.

В. Ф. Логинов, Т. Г. Табальчук

ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Рассмотрены изменения сумм активных температур $> 10^{\circ}\text{C}$ на территории Беларуси для периодов 1955–2013, 1955–1987, 1988–2013 и 2006–2013 гг. При этом были использованы суточные значения температуры, которые позволили более точно определить даты перехода через 10°C и более корректно вычислить суммы активных температур. На основе полученных значений построены карты распределения сумм активных температур по территории республики. Для исключения влияния урбанизации на рост температуры отдельно построены карты с использованием данных на станциях, приуроченных только к малым городам. Выполнена оценка изменения площадей агроклиматических областей на территории Беларуси. Среди построенных карт наиболее близкой к распределению агроклиматических областей, выделенных А. Х. Шкляром, оказалась карта за период 1955–1987 гг. Четвертая агроклиматическая зона появляется в период современного потепления климата. Наибольшую площадь (90,8 тыс. km^2) она занимает в период 2006–2013 гг.

V. F. Loginov, T. G. Tabalchuk

VARIATIONS IN SPATIAL AREAS OF AGRO-CLIMATIC REGIONS ON THE TERRITORY OF BELARUS

Sums of active temperatures on the territory of Belarus greater than 10°C for time periods of 1955–2013, 1955–1987, 1988–2013 and 2006–2013 are investigated. For that purpose, daily values of temperature are used to enable more accurate estimation of the day of the temperature transition over the 10°C threshold and to provide more accurate values of active temperature sums. From this data maps of spatial distribution of active temperature sums on the territory of Belarus are obtained. To eliminate the influence of urbanization on temperature, maps from data limited to small towns only are obtained separately. An estimate of variations in spatial areas of agro-climatic regions on the territory of Belarus are made. From all maps obtained, the one for 1955–1987 time period turns out to be the most similar to the distribution of agro-climatic regions that was pointed out by A. H. Shkliar. Fourth agro-climatic region appears in the time period corresponding to contemporary climate warming. It has largest spatial area (90.8 thousands of km^2) in the 2006–2013 period.

В. В. Коляда

АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В БЕЛАРУСИ

В рамках концепции максимальной продуктивности посевов методом эталонных урожаев с использованием результатов государственного сортоиспытания и статистических данных по урожайности сельскохозяйственных культур показан высокий биоклиматический потенциал Беларуси и низкая эффективность его реализации. Это свидетельствует о преимущественно хозяйственных причинах отставания сельского хозяйства Беларуси от близких по природным условиям европейских стран.

Первостепенной задачей развития сельскохозяйственного производства в Беларуси на современном этапе является повышение эффективности за счет укрепления его материальной базы и технико-технологического перевооружения, снижения производственных затрат до нормативного уровня и роста продуктивности отраслей, а также приоритета экономических показателей при оценке результатов деятельности предприятий [4]. Эффективность является общим понятием, характеризующим качество системы через соотношение потребляемых ресурсов и производимых результатов. Так, энергетическую эффективность системы характеризует коэффициент полезного действия (КПД) – отношение производимой (накопленной) ею энергии к суммарному количеству затраченной энергии. Наиболее широко понятие эффективности применяется в экономике. В производстве эффективность определяется по соотношению полезного результата и затрат факторов производственного процесса, а для ее характеристики используются многочисленные частные технико-экономические показатели – производительность труда, фондоотдача, материалоемкость и др., а обобщающим экономическим показателем является уровень рентабельности [9].

Все многообразие показателей экономической эффективности находит применение и в сельском хозяйстве, где важнейшим производственным результатом являются урожаи сельскохозяйственных культур. Биомасса урожаев формируется в процессе фотосинтеза при лимитирующей роли тепла и влаги. В формировании урожаев участвует фотосинтетически активная радиация (ФАР) – поток суммарного солнечного излучения в диапазоне длин волн от 380 до 710 нм, охватывающий около половины его общей величины [2]. Соотношение накопленной в растительной биомассе энергии к приходу ФАР дает оценку КПД его использования посевами. В производственных условиях он обычно составляет 0,5–1,5 %, но теоретически возможным уровнем является 6–8 % [12].

Неучтенные в экономическом анализе климатические факторы (свет, тепло, влага, CO₂) во многом определяют продуктивность сельскохозяйственных культур, тем самым оказывая существенное влияние на эффективность сельского хозяйства. Необходимость повышения эффективности актуализирует вопрос о роли природно-климатических факторов в развитии сельского хозяйства, прежде всего для растениеводческих отраслей. В последних публикациях на эту тему ученых-аграриев представлено мнение о менее благоприятных природно-климатических условиях Беларуси для ведения высокоэффективного растениеводства в сравнении с крупнейшими западными странами [5, 7]. Для его обоснования в посвященной этому вопросу статье даже введен в оборот «индекс оптимальности метеорологических факторов для сельскохозяйственного производства», понижающий уровни урожайности сельскохозяйственных культур в нашей стране по сравнению с Польшей в 1,3 раза, с Великобританией – в 1,5, с Германией – в 1,7, а с Францией – в 2 раза [7]. В другой публикации – производственно-практическом издании, охватывающем весь комплекс факторов, влияющих на эффективность растениеводства в Беларуси – констатируется, со ссылкой на экспертные оценки Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), менее высокий (вследствие географического положения) почвенно-климатический потенциал для производства продукции в Беларуси по сравнению с большинством стран Европы и Америки. Понижающие коэффициенты здесь несколько меньше: в сравнении с Польшей – 1,2, с Германией – 1,5, с США – 2. Отсюда следует, что достижение в Беларуси продуктивности растениеводства, например, уровня Германии, требует на 50 % больше ресурсов [5].

В нашей работе показана недостаточная обоснованность выводов, сделанных с использованием предложенного индекса [6]. Что же касается приведенных без ссылок экспертных оценок ФАО, то они охватывают не только климатические, но и почвенные условия, которые сами во

многом являются результатом условий хозяйствования, что отмечается и автором данного издания [5].

В использованных нами для территории Беларуси и других стран оценках биоклиматического потенциала, полученных ведущими специалистами из бывшего СССР и современной России, роль почвенного плодородия элиминирована [3, 6, 13]. Например, в рамках имитационного метода оценки, с учетом наличия двух основных факторов, лимитирующих продуктивность агроценозов (условия влагообеспеченности и минерального питания), в макромасштабных территориальных сравнениях использовалась четырехкомпонентная схема, включающая: 1) оптимальные состояния обоих факторов; 2) естественную влагообеспеченность при оптимальном режиме минерального питания; 3) оптимальную влагообеспеченность при текущем режиме питания и 4) текущие (естественные) состояния этих факторов. Однако из-за отсутствия агрохимических данных по зарубежным странам оценки представлены лишь первыми двумя компонентами. Это радиационно-термический потенциал (РТП) – фундаментальная характеристика почвенно-климатических ресурсов, величина которого ограничена только нерегулируемым в условиях открытого грунта терморадиационным режимом, а также гидротермический потенциал (ГТП), в котором наряду с радиационными и термическими ресурсами лимитирующими фактором выступают естественные условия влагообеспеченности [3].

Использованные оценки биоклиматического потенциала позволили сделать вывод о высоком уровне обеспеченности территории Беларуси гидротермическими ресурсами, вполне сопоставимом с европейскими странами, расположеннымми на близких географических широтах. Этому способствует довольно благоприятный режим естественного увлажнения территории нашей страны, позволяющий практически полностью реализовать ее ГТП в условиях относительно невысокой величины РТП. В то же время уровень использования ГТП, измеряемый величинами урожайности зерновых и зернобобовых культур, в Республике Беларусь заметно уступает указанным странам [6].

Осознавая всю сложность и неоднозначность рассматриваемого вопроса и предваряя возможные сомнения относительно оценок биоклиматического потенциала, полученных другими исследователями, по которым в нашем распоряжении отсутствует исчерпывающая информация, была проведена агроклиматическая оценка продуктивности, целиком базирующаяся на данных по урожайности сельскохозяйственных культур для территории Беларуси.

Теоретической основой агроклиматической оценки продуктивности сельскохозяйственных

культур Беларуси явился метод эталонных урожаев, разработанный Х. Г. Тоомингом в рамках концепции максимальной продуктивности посевов [12]. Сущность концепции заключается в предположении, что адаптация растений и их сообществ направлена на обеспечение максимальной в данных условиях среды продуктивности фотосинтеза и, следовательно, величины урожая. Согласно методу эталонных урожаев, продуктивность сельскохозяйственной культуры может быть представлена в виде иерархии категорий урожаев, обусловленных важнейшими лимитирующими факторами. Максимальный, потенциальный урожай (ПУ) ограничен лишь приходом ФАР и генетическими возможностями возделываемого сорта. Климатически обеспеченный урожай (КОУ) дополнительно лимитируется реальными условиями тепло- и влагообеспеченности периода вегетации растений, а действительно возможный урожай (ДВУ) – еще и условиями почвенного плодородия. В конкретных природно-хозяйственных условиях производства величина урожая также зависит от уровня применяемых технологий и обеспеченности ресурсами. Ориентиром для земледельца при выборе той или иной технологии обычно выступает ДВУ, который в результате мероприятий по повышению плодородия земель может приближаться к КОУ, но в условиях открытого грунта практически никогда не достигает уровня ПУ. Агроклиматическая оценка продуктивности осуществляется путем сравнения величин расчетных категорий урожаев между собой и с фактически полученными урожаями в производстве (УП) [12].

Расчет значений агроклиматических категорий урожаев обычно осуществляется с использованием физико-статистического метода [1, 10]. Например, при агроэкологической оценке сельскохозяйственной продуктивности ландшафтов Беларуси величина ПУ определялась по приходу ФАР при оптимальном в течение месяцев вегетационного периода режиме климатических факторов, КПД его использования посевами и энергосодержанию культуры. При этом значение КПД ФАР рассчитывалось с учетом максимальной урожайности сельскохозяйственной культуры на уровне агротехники сортоиспытательной сети Республики Беларусь. Значения ДВУ оценивались путем коррекции ПУ на основные лимитирующие факторы, такие как влажность почв, температура воздуха и условия перезимовки, выраженные соответствующими нормированными функциями. Помимо оценок категорий урожаев, рассчитывались коэффициенты, характеризующие степень благоприятности климатических условий: $K = D\text{VU} / P\text{U} \times 100$; уровень использования агроклиматических ресурсов: $C = U\text{P} / D\text{VU} \times 100$, а также уровень реализации агрозоэкологического потенциала: $D = U\text{P} / P\text{U} \times 100$ [1].

Отдавая должное модельному подходу к оценке агроклиматических ресурсов, нельзя не

отметить всю сложность его реализации. Значительные трудности вызывает параметризация используемых зависимостей и получение входной информации, в том числе из-за ограниченной репрезентативности сети актинометрических, метеорологических и агрометеорологических наблюдений и принципиальной нерешенности проблемы территориального осреднения климатических данных. Вместе с тем известно, что реальным ориентиром для развития сельскохозяйственного производства территории является уровень агротехники в местной сортоиспытательной сети, где соблюдаются рекомендуемые для возделывания культур технологические регламенты. В связи с этим упомянутые агроклиматические категории урожаев могут быть получены по материалам сортоиспытаний, а с привлечением данных по урожаям в производстве рассчитаны искомые показатели использования агроклиматических ресурсов при возделывании сельскохозяйственных культур [11].

В основу агроклиматической оценки производительности сельскохозяйственных культур Бе-

ларуси были положены результаты испытания их сортов на хозяйственную полезность по всем государственным сортоиспытательным станциям и участкам (ГСУ, ГСС) страны, а также статистические данные сельскохозяйственных предприятий за 2001–2012 гг. Аналогичная оценка также была выполнена и по материалам за 1971–1980 гг. В качестве величины ПУ по рассмотренным культурам было принято среднее значение из максимальных величин всех временных рядов, а оценки ДВУ – средние значения членов этих рядов. Общее количество наблюдений по сельскохозяйственной культуре (с учетом продолжительности анализируемых периодов и отдельных пропусков в данных) примерно на порядок превышало указанное число анализируемых временных рядов (N).

Современную ситуацию с уровнем урожайности в производственных условиях Беларуси и отдельных стран ЕС иллюстрируют данные по пшенице и картофелю за 1955–2012 гг. (рис. 1 и 2).

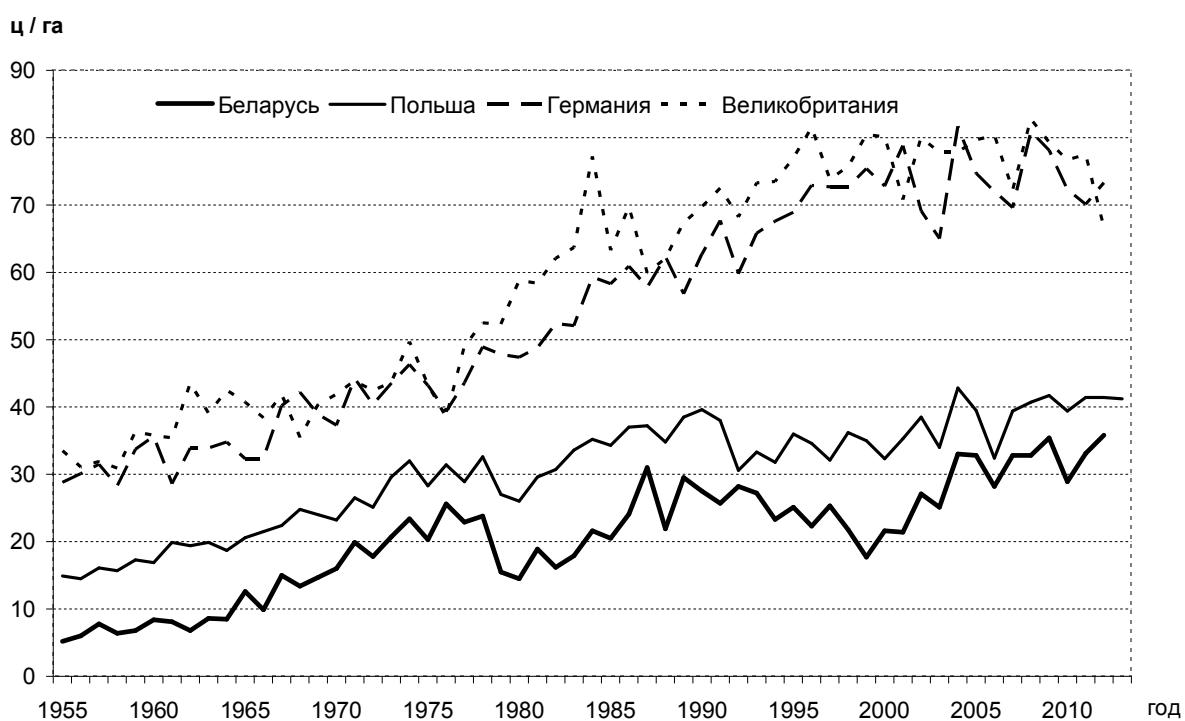


Рис. 1. Динамика урожайности пшеницы в Беларуси и в некоторых европейских странах за 1955–2012 гг.

Анализ данных показывает, что в 2001–2012 гг. Беларусь отставала от Польши по уровню урожайности пшеницы в 1,3 раза, а по урожайности картофеля – в 1,1, в то время от Германии – в 2,5 и 2,2, а от Великобритании – в 2,8 и 2,3 раза соответственно. Вместе с тем в этот же период она характеризовалась максимальными приростами урожайности культур при высокой

степени значимости линейного тренда, оцениваемого по коэффициенту детерминации, превосходя по этим показателям Польшу и особенно западноевропейские страны, где приrostы фактически отсутствовали или были статистически незначимыми. Так, для урожайности пшеницы в Беларуси средний прирост равнялся 0,89 ц/га/год при коэффициенте детерминации 53,8 %, в

Польше – 0,48 и 27,2, в Германии – -0,01 и 0,5, в Великобритании – -0,24 и 3,4. Аналогичная ситуация имеет место и по картофелю: Беларусь – 7,2 ц/га/год и 68,0 %; Польша – 5,4 и 52,1, Германия – 4,1 и 21,7, Великобритания – -2,0 ц/га/год и 7,4 %.

Результаты агроклиматической оценки продуктивности сельскохозяйственных культур в Беларуси по материалам, относящимся к современному периоду, представлены в табл. 1.

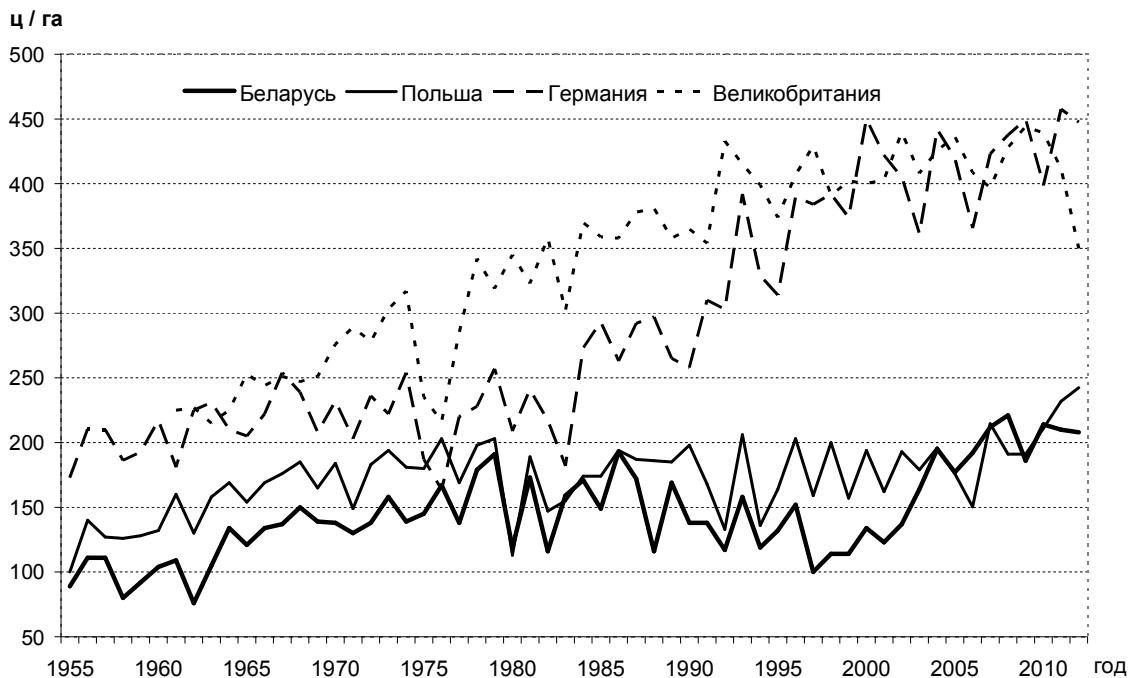


Рис. 2. Динамика урожайности картофеля в Беларуси и некоторых европейских странах за 1955–2012 гг.

Таблица 1. Оценки агроклиматических ресурсов Беларуси и их использования при возделывании сельскохозяйственных культур в 2001–2012 гг.

Культура	<i>N</i>	ПУ, ц/га	ДВУ, ц/га	УП, ц/га	<i>K</i> , %	<i>C</i> , %	<i>D</i> , %
Рожь озимая	29	77,3	60,1	22,9	77,7	38,1	29,6
в том числе тетрапloidная	18	75,4	58,5	–	77,6	–	–
диплоидная	11	84,2	62,5	–	74,2	–	–
Тритикале озимая	14	85,5	65,8	31,8	77,0	48,3	37,2
Пшеница озимая	14	86,0	63,5	31,9	73,8	50,2	37,1
Пшеница яровая	10	73,5	54,4	29,8	74,0	54,8	40,5
Ячмень яровой	32	76,3	56,6	29,6	74,2	52,3	38,8
в том числе пивоваренный	15	77,2	56,7	–	73,4	–	–
корковой	17	75,6	56,5	–	74,7	–	–
Овес	17	75,4	55,2	27,0	73,2	48,9	35,8
Гречиха	10	29,3	18,7	9,2	63,8	49,2	31,4
Просо	9	56,0	39,0	16,4	69,6	42,1	29,3
Кукуруза на зерно*	7	135,6	109,4	49,5	80,7	45,2	36,5
Рапс озимый на семена	6	51,6	38,8	14,3	75,2	36,9	27,7
Сахарная свекла (фабричная)	7	843	714	374	84,7	52,4	44,4
Картофель	21	461	333	169	72,2	50,8	36,7

*За 2006–2012 гг.

Как следует из табл. 1, количество использованных при оценке данных по сельскохозяйственным культурам существенно различалось. Максимально представлены традиционные для страны виды, имеющие сплошное распространение на ее территории (оимая рожь, яровой ячмень, овес, картофель), а минимально – новые и / или локально распространенные (кукуруза, просо, сахарная свекла, рапс). Общее количество использованных временных рядов для отдельных культур возрастает за счет раздельного отражения результатов испытаний по группам сортов (оимая рожь, яровой ячмень), а также по типам почв (минеральные и торфяно-болотные).

Максимальным уровнем ПУ и ДВУ среди зерновых культур, превышающим соответственно 130 и 100 ц/га, выделяется кукуруза. Среди колосовых культур наиболее высокими величинами ПУ и ДВУ, более 80 и 60 ц/га, характеризуются озимые: пшеница, тритикале и диплоидная рожь. Несколько ниже потенциальная урожайность озимой тетрапloidной ржи и яровых колосовых культур, им заметно уступают крупяные культуры – гречиха и просо. Особенno низки величины агроклиматических категорий урожаев у гречихи, ПУ которой лишь в отдельных пунктах (Щучинский, Бобруйский и Лунинецкий ГСУ, Октябрьская ГСС) превышают 30 ц/га. Гречиха, наряду с просом, характеризуется также и наименее благоприятными климатическими условиями для возделывания, которые наиболее благоприятны для кукурузы. При этом уровень использования агроклиматических ресурсов лишь у озимой и яровой пшеницы и ярового ячменя превышает 50 %. Минимальным коэффициентом использования агроклиматических ресурсов характеризуется озимая рожь – единственная из зерновых культур до сих пор не до-

стигшая дореформенного уровня своей урожайности. Очевидно, это связано с общим снижением интереса к данной культуре, на что также указывает и резкое сокращение ее посевых площадей (в 2,5 раза по сравнению с 1990 г.). Для ржи наряду с просом характерны минимальные среди зерновых культур коэффициенты реализации агрэкологического потенциала продуктивности. Они весьма невысоки и у остальных культур, достигая 40 % лишь у яровой пшеницы (см. табл. 1).

Среди технических культур высокими показателями ПУ, ДВУ и УП, а также максимальными значениями всех коэффициентов характеризуется сахарная свекла, которая удвоила свое присутствие в посевах на юге и западе страны. Гораздо ниже эти показатели у озимого рапса при минимальном уровне реализации существующего потенциала среди всех рассмотренных культур. Несмотря на то, что его посевы часто страдают от условий перезимовки на севере и востоке страны, в настоящее время они представлены во всех без исключения административных районах Беларуси, а по стране в целом с 1990 г. возросли более чем в 8 раз. Довольно высокими значениями ПУ и ДВУ, но в целом средними величинами комплексных показателей эффективности, характеризуется картофель, площади которого в сельскохозяйственных организациях за тот же период уменьшились более чем в 5 раз.

Результаты агроклиматической оценки продуктивности сельскохозяйственных культур по данным за предшествующий период позволяют проследить динамику используемых показателей на территории Беларуси на основе обеспеченных информацией сельскохозяйственных культур (табл. 2).

Таблица 2. Оценки агроклиматических ресурсов при возделывании сельскохозяйственных культур в Беларуси за 1971–1980 гг.

Культура	N	ПУ, ц/га	ДВУ, ц/га	УП, ц/га	K, %	C, %	D, %
Рожь озимая	26	42,7	32,6	18,0	76,3	55,2	42,1
Пшеница озимая	21	44,3	33,5	20,2	75,6	60,3	45,6
Пшеница яровая	7	45,2	33,1	19,6	73,2	59,3	43,4
Ячмень яровой	30	48,3	36,0	20,2	74,5	56,1	41,8
Овес	22	47,0	31,2	17,5	66,4	56,0	37,2
Гречиха	10	19,4	12,8	2,9	66,0	22,9	15,1
Сахарная свекла (фабричная)	8	541	403	236	74,5	58,6	43,6
Картофель	30	327	240	142	73,4	59,2	43,4
Кукуруза на силос	7	458	334	120	72,9	35,9	26,2

Сравнение данных табл. 1 и 2 обнаруживает, прежде всего, заметное увеличение видового состава зерновых и технических культур, связанное с появлением и превращением в ве-

дущую зерновую культуру нового гибридного вида – тритикале, возвращением на поля традиционного для южной части Беларуси проса, широким распространением в южных, центральных и

западных регионах страны посевов кукурузы, выращиваемой на зерно, а также расширением на всей территории преимущественно озимых посевов масличного рапса.

Сравнение полученных результатов указывает на значительный, почти двукратный рост ПУ и ДВУ, причиной которого является резкое расширение сортового разнообразия культур за счет достижений как отечественной, так и зарубежной селекции [5]. Однако это увеличение, как правило, не сопровождается адекватным ростом УП. Например, у озимой ржи рост ПУ и ДВУ составил 81 и 84 %, а рост УП – только 27 %; для озимой пшеницы эти показатели оцениваются в 94, 91 и 58 %, соответственно; для ярового ячменя – 58, 57 и 47 %, для овса – 60, 77 и 55 %, для картофеля – 41, 39 и 19 %, для сахарной свеклы – 56, 77 и 58 %. Исключением является гречиха, у которой при росте ПУ и ДВУ на 51 и 46 %, УП вырос более чем в 2 раза. В результате произошедшие у большинства сравниваемых сельскохозяйственных культур изменения обусловили заметное снижение коэффициентов использования агроклиматических ресурсов и реализации агроэкологического потенциала при фактической неизменности коэффициента благоприятности климатических условий.

Также обращает на себя внимание изменение относительной величины ПУ у зерновых культур: если в ранний период их максимальные значения были присущи яровым культурам (для ведущей зерновой культуры того времени – ярового ячменя – это относится и к ДВУ), то в настоящее время максимальными значениями характеризуются озимые зерновые культуры. Причем пониженные значения тетрапloidной ржи и, напротив, максимально высокие – кукурузы на зерно лишь подчеркивают принципиальные изменения в современном зернопроизводстве на территории Беларусь.

Значительный интерес представляет сравнение эмпирических оценок ПУ и ДВУ с их модельными оценками, полученными другими авторами. Модельные оценки обоих показателей для видов ландшафтов Беларусь за 1971–1990 гг. [1] обнаруживают хорошее совпадение средних значений лишь у озимой ржи (73,7 и 61 ц/га), в то время как у озимой пшеницы (69,1 и 54,4 ц/га) они заметно ниже, у ярового ячменя (100,3 и 83,6 ц/га) – выше, а у картофеля (684 и 616 ц/га) – значительно превосходят эмпирические оценки (см. табл. 1). Некоторое совпадение с нашими оценками обнаруживают и модельные расчеты ПУ для прилегающих к Беларусь северных агроклиматических макрорайонов Украины за 1961–1990 гг. [10]. Например, у озимой пшеницы (85 ц/га) они практически совпадают, у ярового ячменя (71–85 ц/га) попадают в интервал оценок, для сахарной свеклы (755 ц/га) ниже на 10 %, для картофеля (331–335 ц/га) – на 30 %, а

для кукурузы на зерно (66–70 ц/га) – наполовину ниже наших эмпирических оценок. Очевидно, что осреднение по сортам и пунктам наблюдений ведет к снижению эмпирических оценок ПУ, которые в полевых опытах не достигают своих истинных размеров. С другой стороны, ПУ – это теоретическая оценка, базирующаяся на известных (установившихся) представлениях.

По определению, ПУ – это теоретически возможный урожай при оптимальных условиях, когда посевы развиваются без каких-либо ограничений, исключая влияние не поддающихся контролю факторов. Его достижение требует совершенства в управлении всеми другими производственными факторами урожая, что в полевых условиях невозможно даже на относительно небольших опытных участках, не говоря уже об обширных производственных площадях. Поэтому ПУ часто оценивают на моделях, принимая идеальное управление и отсутствие потерь. Однако проверка таких моделей возможна лишь в полевых опытах, управление которыми не является совершенным. Оба подхода нельзя абсолютизировать – они дополняют друг друга [14].

Взаимная коррекция полученных эмпирических и модельных оценок не входила в задачи настоящего исследования, и едва ли возможна для различных временных периодов. Представленные выше количественные оценки, на наш взгляд, позволяют сделать однозначный вывод, что территория Беларусь обладает высоким потенциалом урожаев для возделывания широкого круга сельскохозяйственных культур, который далеко не в полной мере реализован в производстве. Аналогичный вывод о достаточно высоком потенциале растениеводства Беларусь и низком уровне его реализации был сделан ранее на основании анализа данных по урожайности сельскохозяйственных культур в системе госсортопитомника и в производстве за 2005–2007 гг. [8].

Полученные нами оценки позволяют говорить о вполне сопоставимом с уровнем западноевропейских стран потенциале урожаев в Беларусь, при кардинальных различиях в его нынешнем уровне реализации.

Сегодня в западноевропейских странах рост урожайности сельскохозяйственных культур фактически прекратился, их динамика вышла на плато, что может являться указанием на исчерпание растениеводством потенциала продуктивности [15]. Примерно 80 %-ный и даже выше уровень использования ГТП в наиболее развитых странах ЕС, в сравнении с менее чем 30 %-ным для Беларусь был показан нами ранее [6]. В этих условиях дальнейший рост урожайности возможен лишь на основе применения принципиально новых средств интенсификации, например внедрения методов точного земледелия или перехода к использованию генномодифицированных организмов в растениеводстве.

В современной Республике Беларусь сохраняются значительные резервы для повышения урожайности сельскохозяйственных культур за счет соблюдения существующих технологических регламентов при их возделывании, а также реализации мер по снижению производственных издержек организационно-экономического характера. Перечень возможных мер для повышения эффективности растениеводства в стране на основе роста урожайности сельскохозяйственных

культур, а также снижения производственных затрат, превышающих в 2–3 раза аналогичные затраты в странах Западной Европы, включает выведение из оборота малоплодородных земель, оптимизацию структуры посевных площадей и системы севооборотов, повышение плодородия почв и улучшение их фитосанитарного состояния и другие важные изменения в системе земледелия [5].

Литература

1. Витченко, А. Н. Теоретические и прикладные основы оценки агроклиматического потенциала ландшафта Беларуси : автореф. дис. ... д-ра. геогр. наук. 11.00.01 / Бел. гос. ун-т. Минск, 1996.
2. Грингоф, И. Г. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том I. Потребность сельскохозяйственных культур в агрометеорологических условиях и опасные для сельскохозяйственного производства погодные условия / И. Г. Грингоф, А. Д. Клещенко. Обнинск, 2011.
3. Гордеев, А. В. Биоклиматический потенциал России: теория и практика / А. В. Гордеев [и др.]. М., 2006.
4. Государственная программа устойчивого развития села на 2011–2015 гг. Минск, 2011.
5. Кадыров, М. А. Эффективное растениеводство как следствие оптимальной среды хозяйствования / М. А. Кадыров. Минск, 2012.
6. Коляда, В. В. Биоклиматический потенциал Беларуси в сравнении со странами СНГ и ЕС / В. В. Коляда // Природопользование. Минск, 2013. Вып. 24. С. 17–26.
7. Кукреш, Л. В. Зарубежная практика в сельскохозяйственном производстве республики / Л. В. Кукреш // Весці НАН Беларусі. Сер. аграр. навук. 2010. № 3. С. 36–42.
8. Кукреш, Л. В. Потенциал растениеводства Беларуси и его реализация / Л. В. Кукреш // Весці НАН Беларусі. Сер. аграр. навук. 2008. № 3. С. 34–39.
9. Лопатников, Л. И. Экономико-математический словарь : словарь современной экономической науки / Л. И. Лопатников. М., 2003.
10. Ляшенко, Г. В. Агроклиматическая оценка продуктивности сельскохозяйственных культур в Украине / Г. В. Ляшенко // Вісник Одеського держ. еколог. ун-ту, 2009. Вип. 8. С. 113–125.
11. Самохвалова, Е. В. Зависимость урожайности зерновых культур от агрометеорологических условий Самарской области / Е. В. Самохвалова // Агро XXI, 2009. № 4–6. С. 29–31.
12. Тооминг, Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая / Х. Г. Тооминг. Л., 1977
13. Шашко, Д. И. Агроклиматические ресурсы СССР / Д. И. Шашко. Л., 1985.
14. Lobell, D. B. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes / D. B. Lobell, K. G. Cassman, C. B. Field // Annu. Rev. Environ. Resour. 2009. Vol. 34. Pp. 179–204.
15. Grassini, P. Distinguishing between yield advances and yield plateaus in historical crop production trends / P. Grassini, K. M. Eskridge, K. G. Cassman // Nat. Commun. 4:2918 doi: 10.1038/ncomms3918 (2013).

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 07.04.2014 г.

B. В. Коляда

АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В БЕЛАРУСИ

Методом эталонных урожаев с использованием результатов государственного сортоиспытания и статистических данных по урожайности сельскохозяйственных культур за 2001–2012 гг. выполнена агроклиматическая оценка их продуктивности для территории Беларуси. Результаты оценки показывают, что агроклиматические ресурсы страны не ограничивают достижение высоких уровней урожайности при возделывании широкого круга сельскохозяйственных культур, а в ее растениеводстве сохраняются значительные резервы для их роста.

Сопоставление с результатами аналогичной оценки за 1971–1980 гг. обнаруживает значительный рост потенциальных и действительно возможных урожаев под влиянием резкого расширения сортового разнообразия возделываемых культур. Однако этот рост, как правило, не сопровождался адекватным увеличением урожаев в производстве, что обусловило заметное снижение коэффициентов использования агроклиматических ресурсов и реализации агрозоологического потенциала при фактической неизменности коэффициента благоприятности климатических условий.

Полученные нами оценки позволяют говорить о вполне сопоставимом с уровнем западноевропейских стран потенциале урожаев в Республике Беларусь, при кардинальных различиях в его нынешней реализации. Динамика урожаев сельскохозяйственных культур в этих странах выходит на плато, и для обеспечения их дальнейшего роста требуется поиск принципиально новых мер интенсификации. В то время как повышение урожайности в нашей стране, равно как и снижение производственных затрат и повышение эффективности растениеводства в целом, связано с выполнением существующих технологических регламентов при возделывании сельскохозяйственных культур, а также снижением производственных издержек организационно-экономического характера.

V. V. Koljada

AGROCLIMATIC PRODUCTIVITY ESTIMATION OF CROP IN BELARUS

Reference method yields results using state strain testing and statistical data on crop yields for 2001–2012 years performed agroclimatic estimation of their productivity for the territory of Belarus. The evaluation results show that the agroclimatic resources of the country do not limit the achievement of high levels of productivity in the cultivation of a wide range of crops and crop it there are significant reserves for their growth.

The comparison with the results of similar estimates for 1971–1980, reveals significant growth of potential and really possible yields under the influence of a dramatic expansion of varietal diversity of cultivated crops. However, this increase is usually not accompanied by an adequate increase in crop production, which led to a marked decline in utilization rates of agroclimatic resources and the implementation of agro-ecological potential at virtually unchanged ratio of favorable climatic conditions.

Our estimates suggest the quite comparable with that of Western European countries potential yields in Belarus, with underlying differences in its current implementation. The dynamics of crop yields in these countries to reach a plateau, and to ensure their continued growth requires innovative measures search intensification. While the increase of productivity in our country, as well as to reduce production costs and increase the efficiency of crop as a whole, due to the implementation of existing technological regulations in the cultivation of crops, as well as lower production costs of organizational and economic nature.

C. B. Какарека

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ СУММАРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Статья посвящена методам оценки суммарного (интегрального) загрязнения атмосферного воздуха. Приведен обзор методов расчета и сфер применения интегральных показателей качества воздушной среды, используемых в Беларуси, странах СНГ, США, Канаде, Франции, Бельгии, ряде стран Восточной и Юго-Восточной Азии. Показано, что интегральные показатели качества воздушной среды необходимы в первую очередь как инструмент оперативного информирования общественности о состоянии атмосферного воздуха. Обоснована целесообразность совершенствования системы интегральной оценки качества атмосферного воздуха в Беларуси на основе использования международного опыта оперативного отражения состояния воздушной среды городов.

Показатели интегрального загрязнения атмосферы в Беларуси и странах СНГ. Количество веществ, загрязняющих атмосферный воздух, весьма велико. Учитывая мультиполлютантный характер загрязнения атмосферного воздуха, его динамичность и пространственную неоднородность, важной задачей является характеристика уровня его суммарного (интегрального) загрязнения и обусловленных этим рисков для здоровья населения определенной территории в сопоставимом и наглядном виде, осенненного за различные периоды времени. В качестве меры такой оценки используются показатели интегрального загрязнения атмосферного воздуха. В различных странах мира разработке таких показателей в последние годы уделяется все больше внимания. Анализируются подходы к его расчету и указывается [19–21], что такой показатель должен опираться на результаты эпидемиологических исследований.

Для интегральной оценки степени загрязнения атмосферы в СССР разработан комплексный показатель – индекс загрязнения атмосферы (ИЗА). Введение в практику службы мониторинга воздушной среды расчета ИЗА связано с выходом в 1979 г. Руководства по контролю загрязнения атмосферы. В Беларуси комплексный ИЗА начал регулярно рассчитываться с 1982 г.

Расчет основан на предположении, что при значениях на уровне ПДК все вредные вещества характеризуются одинаковым влиянием на человека, а при дальнейшем увеличении концентрации степень их вредности возрастает с различной скоростью, которая зависит от класса опасности вещества.

Фактически используются два индекса загрязнения атмосферы – ИЗА по каждому веществу и комплексный ИЗА, учитывающий загрязнение атмосферного воздуха суммой веществ.

Для расчета комплексного ИЗА предварительно рассчитывается ИЗА по каждому компо-

ненту. Расчет ИЗА для одного i -го вещества I_i проводится по формуле (1) [4]:

$$I_i = \left(\frac{q_{cp,i}}{\PiDK_{c.c.i}} \right) K_i, \quad (1)$$

где $q_{cp,i}$ – среднегодовая (или среднемесячная) концентрация i -го вещества; $\PiDK_{c.c.i}$ – его среднесуточная предельно допустимая концентрация; K_i – безразмерный коэффициент, позволяющий привести степень загрязнения воздуха i -м веществом к степени загрязнения воздуха диоксидом серы. Значения K_i равны 0,85; 1,0; 1,3; 1,5 соответственно для 4-го, 3-го, 2-го и 1-го классов опасности вещества.

Затем составляется убывающий вариационный ряд величины I_i . Комплексный ИЗА, учитывающий m веществ, присутствующих в атмосфере, рассчитывается по формуле:

$$I(m) = \sum_{i=1}^m \left(\frac{q_{c.c.i}}{\PiDK_{c.c.i}} \right) K_i. \quad (2)$$

ИЗА, рассчитанный по формуле (2), показывает, какому уровню загрязнения атмосферы (в единицах ПДК диоксида серы) соответствуют фактически наблюдаемые концентрации m веществ, т. е. во сколько раз суммарный уровень загрязнения воздуха превышает допустимое значение по рассматриваемой совокупности загрязняющих веществ в целом. Чтобы значения комплексного ИЗА были сравнимы для разных станций, их рассчитывают для одинакового количества (обычно 5) веществ. В зависимости от значения ИЗА уровень загрязнения воздуха оценивается по 5-ступенчатой шкале (табл. 1).

Индекс загрязнения атмосферы широко использовался в Беларуси более 20 лет; основные

сферы применения – интегральная оценка уровня загрязнения воздушной среды города в целом или его районов, сопоставление уровней загрязнения атмосферного воздуха, выявление многолетних изменений качества атмосферного воздуха. В частности, на основании величин ИЗА

в Беларуси составлялись перечни городов с особо неблагоприятной воздушной средой [5].

Осредненное значение ИЗА по всем городам Беларуси было максимальным в 1991 г. (8,3). К 1994 г. оно снизилось до 4,8; позже колебалось в диапазоне 4,3 (2000 г.) – 6,1 (1996 г.).

Таблица 1. Шкала оценки степени загрязнения атмосферного воздуха по ИЗА [4]

ИЗА	Уровень загрязнения атмосферного воздуха
≤5	Низкий
5–7	Повышенный
7–14	Высокий
≥14	Очень высокий

За период с 1991 по 2005 г. среднегодовое значение ИЗА изменялось в диапазоне 1,4–15,2. Характерно сужение диапазона различий по данному показателю между городами. После 2000 г. среднегодовой ИЗА лишь в 5 случаях превышал значение 7, которое соответствует границе между повышенным и высоким уровнем загрязнения.

Анализ показал, что решающую роль в формировании значения ИЗА играли малые загрязняющие атмосферный воздух примеси и, в особенности, формальдегид. Фактически в Беларуси изменение ИЗА отражало изменение среднего содержания формальдегида в атмосферном воздухе, что обусловлено его вкладом в ИЗА: вклад формальдегида в суммарный ИЗА практически во всех городах Беларуси составлял от 50 до 80 % (средний вклад за период с 1991 по 2004 г. – около 62 %). Следующие примеси по вкладу в ИЗА – аммиак и пыль: средний вклад данных поллютантов за этот же период составил 15–16 % при максимальном 25–28 %. За этот же период вклад диоксида азота в значение ИЗА не превышал 10%, составляя в среднем 5–6 %, вклад оксида углерода не превышал 18 % при среднем вкладе около 10 %. Таким образом, роль «классических» (основных) загрязняющих веществ – диоксида азота, оксида углерода, а также пыли (диоксид серы в воздухе городов Беларуси находится на пределе обнаружения) в формировании качества атмосферного воздуха и его различий между городами затушевывалась.

Выявлен также ряд других ограничений в использовании данного показателя. В частности, то, что ИЗА базируется на среднегодовых (либо среднемесячных) концентрациях, не позволяет использовать его для оперативного контроля состояния воздушной среды. Эти особенности ИЗА привели к тому, что после 2006 г. он практически не используется в Беларуси для оценки интегрального загрязнения атмосферы. В то же время в других странах СНГ его использование продолжается. В частности, в России, принципы интегральной оценки состояния воздушной среды, по-прежнему базируются на расчете комплексного ИЗА [2]. Суммарное загрязнение атмосферно-

го воздуха по ИЗА определяют малые примеси, в первую очередь формальдегид. Так, согласно [2] в 2008 г. средняя концентрация формальдегида в городах Российской Федерации была выше ПДК в 3, бенз(а)пирена – в 2,1, сероуглерода – в 1,6 раза, диоксида азота превысила 1 ПДК, других веществ – не превышала 1 ПДК. Приоритетный список городов с очень высоким уровнем загрязнения воздуха, для которых комплексный ИЗА равен или выше 14, в 2008 г. включал 30 городов. В 12 из них перечень веществ, определяющих высокий уровень загрязнения атмосферы возглавляет формальдегид, еще в 8 городах формальдегид – на втором месте. Только в 3-х городах на первом месте в перечне не находится одно из малых примесей.

Предпринимались попытки предложить другие показатели интегрального загрязнения атмосферного воздуха. В частности, в системе социально-гигиенического мониторинга Беларуси используется суммарный показатель загрязнения атмосферного воздуха P [3].

Расчет суммарного (комплексного) показателя загрязнения атмосферного воздуха P проводится по формуле (3):

$$P = \sqrt{\sum_{i=1}^n K_i^2} \quad (3)$$

где P – суммарный показатель загрязнения; K_i – нормированная по ПДК концентрация вещества 1-го, 2-го, 4-го классов опасности, «приведенная» к таковой биологически эквивалентного 3-го класса опасности по коэффициентам изоэффективности, равным: 1-й класс – 2,0; 2-й класс – 1,5; 3-й класс – 1,0; 4-й класс – 0,8.

Таким образом, основное отличие показателя P от традиционного ИЗА – в несколько иных значениях изоэффективности для веществ 1-го, 2-го и 4-го классов опасности. Опыт использования показателя P не выявил его существенных преимуществ по сравнению с традиционным ИЗА.

В связи с вышесказанным целесообразно учесть опыт других стран в разработке и исполь-

зовании показателей суммарного загрязнения атмосферы. Ниже приведен краткий обзор ряда таких показателей.

Индексы качества атмосферного воздуха, используемые в других странах.

Агентство по охране окружающей среды (AOOC) США и его региональные подразделения на регулярной основе рассчитывают и публикуют Индекс качества атмосферного воздуха (Air Quality Index – AQI), что предусмотрено действующими нормативными актами [6, 9, 10].

Индекс качества атмосферного воздуха – это инструмент предоставления информации о загрязнении атмосферного воздуха широкой общественности в простой и наглядной форме. Он рассчитывается на основе индексов концентраций пяти загрязняющих веществ: озона, взвешенных частиц (ВЧ), оксида углерода, диоксида серы и диоксида азота.

Разработана шкала индекса AQI, включающая несколько интервалов в зависимости от степени воздействия разных концентраций данных веществ на здоровье человека. Шкала также включает систему цветовых обозначений каждой ступени загрязнения.

Согласно действующим в США нормативам, информация об AQI должна собираться регулярно, по крайней мере, пять дней в неделю.

Расчет AQI включает следующие этапы:

1) определение самой высокой концентрации из всех измерений в каждой из контролируемых территорий и округление ее величины;

2) нахождение интервала, в который попадает данная замеренная концентрация (табл. 2);

3) вычисление индекса по формуле (4);

4) округление полученного числа до целого.

Таблица 2. Шкала Индекса качества атмосферного воздуха AQI (США) [6]

Интервалы концентраций							AQI	Категория качества атмосферного воздуха
O ₃ (ppm) 8 ч.	O ₃ (ppm) 1 ч.	ВЧ2.5 (мкг/м ³)	ВЧ10 (мкг/м ³)	CO (ppm)	SO ₂ (ppm)	NO ₂ (ppm)		
0,000– 0,064	–	0,0–15,4	0–54	0,0–4,4	0,000–0,034	–	0–50	Хорошее
0,065– 0,084	–	15,5–40,4	55–154	4,5–9,4	0,035–0,144	–	51–100	Удовлетворительное
0,085– 0,104	0,125–0,164	40,5–65,4	155–254	9,5–12,4	0,145–0,224	–	101–150	Неблагоприятное для чувствительных групп населения
0,105– 0,124	0,165–0,204	65,5–150,4	255–354	12,5–15,4	0,225–0,304	–	151–200	Плохое
0,125– 0,374	0,205–0,404	150,5–250,4	355–424	15,5–30,4	0,305–0,604	0,65–1,24	201–300	Очень плохое
–	0,405–0,504	250,5–350,4	425–504	30,5–40,4	0,605–0,804	1,25–1,64	301–400	Опасное
–	0,505–0,604	350,5–500,4	505–604	40,5–50,4	0,805–1,004	1,65–2,04	401–500	

Формула расчета AQI, согласно [6] (40 CFR..., 1999):

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo} \quad (4),$$

где I_p – значение индекса загрязнения; C_p – усредненная концентрация загрязняющего вещества; BP_{Hi} – граница интервала, большая либо равная C_p ; BP_{Lo} – граница интервала, меньше C_p ; I_{Hi} – значение AQI, соответствующее BP_{Hi} ; I_{Lo} – значение AQI, соответствующее BP_{Lo} .

Метеорологическая служба Канады использует для представления результатов мониторинга воздушной среды Индекс качества атмосферного воздуха AQI. Шкала значений AQI изменяется от 0 до 100. Чем больше значение индекса, тем выше риск для здоровья. Расчет ин-

декса проводится для шести ключевых загрязнителей: диоксида серы, озона, диоксида азота, общего содержания восстановленных соединений серы, оксида углерода и взвешенных частиц.

Используя данные сети станций мониторинга, Министерство охраны окружающей среды определяет AQI для каждой территории, на которой расположены станции мониторинга. Эти данные каждый день в установленные сроки сообщаются населению и средствам массовой информации. Шкала AQI имеет следующий вид:

- 0–25 – хорошее качество – зеленый цвет;
- 26–50 – умеренное качество – желтый цвет;
- 51–100 – плохое качество – оранжевый цвет;
- более 100 – очень плохое качество – красный цвет.

Процедура оценки качества атмосферного воздуха в странах Евросоюза регулируется статьей 6 Директивы Совета 96/62/ЕС [16]. В статье указывается, что после установления предель-

ных значений концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, на территории стран Евросоюза должна выполняться оценка качества атмосферного воздуха с использованием как мониторинга воздушной среды, так и моделирующих систем.

Директивами ЕС не регулируется процедура использования конкретных приемов (сравнительной) оценки качества атмосферного воздуха, в том числе интегрального (в виде формул, шкал и т. д.). Оценка качества атмосферного воздуха, согласно директивам Евросоюза, – это целый комплекс процедур, включая зонирование территории, критерии размещения пунктов наблюдений, отчетность и т. д. В то же время во многих странах Евросоюза широко используются пока-

затели оценки интегрального загрязнения воздушной среды.

Во Франции для интегральной оценки загрязнения атмосферного воздуха используется индекс АТМО. Индекс АТМО регламентирован на национальном уровне Постановлением Министерства экологии и охраны окружающей среды от 22 июля 2004 г. [12]. Он рассчитывается по содержанию четырех загрязняющих веществ: диоксида серы, диоксида азота, озона и взвешенных частиц (ВЧ10). Для каждого из загрязнителей определяется первичный индекс. Индекс загрязнения атмосферы за день рассчитывается путем суммирования самых высоких первичных индексов. В табл. 3 представлена сетка расчета индекса АТМО.

Таблица 3. Шкала индекса загрязнения атмосферы АТМО (Франция) [12]

Индекс АТМО		Диапазон средних из максимальных часовых концентраций			Диапазон средних дневных концентраций	
		SO ₂ , мкг/м ³	O ₃ , мкг/м ³	NO ₂ , мкг/м ³	ВЧ10, мкг/м ³	
1	Очень хороший	0–39	0–29	0–29	0–9	
2	Очень хороший	40–79	30–54	30–54	10–19	
3	Хороший	80–119	55–79	55–84	20–29	
4	Хороший	120–159	80–104	85–109	30–39	
5	Средний	160–199	105–129	110–134	40–49	
6	Посредственный	200–249	130–149	135–164	50–64	
7	Посредственный	250–299	150–179	165–199	65–79	
8	Плохой	300–399	180–209	200–274	80–99	
9	Плохой	400–499	210–239	275–399	100–124	
10	Плохой	≥ 500	≥ 240	≥ 400	≥ 125	

Метеорологический департамент Великобритании публикует прогнозы качества атмосферного воздуха, в которых уровень загрязнения описывается индексом (от 1 до 10) и соответствующим ему уровнем загрязнения (от 1 до 3 – низкий, от 4 до 6 – умеренный, от 7 до 9 – высокий, 10 – очень высокий). Эти уровни установлены на основе воздействия каждого загрязняющего вещества на здоровье. При расчете индекса учитываются замеренные на станциях сети мониторинга концентрации озона, диоксида азота, диоксида серы и ВЧ [7].

В Бельгии для интегральной оценки состояния воздушной среды применяется Индекс качества атмосферного воздуха (BELATMO), сходный по методике расчета с AQI АООС США [14, 15]. Индекс определяется исходя из замеренных на станциях сети мониторинга концентраций озона, диоксида азота, диоксида серы и ВЧ. В табл. 4 показано соответствие различных концентраций загрязняющих веществ значениям BELATMO.

Таблица 4. Категории качества воздуха и значения индекса BELATMO [14]

Загрязняющее вещество		Содержание вещества, мкг/м ³									
Индекс	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Категория качества воздуха	Отличное	Очень хорошее	Хорошее	Довольно хорошее	Удовлетворительное	Низкое	Очень низкое	Плохое	Очень плохое	Ужасное	
SO ₂	Среднесуточное	0–15	16–30	31–45	46–60	61–80	81–100	101–125	126–165	166–250	>250
NO ₂	Максимальное за 1 ч	0–25	26–45	46–60	61–80	81–110	111–150	151–200	201–270	271–400	>400
O ₃	Среднее за 8 ч	0–30	31–45	46–60	61–80	81–100	101–120	121–150	151–200	201–270	>270
VЧ ₁₀	Среднесуточное	0–10	11–20	21–30	31–40	41–50	51–70	71–100	101–150	151–200	>200

В зависимости от замеренного содержания компонентов значение индекса варьирует в пределах от 1 (отличное качество воздуха) до 10 (ужасное качество).

(участник проекта).
Индекс качества воздуха CAQI. Как отмечено выше, в законодательстве ЕС отсутствует процедура оценки интегрального загрязнения воздуха, в том числе расчета индексов загрязнения. Однако в рамках научных проектов, финансируемых Евросоюзом, такая работа проводится. В частности, в рамках Европейского регионального инициативного проекта разработан индекс CAQI (Common Air Quality Index) – Общий индекс качества воздуха [17]. Цель разработки индекса – представление ситуации с качеством воздуха в европейских городах в сравнительном и понятном виде. Методология предусматривает расчет индексов для трех временных шкал:

- часового индекса, базирующегося на часовых результатах измерений и обновляющегося ежечасно;
 - суточного индекса, базирующегося на суточных значениях и характеризующего ситуацию за прошедший день;
 - годового индекса, характеризующего качество атмосферного воздуха города в целом в течение года относительно годовых нормативов содержания загрязняющих веществ ЕС, и базирующегося на средних годовых концентрациях загрязняющих веществ и обновляющегося раз в год.

Часовой и суточный индексы позволяют оценить краткосрочные воздействия загрязнения атмосферного воздуха на здоровье. Годовой индекс направлен на оценку долгосрочного воздействия загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения.

Указанные индексы рассчитываются и обновляются регулярно на основе данных AIRBASE и публикуются на сайте www.airqualitynow.eu.

Однако отмечается [17], что предложенные значения индекса публикуются для демонстрации динамики загрязнения воздуха и не предна-

значены для оценки соответствия экологической ситуации нормативным требованиям.

Методика расчета индекса CAQI. Часовой и суточный индексы рассчитываются по одной методике и шкале (от 0 до 100). Шкала имеет пять уровней (классов): от 0 до 25 – очень низкий, 25–50 – низкий, 50–75 – средний, 75–100 – высокий, >100 – очень высокий. При расчете индексов учитываются 3 загрязняющих вещества, вызывающих наибольшее беспокойство в Европе: ВЧ10, NO₂ и O₃. В качестве дополнительных используются CO, ВЧ2.5 и SO₂ (в тех случаях, когда данные доступны). Расчет индексов выполняется автоматически на основании доступной информации по станциям измерительной сети. Раздельно рассчитываются индексы для дорожных (дорожный индекс) и фоновых (фоновый индекс) станций. Часовой и дневной индексы рассчитываются относительно часовых и суточных нормативов содержания загрязняющих веществ, установленных в ЕС. Схема расчета индексов приведена в табл. 5. На первом этапе рассчитываются индексы по каждому из учитываемых веществ (субиндексы). Загрязняющее вещество, концентрация которого в атмосферном воздухе относительно нормативов наивысшая, определяет значение общего индекса. Отмечается [17], что такая методология расчета индекса загрязнения воздуха весьма распространена. Реже используются индексы, основанные на суммации воздействия ряда веществ, однако их расчет и обоснование затруднены.

Годовой Общий индекс качества воздуха. Он также рассчитывается для фоновых и дорожных условий и характеризует отклонение от нормативов и целевых показателей качества воздуха ЕС. Схема расчета приведена в табл. 6. Если индекс выше 1, то для одного или более загрязняющего вещества нормативы содержания не выполняются; если индекс менее 1, то качество атмосферного воздуха в целом укладывается в нормативы.

Таблица 5. Схема расчета часового и суточного индекса CAQI [17]

Таблица 6. Схема расчета годового индекса CAQI [17]

Вещество	Целевое / предельное значение, $\mu\text{г}/\text{м}^3$	Расчет индекса
NO_2	Средняя годовая равна 40	Средняя годовая / 40
ВЧ10	Средняя годовая равна 40	Средняя годовая / 40
ВЧ10	35 дней средняя суточная выше 50	$\text{Log}(\text{число дней}+1) / \text{Log}(36)$
Озон	25 дней 8-часовая средняя ≥ 120	Число дней с 8-часовой $\geq 120 / 25$
ВЧ2,5	Средняя годовая равна 20	Средняя годовая / 20
SO_2	Средняя годовая равна 20	Средняя годовая / 20
Бензол	Средняя годовая равна 5	Средняя годовая / 5
CO	—	Не рассчитывается

Мониторинговый центр по охране окружающей среды Китая публикует ежедневно суточный отчет по ключевым городам в средствах массовой информации. Отчет включает в себя характеристику уровня загрязнения атмосферного воздуха, основные загрязнители, оценку качества воздуха. Для оценки качества атмосферного воздуха используется индекс загрязнения воздуха

ха API. При расчете индекса учитываются концентрации трех загрязняющих веществ: диоксида серы, диоксида азота и ВЧ10 [22].

Суточный отчет рассчитывается за интервал времени от 12 часов предыдущего дня до 12 часов текущего дня. Для расчета API используется специальная шкала (табл. 7).

Таблица 7. Шкала индекса загрязнения атмосферы API (Китай) [22]

API	Концентрации загрязняющих веществ, $\text{мг}/\text{м}^3$				
	SO_2 (суточная)	NO_2 (суточная)	ВЧ10 (суточная)	CO (1-часовая)	O_3 (1-часовая)
50	0,050	0,080	0,050	5	0,120
100	0,150	0,120	0,150	10	0,200
200	0,800	0,280	0,350	60	0,400
300	1,600	0,565	0,420	90	0,800
400	2,100	0,750	0,500	120	1,000
500	2,620	0,940	0,600	150	1,200

По шкале определяется компонент, уровень загрязнения воздуха которым наивысший; значение API вычисляется по уровню загрязнения воздуха этим компонентом согласно формуле (5) [22]:

$$\text{API} = \max (l_1, l_2, \dots, l_n) \quad (5)$$

Качество атмосферного воздуха в соответствии со значениями API оценивают по специальной шкале. При значениях API от 0 до 50 качество атмосферного воздуха считается отличным, от 51 до 100 – хорошим; при API от 101 до 150 воздух рассматривается как незначительно загрязненный, от 151 до 200 – слабозагрязненный, от 201 до 250 – среднезагрязненный, от 251 до 300 – средне-сильнозагрязненный, больше 300 – сильно загрязненный.

В Гонконге с 1995 г. для оценки качества атмосферного воздуха используется индекс API. Рассчитываются два типа API: общий (General) и применимый для транспортных магистралей (Roadside). Департамент по охране окружающей среды оценивает оба типа индексов API ежесменно и строит прогноз API на следующий день. API рассчитывается на основе замеренных на постах

мониторинга уровней содержания шести загрязняющих веществ: SO_2 , NO_2 , ВЧ, CO, O_3 , Pb. При значениях API до 25 уровень загрязнения атмосферного воздуха считается низким, от 26 до 50 – средним, от 51 до 100 – высоким, от 100 до 200 – очень высоким и от 201 до 500 – чрезвычайно высоким.

В Индии для отчетов о состоянии атмосферного воздуха предполагается использовать Индекс качества воздуха (India-AQI) [13]. Основа для его расчетов была взята из опыта других стран: в первую очередь США, а также Великобритании, Малайзии, Канады и др. Перечень загрязнителей, на основе концентраций которых в Индии намереваются рассчитывать AQI, включает взвешенные частицы, диоксид серы, диоксид азота, оксид углерода, озон и ВЧ10.

В Малайзии в 1993 г. была разработана первая в стране система индексов загрязнения атмосферы, известная как Малайзийский индекс загрязнения атмосферы (MAPI). В 1996 г. эту систему расширили и доработали, и MAPI был адаптирован к другим аналогичным системам; используемая в настоящее время система расчета MAPI очень схожа с системой расчета индекса AQI в США [11]. Однако в отличие от AQI,

индекс MAPI может быть выше 500; в таких случаях объявляется состояние чрезвычайной ситуации в соответствующем регионе.

Индексы загрязнения атмосферного воздуха рассчитываются и в некоторых других странах (в частности, в Новой Зеландии [18], Ирландии, Мексике, Таиланде, Корее, Австралии и т. д.). Принципы расчета в большинстве случаев базируются на подходах к расчету индекса AQI АООС США.

В большинстве стран СНГ, где используется нормативно-методическая база СССР, инструментом для оценки среднегодового уровня загрязнения атмосферного воздуха по постам и городам является комплексный ИЗА. Для расчета ИЗА используются среднегодовые значения содержания в атмосферном воздухе пяти приоритетных контролируемых компонентов. В качестве приоритетных компонентов может практически выступать любое контролируемое на постах вещество (при условии, что для него установлен норматив ПДК); особенностью ИЗА его является то, что он находится в степенной зависимости от класса опасности загрязняющего вещества.

К настоящему времени в Беларуси утверждено более 600 ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе [1]. В то же время современный уровень знаний о воздействия на человека микроколичеств загрязняющих веществ в атмосферном воздухе весьма ограничен. Так, ВОЗ установила критерии качества атмосферного воздуха лишь для 35 веществ [8]. В большинстве стран мира национальные стандарты качества воздуха также установлены лишь для весьма ограниченного перечня загрязняющих веществ. В частности, в США установлены национальные стандарты качества атмосферного воздуха лишь для пяти веществ (диоксида серы, диоксида азота, озона, ВЧ10, свинца).

Особенностью ИЗА является его чувствительность к значениюю ПДК веществ и соответственно к значительным изменениям ПДК, что особенно характерно для специфических загрязняющих веществ. В частности, после того, как в 2005 г. в Беларуси среднесуточная ПДК формальдегида была изменена с 3 мкг/м³ до 12 мкг/м³, получаемые в результате расчетов значения ИЗА резко снизились и стали несопоставимыми с рассчитанными за период до 2005 г. Это привело к существенному сужению сферы использования ИЗА в системе мониторинга воздушной среды Беларуси.

Анализ показал, что интегральные показатели состояния воздушной среды используются во многих странах мира; в то же время принципы его расчета существенно отличаются от расчета ИЗА. Интегральный показатель обычно рассчитывается, в зависимости от установленных нормативов, на основании максимальных часовых, 8-часовых либо среднесуточных концентраций ограниченного заранее заданного перечня регулярно контролируемых загрязняющих веществ в атмосферном воздухе – обычно от трех до шести. При расчете интегрального показателя предварительно определяют индексы загрязнения по каждому компоненту в соответствии с действующими в стране нормативами качества атмосферного воздуха и уровнями их превышений. Критериями для выделения ступеней шкалы индекса выступают нормативы качества атмосферного воздуха по учитываемым веществам. Интегральный показатель вычисляется чаще всего, исходя из уровня загрязнения воздуха компонентом с наибольшими превышениями нормативов качества атмосферного воздуха. На основе рассчитанных значений показателя по специальным шкалам определяют уровень загрязнения воздуха (обычно шкала четырех– или пяти–ступенчатая: низкий–средний–высокий–очень высокий); за ступеням шкалы закрепляют определенный цвет для отображения на картах либо в таблицах.

Интегральные показатели используются в первую очередь как инструмент оперативного информирования общественности о текущем и прогнозном состоянии атмосферного воздуха. Отмечается [15], что для анализа причин и последствий загрязнения атмосферного воздуха необходимо использование в первую очередь данных о реальных концентрациях загрязняющих веществ. В то же время как средство оперативного контроля состояния воздушной среды интегральные показатели весьма полезны.

В связи с вышесказанным целесообразно совершенствование использования в Беларуси методов оценки интегрального загрязнения атмосферного воздуха, включая разработку нового интегрального индекса загрязнения атмосферы, с учетом опыта использования таких индексов в других странах. Это будет одним из шагов на пути совершенствования системы оценки качества атмосферного воздуха.

Литература

- Гигиенические нормативы 2.1.6.12–45–2005. Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест / Сборник официальных документов по коммунальной гигиене. Министерство здравоохранения Республики Беларусь. Минск, 2006.

2. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2008 году. Москва, 2009.
3. Основные принципы организации и проведения социально-гигиенического мониторинга. Инструкция по применению. Минск, 2007.
4. Руководство по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186-89. Л., 1991.
5. Состояние природной среды Беларусь. Экологический бюллетень 2005 год ; под общ. ред. В. Ф. Логинова. Минск, 2006.
6. 40 CFR. Protection of Environment. Part 58 – Ambient Air Quality Surveillance. Subpart G – Federal Monitoring. 64 FR 42547, Aug. 4, 1999.
7. Air Pollution in the UK: 2008. AEAT/ENV/R/2823/Issue 1. 2009. 270 Р.
8. Air Quality Guidelines for Europe Second Edition. WHO, 2000. 288 р.
9. AQI Calculator: Concentration to AQI. http://airnow.gov/index.cfm?action=aqi_calc.conc_aqi_calc.
10. Air Quality Index (AQI) – A Guide to Air Quality and Your Health. A cross-agency U.S. Government Web site. <http://airnow.gov/index.cfm?action=aqibasics.aqi>
11. Ambient Air Data And Monitoring. Department of Environment. 2005 24 p. <http://www.doe.gov.my/index>.
12. ATMO: un chiffre pour tout savoir. 2004. <http://www.airparif.asso.fr/pages/indices/atmo>.
13. Basis for Indian Air Quality Index (IND – AQI). <http://home.iitk.ac.in/~mukesh/ind-aqi/basis.html>
14. Bulletin de la Qualité de L'air. Lundi 29 décembre 2008. 5 P. <http://www.ircline.be>.
15. Definition of the air quality index. 2013. http://www.ircline.be/~celinair/english/homeen_java.html
16. Council Directive 96/62/EC of 27 September 1996 on Ambient Air Quality Assessment and Management. // Official Journal of the European Communities. 2001.
17. Elshout S., Bartelds H., Heich H., Léger K. CAQI Air quality index. Comparing Urban Air Quality across Borders. European Union. European Regional Development Fund. Regional Initiative Project 2012. 38 P.
18. Good-practice guide for air quality monitoring and data management. Prepared by the Ministry for the Environment. 2009.
19. Lee D. Constructing representative air quality indicators with measures of uncertainty / D. Lee, C. Ferguson, E. Scott // J. R. Statist. Soc. A, 2011.174, part 1, 109–126.
20. Mayer H. Two impact related air quality indices as tools to assess the daily and long-term air pollution / H. Mayer, F. Kalberlah // International Journal of Environment and Pollution. Vol. 36. 2009.
21. Shooter D. Air quality indexing / D. Shooter, P. Brimblecombe // International Journal of Environment and Pollution. 2009, Volume 36, Number 1-3.
22. Technological Rules Concerned «Ambient Air Quality Daily Report». National Environmental Monitoring Centre, China. 2007. 3 P. http://fire.biol.wvu.edu/trent/alles/China_API_Rules.pdf

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 07.04.2014 г.

С. В. Какарека

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ СУММАРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Статья посвящена методам оценки суммарного (интегрального) загрязнения атмосферного воздуха. Описаны принципы, положенные в основу расчета индекса загрязнения атмосферы (ИЗА), используемого более 30 лет для интегральной оценки загрязнения атмосферного воздуха в странах СНГ. Приведен обзор методов расчета интегральных показателей качества воздушной среды, используемых в США (AQI), Канаде (AQI), Франции (ATMO), Бельгии (BELATMO), ЕС (CAQI), странах Восточной, Южной и Юго-Восточной Азии (India-AQI, MAPI, API). Интегральный показатель обычно рассчитывается, в зависимости от установленных нормативов, на основании максимальных часовых, 8-часовых либо среднесуточных концентраций ограниченного заранее заданного перечня регулярно контролируемых загрязняющих веществ в атмосферном воздухе – обычно от трех до шести. При расчете интегрального показателя предварительно определяют индексы загрязнения по каждому компоненту в соответствии с действующими в стране нормативами качества атмосферного воздуха и уровнями их превышений. Интегральный показатель определяется чаще всего исходя из величины индекса загрязнения компонентом с наибольшими превышениями нормативов качества атмосферного воздуха. На основе рассчитанных значений интегрального показателя по специальным шкалам определяют уровень загрязнения воздуха (обычно шкала четырех- или пятиступенчатая: низкий–средний–высокий–очень высокий); за ступеням шкалы закрепляют определенный цвет для отображения на картах либо в таблицах. Большинство используемых индексов суммарного загрязнения характеризуют состояние атмосфер-

ного воздуха с суточным разрешением; некоторые, в частности, индекс CAQI, имеют также часовое и годовое представление.

Отмечено, что интегральные показатели качества воздуха в различных странах используются в первую очередь как инструмент оперативного информирования общественности о состоянии атмосферного воздуха. Обоснована целесообразность совершенствования системы интегральной оценки качества атмосферного воздуха в Беларуси на основе использования для этих целей международного опыта с целью расширения его возможностей для оперативного отражения состояния воздушной среды городов.

S. V. Kakareka

APPROACHES TO THE ASSESSMENT OF TOTAL AIR POLLUTION

The article is devoted to methods for assessing of the total (integrated) air pollution. The principles underlying the calculation of air pollution index (API), used for over 30 years for the integrated assessment of air pollution in the CIS countries have been described. An overview of methods for calculating the integral air quality indicators used in the U.S. (AQI), Canada (AQI), France (ATMO), Belgium (BELATMO), EC (CAQI), East, South and Southeast Asia (India-AQI , MAPI, API) has been provided. Integral index is generally calculated in accordance with established standards, based on the maximum hourly, 8-hourly or daily average concentrations of the limited predetermined list regularly monitored pollutants in ambient air – usually three to six. Pollution indices for each component are predetermined in accordance with the national ambient air quality standards and exceedances when calculating the integral index. Integrated indicator often determined based on the value of the index component with the highest pollution exceedances of ambient air quality standards. On the basis of the calculated values of the integral index at special scales determined the level of air pollution (usually scale of four- or five-steps: low–medium–high–very high); scale fixed steps for a specific color to be displayed on maps or in tables. Most used indices of overall pollution characterize the state of air with daily resolution; some, in particular, the index CAQI, also have hour and annual performance.

It has been noted that integrated air quality in different countries are primarily used as a tool of informing the public about the state of the atmosphere. The expediency of improving the system of integrated air quality assessment in Belarus on the basis of use for these purposes of international experience to enhance their capacities for operational reflect the state of air pollution cities has been substantiated.

УДК 553.97

Т. Д. Ярмошук^{1,2}, В. А. Ракович¹, М. Минке³, А. Тиле⁴, М. Хоффман⁵

ЭМИССИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С НАРУШЕННЫХ И ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Приводятся данные по эмиссии диоксида углерода (CO_2) с нарушенных и восстанавливаемых болотных экосистем низинного типа Выгонощанское и Берестовец. Определены годовые балансы CO_2 , рассмотрено влияние сезонности, колебания уровня грунтовых вод, температурных показателей, кошения биомассы и прочих факторов на общий поток диоксида углерода.

Диоксид углерода (углекислый газ CO_2) является основным парниковым газом, который приводит к глобальному потеплению. По данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата, уровень углекислого газа в атмосфере в настоящее время составляет 387 ppm, а это на 40 % выше, чем до начала индустриальной эпохи [26]. Это увеличение вызвано, прежде всего, сгоранием ископаемого топлива, вырубкой леса [26], производством цемента и сельским хозяйством [14]. Помимо этого, углерод в огромных количествах депонируется в торфяных болотах, которые после осушения становятся мощным источником углекислого газа. Так, занимая 3 % (около 400 млн га) территории суши Земли, торфяники содержат 550 Гт углерода [31]. На 1 т образующегося торфа из атмосферы в среднем выводится около 0,6–2,1 т диоксида углерода, а в атмосферу поступает 727 кг кислорода [2]. При этом, при образовании торфяной залежки трансформация фитомассы в торф для верховых болот в среднем составляет 17,8 %, для низинных – 5,5 %, это означает, что около 82 % фитомассы верховых болот и около 94 % низинных теряется на минерализацию до CO_2 , H_2O , CH_4 , NH_3 и SO_2 [12].

В результате мелиоративных работ из общей площади болот Беларусь 2939 тыс. га более 51% сущено [2]. В осушенных торфяных залежах процесс газообмена изменяется на противоположный. Организмы, разрушающие торф, потребляют кислород из атмосферы для окисления органического вещества, а в атмосферу выделяют конечный продукт минерализации – диоксид углерода [2]. Общая ежегодная эмиссия CO_2 с осушенных торфяных болот Беларусь составляет более 14 662,8 тыс. т [1], и торфяные месторождения становятся мощным источником поступления в атмосферу CO_2 и N_2O .

В Беларуси Институтом природопользования НАН Беларусь ранее проводились работы по определению эмиссий диоксида углерода с торфяных месторождений [13]. Однако для уточнения годовых потоков с торфяников было необходимо проведение дополнительных исследований, поскольку данных не достаточно, исследуемые торфяные месторождения разли-

чаются как по качественному составу растительности и уровню залегания грунтовых вод, так и по степени окультуренности и деградации. В ранее выполненных работах применялись балансовые методы и измерения газоанализатором EGM-4 (Великобритания). Однако работ непосредственно с применением прямых методов годовых измерений потоков диоксида углерода на торфяных месторождениях выполнено недостаточно. В связи с этим оценка эмиссий диоксида углерода с торфяных месторождений низинного типа является весьма актуальной проблемой.

Цель данной работы – определение эмиссий и стоков диоксида углерода в торфяных месторождениях низинного типа и выявление определяющих эти потоки факторов.

Для достижения поставленной цели в течение года в полевых условиях с применением камерно-динамического метода были выполнены измерения потоков диоксида углерода.

В качестве объектов исследования выбраны торфяные месторождения низинного типа Выгонощанское, кадастровый номер 144, и Берестовец, кадастровый номер 128.

Торфяное месторождение Выгонощанское расположено на территории Ивацевичского, Ляховичского и Ганцевичского районов (мониторинговые площадки V1–V4). По условиям геоморфологического залегания это месторождение относится к водораздельным торфяникам. На его базе в 1968 г. создан гидрологический заказник республиканского значения «Выгонощанское». Район расположения массива – зона активной разгрузки грунтовых вод. Часть торфяного месторождения осушена после детальной разведки 1971 г. [5]. В настоящее время землепользователем исследуемой территории является СПК «Телеханы-Агро», специализирующийся на животноводстве и растениеводстве. Осушеннную область окружают большие дренажные каналы с близким к поверхности почвы уровнем стояния грунтовых вод [17]. Натурные измерения парниковых газов проводились на территории Ивацевичского района на окрайковой низинной части торфяного месторождения, недалеко от деревни Выгонощи,

между двумя большими озерами: Выгоновское и Бобровичское.

Исследуемый участок торфяного месторождения Берестовец (мониторинговая площадка S) расположен на территории Березовского района на границе с Дрогичинским, детальная разведка и осушение проводились в 1975 и 1977 гг. [5]. Исследуемый участок торфяного месторождения не был выработан, в настоящее время территория покрыта многолетними травами, интенсивно используется СПК «Песковский» в качестве сенокоса. Торфяное месторождение расположено рядом с Республиканским биологическим заказником «Споровский», который имеет статус Рамсарских угодий.

Определение эмиссий CO_2 осуществляли в трехкратной последовательности с применением камерно-динамического метода [23].

Чтобы обеспечить герметичность на границе почва/атмосфера, в почву на глубину 18 см устанавливали рамки из ПВХ. Эмиссии диоксида углерода от разных растительных сообществ замерялись в трехкратной последовательности. Рамки располагались в линию с востока на запад, с северной стороны устанавливались деревянные мостики. Такое расположение позволило предотвратить затенение мониторинговых площадок и диффузию газов из залежи. Расстояние между рамками каждой мониторинговой площадки – около 0,5 м, таким образом, уровень грунтовых вод, температура почвы и окружающей среды были идентичными.

Камеры для измерений потоков CO_2 изготовлены из прозрачного оргстекла и из непрозрачного полистирола, который отличается влагостойкостью, устойчивостью к ультрафиолетовым лучам, атмосферным воздействиям, таким образом обеспечивалось отталкивание солнечных лучей и минимизировалось нагревание воздуха внутри камеры. Непрозрачные камеры позволяют измерять только дыхание экосистемы R_{eco} , в то время как в прозрачной камере также учитывалось поглощение CO_2 через фотосинтез. Камера имеет форму куба, длина стены у основания – 72,5 см, высота камеры – 51,2 см, объем – 0,269 m^3 . По основанию камера оснащена резиновым уплотнителем, который позволяет избежать утечки газов вследствие попадания между камерой и рамкой растительности или песка, ширина уплотнителя 1 см. Для удобства транспортировки и установки камеры на ее верхней части смонтированы две ручки. Камеры оснащены вентиляторами для перемешивания воздуха внутри пространства камеры, температурными датчиками для измерения температуры воздуха внутри и снаружи камер. Через две силиконовые трубы с применением насоса газ из камер перемещался на инфракрасный газовый анализатор Li-820 (LI-COR Biosciences, США) и затем после определения концентрации диокси-

да углерода поступал обратно в камеру. Для более плотной и прочной установки камеры на рамку к ручкам прикреплялись резиновые канаты (\varnothing 6 мм). Если растительность исследуемой площадки была выше камеры, тогда, чтобы ее не повредить, использовали непрозрачные и прозрачные удлинители из полистирола и оргстекла. На основания удлинителей также был прикреплен уплотнитель. Высота стандартных удлинителей с учетом уплотнителя 31,2 и 51,2 см.

Работы по измерению диоксида углерода на территории торфяного месторождения Выгонощанское проводились в течение года с 05.04.2012 по 05.04.2013. На территории торфяного месторождения Берестовец работы по измерению потоков CO_2 были начаты 05.07.2012 и также продолжались ровно год. Разница в сроках начала и окончания измерений связана, прежде всего, с организационными моментами и поиском наиболее подходящей мониторинговой площадки как по геоморфологическим и физико-химическим показателям, так и с логистической точки зрения.

Рядом с каждой площадкой были установлены колодцы для определения уровней грунтовых вод (УГВ) автоматическими датчиками УГВ, которые непрерывно с периодичностью 1 раз в час проводили измерения в течение всего периода измерений CO_2 [16].

Температура воды и воздуха измерялась с применением электронных термометров Voltcraft Det1R (Германия). Помимо этого, изменения температур фиксировались двумя метеорологическими станциями фирмы Campbell Scientific (США), которые были установлены недалеко от места полевых измерений диоксида углерода. Сенсоры фиксировали значения температур (109 Thermistorprobe), атмосферного давления (CS100 Setra barometric sensor), атмосферных осадков (52202 raingauge heated European), фотосинтетически активной радиации (PAR, SKP215 quantum sensor), и каждые 30 мин данные записывались на устройстве ввода и хранения данных (CR200 datalogger).

Глубину и ботанический состав торфа определяли торфоотборочным буром ТБГ-66, степень разложения – микроскопическим методом [10]. Для элементарного анализа торфа и биомассы использовали элементарный анализатор CHNOS марки Vario EL III. Значения pH измеряли карманным pH-метром Hanna Combo HI 98130. Калибровка pH-метра осуществлялась буферными растворами с 7,01 и 4,01 в 1%-ном растворе KCl.

Геоботаническое описание растительности выполнено в соответствии со шкалами покрытия [18].

Для моделирования годового баланса диоксида углерода использовали общепринятые понятия: валовую первичную продуктивность

GPP, представляющую собой весь углерод, который аккумулировали растения в процессе фотосинтеза, сумму автотрофного и гетеротрофного дыхания – экосистемное дыхание R_{eco} , и нетто-экосистемный обмен *NEE* – суммарное значение валовой первичной продуктивности и дыхания экосистемы.

Для моделирования дыхания нарушенных болотных экосистем использовали уравнение [29]:

$$R_{\text{eco}} = R_{\text{ref}} \cdot e^{E_0 \cdot \left(\frac{1}{T_{\text{ref}} - T_0} - \frac{1}{T - T_0} \right)}, \quad (1)$$

где R_{eco} – уровень дыхания экосистемы, $\text{CO}_2\text{-C}$ $\text{мг}/\text{м}^2\cdot\text{ч}$; R_{ref} – дыхание с учетом заданной температуры, $\text{CO}_2\text{-C}$ $\text{мг}/\text{м}^2\cdot\text{ч}$; E_0 – энергия активации, К; T_{ref} – заданная температура, 283,15 К; T_0 – постоянная температура для начала биологических процессов, 227,13 К; Т – температура почвы или воздуха во время измерения, К.

Значения R_{ref} и E_0 рассчитывались путем подстановки уравнения (1) в регрессию измеренных в полевых условиях экосистемного дыхания и температуры. R_{eco} моделировалось с шагом в 0,5 ч от предыдущего дня измерения к последующему на основании уравнения (1), расчетных параметров и температурных данных высокой частоты измерений, которые были получены с расположенной вблизи места измерения диоксида углерода метеостанции.

Следующим шагом являлось вычисление значения *GPP* путем вычитания смоделированного R_{eco} из значения *NEE*. Затем рассматривалась регрессия *GPP* и *PAR*, используя уравнение равносторонней гиперболы [30]:

$$GPP = \frac{\alpha \cdot PAR \cdot GP_{\max}}{\alpha \cdot PAR + GP_{\max}}, \quad (2)$$

где *GPP* – валовая первичная продуктивность, $\text{CO}_2\text{-C}$, $\text{мг}/\text{м}^2\cdot\text{ч}$; α – начальный уклон кривой эффективности использования освещенности, $\text{мг CO}_2\text{-C m}^2/\text{ч}/\mu\text{моль}\cdot\text{м}^2\cdot\text{с}$; *PAR* – плотность потока фотонов фотосинтетически активной радиации, $\mu\text{моль}/\text{м}^2\cdot\text{с}$; GP_{\max} – максимальная скорость фиксации углерода при бесконечном *PAR*, $\text{CO}_2\text{-C}$, $\text{мг}/\text{м}^2\cdot\text{ч}$.

Моделирование *GPP*, согласно уравнению (2), производится на основании расчетных параметров и измеренных на метеорологической станции значениях *PAR*. Годовой *NEE* рассчитывается как разница между моделируемыми *GPP* и R_{eco} .

Определение параметров и статистический анализ данных выполнены с использованием открытого программного обеспечения *R* [22]. Для последовательной обработки данных и конечной визуализации моделей применяли модульный скрипт *R*[®]. На основании исходных данных программа анализировала изменения концентрации CO_2 в камере и параметры окружающей среды, вычисляла потоки диоксида углерода, параметризовала R_{eco} и модели *GPP*, дополнительно вычисляла применяемую температурную модель и моделировала R_{eco} , *GPP* и *NEE* для всего периода измерений.

Все исследуемые мониторинговые площадки расположены в Полесской низменности, однако они имеют существенные физико-химические и общетехнические различия торфа. В табл. 1 представлены результаты С/Н-анализа, значений pH, степени разложения торфа и зольности (рассматривается верхний слой торфа).

Таблица 1. Физико-химические и общетехнические характеристики торфа

Показатель	Наименование мониторинговой площадки				
	V1	V2	V3	V4	S
Координаты площадки	52°38'0.90" с.ш., 25°49'28.50" в.д.	52°38'0.90" с.ш., 25°49'28.50" в.д.	52°37'51.96" с.ш., 25°50'21.96" в.д.	52°37'51.96" с.ш., 25°50'21.96" в.д.	52°22.843' с.ш. 25°12.239' в.д.
Глубина торфяной залежи, см	150	150	100	100	180
pH торфа	5,21±0,10*	5,1±0,10	5,17±0,04	4,97±0,04	4,41±0,04
Зольность, %	3,06±0,16	3,06±0,16	4,17±0,14	4,17±0,14	23,29±2,64
Содержание углерода в торфе, % сухой массы	40,35±0,23	40,75±0,66	40,64±0,50	41,91±0,19	37,98±2,32
Содержание азота в торфе, % сухой массы	3,48±0,05	3,47±0,08	3,46±0,06	3,35±0,08	2,62±0,11
Соотношение C/N	11,59±0,17	11,86±0,45	12,02±0,38	12,53±0,32	14,51±0,99
Вид торфа	Осоковый	Осоковый	Тростниковый	Тростниковый	Тростниковый
Степень разложения торфа, %	30	30	35	35	40

* Здесь и далее в табл. 1 «±» – стандартное отклонение.

Из данных табл. 1 видно, что глубина торфяной залежи на мониторинговых площадках колеблется от 100 до 180 см, реакция среды торфа на всех мониторинговых площадках на Выгонощанском – слабокислая, на торфяном месторождении Берестовец – ближе к кислой [6, 11]. По наличию питательных веществ все исследуемые участки относятся к эвтрофным [36]. Зольность торфа на Выгонощанском низкая (от 3 до 4 %), на мониторинговой площадке Берестовца зольность гораздо выше (23,3 %). Возможно, территория засолена подстилающими песчаными породами каналов осушительной системы. Такой вывод был сделан, исходя из того, что исследуемая мониторинговая площадка находится на расстоянии 110 м от магистрального канала и около 40 м от валовых. В то же время ближе к каналам зольность верхних 25 см составляла 91,0 %, а уже на глубине 30–35 см она равнялась 20,9 %. Отличительной чертой торфа на мониторинговой площадке торфяного месторождения Берестовец является более низкое содержание общего азота и общего углерода в сравнении со всеми мониторинговыми площадками Выгонощанского.

По ботаническому составу торф на мониторинговых площадках V1–V2 осоковый, а на площадках V3–V4 и S – тростниковый. Площадки V1–V2 представляют собой находящиеся под естественным восстановлением территории. Заболачивание обеспечивает неэффективное функционирование расположенных рядом мелиоративных каналов. Из растительных сообществ преобладают *Phalaris arundinacea* и *Bidens tripartita*, в незначительной степени присутствуют осоки *Carex lasiocarpa* и *Carex ovalis* – виды, типичные для переувлажненных территорий. Также присутствует мох брахитециум полевой (*Brachythecium campestre*), который обычно встречается в лесах. По наличию питательных веществ торфяное месторождение относится к эвтрофному. Реакция среды торфа слабокислая

[6, 11] (рН = 5,06–5,42). Площадка V1 характеризуется невысокой зольностью торфа (около 3 %). Площадки V2 и V1 по общетехническим свойствам образцов торфа практически идентичны. Это связано с близким расположением площадок относительно друг друга. В геоботаническом плане на площадке V2 отсутствуют такие виды, как *Potentilla anserina* и *Carex ovalis*. Отличительной чертой площадок является то, что на V1 один раз в год производилось кошение растительной биомассы (табл. 2), а на V2 – не производилось.

Примерно в 2 км восточнее площадок V1–V2 расположены мониторинговые площадки V3 и V4. Обе площадки представляют собой торфяную залежь с пониженным уровнем грунтовых вод, территория используется для выпаса крупного рогатого скота. Несмотря на то, что площадки V3 и V4 расположены в 1 м друг от друга, они существенно отличаются по ботаническому составу растительности. Если на площадке V4 преобладают луговые травы, такие, как тимофеевка *Phleum pratense*, мятыки *Poa pratensis* и пырей *Elytrigia repens*, то площадка V3 имеет высокую степень покрытия мезофитом *Juncus effusus*, образующим плотные дернины, которые занимают 70–90 % площади установленных на мониторинговую площадку рамок. Помимо ситника, на площадке присутствует пырей *Elytrigia repens* и разновидности мятыков *Poa spp.*

Исследуемая территория торфяного месторождения Берестовец (площадка S) представлена луговым разнотравьем. Доминирующими являются такие виды, как пырей *Elytrigia repens*, в незначительной степени присутствуют персикария *Persicaria spp.* и мелколепестник *Erigeron canadensis*. Территория используется в качестве сенокоса, поэтому, одновременно с работами совхоза по кошению трав нами было произведено кошение биомассы с последующим ее сбором (см. табл. 2).

Таблица 2. Вынос углерода и азота из мониторинговых площадок со скашиваемой биомассой

Площадка, дата кошения	Абсолютно сухой вес биомассы, г	Количество углерода в биомассе, %	Количество азота в биомассе, %	Соотношение С/Н	Пересчет на чистый азот по абсолютно сухой массе, г/м ²	Пересчет на чистый углерод по абсолютно сухой массе, г/м ²
V1.1 04.12.12	661,80	47,77 ± 0,72*	1,51 ± 0,04	31,64 ± 0,86	9,99	316,13
V1.2 04.12.12	562,86	47,43 ± 0,68	1,36 ± 0,11	34,99 ± 2,23	7,65	266,96
V1.3 04.12.12	596,53	47,90 ± 0,87	1,65 ± 0,08	29,07 ± 1,29	9,84	285,74
V3.1 07.06.12	227,55	46,64	3,18	14,67	7,24	106,13
V3.2 07.06.12	283,27	46,65	3,22	14,48	9,12	132,15
V3.3 07.06.12	143,06	46,31	3,42	13,54	4,89	66,25

Окончание табл. 2

Площадка, дата кошения	Абсолютно сухой вес биомассы, г	Количество углерода в биомассе, %	Количество азота в биомассе, %	Соотноше- ние С/Н	Пересчет на чистый азот по абсолютно сухой массе, г/м ²	Пересчет на чистый углерод по абсолютно сухой массе, г/м ²
S1 23.08.12	341,22	44,00 ± 0,08	2,20 ± 2,21	20,10 ± 1,99	7,51	150,14
S2 23.08.12	264,50	43,69 ± 0,16	2,04 ± 0,09	21,43 ± 0,96	5,40	115,56
S3 23.08.12	209,39	44,11 ± 4,47	2,20 ± 0,06	20,03 ± 0,45	4,61	92,36

* Здесь и далее в табл. 2 «±» – стандартное отклонение.

Из табл. 2 видно, что содержание азота в растительной биомассе на мониторинговой площадке V3 выше, чем в биомассе мониторинговой площадки S, значит, растительность интенсивнее потребляет соединения азота. В то же время на Берестовце общее процентное содержание углерода в сухом весе растительной биомассы ниже, чем в сухом весе биомассы на мониторинговых площадках на Выгонощанском. В среднем же, вынос чистого азота с биомассой растений с площадки V1 составил 9,16 г/м², вынос углерода – 289,61 г/м². На мониторинговой площадке V3 вынос азота с биомассой растений составил 7,08 г/м², вынос углерода – 101,51 г/м². На площадке S вынос азота в среднем был равен 5,84 г/м², вынос углерода – 119,35 г/м².

Наземные экосистемы являются мощнейшим источником поглощения углерода из атмосферы. Каждый год приблизительно 120 Pg углерода в год аккумулируется растениями в процессе фотосинтеза [25]. Из этого валового первичного продукта GPP приблизительно 60 Pg углерода в год возвращается в атмосферу вследствие автотрофного дыхания и приблизительно 60 Pg углерода в год расходуется на рост и поддержание гомеостаза растительных тканей [25]. Другими словами, нетто-экосистемный обмен NEE связан с двумя противоположно направленными процессами: валовым первичным продуктом GPP и дыханием экосистемы R_{eco} . После отмирания растительного материала органический углерод становится продуктом гетеротрофного дыхания благодаря микробному окислению органического углерода. Помимо этого, часть органического углерода, покрытого водой и находящегося в анаэробных условиях, подвергается метаногенезу [38].

На рис. 1 представлены результаты полевых измерений CO₂ в течение года по всем мониторинговым площадкам.

Как видно из рис. 1, наиболее высокий суммарный нетто-экосистемный обмен отмечен на мониторинговых площадках V4 и S и составил соответственно 1179,66 и 1067,06 г CO₂-C/m²·год, в то время как на площадке V1 суммарный NEE равнялся 358,33 г CO₂-C/m²·год, на площадке V2 – 220,20 г CO₂-C / m²·год, на площадке V3 – 405,21 г CO₂-C/m²·год. Дыхание экосистемы было максимальным для всех площадок в июле–августе и составило для площадок V1–V2 около 15 г CO₂-C/m²·день, для площадок V3–V4 – около 19 г CO₂-C/m²·день, на площадке S максимальное дыхание было близким к 17 г CO₂-C/m²·день.

На рис. 2, а показана динамика колебаний уровня грунтовых вод и количество атмосферных осадков. Заметна общая сезонная динамика изменения УГВ по всем мониторинговым площадкам. На Выгонощанском отмечалось большее количество атмосферных осадков, что повлияло на повышение уровня грунтовых вод, особенно это заметно в период таяния снега весной 2013 г. В целом, среднегодовой УГВ на торфяном месторождении Выгонощанская для площадок V1–V2 составил -9,45 см, для площадок V3–V4 – -32,73 см, на Берестовце – -50,73 см. При этом средний УГВ на Выгонощанском для площадок V1–V2 в летний период был -22,80 см, осенью поднялся до -19,34 см, а зимой и весной за период полевых измерений значение УГВ в среднем находилось на уровне -1,82 и -1,93 см соответственно. На площадках V3–V4 в летний период средний УГВ находился на уровне -58,39 см, осенью поднялся до -41,55 см, в зимний период средний УГВ составил -11,48 см, а весной за период полевых измерений опустился до уровня -29,01 см. На торфяном месторождении Берестовец в летний период полевых измерений средний УГВ составил -57,83 см, осенью – -69,42 см, в зимний период – -43,79 см, а весной – -31,52 см.

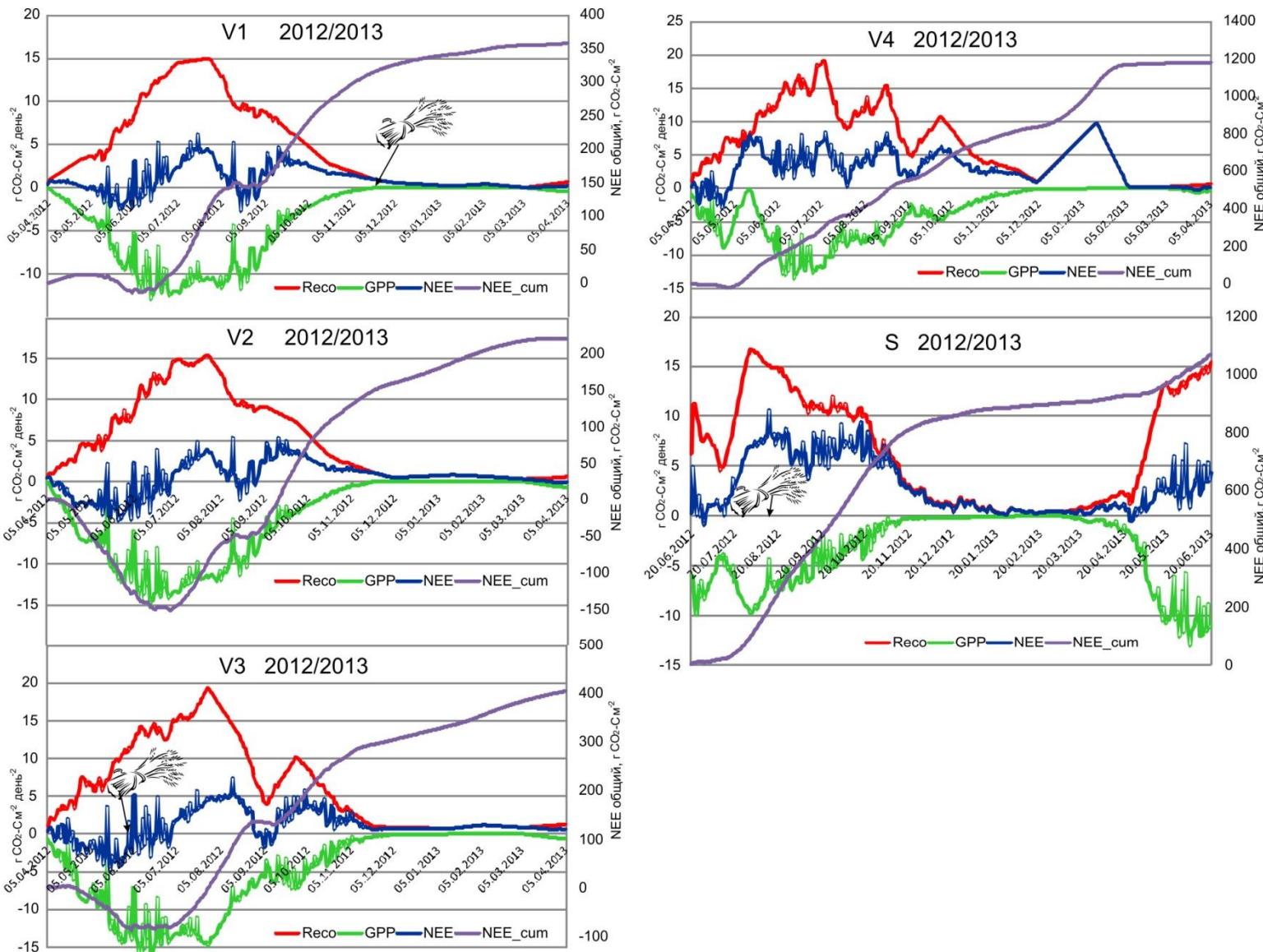


Рис. 1. Моделирование потоков диоксида углерода (экосистемного дыхания R_{eco} , валовой первичной продуктивности GPP , нетто-экосистемного обмена NEE и общего нетто-экосистемного обмена NEE_{cum}) на исследуемых мониторинговых площадках торфяных месторождений Выгонощанское (V1 – V4) и Берестовец (S)

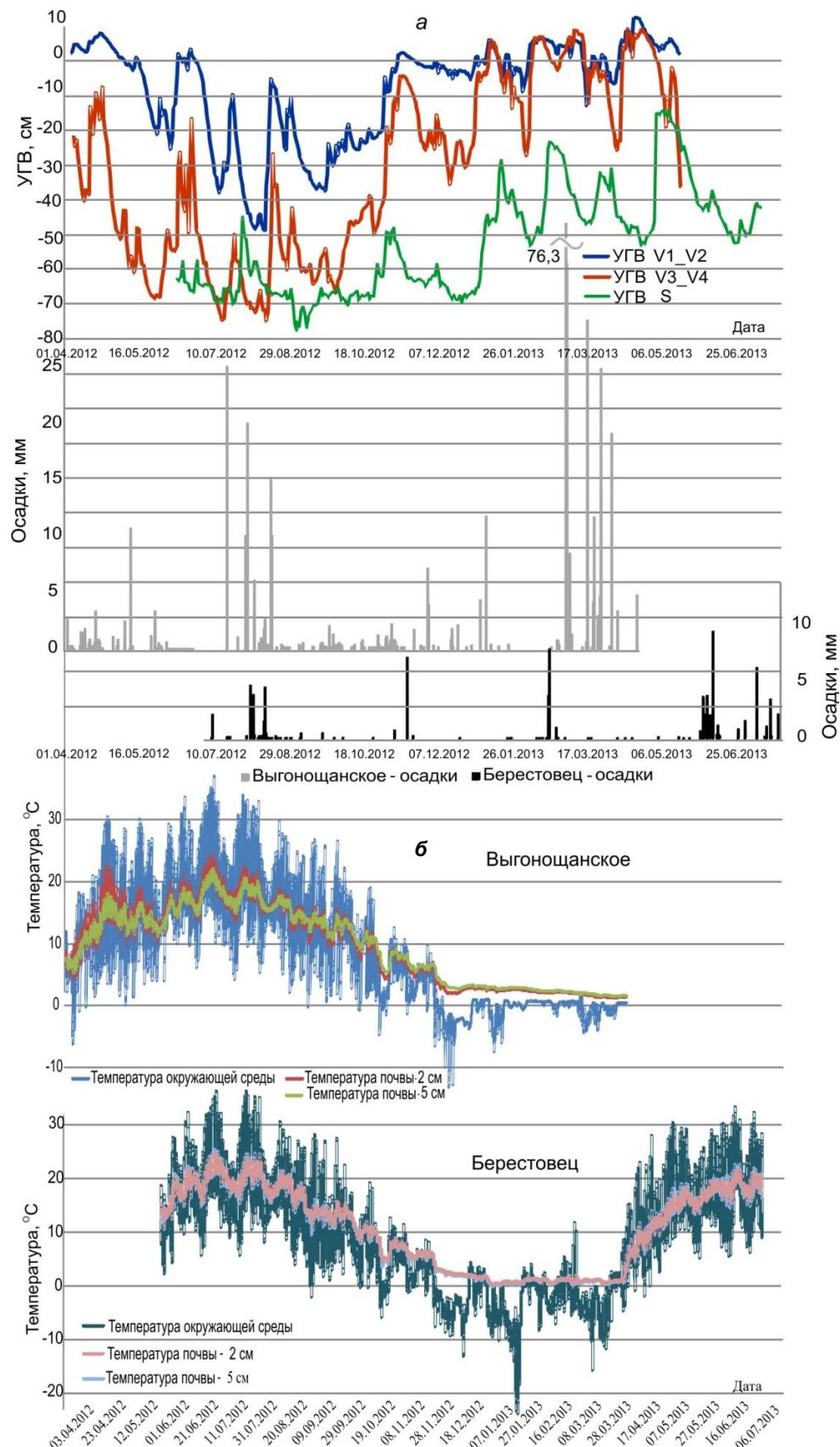


Рис. 2. Динамика колебаний уровня грунтовых вод и атмосферных осадков (а), а также наиболее коррелирующих метеорологических показателей (б) на торфяных месторождениях Выгонощанское и Берестовец

Рис. 2, б отражает тесную зависимость температуры почвы на глубине 2 и 5 см от температуры окружающей среды. Также заметна общая тенденция к наступлению оттепелей и заморозков на территории Полесской низменности по данным двух метеорологических станций.

Выполнив моделирование потоков диоксида углерода на весь год, мы рассчитали эмиссии CO_2 в граммах углерода с квадратного метра в день, также пересчитали эти значения на килограмм чистого CO_2 с гектара в год. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Таблица 3. Суммарные годовые потоки диоксида углерода

Площадка	Эмиссии диоксида углерода	
	$\text{CO}_2\text{-C, г/м}^2\cdot\text{день}$	$\text{CO}_2, \text{т/га}\cdot\text{год}$ [CO_2 -эквивалент]
V1	$358,33 \pm 36,02^*$	13,14
V2	$220,20 \pm 221,71$	8,07
V3	$405,21 \pm 66,77$	14,86
V4	$1179,66 \pm 297,54$	43,25
S	$1067,06 \pm 0,00$	39,13

* Здесь и далее в табл. 3 «±» – стандартное отклонение.

Из табл. 3 видно, что наибольшие эмиссии диоксида углерода наблюдались на торфяном месторождении Выгонощанское на площадке с луговой растительностью. На площадках V1 и V3 эмиссии CO_2 находились на достаточно высоком уровне, наименьшие эмиссии диоксида углерода наблюдались на площадке V2.

Согласно исследованиям [2, 19–21, 32, 39], количество эмиссий диоксида углерода находится в тесной зависимости от уровня залегания грунтовых вод. Понижение УГВ способствует проникновению кислорода в торфяную залежь и вызывает ускоренную минерализацию органического вещества торфа [24]. В то же время увеличение концентрации углекислого газа в почвенном воздухе вызывает снижение pH [3], что наблюдалось на изучаемом торфянике Берестовец. Согласно [37] для глубоко осущенных, используемых в сельском хозяйстве торфяных месторождений характерны высокие эмиссии диоксида углерода, более 20 т CO_2 с 1 га в год. В наших исследованиях также наблюдается четкая зависимость эмиссий диоксида углерода от уровня грунтовых вод. Так, на площадках V1 и V2, среднегодовой УГВ которых находился в пределах -9,45 см, суммарные эмиссии CO_2 составили 13,1 и 8,1 т CO_2 с 1 га в год соответственно. Наиболее высокие эмиссии диоксида углерода наблюдались на мониторинговых площадках, находящихся под многолетними травами (площадки V4 и S), на которых среднегодовой УГВ был гораздо ниже, чем на других площадках мониторинга. В то же время, уровень залегания грунтовых вод на площадке S ниже, чем на пло-

щадке V4, и логично было бы ожидать, что на площадке S эмиссии диоксида углерода должны быть выше, однако такой картины не наблюдалось. Связано это с выносом углерода при отчуждении урожая скошенной биомассы с площадок, так как с площадки S было выведено из круговорота углерода больше, чем с площадки V4 (см. табл. 2). Также повлияло наличие питательных веществ, поскольку более высокие эмиссии CO_2 связывают с низким соотношением C/N, и наоборот [37]. Согласно данным метеорологических станций (см. рис. 2), на торфяном месторождении Выгонощанское наблюдалось большее количество осадков, а, согласно [15], увеличение влажности почвы приводит к усилиению пространственного варьирования дыхания экосистемы в связи с сокращением воздухоносной пористости и ухудшением газообмена с атмосферой, что также явилось причиной различия в суммарных эмиссиях CO_2 на мониторинговых площадках V4 и S.

В то же время скашивание биомассы на мониторинговой площадке V1 не вызвало снижение эмиссий CO_2 , в сравнении с идентичной площадкой V2. Скорее всего, это связано с тем, что скашивание биомассы в зимний период не вызывает существенного влияния на цикл диоксида углерода, возможно, в последующие вегетативные периоды данное влияние было бы заметнее, поэтому для контроля влияния скашивания биомассы в зимний период необходимо более длительные измерения потоков CO_2 в полевых условиях.

Обращает на себя внимание существенное различие в эмиссиях CO_2 на близкорасположенных площадках V3 и V4. Это различие объясняется, прежде всего, видом произрастающей растительности. Доминирующий на площадке V3 *Juncus effusus* обладает более мощной корневой системой, высота стеблей достигала 80 см, и, таким образом, связываемый в процессе фотосинтеза диоксид углерода для метаболизма оказался в некоторой степени выше, чем на площадке V4 с луговой растительностью. Суммарный GPP на площадке V3 составил -1821,3 г $\text{CO}_2\text{-C}/\text{м}^2\cdot\text{год}$, а на площадке V4 – -1296,8 г $\text{CO}_2\text{-C}/\text{м}^2\cdot\text{год}$.

В то же время дыхание экосистемы в течение года на площадке V3 было ниже, чем на площадке V4 (2226,5 и 2476,5 г $\text{CO}_2\text{-C}/\text{м}^2\cdot\text{год}$ соответственно). При аналогичных исследованиях, выполненных в Ирландии [39] на торфяном месторождении низинного типа с доминирующим видом *Juncus effusus*, значения R_{eco} и NEE были ниже, и в целом торфяник являлся стоком диоксида углерода в течение двух лет исследований. В первый год исследований, когда УГВ колебался от -21 до -50 см, R_{eco} составляло 1711 г $\text{CO}_2\text{-C}/\text{м}^2\cdot\text{год}$, NEE составил -1651 г $\text{CO}_2\text{-C}/\text{м}^2\cdot\text{год}$, а

во второй год исследований, когда колебание УГВ наблюдалось в более широком диапазоне (от -10 до -60 см), дыхание экосистемы составляло 1662 г СО₂-С / м²·год, а NEE равнялся -603 г СО₂-С / м²·год [39]. В нашем случае колебание УГВ находилось в пределах от +5 до -70 см, и только с апреля по июль 2012 г. торфяное месторождение являлось стоком диоксида углерода. А поскольку в данный период наблюдались как наименьший, так и наибольший уровень залегания грунтовых вод, снижение нетто-экосистемного обмена объясняется, прежде всего, активным потреблением углерода на рост биомассы растений [7, 9]. При этом суточный воздушный режим почв определяется суточным ходом температур, а также в значительной степени связан с изменениями интенсивности фотосинтеза и дыхания растений [7, 27].

Одной из основных причин увеличения эмиссии СО₂ из нарушенных болотных экосистем также считается увеличение интенсивности разложения органического вещества торфа, связанное с повышением его аэрации [9, 33]. Это подтверждает полученные результаты полевых измерений потоков диоксида углерода (см. табл. 1 и 3): при средней степени разложения торфа эмиссии диоксида углерода низкие, с увеличением степени разложения эмиссии СО₂ возрастают.

Сезонная динамика интенсивности экосистемного дыхания зависит от температуры и влажности почвы [7, 34], уровня залегания грунтовых вод, роста надземной и корневой массы растений [14]. Как отмечает Макаров [7], общий сезонный максимум выделения СО₂ из почвы для многих типов растительных ассоциаций, как правило, приходится на период максимального роста растений либо совпадает с моментом интенсивного разложения вновь поступившего растительного опада [7, 35]. Другими авторами [4, 28] выявлены зависимости валовой первичной продуктивности GPP от температуры, количества осадков, потенциальной эвапотранспирации и продолжительности периода вегетации.

Для получения результирующих процессов эмиссий СО₂ нами учитывались газы, образующиеся как в верхнем слое почвы, так и диффундирующие из нижележащих слоев [8].

На рис. 1 и 2 видна четкая зависимость между температурами почвы или окружающей среды и экосистемным дыханием и валовой первичной продуктивностью. Также в период роста растительности (с апреля по август) увеличивались экосистемное дыхание и аккумуляция углерода растениями, а в период увядания растений сокращалось экосистемное дыхание и снижалось потребление углерода растительным покровом для метаболизма. В зимнее

время отмечалось минимальное дыхание, этому способствовали низкие температуры и плохая проницаемость промерзшей почвы для газообразных веществ.

Таким образом, по результатам полевых измерений потоков диоксида углерода можно сказать, что величина потоков диоксида углерода с торфяных месторождений зависит от уровня залегания грунтовых вод, влажности торфяной залежи, температуры окружающей среды и торфа, наличия питательных веществ в залежи, степени разложения торфа, сезонности, видового состава и уровня развития вегетативных сообществ.

Так, исследуемая часть торфяного месторождения Выгонощанское является источником поступления СО₂ в атмосферу, и суммарные эмиссии на мониторинговой площадке с доминирующим видом *Phalaris arundinacea* составили 13,1 т СО₂/га·год при скашивании биомассы в зимний период и 8,1 т СО₂ /га·год без кошения; на мониторинговой площадке с доминирующим видом *Juncus effusus* суммарные эмиссии диоксида углерода равнялись 14,8 т СО₂/га·год, а на мониторинговой площадке с доминирующими видами *Phleum pratense* и *Poa pratensis* суммарный нетто-экосистемный обмен составил 43,3 т СО₂/га·год.

На мониторинговой площадке торфяного месторождения Берестовец с доминирующим видом *Elytrigia repens* суммарные эмиссии диоксида углерода составили 39,1 т СО₂/га·год.

Работы по определению эмиссий диоксида углерода в полевых условиях осуществлялись в рамках белорусско-немецко-британского проекта «Восстановление торфяников Беларуси и применение концепции их устойчивого управления – снижение воздействия на климат с эффектом для экономики и биоразнообразия», осуществляющего деятельность при финансовой поддержке Федерального министерства охраны природы ФРГ, Германского банка развития (KfW), «Центра международной миграции и развития» (CIM, Германия).

Научная и практическая работа проекта осуществлялась в ходе международного сотрудничества организаций, таких, как «Британское Королевское общество по охране птиц» (RSPB, Великобритания), «Фонд имени Михаеля Зуккова» (Германия), ГА «Ахова птушак Бацькаўшчыны» (Республика Беларусь), при поддержке Программы развития Организации Объединенных Наций в Беларуси (ПРООН) и Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Авторы выражают глубочайшую признательность руководству лаборатории инстру-

ментальной диагностики природных систем и объектов ГНПО «НПЦ НАН Беларусь по биоресурсам» за сотрудничество, А. А. Чувашовой, А. М. Павлюченко, В. Г. Тихонову, А. В. Новику, А. В. Бурло, К. И. Тимохову за помощь в полевых исследованиях, Н. В. Лещинской за помощь в геоботанических описаниях.

Отдельное спасибо жителям деревни Выгонощи Петру и Марии Миалик, директору Республиканского биологического заказника «Споровский» В. Н. Протасевичу, директору Здитовской СШ В. П. Жуковичу, учителям и ученикам этой школы за поддержку и возможность установки на их территории метеорологических станций.

Л и т е р а т у р а

1. **Бамбалов, Н. Н.** Количественная оценка вклада естественных и осушенных болот в формирование источников и стоков парниковых газов / Н. Н. Бамбалов, В. А. Ракович // Эколого-экономические аспекты гидролесомелиорации. Сборник научных трудов. Гомель, 2003. Вып. 58. С. 91–96.
2. **Бамбалов, Н. Н.** Роль болот в биосфере / Н. Н. Бамбалов, В. А. Ракович // Минск, 2005.
3. **Безбородов, Г. А.** Профильное распределение углекислого газа и метана в воздухе орошаемых сероземов / Г. А. Безбородов, А. Г. Безбородов, Ю. Г. Безбородов // Почвоведение, 2008, № 1. С. 68–74.
4. **Валлен, К.-Х.** Углекислый газ в атмосфере / К.-Х. Валлен [и др.] // Под ред. В. Баха, А. Крейна, А. Берже, А. Лонгетто. М., 1987.
5. **Кадастровый** справочник «Торфяной фонд Белорусской ССР». Минск, 1979.
6. **Лиштван, И. И.** Физика и химия торфа: Учеб. пособие для вузов / И. И. Лиштван, Е. Г. Базин, Н. И. Гагаюмов, Н. И. Терентьев // М., 1989.
7. **Макаров, Б.Н.** Газовый режим почвы. М., 1988.
8. **Потоки** диоксида углерода, метана и закиси азота в почвах катены правобережья р. Ока (Московская область) / М. В. Семенов [и др.] // Почвоведение, 2010, № 5. С. 582–590.
9. **Пулы** и потоки углерода в наземных экосистемах России / В. Н. Кудеяров [и др.] // Ин-т физ.-хим. и биол. проблем почвоведения РАН. М., 2007.
10. **Пьявченко, Н. И.** Степень разложения торфа и методы ее определения / Н. И. Пьявченко // Красноярск, 1963.
11. **Пьявченко, Н. И.** Использование заболоченных земель в сельском хозяйстве / Н. И. Пьявченко // Издательство академии наук СССР. М., 1954.
12. **Ракович, В. А.** Количественная оценка трансформации фитомассы в торф на болотах различного генезиса / В. А. Ракович // Природопользование. Минск, 2009. Вып. 16. С. 89–96.
13. **Ракович, В. А.** Оценка потери углерода и эмиссии диоксида углерода с выработанных торфяных месторождений / В. А. Ракович, Н. В. Молокова, Т. В. Селивончик // Природопользование. Минск, 2010. Вып. 17. С. 85–90.
14. **Степанов, А. Л.** Микробная трансформация парниковых газов в почвах / А. Л. Степанов // М., 2011.
15. **Смагин, А. В.** Газовая фаза почв / А. В. Смагин // М., 2005.
16. **Тановицкая, Н. И.** Создание автоматизированной системы наблюдения за гидрологическим режимом на болоте Ельня / Н. И. Тановицкая, О. Н. Ратникова, Ю. Ю. Навоша // Природопользование. Минск, 2013. Вып. 23. С. 56–62.
17. **Ярмошук, Т. Д.** Эмиссии метана на торфяном месторождении низинного типа «Выгонощанская» при различном уровне грунтовых вод / Т. Д. Ярмошук, В. А. Ракович, М. Минке, А. Тиле // Природопользование. Минск, 2013. Вып. 24. С. 43–51.
18. **A flexible, multipurpose method for recording vegetation composition and structure** / R. K. Peet [et al.] // Castanea. Vol. 63. 1998. P. 262–274.
19. **Assessing** greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as a proxy / J. Couwenberg [et al.] // Special Issue Wetland Restoration, Hydrobiologia, 2011. Vol. 674. P. 67–89.
20. **Augustin, J.** Effect of changing temperature and water table on trace gas emission from minerotrophic mires / J. Augustin, W. Merbach, W. Schmidt, E. Reining // Angew. Botanik, 1996. Vol. 70. P. 45–51.
21. **Couwenberg, J.** Emission reductions from rewetting of peatlands. Towards a field guide for the assessment of greenhouse gas emissions from Central European / J. Couwenberg [et al.] // In Couwenberg, J., Dommain, R. & Joosten, H. Greenhouse gas fluxes from tropical peatlands in south-east Asia. Global Change Biol, 2010. Vol. 16. P. 1715–1732.
22. **Crawley, R.** The R book, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, England, 2007.
23. **Drösler, M.** Trace gas exchange and climatic relevance of bog ecosystems, southern Germany. PhD thesis / Technischen Universität München. München, 2005.
24. **Gorham, E.** Northern peatlands – role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming / E. Gorham // Ecol. Appl, 1991. Vol. 1. P. 182–195.

25. **Hendriks, D. M. D.** Integrated observations of greenhouse gas budgets at the ecosystem level / Amsterdam, Vrije Universiteit, 2009.
26. **IPCC** (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
27. **Kuzyakov, Y.** Turnover and distribution of root exudates of Zea mays / Y. Kuzyakov, A. Raskatov, M. Kaupenjohann // Plant and Soil. 2003. Vol. 254. P. 317–327.
28. **Lieth, H.** Modelling the primary productivity of the world. Primary Productivity of the Biosphere / H. Lieth, R. H. Whittaker (eds.) // Springer Verlag, Berlin, 1975. P. 237–263.
29. **Lloyd, J.** On the temperature dependence of soil respiration / J. Lloyd, J. A. Taylor / Funct. Ecol., 1994. Vol. 8. P. 315–323.
30. **Michaelis, L.** Die Kinetik der Invertinwirkung / L. Michaelis, M. L. Menten // Biochemische Zeitschrift, 1913, № 49.
31. **Parish, F.** Assessment on peat-lands, biodiversity and climate change / F. Parish [et al.] // Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International Wageningen, 2008.
32. **Plant** species composition can be used as a proxy to predict methane emissions in peatland ecosystems after land-use changes / A. T. C. Dias [et al.] // Ecosystems, 2010. Vol. 13. P. 526–538.
33. **Powlson, D. S.** The effects of grinding on microbial and non-microbial organic matter in soil / J. Soil Sci. 1980. Vol. 31. P. 77–85.
34. **Raich, J. W.** The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate / J. W. Raich, W. H. Schlesinger // Tellus B, 1992. Vol. 44. P. 81–99.
35. **Singh, K. P.** Seasonal pattern of total soil respiration, its fractionation and carbon balance in a wheat-maize rotation cropland at Varanasi / K. P. Singh, C. Shekhar // Pedobiologia, 1986. Vol. 29. P. 305–318.
36. **Succow, M.** Landschaftsökologische Moorkunde / M. Succow, H. Joosten // Schweizerbart, Stuttgart, № 2. Вöllig neu bearbeitete Auflage, 2001.
37. **Tanneberger, F.** Carbon credits from peatland rewetting / F. Tanneberger, W. Wichtman // Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart, 2011.
38. **Whalen, S. C.** Biogeochemistry of methane exchange between natural wetlands and the atmosphere. Environ, 2005. Eng. Sci. Vol. 22. P. 73-94.
39. **Wilson, D.** Carbon dioxide dynamics of a restored maritime peatland / D. Wilson et al. // Ecoscience, vol. 14 (1), 2007. P. 71–80.

¹Институт природопользования НАН Беларуси,

²Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам,

³Thünen Institute of Climate-Smart Agriculture, Germany,

⁴независимый консультант, Trelleborger, Berlin, Germany,

⁵Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research, Müncheberg, Germany

Поступила в редакцию 03.03.2014 г.

Т. Д. Ярмошук, В. А. Ракович, М. Минке, А. Тиле, М. Хоффман

ЭМИССИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С НАРУШЕННЫХ И ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Экспериментально установлено, что величина потоков диоксида углерода с торфяников зависит от уровня залегания грунтовых вод, влажности торфяной залежи, температуры окружающей среды и торфа, наличия питательных веществ в залежи, степени разложения торфа, видового состава и уровня развития вегетативных сообществ и от сезонности.

Исследуемая часть торфяного месторождения Выгонощанское является источником поступления CO_2 в атмосферу и суммарные эмиссии на мониторинговой площадке с доминирующим видом *Phalaris arundinacea* составили 13,1 т CO_2 с 1 га в год при скашивании биомассы в зимний период и 8,1 т CO_2 с 1 га в год без кошения; на мониторинговой площадке с доминирующим видом *Juncus effusus* суммарные эмиссии диоксида углерода составили 14,8 т CO_2 с 1 га в год, а на мониторинговой площадке с доминирующими видами *Phleum pratense* и *Poa pratensis* суммарный нетто-экосистемный обмен равнялся 43,3 т CO_2 с 1 га в год.

На торфяном месторождении низинного типа Берестовец суммарные эмиссии диоксида углерода составили 39,1 т CO_2 с 1 га в год.

*T. D. Yarmoshuk, V. A. Rakovich,
M. Minke, A. Thiele, M. Hoffmann*

**CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM
DEGRADED AND REWETTED FEN PEATLANDS**

It was experimentally established that the amount of carbon dioxide fluxes from fen peatlands depends on the groundwater level, peat moisture, soil and ambient temperatures, availability of nutrients in the reservoir, the degree of peat decomposition, the species composition and development of the vegetative communities level and on seasonality.

The investigated part of the fen peatland Vygonoshchansky was a source of CO₂ to the atmosphere. Total emissions from monitoring plots dominated by Phalaris arundinacea were 13.1 tons CO₂ per hectare per year at variants with winter biomass harvest and 8.1 tons CO₂ per hectare per year without mowing. The monitoring plot covered by Juncus effuses had total carbon dioxide emissions of 14.9 tons CO₂ per hectare per year, and that dominated by Phleum pratense and Poa pratensis a total net-ecosystem exchange of 43.3 tons CO₂ per hectare per year.

The fen peatland Berestovets had total carbon dioxide emissions of 39.1 CO₂ tons per hectare per year.

О. В. Кадацкая, Е. В. Санец

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В БЕЛАРУСИ

Рассматривается динамика показателей, характеризующих использование воды в Беларуси в целом и на урбанизированной территории на примере г. Минска, количественные показатели водопользования которого сопоставимы с областным уровнем использования воды, и где в первую очередь реализуются новые управленческие решения в водохозяйственной сфере. В ходе анализа показателей за многолетний период (1980–2012 гг.) установлены основные отличительные особенности использования водных ресурсов на различных временных этапах.

Использование водных ресурсов в Беларуси длительное время носило экстенсивный характер, проявляющийся в ежегодном росте объемов забора природных вод, высоком удельном потреблении воды, увеличении сбросов сточных вод, в том числе содержащих загрязняющие вещества, в водотоки-приемники сточных вод. Так, в 1990 г. объем забранных природных вод на

различные хозяйствственные нужды составил в целом для страны 3035 млн м³. Более половины объема (1825 млн м³) было изъято из поверхностных водных объектов, на долю подземных вод пришлось около 40 % или 1210 млн м³ [1]. По сравнению с 1980 г. забор подземных вод увеличился в 2, а поверхностных – в 1,5 раза (рис. 1).



Рис. 1. Забор воды из поверхностных и подземных источников в Беларуси в 1980–2012 гг.

Увеличение количества забранной воды в 1990 г. сопровождалось ростом удельного показателя забора воды на душу населения. Впоследствии наблюдалось его уменьшение, причем снижение численности населения страны практически не изменило ситуацию (табл. 1).

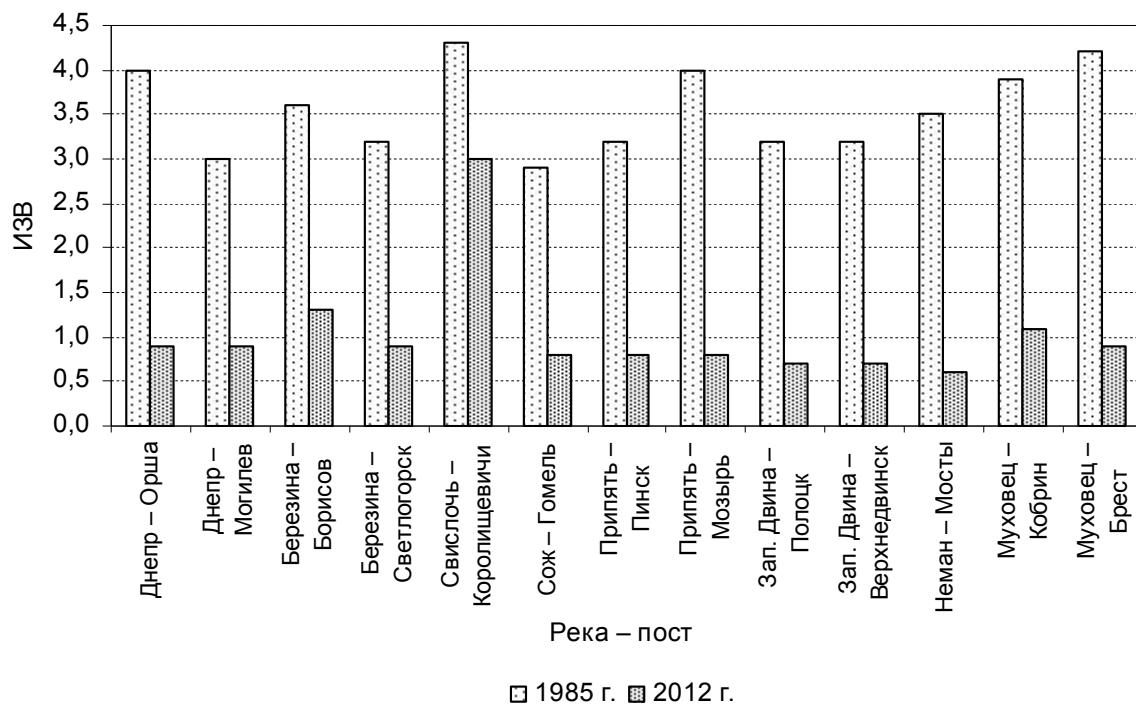
На этапе экстенсивного использования водных ресурсов эксплуатация сравнительно небольших водозаборов подземных вод в пределах урбанизированных водосборов привела к существенным изменениям гидрографической

сети г. Минска: некоторые малые реки (Лошица, Тростянка, Слепня и др.) полностью пересохли или превратились во временные водотоки [2].

Для рассматриваемого этапа характерно также хорошо выраженное загрязнение рек страны, принимающих сточные воды (рис. 2). Так, в 1985 г., согласно индексу загрязнения вод (ИЗВ), речные воды ниже городов относились по качеству к классу загрязненных (ИЗВ составил 2,5–4,0) и грязных (ИЗВ больше 4,0).

Таблица 1. Динамика забора воды в Беларусь в целом и на душу населения в 1980–2012 гг.

Год	Население страны, тыс. чел.	Общий забор воды, млн м ³	Забор воды на душу населения, м ³ в год
1980	9592	1960	204
1985	9929	2824	284
1990	10211	3035	297
1995	10297	2113	205
2000	10020	1883	188
2001	9957	1855	186
2002	9900	1865	188
2003	9831	1832	186
2004	9763	1791	183
2005	9800	1773	181
2006	9756	1730	177
2007	9714	1698	175
2008	9690	1638	169
2009	9490	1573	166
2010	9500	1598	168
2011	9481	1638	173
2012	9465	1641	173

**Рис. 2. Индекс загрязнения вод основных рек Беларусь ниже городов в 1985 и 2012 г.**

С 1995 г. прослеживается отчетливая тенденция к снижению объемов забора воды как из поверхностных, так и из подземных источников. Наибольшее сокращение характерно для поверхностных вод, за счет которых обеспечивались нужды промышленности и теплоэнергетики, что привело к преобразованию структуры водозабора: до 1994 г. в суммарном объеме изъятой воды доминировали поверхностные воды, с 1995 г. начали преобладать подземные. К 2000 г. величина

поверхностного водозабора по сравнению с 1990 г. уменьшилась более чем в 2 раза и составила 801 млн м³ (см. рис. 1).

Наряду с сокращением добычи природных вод из подземных и поверхностных источников, начиная со второй половины 1990-х годов, прослеживается тенденция к уменьшению водопотребления. К 2000 г. общий объем использованной воды по сравнению с 1990 г. снизился в 1,6 раза, а к 2012 г. – в 1,9 раза (табл. 2).

Таблица 2. Использование природных вод в Беларуси по видам потребления в 1980–2012 гг., млн м³

Год	Всего	Хозяйственно-питьевые нужды	Производственные нужды			Объем оборотного и повторного водоснабжения, %*
			Всего	В том числе питьевого качества	Проценты от общего количества	
1980	1851	405	1362	234	—	—
1985	2775	564	1664	291	17	7016 (81)
1990	2790	691	1002	408	41	9515 (90)
1995	1856	679	574	210	37	7134 (92)
2000	1700	782	529	171	32	6155 (92)
2005	1600	750	529	151	28	6369 (92)
2010	1359	495	393	154	39	6385 (94)
2011	1406	486	423	154	36	5973 (93)
2012	1442	492	429	169	39	5616 (93)

* Доля от общего объема воды, использованной в производственной сфере.

Изменилась также и структура водопользования. По данным табл. 2, в начале 1990-х годов количество воды, используемой на производственные нужды, хотя и снизилось по сравнению с 1985 г. на 662 млн м³, все еще было больше объемов воды, направленных на хозяйствственно-питьевые нужды. С 1995 г. отчетливо прослеживается уменьшение объемов воды, используемых в производственном секторе: ее количество по сравнению с 1990 г. сократилось в 1,7 раза, а с 1985 г. – в 2,9 раза. В то же время наметился рост водопотребления в сфере коммунального хозяйства, четко проявившийся в первой половине 2000-х годов.

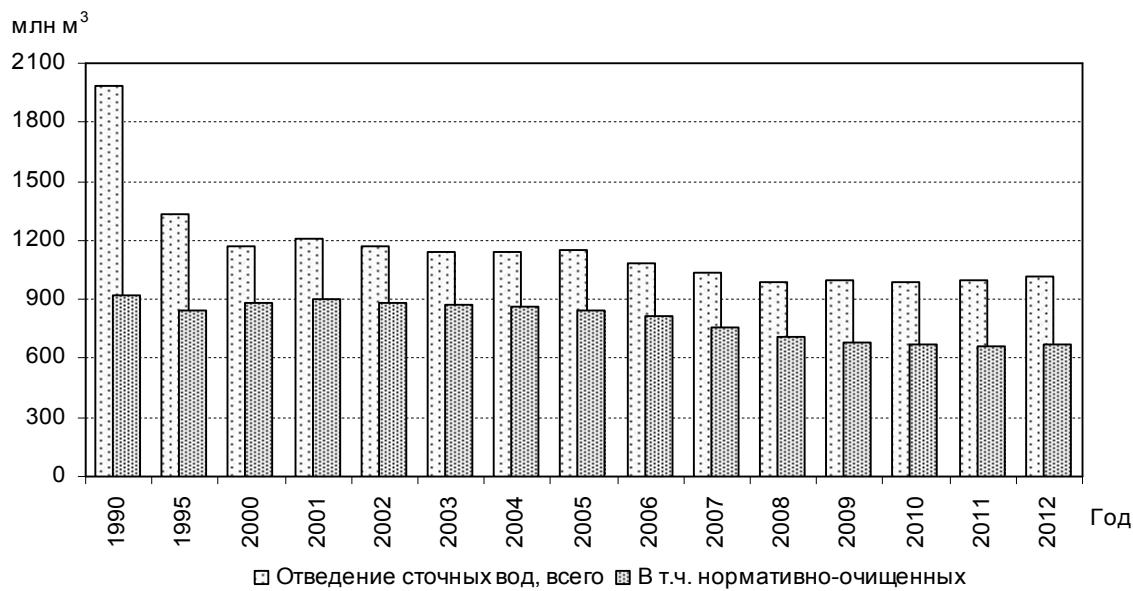
Количество воды, направленной на хозяйствственно-питьевые нужды, уменьшилось в 2012 г. по сравнению с 2000 г. на 290 млн м³, но по-прежнему превышало объем воды, потребляемой на производственные нужды.

Для объемов оборотного и повторного водоснабжения также отмечается тенденция к их снижению в абсолютных величинах, однако, судя

по относительным значениям, потребление остается достаточно стабильным (см. табл. 2).

Уменьшение объемов сточных вод, сбрасываемых в реки, наблюдается с 1995 г., когда их количество по сравнению с 1990 г. сократилось в 1,5 раза, а в конце рассматриваемого периода (2008–2012 гг.) – почти в 2 раза (рис. 3). Тенденция, характерная для общего объема сточных вод, установлена также и для нормативно-очищенных сточных вод. Изменения коснулись и величины удельного водопотребления, объемы которого за период 1990–2012 гг. уменьшились с 532 (1990 г.) до 294 л/сут./чел. (2012 г.).

С 1995 г. изменилось соотношение различных категорий сточных вод в структуре водоотведения. Так, до 1990 г. в структуре сточных вод доминировал сброс нормативно-чистых сточных вод, поступающих в водные объекты без очистки. В 1990 г. их объем составил 959 млн м³. В последующие годы их количество значительно уменьшилось, и в суммарном объеме сточных вод стали преобладать прошедшие очистку нормативно-очищенные воды (см. рис. 3).

**Рис. 3. Отведение сточных вод в водные объекты Беларуси в 1990–2012 гг.**

К сожалению, следует констатировать, что очистка сточных вод в настоящее время все еще остается недостаточно эффективной, а нормативно-чистые воды, сбрасываемые в водные объекты без очистки, зачастую являются фактором их загрязнения [4, 5]. Указанная ситуация подтверждается ростом объемов сточных вод, содержащих загрязняющие вещества, отмеченным в последние годы (рис. 4).

Таким образом, анализ водопользования в Беларуси в целом позволил выявить основные изменения в водохозяйственной сфере страны,

имевшие место в конце 1990-х–начале 2000-х годов и сохранившиеся до настоящего времени.

Установлено, что с 1995 г. отчетливо прослеживается тенденция к снижению объемов воды, забранной как из поверхностных, так и из подземных источников. Изменения, произошедшие в структуре водозабора в конце 1990-х годов, сохранились и на современном этапе. Если до 1994 г. в суммарном объеме изъятой воды доминировали поверхностные воды, то с 1995 г. начали преобладать подземные воды.

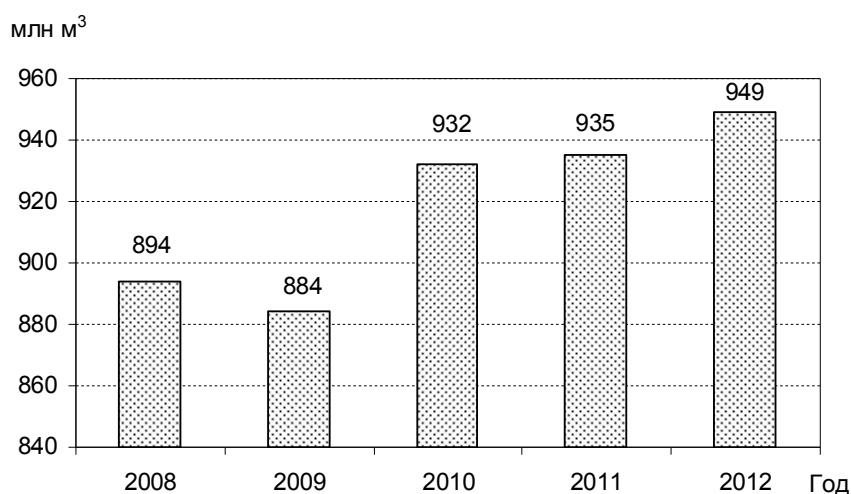


Рис. 4. Динамика объема сточных вод, содержащих загрязняющие вещества, в 2008–2012 гг.

Имело место преобразование структуры распределения воды, направленной на различные нужды. С 1995 г. появилась тенденция к уменьшению объемов воды, используемой на производственные нужды, и увеличению на хозяйственно-бытовые.

Выявлены изменения и в структуре водовыведения: до 1990 г. доминировал сброс нормативно-чистых сточных вод, поступающих в водные объекты без очистки [3]. В последующие годы их количество значительно уменьшилось, и в суммарном объеме сточных вод стали преобладать прошедшие через очистные сооружения нормативно-очищенные воды.

Тенденции, выявленные в области водопользования для страны в целом, нашли свое отражение и в использовании воды в городах. В этом отношении показательным является г. Минск, потребление воды в котором, как известно, сопоставимо с таковым для областей страны, и именно на его примере можно проследить основные направления интенсификации водопользования.

Интенсивное водопользование предполагает повышение эффективности использования водных ресурсов за счет снижения удельного

водопотребления в расчете на душу населения и единицу производимого продукта, уменьшения непроизводительных потерь воды и сокращения общего объема изъятия водных ресурсов. При этом основными факторами повышения рационального использования водных ресурсов в стране являются экономическое стимулирование, внедрение водосберегающих технологий, увеличение объемов повторного использования очищенных сточных вод, поверхностного стока и дренажных вод, снижение объемов использования питьевой воды на технологические нужды.

Использование воды на хозяйствственно-питьевые нужды в Минске с 2004 г. имеет четкую тенденцию к сокращению, несмотря на тот факт, что население города неуклонно год от года увеличивается (рис. 5). Уменьшение общего бытового потребления воды сопровождается весьма существенным снижением удельного показателя водопотребления. Так, до 2004 г. потребление воды на душу населения в Минске превышало 300 л/чел./сут., т.е. было более чем в 2 раза больше нормы, принятой в развитых европейских странах, и свидетельствовало о нерациональном использовании воды в сфере жилищно-коммунального хозяйства.

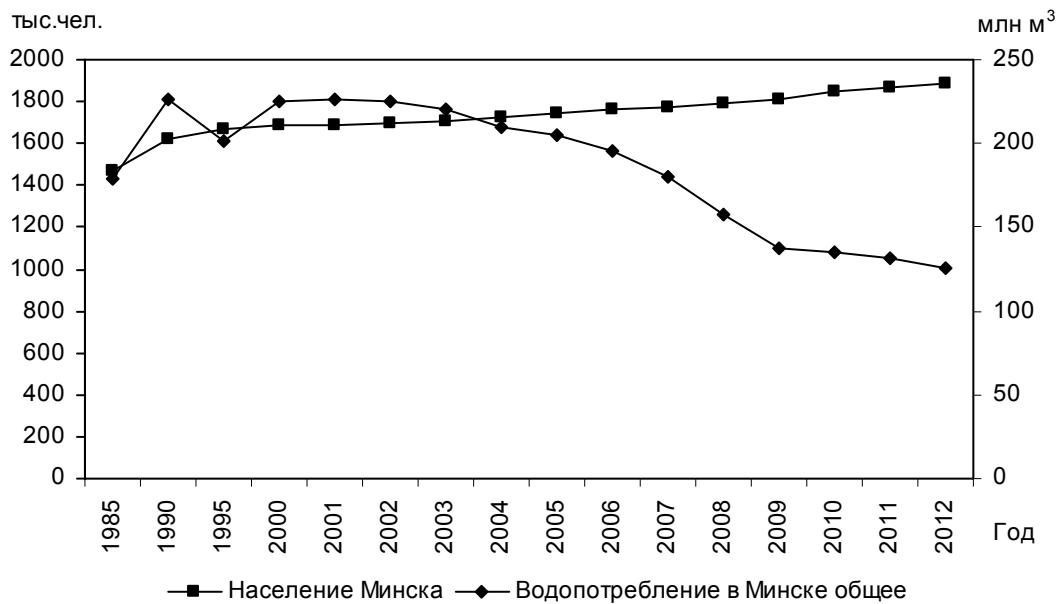


Рис. 5. Использование воды на хозяйствственно-питьевые нужды в г. Минске в 1985–2012 гг.

В последние годы уровень потребления воды на душу населения, как видно, имеет хорошо выраженную тенденцию к сокращению. В 2010–2012 гг. удельный показатель водопотребления оказался меньше 200 л/чел./сут., что стало возможным в результате внедрения приборного учета использования воды в жилом фонде города и введения обоснованной платы за воду.

По сравнению с другими городами страны, удельное потребление воды в Минске все еще остается достаточно высоким (табл. 3). В настоящее время не только в столице, но и в других городах страны необходимо принятие экономических и технологических мер для уменьшения потребления воды на душу населения до оптимальных величин (120–150 л/сут./чел.), характерных для стран Евросоюза.

Таблица 3. Бытовое потребление воды на одного жителя в основных промышленных центрах Беларусь в 2008–2012 гг., л/сут./чел.

Город	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.
Брест	181	149	145	134	157
Витебск	185	166	168	161	150
Гомель	198	179	166	146	140
Гродно	214	193	186	179	172
Могилев	213	176	161	133	137
Бобруйск	207	182	209	199	163
Борисов	204	153	149	171	146
Мозырь	195	165	152	176	145
Новополоцк	170	153	166	156	167
Минск	237	207	200	194	184
Республика Беларусь	162	145	143	141	143

Если в сфере жилищно-коммунального хозяйства Минска и других городов процессы интенсификации водопользования проявляются достаточно четко, то в использовании природных вод на производственные нужды данные процессы отчасти завуалированы сложившейся ситуацией в промышленности в целом. Это связано с тем, что уменьшение объемов воды, направленной на производственные нужды, в конце 1990-х–начале 2000-х годов явилось результатом спада промышленности в стране, а не следствием пе-

реориентации производства на менее водоемкие технологии. Так, в 1995 г. количество воды, используемой на производственные нужды, по сравнению с 1985 г. сократилось в 1,5 раза, а в 2007 г. – практически в 2 раза.

Установленная тенденция была нарушена в 2008–2012 гг. (рис. 6). Для этого периода характерен рост количества воды, использованной на производственные нужды, объем которой в 2012 г. приблизился к таковому в 1995 г. Данный факт можно рассматривать как положительное

явление в сфере производственной деятельности. Вместе с тем снижение абсолютной величины объема направленной на производственные нужды воды, начавшееся в конце 1990-х годов, не может однозначно свидетельствовать об эффективности использования водных ресурсов. По-видимому, основным показателем в этом отношении следует считать объем воды, затраченный на единицу продукции.

Задачу эффективности водопользования в городах частично можно решить путем снижения потерь при транспортировке воды к местам использования и поддержания водопроводных систем в надлежащем техническом состоянии. Так, для Минска отчетливо прослеживается тенденция к уменьшению потерь воды, которая в последние два года установлена также практически для всех областей и для страны в целом (табл. 4). При

этом следует отметить, что для «потерь воды», в отличие от рассмотренных выше показателей водопользования для страны в целом, в многолетнем разрезе установлена тенденция к росту, которая прослеживалась до 2008 г.

Вместе с тем, несмотря на тот факт, что для г. Минска в общем объеме зарегистрированных потерь воды сократилась с 37 (2008 г.) до 24 % (2012 г.), их объем все еще остается достаточно высоким (рис. 7).

Для общего количества отводимых в водные объекты сточных вод в Минске установлена тенденция к уменьшению, которая прослеживается с 1990 г. Как и в случае с водопотреблением, увеличение численности жителей города не сопровождалось ростом объемов сточных вод (рис. 8).

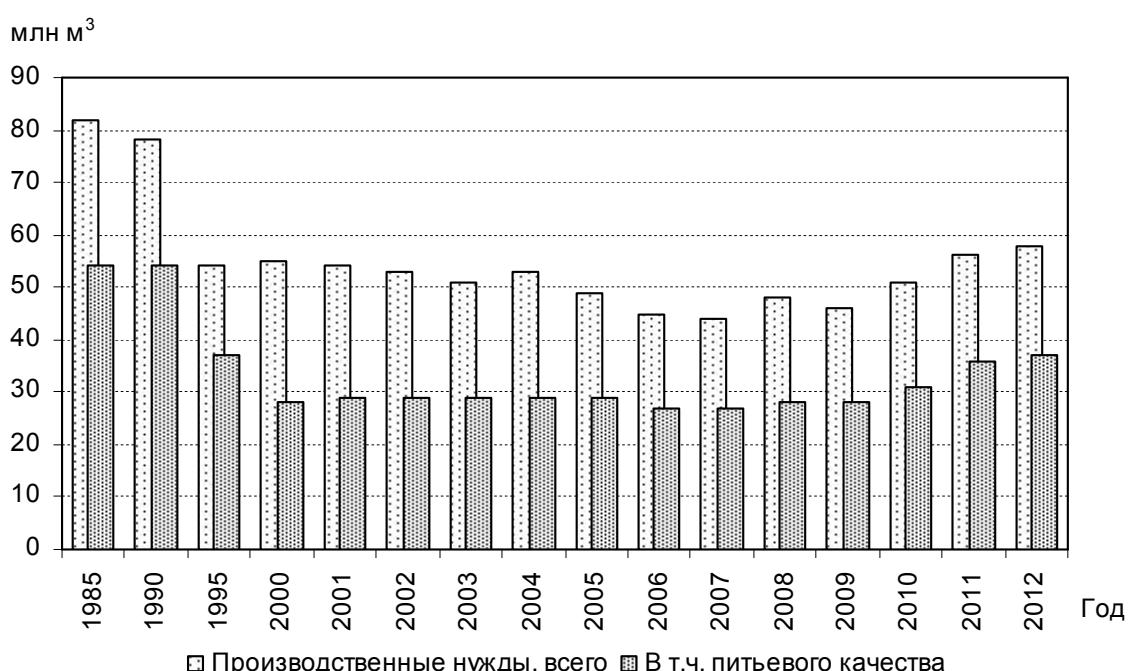


Рис. 6. Использование природных вод на производственные нужды в г. Минске в 1985–2012 гг.

Таблица 4. Потери воды при транспортировке в областях Беларуси и г. Минске в 2008–2012 гг., млн м³

Область, город	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.
Брестская	12	7	7	6	7
Витебская	15	12	18	11	11
Гомельская	17	10	14	14	13
Гродненская	9	6	7	6	6
Минская	11	8	14	12	14
Могилевская	18	13	15	14	13
г. Минск	49	28	27	20	20
Республика Беларусь	131	84	102	84	84

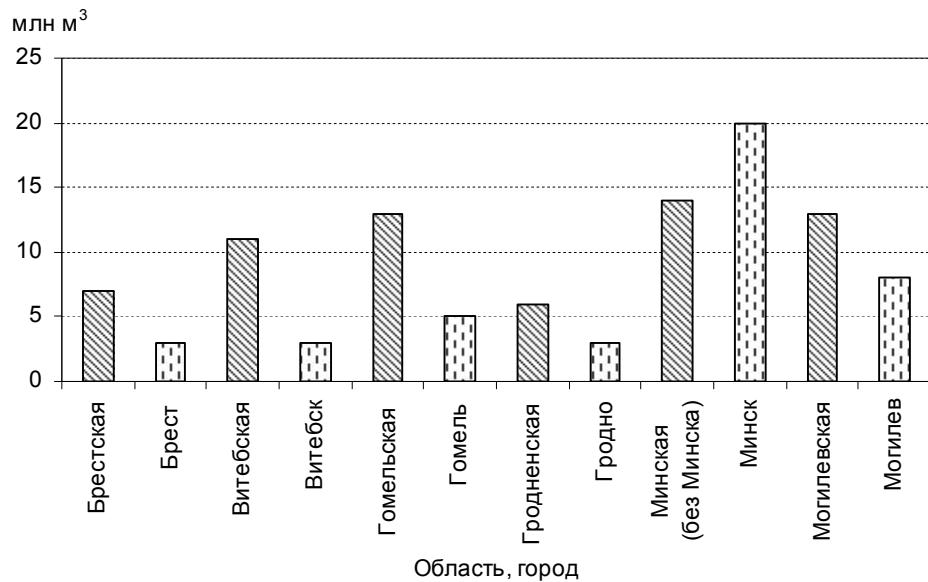


Рис. 7. Потери воды при транспортировке в городах и областях Беларуси в 2012 г.

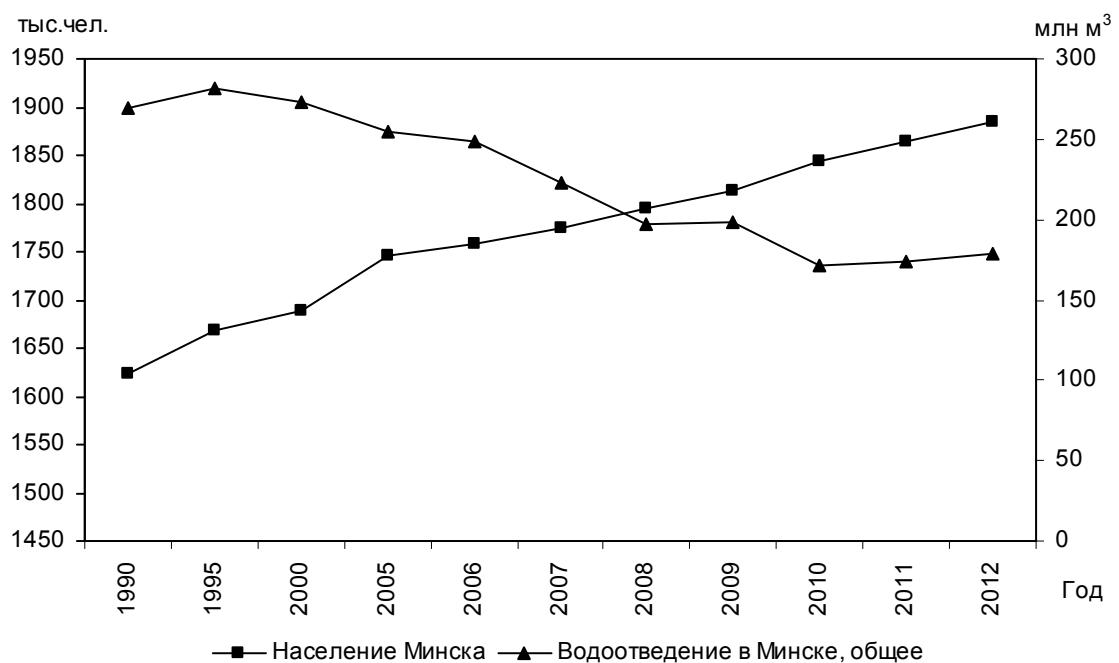


Рис. 8. Отведение сточных вод в г. Минске в 1990–2012 гг.

Удельное водоотведение в начале 2000-х годов достигало 400–443 л/чел./сут., а к концу рассматриваемого периода сократилось до 255–260 л/чел./сут., что наряду с удельным водопотреблением указывает на оптимизацию водопользования в Минске.

В структуре сточных вод во все годы многолетнего периода (1990–2012 гг.) преобладали нормативно-очищенные воды. Загрязненные и недостаточно очищенные практически не сбрасываются (табл. 5).

Таким образом, исходя из изложенного материала, можно заключить следующее:

- использование воды на хозяйствственно-питьевые нужды в г. Минске с 2004 г. имеет четкую тенденцию к сокращению, несмотря на тот факт, что население города неуклонно год от года увеличивается;

- уменьшение объемов воды, направленной на производственные нужды, в конце 1990-х–начале 2000-х годов явилось результатом спада промышленности в стране, а не следствием пе-

реориентации производства на менее водоемкие технологии;

– снижение абсолютных показателей направленной на производственные нужды воды не может однозначно свидетельствовать об эффективности использования водных ресурсов;

– использование воды питьевого качества на производственные нужды (51–69 %) свидетельствует о необходимости более рационального использования водных ресурсов в городе;

– сокращение показателей удельного водопотребления и водоотведения указывает на оптимизацию водопользования в г. Минске.

Установленные изменения в структуре использования водных ресурсов свидетельствуют о предпосылках интенсификации водопользования

как в Беларуси в целом, так и городах страны, в частности. Интенсивная стратегия водопользования, как известно, предполагает, прежде всего, уменьшение потребностей в воде в расчете на душу населения (или единицу производимого продукта) за счет технологических и экономических мер в водопользовании: количество воды, ранее не удовлетворявшее экономическую потребность в ней, становится достаточным при том же объеме производства продукции и численности населения. Кроме того, при интенсивной стратегии необходимо сохранять водно-ресурсный потенциал урбанизированных территорий посредством водоохранных и реабилитационных мероприятий, направленных на улучшение состояния водных объектов.

Таблица 5. Отведение сточных вод в водные объекты в г. Минске в 1990–2012 гг., млн м³

Год	Всего	Нормативно-очищенные	Нормативно-чистые (без очистки)	Загрязненные и недостаточно очищенные
1990	270	267	3	–
1995	282	246	2	34
2000	273	271	2	–
2005	255	248	7	–
2006	248	241	7	–
2007	223	216	7	–
2008	197	190	7	–
2009	198	182	6	–
2010	172	172	0	–
2011	174	172	0	1
2012	179	179	7	–

Выявленные тенденции в изменении структуры использования воды в целом позволяют выделить три этапа в развитии водопользования в Беларуси:

– этап экстенсивного водопользования (1980–1990-е годы), характеризующийся необоснованно высокими величинами показателей использования воды на производственные и хозяйствственно-питьевые нужды, а также высоким уровнем загрязнения водных объектов;

– «переходный» этап (1995–2004 гг.), отличающийся значительным уменьшением величин основных показателей водопользования, вызванным объективными экономическими причинами; при этом наблюдалось снижение загрязнения рек;

– этап относительно интенсивного водопользования (2005–2012 гг.), характеризующийся достаточно обоснованными показателями использования воды, особенно в сфере жилищно-коммунального хозяйства. При этом качество речных вод значительно улучшилось: загрязненные и грязные воды рек, характерные для экстенсивного этапа водопользования в городах, перешли в статус умеренно загрязненных и относительно чистых. Экономия воды в результате внедрения в промышленное производство систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения в целом возросла: процент использования воды в данных системах увеличился с 81 (1985 г.) до 93 % (2012 г.).

Литература

1. Природная среда Беларуси / Под ред. В. Ф. Логинова. Минск, 2002.
2. Состояние природной среды Беларуси : экологический бюллетень 1991 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. Минск, 1993.
3. Справочно-статистические материалы о состоянии окружающей среды и природоохранной деятельности в Республике Беларусь на 1 января 1999 г. : справочник / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Минск, 1999.

4. **Состояние** природной среды Беларусь: экологический бюллетень 2009 год / Под ред. В. Ф. Логинова. Минск, 2010.

5. **Состояние** природной среды Беларусь : экологический бюллетень 2012 год / Под ред. В. Ф. Логинова [Электронный ресурс]. 2013. Режим доступа: http://minpriroda.gov.by/ru/bulleten/new_url_961905795. Дата доступа: 19.02.2014.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 03.03.2014 г.

O. В. Кадацкая, Е. В. Санец

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В БЕЛАРУСИ

Анализ показателей водопользования в Беларусь за многолетний период (1980–2012 гг.) позволил установить основные изменения в водохозяйственной сфере страны, имеющие место в конце 1990-х–начале 2000-х годов и сохранившиеся до настоящего времени, и выделить три этапа в использовании водных ресурсов:

– этап экстенсивного водопользования (1980–1990-е годы), характеризующийся высокими величинами показателей забора воды в целом, использования воды на производственные и хозяйственно-питьевые нужды, высоким уровнем удельного водопотребления, а также сбросом в водные объекты сточных вод, главным образом, без предварительной очистки (нормативно-чистых вод) и как следствие – высоким уровнем загрязнения водных объектов;

– «переходный» этап (1995–2004 гг.), отличительной чертой которого является заметное снижение значений рассматриваемых показателей водопользования, которое произошло в результате спада производственной активности в стране; одновременно наблюдалось и снижение уровня загрязнения рек;

– этап относительно интенсивного водопользования (2005–2012 гг.), характеризующийся достаточно обоснованными величинами показателей использования воды, особенно в сфере жилищно-коммунального хозяйства, а также экономией воды в результате внедрения в промышленное производство систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения. Процент использования воды в этих системах увеличился с 81 (1985 г.) до 93 % (2012 г.). Качество речных вод значительно улучшилось: загрязненные и грязные воды рек, характерные для экстенсивного этапа водопользования в городах, перешли в категорию умеренно загрязненных и относительно чистых.

O. Kadatskaya, E. Sanets

TENDENCIES OF WATER USAGE IN BELARUS

The analysis of indicators of water usage in Belarus for 1980–2012 period revealed the main trends in the water sector of the country, which took place in the late 1990s and early 2000s and has continued to nowadays. Proceeding of the changes in water usage allowed to allocate three stages in the usage of water resources of the country:

– extensive water usage phase (1980–1990s), characterized by high values of indicators of water intake in general, water consumption for industrial and household needs, a high level of water consumption per capita and discharge into water bodies mainly untreated wastewater (regulatory clean water) and as a consequence – the high level of pollution of water bodies;

– «transition» phase (1995–2004), the distinguishing feature of which is a marked decrease of values of the indicators of water usage, which has occurred as a result of decline of manufacturing activity in the country; simultaneously reduction of pollution of rivers was observed;

– stage of relatively intense of water usage (2005–2012), characterized by sufficiently substantiated quantities of water usage rates, especially in the sphere of housing and communal services, as well as water saving as a result of the introduction of industrial production in recycling and re-consistent water supply. The percentage of water in these systems has increased from 81 (1985) to 93 % (2012). Water quality has improved significantly: contaminated and dirty river water, typical for extensive stage management in cities, moved into the category of moderately polluted and relatively clean.

Б. П. Власов

ИЗМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕРА ЧЕРВОНОЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГИДРОМЕЛИОРАЦИИ ВОДОСБОРА

На примере крупнейшего в Беларуси озера рассмотрены негативные экологические последствия широкомасштабной осушительной гидромелиорации водосбора, характерные для региона Белорусского Полесья. Приведены данные о трансформации площади водосбора, изменениях уровенного режима, объеме воды в озере за годы проведения мелиоративных работ. Рассмотрены основные экологические проблемы озера, вызванные колебаниями уровня воды в нем, поступлением вод с польдерных систем, изменением химического состава поверхностных вод. Выполнена оценка экологического состояния озера и антропогенной трансформации водосбора. Обозначены основные направления экологической реабилитации озера.

Рациональное использование ресурсов и сохранение экологического состояния природных комплексов является одним из важнейших условий устойчивого развития любого региона. Значительная часть ресурсов территории Белорусского Поозерья Полесья сосредоточена в озерах, вопросам исследования и комплексного использования которых на протяжении нескольких последних десятилетий уделяется большое внимание. Необходимость планирования направлений использования и управления природными ресурсами озер делает актуальной задачу применения геоэкологического подхода в исследовании природно-ресурсного потенциала озерных геосистем. Наличие больших запасов природных ресурсов озер и высокое качество окружающей среды, позволяют осуществлять расширенное социально-экономическое развитие региона, эффективное и рациональное использование имеющихся ресурсов, обеспечивающее сохранение уникальных ландшафтов и биологического разнообразия природных комплексов.

Озеро Червоное относится к одному из наиболее изученных водоемов Республики Беларусь. Первые гидробиологические исследования озера (Князь-озеро) относятся к 1905 г.; режимные гидрологические наблюдения проводятся с 1925 г., гидрохимические – с 1954 г. (Белгидромет), гидробиологические исследования начиная с 1949 г., проводили БГУ, НПО Белрыбвод, БелНИИРХ, в отдельные годы исследования проводили БЕЛГИПРОВОДХОЗ, «ПОЛЕСЬЕГИПРОВОДХОЗ», «СОЮЗГИПРОМЕЛИОВОДХОЗ» [2, 5, 9, 10].

Озеро является крупнейшим в республике водоемом, имеющим огромное природоохранное и народно-хозяйственное значение. Его особая гидроклиматическая роль объясняется гидрологическими особенностями территории: озеро с окружающей территорией образует единый природный водно-болотный комплекс, ему принадлежит активная водорегулирующая и климатооб-

разующая роль, служит аккумулятором воды. В озере сосредоточены большие запасы водных, органоминеральных, биологических, рекреационных ресурсов. Водные ресурсы оцениваются в 52,75 млн м³, из которых 25,4 млн м³ – объем годового стока в средний по водности год и 27,35 млн м³ воды в озере; объем сапропеля – 69,80 млн м³. Биологические ресурсы включают запасы макрофитов (3,06 тыс.т ВСВ), фитопланктона (3,16 тыс. т), зоопланктона (3,1 т), зообентоса (380,9 т); промысловый запас ихтиофауны составляет около 505,3 т. Рекреационные ресурсы ограничены: по комплексу целевых показателей озеро благоприятно для развития только бесконтактных видов отдыха на акватории (катание на парусниках, яхтах, водных лыжах, гребли на лодках и байдарках) и развития любительского рыболовства.

Хозяйственное использование озера определяется качеством и запасами природно-ресурсного потенциала, историческими и социально-экономическими особенностями пространства. На протяжении активного освоения территории, направление и степень использования ресурсов озера неоднократно менялись. Период наиболее интенсивного вовлечения природных ресурсов озера и приозерья соответствует широкомасштабному гидромелиоративному преобразованию Полесской низменности. В последние десятилетия озеро служит водоприемником вод гидромелиоративной сети осущеной территории и участка добычи торфа, объектом рыболовства, водоисточником для рыбхозов и предприятий сельского хозяйства, объектом добычи сапропелей. Рекреационное использование водоема и приозерья в силу низкой рекреационной ценности территории ограничено кратковременным сезонным отдыхом жителей окрестных населенных пунктов и любительским рыболовством.

Озеро относится к бассейну реки Припять, системе реки Бобрик. Впадает в озеро река Деменка, с мелиорированных территорий воду в

озеро перекачивали 6 насосных станций. В 1996 г. насосная станция торфобрикетного завода отнесена от озера, и сток перенаправлен в кан. Рассошская. Сток из озера происходит по Житковичскому, в половодье – частично по Озерному каналу.

Ведущим фактором антропогенного воздействия на озеро служит гидромелиорация водосборной площади, что, в сочетании с интенсивным сельскохозяйственным использованием территории водосбора и сверхдопустимым водопотреблением, привело к катастрофическим, порой необратимым изменениям водного режима, понижению уровня, сокращению объема водной массы, изменению ионной структуры и ухудшению качества вод, видового состава и уровня продуктивности гидробионтов [11].

Гидромелиорация водосбора проходила в несколько этапов, и ее воздействие на озеро по силе можно расценивать от «ограниченной» до «катастрофической». Первые работы по строительству каналов на водосборе озера Червоное относятся к концу XIX в. и связаны с экспедицией И. И. Жилинского. В 30-е гг. XX в. были сооружены канава Пограничная, канал Тесна, канализирована приусадебная часть русла реки Деменка. Период до 1941 г. можно назвать домелиоративным – водосборная территория озера составляла 397 км², преобладали низинные болота.

В период 1957–1970 гг. происходит строительство первых мелиоративных объектов на водосборе. В послевоенный период часть водосбора озера Червоное была отсечена при строительстве Домановичского канала (1952 г.) со сбросом в реку Случь, также сооружена Осовская канава (1952 г.), прорыт Житковичский канал (1958 г.). В 60-е гг. XX в. к югу от озера была создана система каналов и канав: канал Обводной (1960–1962 гг.), канава Россошская (1969 г.) и др., севернее озера – канава Дуброва (1969 г.). В 70-е гг. XX в. в основном, закончилось формирование искусственной гидрографической сети на водосборе озера Червоное. Были сооружены: канава Ездовая (1970 г.), канал Озерный (1971 г.), канализированы верховья реки Деменки. В результате площадь водосбора уменьшается до 197 км², мелиоративная освоенность не превышает 5 %.

С конца 70-х гг. XX в. и по настоящее время гидрографическая сеть водосбора озера Червоное коренным образом преобразована вследствие строительства крупных осушительных систем польдерного типа. Дополнительно построен канал Н-1, по которому с помощью насосной станции может осуществляться подача воды в озеро из Домановичского канала.

В течение 1971–1980 гг. мелиоративная освоенность водосбора увеличивается до 18 %,

площадь водосбора составила 280 км². Период 1981–1990 гг. характеризуется увеличением площади водосбора до 353 км² и доли мелиорированных земель – до 40 %. Произошла полная перестройка гидрографической сети, в результате обвалования озера изменился характер водного питания, без насосных станций сток в озеро поступает только по канале Тесна и реке Деменка. Озеро по типу питания превратилось в наливное водохранилище.

Составляющие водного баланса сильно варьируют в зависимости от климатических условий года. Ориентировочно приходную часть водного баланса составляют: сброс вод насосных станций с польдеров и торфоучастка (около 52 % от объема годового притока), атмосферные осадки (33 %), приток по реке Деменке и каналу Тесна (15 %), приток грунтовых вод (менее 1 %). В расходной части преобладают испарение с водной поверхности (51 % от объема расходной части), сток по Житковичскому каналу (43 %), потери воды при добыче сапропелей (около 6 %), грунтовый сток (менее 1 %).

Использование озера в качестве водисточника характеризуется объемами потребления на увлажнение сельхозугодий, заполнением и созданием необходимого водообмена рыбоводных прудов и забором воды при гидромеханизированном способе добычи сапропелей. Наибольший объем водопотребления отмечался до 1990 г., суммарный среднегодовой объем забора достигал 22–85 млн м³ для рыбохозяйственных нужд; 9,3 млн м³ – на увлажнение земель и 3,8 млн м³ для обеспечения работы земснаряда при подаче пульпы в отстойники. В результате ухудшения социально-экономических условий и общего спада производства в республике, в последние годы суммарный объем водопотребления резко сократился.

По причине уменьшения площади водосбора и сокращения объема притока, произошло понижение уровня воды озера. Если в домелиоративный период среднегодовой уровень составлял 135,86–136,50 м в маловодный год и 136,06–136,51 м – в многоводный с амплитудой колебания 0,5 м, то после завершения гидромелиорации водосбора, он составлял 135,65–136,02 м с амплитудой 0,4 м. Катастрофическое понижение уровня до отметки 135,20–135,63 м (падение на 0,5–0,8 м) за весь период наблюдений отмечалось в маловодные годы 1972–1974 гг. и 1984–1985 гг. (рис. 1). Снижение уровня привело к сокращению площади озера, объема водной массы, глубины воды. По сравнению с естественным состоянием (1925–1941 гг.) площадь озера уменьшилась в среднем на 10 %, а объем водной массы – в среднем на 30 %.

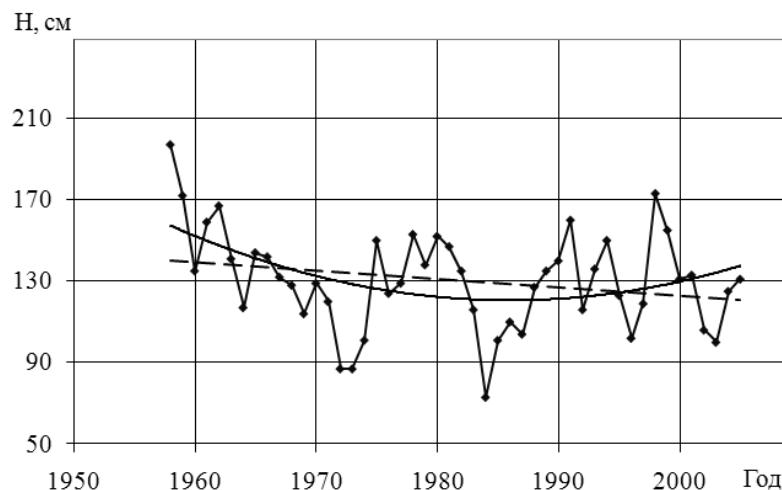


Рис. 1. Многолетняя динамика и тренды уровня воды озера Червоное [3]

Вода озера по химическому составу относится к гидрокарбонатному классу кальциевой группы. Ее общая минерализация за период наблюдения изменялась в значительном диапазоне (80–402 мг/л), и составляла 80–160 мг/л (1964–1976 гг.), до 340 (1985 г.), 200–220 мг/л (1990–1993 гг.), 270–402 мг/л (1993–1996 гг.) и 160–200 мг/л в настоящее время. Основу минерализации составляют ионы гидрокарбонатный и кальция (до 80 % суммы всех ионов), максимальная концентрация ионов в воде приходится на весну за счет интенсивного притока вод с водосбора. Содержание хлоридов и сульфатов в воде озера повышенное (5,6–21,0 мг/л и 8,6–33,2 мг/л соответственно). Концентрация калия и натрия не высокая (до 3,3 и 13,0 мг/л соответственно). Содержание биогенных элементов изменилось от низкого в домелиоративный период до высокого в 1993–1996 гг. Концентрация общего азота в различные годы наблюдений составляла 0,02–1,89 мгN/л, аммонийного азота – 0,02–1,89, нитритов 0,02–1,89 мгN/л. Содержание фосфатов изменилось от 0,03–0,08 мгP/л в 1964–1986 гг. до 0,15–1,017 мгP/л после 1986 г. Активная реакция воды сместилась от слабокислой (водородный показатель pH – 6,36) до щелочной (pH – 8,1–9,0). Цветность воды составляла 20–35 град. Cr₂-Со шкалы до 1987 г. и 123–138 град. после 1995 г. Высокими показателями характеризуется содержание органического вещества: наибольших значений его величина достигала в 1996 г. (81–85,6 мгO/л по бихроматной и 28–44,5 мгO/л по перманганатной окисляемости).

Качество воды озера Червоное определяется химическим составом и объемом приточных вод. Сравнительный анализ объемов притока и состава вод по данным многолетних наблюдений позволяет оценить степень воздействия мелио-

рации. Приток поверхностных вод осуществляется в период весеннего половодья и осенних паводков по реке Деменке, и сбросных вод насосных станций, дренирующих мелиоративные объекты на приозерье и водосборе, польдеров и торфоучастка на протяжении всех сезонов года. Максимальный приток происходит в многоводные сезоны года и зависит от климатических условий, площади локальных водосборов, характера почвогрунтов, структуры угодий и хозяйственного использования территории.

Объем вод, перекачиваемых насосными станциями в озеро с осущеных территорий, зависит от водности года и площади осущеных земель. Величина значительно варьирует от года к году и в зависимости от сезона. Наибольшие объемы воды перекачиваются в весенние месяцы – около 12 млн м³ (35 % от годового объема). В среднем насосные станции перекачивают в озеро Червоное от 27 млн м³ в маловодные и до 35 млн м³ – в многоводные годы. Наибольший объем среди постоянно действующих насосных станций поступал до 1997 г. от НС ТБЗ «Житковичский», минимальный объем (и только в период производства работ) – с чеков добычи сапропелевого сырья (табл. 1).

Наибольший объем поступления химических веществ с водами насосных станций отмечался в 1980–1990 гг., в период наиболее интенсивной эксплуатации сельскохозяйственных угодий водосбора и торфодобычи. В последние десятилетия отмечено сокращение общего объема вносимых на поля минеральных удобрений и химических веществ, что в целом оказалось некоторый положительный эффект на состав сбросных вод насосных станций. В целом, химический состав сбросных вод характеризуется показателями, превышающими фоновые значения.

Таблица 1. Среднегодовой объем сброса воды насосными станциями в озеро Червоное, млн м³

Источник	Предел колебания	Среднее значение
НС МО «Красное озеро»	2,23–11,11	5,43
НС МО «Красноозерский»	2,70–8,59	5,75
НС МО «Коммунар»	0,18–2,27	2,5
НС МО «Морохорово»	2,26–8,93	4,49
НС ТБЗ «Житковичский»	11,12–21,86	15,88
РПНО «Белсельхозхимия»	До 3,35	-

Исходя из величины среднегодового стока веществ с насосных станций и их концентрации в воде, суммарная масса поступивших в озеро химических, растворенных и взвешенных минеральных веществ составляет: Ca^{2+} – от 768 до 2820, K^+ – от 19 до 117, Na^+ – от 77 до 363, Cl^- – от 252 до 880 т/год, железа общего в среднем 114 т, общего фосфора – от 5 до 12, суммарного азота – до 149 т/год. Ежегодно с водами в озеро поступает около 4 тыс.т взвешенных частиц.

В воде, перекачиваемой насосными станциями, наблюдаются превышения показателей ПДК (в 3–60 раз) по общему железу, азоту аммонийному, и в 50 % проб – по азоту нитритному и фосфору фосфатному и общему. На современном этапе качество вод стабилизировалось. По величине индекса загрязнения воды только воды насосной станции «Красное озеро» в канаве Тесна («Забродье») можно отнести к чистым (ИЗВ до 0,27). Воды станции «Красное Озеро» кан. Осовская относятся к относительно чистым, станции «Коммунар», «Морохорово» – к умеренно загрязненным (ИЗВ 1,37 – 2,0), а «Дяковичи» – к очень грязным (ИЗВ 9,15). Такие высокие показатели обусловлены, главным образом, значительными превышениями содержания соединений железа и соединений азота и фосфора. Самая высокая минерализация зарегистрирована в водах НС «Красное озеро» (335 мг/дм³), наибольшие показатели цветности – для стоков НС «Дяковичи» (930 град.).

Изменения гидрологического режима озера и поступление вод с мелиорированного водосбора в последние 40 лет стали основным фактором, определяющим гидрохимический и гидробиологический режимы озера. Изменение запаса воды, водообмена и химическая нагрузка определили современное состояние экосистемы в целом и получили «отклик» в виде изменения состава и уровня продукции гидробионтов. В водной массе озера возросла концентрация макро- и микрокомпонентов солевого состава, резко увеличилась концентрация биогенных и содержание органических веществ в воде. По сравнению с домелиоративным периодом, увеличилась среднегодовая величина общей минерализации (с 90 до 200 мг/л и более), снизилось содержание биохимически инертных органических веществ и железа, увеличилась концентрация соединений фосфора при снижении содержания минерального азота. Одновременно отмечается интенсивное загрязнение озера тяжелыми металлами (медиум, цинком), нефтепродуктами, пестицидами. Источ-

никами загрязняющих веществ являются сбросные воды с сельскохозяйственных польдеров. В результате поступления взвешенных частиц и массового развития водорослей, прозрачность воды в летний период уменьшается до 0,3 м. Ухудшился газовый режим: снизилась концентрация растворенного в воде кислорода, периодически создаются условия для возникновения типичных явлений «зимних» и «летних» заморов.

В развитии фитопланктона за последние 40 лет прослеживается многолетняя тенденция к увеличению числа видов (в среднем в 2 раза), мелкоклеточных протококковых, криптомонад, эвгленовых, что свидетельствует об увеличении содержания органических веществ и усилении процесса эвтрофирования. Приток питательных веществ стимулировал массовое развитие синезеленых водорослей, вызывающих «цветение» воды. При средней многолетней биомассе 60–80 г/м³, в 1962 и 1978 гг. зарегистрированы значения биомассы 220-230 г/м, что является одним из наиболее высоких в Республике Беларусь. Для зоопланктона характерно низкое количественное развитие всех групп животных, и за тот же период наблюдается развитие мелких форм зоопланктеров, снижение численности и биомассы в 5 и более раз. Показатели количественного развития и структуры донной фауны соответствуют уровню эвтрофных водоемов, характеризуются высокой биомассой (до 20 г/м²) и мощным потенциалом к быстрому восстановлению после губительных зимних «заморов».

Высшая водная растительность отличается бедным видовым составом (24 вида), доминирует надводная растительность (46,6 % от общей биомассы). Степень зарастания озера изменилась от 3 % (до начала 60-х гг. XX в.) до 37,3 % в 1990–1997 гг. и 8 % площади озера в 2011 г. Причиной интенсивного зарастания в 90-е гг. XX в. послужили падение уровня воды и приток минерализованных вод, вызвавшие широкое распространение кальцефильного вида – телореза алоевидного.

До начала мелиоративных работ озеро Червоное являлось богатейшим рыбохозяйственным водоемом европейской части СССР с ежегодно изымаемой рыбопродукцией 60–80 кг/га. Частые зимние «заморы» в середине 60-х гг. XX в. привели к исчезновению из ихтиофауны окси菲尔льных видов (леща, красноперки, верховки, налима и др). Вследствие гибели донной фауны почти полностью исчезли бентофаги – линь, золотой карась, ерш, карп.

Произошло резкое обеднение видового состава. Преобладала популяция мелкого серебряного карася. В результате сильных зимних «заморов» в 1994–1996 гг. ихтиофауна практически полностью погибла и до последних лет обловы не производились. Рыбопродукция за эти годы изменялась от 10 кг/га (1966–1975 гг.) до 21,6 кг/га (1990 г.) [5]. После последнего зимнего «замора» 2002–2003 г. экологическая ситуация в озере значительно улучшилась и, по данным РУП «Институт рыбного хозяйства», средняя рыбопродукция составила 16,1 кг/га, с колебанием по годам от 2,2 кг/га в 2004 г. до 34,6 кг/га в 2011 г.

На основе «бассейнового» подхода произведена комплексная оценка экологического состояния системы «водосбор–озеро». В качестве основных таксонов региональной оценки выделены и локальные бассейны водотоков, дренирующих территорию водосбора, и участки акватории озера в местах впадения вод насосных станций. Для оценки трансформации водосборов использована методика оценки антропогенной трансформации ландшафтов (АТЛ), адаптированная Г. И. Марцинкевич [7], методические приемы расчета описаны в [6]. Комплексная оценка экологического состояния локальной геосистемы «водосбор–озеро» произведена, согласно авторской методике [4].

Степень трансформации водосбора оцена как максимальная (участки добычи торфа «Булев Мох», польдеры НС «Комунар», «Морохово»), высокая (польдеры НС «Красное озеро» канава Осовская), средняя (водосбор канавы Тесна и польдер НС «Красное озеро»). Для водосбора реки Деменки характерна низкая степень трансформации.

Для оценки экологического состояния акватории озера в местах поступления вод насосных станций использованы показатели накопления тяжелых металлов в донных отложениях, фитомассе высших водных растений и индекс загрязнения воды (рис. 2).

Данные геохимического анализа донных отложений характеризуют ситуацию как относительно благоприятную. Для насосных станций «Красное Озеро», «Комунар», «Морохово» степень загрязнения низкая (суммарный индекс загрязнения донных отложений 7,7, 5,3 и 8,5 соответственно). Для насосной станции «Красное Озеро» отмечено превышение фоновых значений по никелю, кобальту, титану (более чем в 5 раз), хрому и меди. Для НС «Комунар» зафиксировано превышение по никелю, ванадию, титану и хрому. У НС «Дяковичи» отмечается превышение по титану (8,3) и никелю (2,3 фоновых значений) и суммарный индекс загрязнения донных отложений составляет 11,2. У станции «Забродье» зафиксировано превышение содержания титана в 14 раз, никеля в 5,7, ванадия в 5,1 и хрома в 4,6 раза, а суммарный индекс загрязнения донных отложений составил 27,5, что

характеризует уровень загрязнения как средний, а ситуацию – как умеренно опасную.

Анализ накопления техногенных элементов фитомассой макрофитов показал высокую степень загрязнения. Почти все показатели превышают фоновое содержание в несколько раз. Наиболее высокие значения отмечены вблизи насосных станций «Комунар», «Забродье» и «Красное Озеро». В тростнике концентрация цинка превышает фоновую в 50,7 раз (НС «Красное Озеро»), в 17,8 (НС «Забродье»), ванадия – в 10,1 (НС «Красное Озеро»), в 5 раз (НС «Комунар»). Содержание ванадия в роголистнике НС «Красное Озеро» выше фонового в 6 раз, марганца – в 7,1 раз. Индекс содержания тяжелых металлов в растениях вблизи НС «Комунар», «Красное Озеро» и «Забродье» составляет соответственно 9, 8,8 и 3,1. На остальных станциях загрязнение тяжелыми металлами характеризуется как среднее (для НС «Дяковичи» индекс около 2 и НС «Морохово» – 1,3) (см. рис. 2).

Для ликвидации негативных экологических последствий влияния гидромелиорации водосбора на озеро Червоное были разработаны мероприятия по экологической реабилитации озерно-болотного комплекса «Булев Мох – озеро Червоное», которые, к сожалению, до настоящего времени в полном объеме не выполнены [1]. Для стабилизации и восстановления режима экосистемы одного из крупнейших озер Беларуси необходимо выполнение комплекса инженерных и природоохранных работ на озере и водосборной территории. В этой связи следует:

- зарегулировать уровень воды в озере на минимальной отметке равной 136,2 м, что соответствует подъему меженного уровня на 0,5 м, увеличению площади водного зеркала до 42 км², объема водной массы до 57 млн м³;
- ограничить сток воды по Житковичскому каналу в объеме 7 млн м³ – в год 95 % обеспеченности; 18 млн м³ – в год 75 % обеспеченности; 28 млн м³ – в год 50 % обеспеченности, что увеличит период внешнего водообмена в 2–3 раза;
- для очистки вод польдерных систем, перекачиваемых насосными станциями, от поступающих в озеро питательных веществ и взвешенных частиц целесообразно строительство биофильтрационных сооружений с использованием очистительных свойств макрофитов. В прибрежной части, до впадения вод в озеро, сохранять полосу зарослей надводной растительности шириной не менее 500 м.
- сформировать сбалансированный видовой состав рыбного населения (фитофагов, бентофагов, хищников) для повышения рыбопродуктивности и регулирования процессов застарения озера и развития фитопланктона;
- экологически целесообразно увеличить объем добычи сапропеля для увеличения запаса воды, создания зимовых ям и разнообразия экотопов.

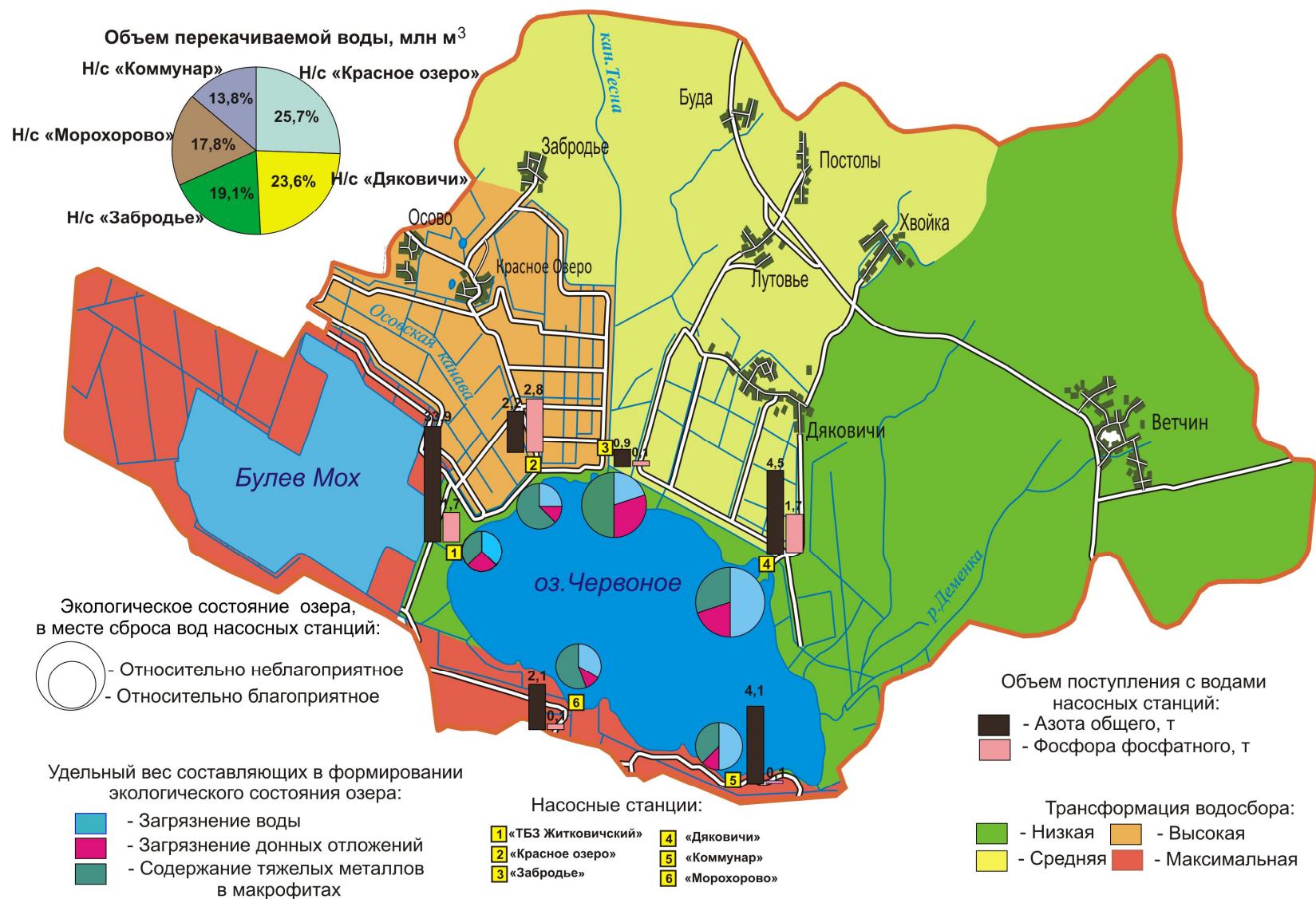


Рис. 2. Экологическое состояние локальной геосистемы «водосбор–озеро Чervоное»

Литература

1. **Бамбалов, Н. Н.** Проблемы экологической реабилитации озерно-болотных комплексов Полесья / Н. Н. Бамбалов [и др.] // Природные ресурсы. 1998. № 2. С. 66–74.
2. **Винберг, Г. Г.** Гидробиологический очерк озера Червонное / Г. Г. Винберг // Труды комплексной экспедиции по изучению водоемов Полесья. Минск, 1956. С. 302–313.
3. **Волчек, А. А.** Колебания уровней воды озер Республики Беларусь / А. А. Волчек, Б. П. Власов // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2008. № 1. С. 64–87.
4. **Геоэкологическая оценка природно-ресурсного потенциала озерных геосистем : метод. рекомендации** / Б. П. Власов [и др.]. Минск, 2012.
5. **Костоусов, В. Г.** Влияние мелиорации на экосистему оз. Червонное / В. Г. Костоусов [и др.] // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. Вып. 16. Минск, 2000. С. 153–162.
6. **Кочуров, Б. И.** Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс / Б. И. Кочуров. Смоленск, 1999.
7. **Марцинкевич, Г. И.** Антропогенная трансформация ландшафтов проблемных регионов Беларуси / Г. И. Марцинкевич // Природопользование. 2010. Вып. 18. С. 55–63.
8. **Никифоров, М. Е.** Современная орнитофауна оз. Червоное и ее трансформация в результате мелиорации прилегающих территорий / М. Е. Никифоров // Природные ресурсы. 1997. № 3. С. 30–32.
9. **Самойленко, В. М.** Гидробиологический режим озера Червонное / В. М. Самойленко, Г. С. Гигевич, С. А. Бойкова // Экология. 1994. № 1. С. 10–16.
10. **Черемисова, К. А.** Зоопланктон оз. Червоного / К. А. Черемисова // Труды Белорусского научн. исслед. ин-та рыбного хозяйства. 1958. Т. 2. С. 21–25.
11. **Якушко, О. Ф.** Озера Полесья. Техногенные преобразования в системе мелиорации / О. Ф. Якушко, Б. П. Власов // Природные ресурсы. 1998. № 2. С. 97–102.

**Белорусский государственный университет,
НИЛ озероведения**

Поступила в редакцию 03.03.2014 г.

Б. П. Власов

ИЗМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕРА ЧЕРВОНОЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГИДРОМЕЛИОРАЦИИ ВОДОСБОРА

Рассмотрены результаты изменения состояния озера, произошедшие за последние 25 лет под влиянием гидромелиорации водосбора. Показано что осушение 40 % территории водосбора привело к необратимым изменениям гидрологического режима озера, которое превратилось в наплавное водохранилище. Определено, что основное влияние на экосистему на современном этапе оказывает химический состав вод насосных станций пolderных систем. В результате химической нагрузки происходит ухудшение гидрохимического режима озера, загрязнение вод, донных отложений и гидробионтов. Предложены мероприятия, направленные на улучшение состояния экологической системы озера.

B. P. Vlasov

CHANGES OF ECOLOGICAL STATE OF LAKE CHERVONOE UNDER THE INFLUENCE OF CATCHMENT HYDROTECHNOLOGY

The results of changing of the state of the lake during the past 25 years under the influence of catchment hydrotechnical melioration are explored. It is showed that drainage of 40 % of the catchment led to irreversible changes in the hydrological regime of the lake, which has turned now into a filling reservoir. The chemical composition of water pumping stations polder systems has been determined as the main influence factor on the ecosystem at this stage. As a result of the chemical load the hydrochemical regime of the lake is impaired, water, sediment and aquatic organisms pollution take place. The measures aimed at improving the ecological system of the lake are proposed.

Ю. А. Романкевич

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОДОЕМОВ В МАЛЫХ ГОРОДАХ БЕЛАРУСИ

Дана эколого-геохимическая оценка технологических водоемов на территории малых городов: Несвижа и Смолевичей. Выявлены источники загрязнения вод. Отмечены особенности геохимической трансформации вод исследуемых водоемов на городской территории. Установлено, что качество вод в технологических водоемах, в основном, обусловлено природно-техногенной обстановкой на их водосборах.

На территории городов выделяют естественные и искусственно созданные водные объекты, которые в процессе развития города подвергаются трансформации. Среди искусственных водоемов выделяют водохранилища, пруды, пруды-копани, обводненные карьеры, а также технологические пруды [5] (рис. 1). Искусственные водные объекты создаются с целью выполнения определенных функций: накопления и хранения воды, ведения рыболовства, регулирования водных потоков, для противопожарных нужд или отстаивания сточных вод, в том числе поверхностного стока с застроенных территорий. Возрастает значение искусственных водоемов при отсутствии естественных водных объектов на территории населенных пунктов. Особое зна-

чение мелкие искусственные водоемы имеют для малых городских поселений, где выполняют несколько функций, включая рекреационную, поэтому помимо требований к качеству воды они должны иметь эстетический облик. Тем не менее, как показали исследования, такие водоемы, находясь в неудовлетворительном состоянии, нередко являются источниками загрязнения водоемов-водоприемников. Изучение видов техногенного воздействия на искусственные водоемы, в сочетании с выявлением ландшафтных особенностей их водосборов, а также исследование состава вод необходимы для разработки мероприятий по реабилитации водных объектов в городах с целью улучшения их качества и повышения эффективности выполняемых ими функций.



Рис.1. Место технологических прудов в классификации водных объектов (по [5])

Настоящая статья посвящена изучению технологических водоемов, к которым относятся искусственные водоемы, целенаправленно созданные в понижениях рельефа и ложбинах стока для выполнения определенных хозяйственных функций. Создаваемые в качестве водоемов одноцелевого назначения исследуемые пруды фактически многофункциональны.

Непроточные пруды созданы в основном для отведения и отстаивания вод поверхностного стока с территорий индивидуальной и промышленной застройки (пруды-отстойники), также используются для накопления и хранения вод (пруды-копани). Проточные технологические водоемы созданы для предварительной очистки речных вод, вод мелиоративных каналов, а также поверхностного стока с застроенных территорий путем их отстаивания и последующего сброса в водоприемники (пруды-усреднители). Кроме того, практически все технологические пруды используются в качестве противопожарных водоемов и рекреационных объектов (см. рис. 1).

В лесной зоне наиболее изученными являются пруды Беларуси. В. М. Широковым и И. И. Кирвельем описан прудовой фонд республики. Отмечено, что наиболее эффективным является использование прудов в сельском хозяйстве, при этом их эксплуатацию необходимо увязывать с природными особенностями территории. Показано, что основное значение в формировании химических свойств прудовых вод принадлежит поверхностно-склоновому стоку. Установлены стадии эволюционного развития прудов – становление, стабилизация и старость. Предложены рекомендации по защите прудов от загрязнения, заиления и зарастания, а также мероприятия по предотвращению развития процессов абразии [20].

Н. Н. Приходько [15], а также В. М. Яцухно и Ю. В. Мандером [21] обоснована необходимость проведения агро-, луго-, лесомелиоративных работ на склонах с целью регулирования поверхностного стока и предупреждения смыва почвы в водоемы и водотоки. Предложены фитомелиоративные, противоэррозионные способы обработки почвы, а также приемы задержки снега и регулирования снеготаяния. Отмечено, что дернина и буферные полосы являются биологическими фильтрами, которые способствуют уменьшению содержания взвешенных веществ в поверхностном стоке на 25 %, фосфора – на 23 %, аммонийного и нитратного азота – на 17 и 5 % соответственно [15]. Установлено, что с целью очистки поверхностного стока на больших водосборах в овражно-балочной сети целесообразно создавать водоемы-регуляторы, по берегам которых необходимо высаживать древесно-кустарниковые полосы, а по водоподводящим ложбинам – насаждения илофильты. Такие водоемы-регуляторы способны удерживать до 77 % взвешенных наносов, 15–26 % нитратного азота, 30–36 % аммонийного азота, 16–47 % фосфора [15].

На современном этапе И. И. Кирвельем обобщены сведения о прудах, их морфометрических характеристиках, гидрологическом режиме, заиблении, зарастаемости, влиянии водоемов на гидрологический режим водотоков и прилегающую территорию с учетом разных природных условий [10]. Автором получены количественные характеристики об участии продуктов абразии прудов в общем поступлении седиментационного материала в водоемы. Установлено, что на заиление прудов влияют эрозионные условия на их водосборе и прилегающие к водоему склоны.

В работах Г. Г. Винберга [3], В. П. Ляхновича [12], И. Т. Астаповича [2] показано, что термический режим прудов в значительной степени определяет минерализацию органического вещества в водоеме, газовый режим, развитие высшей водной растительности и использование прудов для рыбозведения. Исследования высшей водной растительности в разные годы осуществляли Г. Г. Винберг [3], В. П. Ляхнович [12], И. Т. Астапович [2], В. М. Широков [20], И. И. Кирвель [10, 20], Б. П. Власов [4] и др. Отмечено, что соединения фосфора, попадая в водоемы, приводят к резкому возрастанию производственных процессов, ухудшают качество вод, способствуют «цветению» [14].

В. С. Хомичем и соавторами [18] в процессе исследований естественных и искусственных водоемов и водотоков на территории Минска, Гомеля, Полоцка, Березовки, Борисова и Светлогорска выявлены основные источники поступления загрязняющих веществ – поверхностный сток с городских территорий, неорганизованные выпуски сточных вод и стихийные свалки на водозаборах. Показано, что технологические водоемы очистных сооружений, включая биологические пруды, являются мощным фактором трансформации поверхностных и подземных вод [17]. В результате исследования карьерных водоемов С. А. Хомич выявленна связь карьерных вод с геохимическими свойствами добываемого в карьерах сырья и природно-техногенной обстановкой на водозаборах [19].

Вместе с тем, согласно [10] в изучении прудов Беларуси имеется ряд недостатков: практически не изучаются источники эфтрофирирования и загрязнения прудов; изучение прудов осуществляется в отрыве от их водосборов; недостаточно изучены гидрологический режим малых водотоков, наполняющих пруды и поверхностный сток.

Объектом исследований явились технологические пруды, расположенные на территории малых городов Несвижа и Смолевичей (рис. 2). Изучались проточные пруды (пруды-усреднители): Верхний, по ул. Сыроюмли и ул. Чкалова в Несвиже, а также по пер. Заречному и у вдхр Великого в Смолевичах. Также исследовались пруды-отстойники в Несвиже (по ул. Ленинской, К. Маркса и Кутузова). Функцию водоемов-водоприемников выполняют каскад русловых прудов в Несвиже, а также вдхр Великое и р. Плисса в Смолевичах.

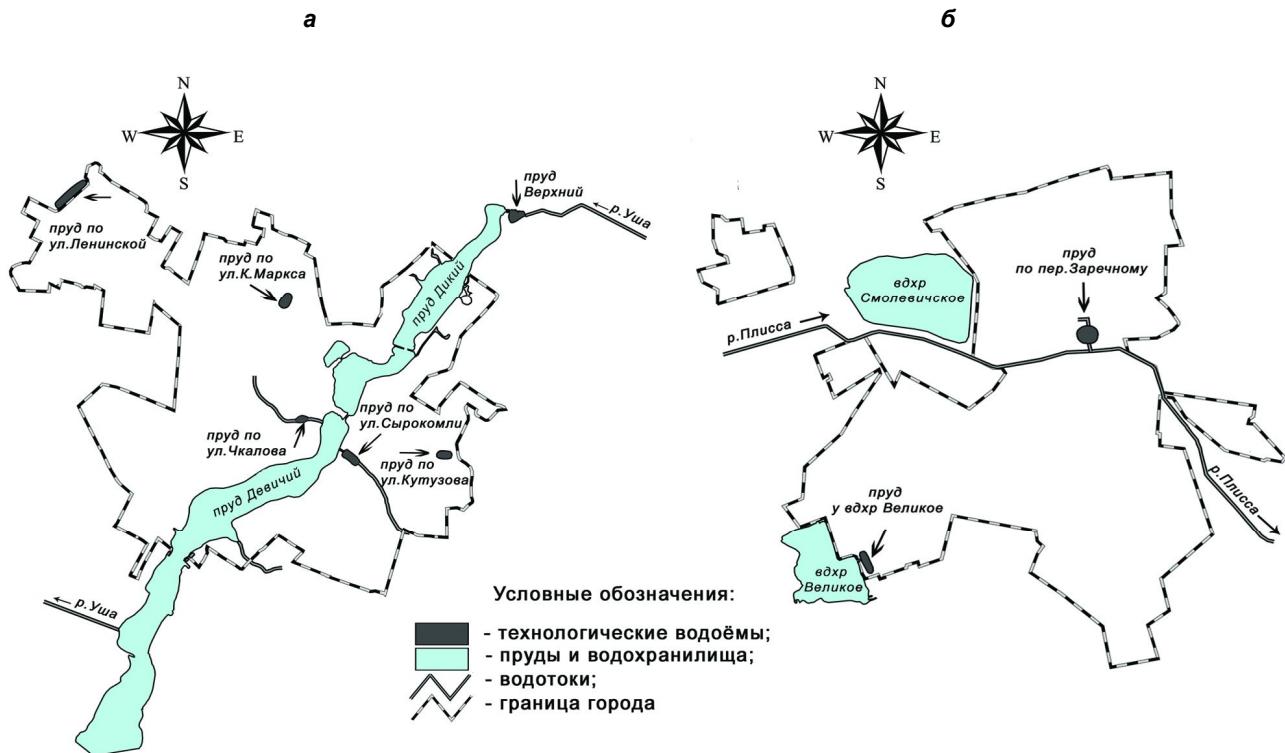


Рис. 2. Схема расположения исследуемых объектов: а – в г. Несвиже; б – в г. Смолевичи

В водных пробах определялись pH, макро-компонентный состав (гидрокарбонаты, карбонаты, сульфаты, хлориды, азот нитратный, азот нитритный, азот аммонийный, кальций, магний, натрий, калий, фосфор фосфатный, железо общее), а также содержание микроэлементов (кадмия, свинца, цинка, никеля, марганца, хрома) и нефтепродуктов. Исследования проводились в 2012–2013 гг. В настоящее время технологические водоемы не имеют экологического статуса и воды в них не подлежат нормированию. Поэтому качество вод определялось путем сравнения полученных концентраций с ПДК для водных объектов питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования. В качестве «нормы» принимались величины, соответствующие «вполне чистым водам» [8].

Общая характеристика технологических прудов. Исследуемые пруды представляют собой искусственные выемки, заполненные водой, площадью до 2 га, глубиной преимущественно 1,5–2,0 м, объемом воды до 20 тыс. м³. Пруды по ул. К. Маркса, Чкалова, Сырокомли и пер. Заречному расположены на территории плотной усадебной застройки и созданы с целью отсыпания поверхностного стока. Пруд Верхний образован для предварительной очистки стоков с сельскохозяйственных территорий, поступающих в составе вод р. Уши. Остальные водоемы принимают поверхностные стоки с территорий с преимущественно транспортной нагрузкой: автовокзала (по ул. Кутузова), гаражей (у вдхр Вели-

кого) и с территории промплощадки райсельхозтехники (по ул. Ленинской).

Особенности химического состава вод. Установлено, что воды в прудах Несвижа нейтральные, а в Смолевичах – слабощелочные. Основными ионами являются гидрокарбонаты, кальций, магний и натрий. Характерно высокое содержание хлоридов, низкое содержание сульфатов, преобладание натрия над калием. Согласно классификации О. А. Алекина [1], воды большинства прудов (по ул. Сырокомли, Чкалова, Кутузова, К. Маркса и пер. Заречному) характеризуются повышенной минерализацией – 0,5–1,0 г/дм³, остальные – ее средними показателями (0,2–0,5 г/дм³) (табл. 1).

На основании анализа данных выявлены особенности геохимической трансформации вод водоемов на городской территории, проявляющейся в большинстве случаев в несоответствии класса вод, а в некоторых случаях и типа, природному геохимическому фону [7, 9]. Исследования, проведенные в летний период, свидетельствуют, что зональный тип вод – гидрокарбонатный магниево-кальциевый – характерен для пруда у вдхр Великого в Смолевичах и пруда Верхнего в Несвиже. Для пруда по пер. Заречному в Смолевичах выявлен гидрокарбонатный магниевый тип вод с высокой долей хлоридов в анионном составе, для пруда по ул. Сырокомли в Несвиже – гидрокарбонатный натриево-кальциево-магниевый. Гидрокарбонатный кальциево-натриевый и натриево-

кальциевые типы вод характерны для прудов по ул. Чкалова и ул. Кутузова в Несвиже. Вода в прудах по ул. К. Маркса и ул. Ленинской в Несвиже имела азональный гидрокарбонатно-хлоридный натриевый тип.

Приоритетными загрязнителями исследуемых прудов в летний период являлись минераль-

ный азот и фосфор фосфатный. Известно, что с позиций защиты водоемов от эфтрофирования, содержание нитратов в водах не должно превышать 0,3–0,5 мг/дм³ [9], тогда как повсеместно зафиксировано превышение данного диапазона в 2–3 раза, а в прудах по пер. Заречному и ул. Кутузова – в 36 и 80 раз соответственно.

Таблица 1. Содержание макрокомпонентов в технологических водоемах и водотоках в летний период 2013 г. (мг/дм³, мгN/дм³, мгР/дм³)

Место отбора проб	Цветность	pH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	P	Σ _и
Несвиж														
Р. Уша (выше пр. Верхнего)	112	7,3	323,4	32,6	16,4	0,32	0,018	0,66	70,5	23,4	13,0	2,7	0,085	508,3
Пруд Верхний	88	7,2	311,2	29,4	10,4	0,32	0,018	0,66	70,5	21,4	11,6	2,4	0,067	458,0
Ручей до впадения в пруд по ул. Сырокомли	47	7,3	359,9	73,3	68,1	0,65	0,304	9,77	83,4	35,0	50,0	13,0	0,120	693,6
Пруд по ул. Сырокомли	52	7,5	378,3	66,7	62,1	0,18	0,411	3,84	65,7	54,5	34,0	10,4	0,364	676,1
Пруд по ул. Чкалова	84	7,4	640,7	80,0	16,8	0,20	0,037	2,54	107,4	41,8	76,0	12,0	0,436	977,9
Пруд по ул. Кутузова	168	6,9	671,1	13,3	2,0	8,81	0,356	0,17	19,2	4,9	9,6	2,2	<0,005	731,7
Пруд по ул. К. Маркса	124	7,2	213,6	203,3	30,0	0,18	0,411	0,76	43,3	8,8	162,4	15,0	0,076	677,7
Пруд по ул. Ленинской	410	7,3	122,0	93,3	9,6	0,23	0,027	0,52	24,1	9,7	64,0	14,4	0,187	338,1
Смолевичи														
Вдхр Великое	164,0	8,6	152,6	19,6	13,1	<0,02	<0,006	0,10	28,9	14,6	11,4	3,4	0,021	250,8
Пруд у вдхр Великого	76,0	7,7	195,3	16,3	13,4	<0,02	<0,006	0,19	44,9	14,6	11,4	2,7	<0,005	298,6
Пруд по пер. Заречному	46,0	7,8	378,3	62,0	27,2	4,06	0,371	3,94	52,9	45,7	30,0	30,0	0,230	629,0
ПДК (для питьевого, хозяйствственно-бытового и рекреационного водопользования)	21–80*	6,5–8,5	–	350	500	–	0,001–0,01*	0,11–0,70*	–	–	200	–	0,011–0,050*	1000

* Параметры показателей безопасности водных объектов при использовании их в рекреационных целях.

Загрязнение азотом нитритным характерно для всех прудов, за исключением пруда у вдхр Великого. Содержание данного компонента в воде большинства прудов изменяется в пределах от 0,018 до 0,411 мгN/дм³, что в 3,6–82 раза превышает его содержание в «чистых водах» [8] и 2–41 раза – ПДК. Установлено, что наиболее загрязненными по содержанию азота нитритного являются пруды по ул. Кутузова, пер. Заречному, ул. К. Маркса и ул. Сырокомли.

Содержание азота аммонийного также варьирует в широком диапазоне (0,17–3,94 мгN/дм³) и в основном превышает условные фоновые значения [8] в 2,6–20 раза. Превышения значений ПДК в 1,1–5,6 раза зафиксированы в прудах по ул. Маркса, Чкалова, Сырокомли и пер. Заречному.

Фосфор фосфатный содержится в водах прудов в концентрациях от <0,005 до

0,436 мгР/дм³, наибольшие из которых превышают фоновые значения [8] в 12–14 раз. Превышения ПДК зафиксированы в прудах по ул. Сырокомли и ул. Чкалова (7–9 ПДК), также высокие значения отмечаются в прудах по ул. Ленинской и пер. Заречному (4–5 ПДК), меньшие значения – в Верхнем и по ул. К. Маркса (1,3–1,5 ПДК) (см. табл. 1).

В соответствии с классификацией качества поверхностных вод [8] изучаемые воды в течение периода исследований в прудах характеризуются как незагрязненные и слабозагрязненные по содержанию нефтепродуктов (<0,006–0,046 мг/дм³); незагрязненные по содержанию свинца (0,011–0,059 мг/дм³), кадмия (<0,001–0,003 мг/дм³), меди (0,003–0,013 мг/дм³), цинка (0,007–0,188 мг/дм³), никеля (0,002–0,014 мг/дм³) и марганца (0,041–4,76 мг/дм³) (табл. 2).

Таблица 2. Содержание микроэлементов и нефтепродуктов в водах технологических прудов и поверхностном стоке в весенний период 2012 г. и летний – 2013 г., мг/дм³

Место отбора проб	Сезон отбора	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Mn	Fe	Cr	Нефте-продукты
Технологические пруды (Несвиж)										
Пруд по ул. Сырокомли	Весна Лето	0,002 0,003	0,059 0,016	0,009 0,013	0,007 0,188	0,009 0,014	* 4,760	<0,1 0,31	<0,002 0,002	* 0,015
Пруд по ул. К. Маркса	Лето	0,002	0,012	0,005	0,007	0,009	0,191	0,39	0,007	0,016
Пруд по ул. Кутузова	Лето	0,002	0,017	0,006	0,011	0,008	0,078	0,19	0,005	0,031
Пруд по ул. Чкалова	Лето	0,001	0,012	0,005	0,015	0,006	0,102	0,14	<0,002	0,015
Пруд по ул. Ленинской	Лето	0,002	0,013	0,012	0,021	0,008	0,705	0,39	0,004	0,046
Технологические пруды (Смолевичи)										
Пруд по пер. Заречному	Весна Лето	0,0 0,001	0,022 0,013	0,004 0,006	0,018 0,010	0,002 0,004	* 0,127	<0,1 0,11	0,004 0,002	*
Пруд у вдхр Великого	Весна Лето	0,0 0,001	0,023 0,011	0,006 0,003	0,008 0,006	0,002 0,002	* 0,041	<0,1 0,14	0,007 <0,002	*
Поверхностный сток (Смолевичи)										
С сельскохозяйственных угодий	Весна	0,0	0,010	0,018	0,012	0,001	*	0,23	0,002	*
С индивидуальной усадебной застройки	Весна	0,001	0,040	0,024	0,074	0,007	*	0,20	0,007	*

* Содержание компонента не определялось.

Атмосферные осадки. Согласно [20] на примере пруда Верхнего произведен расчет количества солей, поступающих из атмосферы. Территория исследований относится к Барановичско-Ганцевичскому агроклиматическому району, где среднегодовое количество осадков составляет 590 мм в год. В пруд Верхний, площадью 1,8 га с полным объемом 19,1 тыс. м³ непосредственно из атмосферы поступает $1,8 \times 10^4 \times 0,59 = 10620$ м³ воды. Общая минерализация атмосферных осадков составляет в среднем 30 мг/дм³ [13], отсюда следует, что вода, поступающая в пруд из атмосферы, содержит 10620 × 10³ × 30 = 0,32 т солей. С учетом общей минерализации воды в рассматриваемом пруду содержится $19,1 \times 10^3 \times 10^3 \times 458 = 8,7$ т солей. Таким образом, на площадь пруда Верхнего непосредственно из атмосферы за год поступает около 3,7 % солей от общего их содержания в пруду. Так как минерализация вод других исследуемых водоемов отличается от таковой в пруду Верхнем не более чем в 2 раза, а морфологические характеристики исследуемых прудов идентичны, можно сделать вывод о том, что роль атмосферных осадков в механизме формирования солевого состава вод технологических прудов незначительна.

Поверхностный сток. Согласно [20] формирование состава вод в прудах происходит преимущественно в весенний период за счет маломинерализованных вод поверхностного стока, которые разбавляют или полностью сменяют прудовую воду, снижая ее минерализацию. Основным источником питания прудов в течение всего периода снеготаяния, по мнению П. П. Во-

ронкова, являются почвенно-поверхностные воды, которые образованы смесью почвенно-склоновых и почвенных вод [6].

Техногенная нагрузка на водоемы в малых населенных пунктах формируется за счет поверхностного стока с территории староосвоенной высокоплотной индивидуальной застройки, а также с огородов и сельскохозяйственных угодий. Так, поверхностный сток талых вод с усадебной застройки обеспечивает поступление вод гидрокарбонатного натриевого типа (рис. 3, а). Высокая доля натрия в ионном составе почвенно-поверхностных вод обеспечивается, главным образом, поступлением хозяйствственно-бытовых стоков с территории застройки. Приток хлоридно-гидрокарбонатных калиевых вод происходит с территории преимущественно с сельскохозяйственной нагрузкой (рис. 3, б). Выраженный хлоридный характер (22–36 %-экв) талых вод формирует поверхностный сток с придорожных участков, на которых применяются противогололедные смеси. Если высокая доля хлоридов в ионном составе характеризует все виды стоков с городской территорией, то привнос вод калийного класса характеризует сельскохозяйственное воздействие. Помимо хлоридов, натрия и калия с талыми водами в водоемы поступают азот аммонийный (0,67–1,00 мгN/дм³), фосфор фосфатный (0,29–0,39 мгP/дм³) и железо общее (0,20–0,23 мг/дм³). Причем наибольшие концентрации биогенных веществ обеспечивают стоки с территорий, характеризующихся выраженным сельскохозяйственным использованием. Таким образом, за счет поверхностного стока в технологических прудах формируются азональные типы вод (табл. 3).

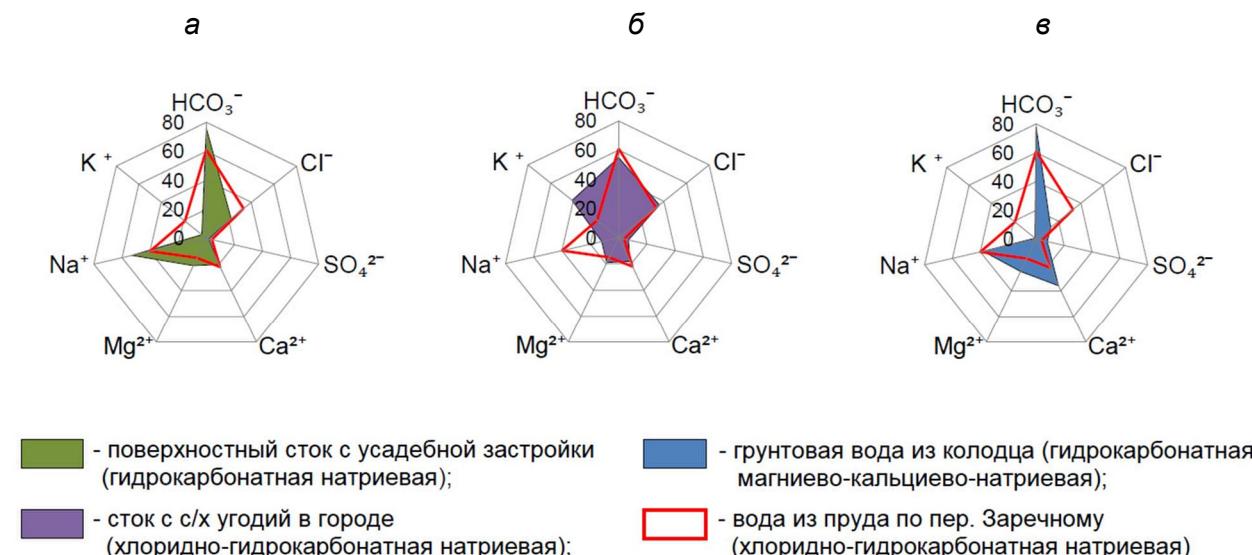


Рис. 3. Влияние поверхностного (а, б) и подземного (в) стока на формирование состава вод в технологическом пруду по пер. Заречному в г. Смолевичи в весенний период, %-экв

Таблица 3. Содержание макрокомпонентов в технологических прудах и поверхностном стоке в малых городах в весенний период 2012 г. (мг/дм³, мгN/дм³, мгP/дм³)

Место отбора пробы	pH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	P	Σ _и
Технологические пруды (Смолевичи)													
У вдхр Великое	6,7	134,2	16,5	6,9	0,07	0,009	0,55	30,5	9,7	16,0	4,2	0,060	218,7
По пер. Заречному	6,6	115,9	36,3	13,5	1,83	0,055	1,61	22,4	9,7	24,0	19,2	1,010	245,5
Технологический пруд (Несвиж)													
По ул. Сырокомли	7,2	350,9	90,7	165,0	2,87	0,046	0,93	115,4	32,1	50,0	20,0	0,094	828,0
Поверхностный сток (Смолевичи)													
С сельско-хозяйственных угодий	6,7	30,5	11,5	6,3	0,61	0,024	1,00	4,8	2,9	1,8	10,4	0,390	70,2
С индивидуальной усадебной застройки	7,5	158,7	26,4	5,3	0,32	0,015	0,67	20,8	12,7	31,0	4,2	0,286	260,4

Установлено, что со стоком талых вод в пруды поступают воды с невысоким содержанием микроэлементов. Поверхностный сток с территории индивидуальной застройки обеспечивает их поступление в водоемы в следующих концентрациях: свинца (0,010; 0,040 мг/дм³), кадмия (0,001 мг/дм³), меди (0,018; 0,024 мг/дм³) и цинка (0,012; 0,074 мг/дм³) (см. табл. 2). При этом более значительные концентрации загрязняющих веществ зафиксированы в поверхностном стоке с застроенной территорией, тогда как талые воды с сельскохозяйственных угодий имеют меньшие концентрации макрокомпонентов.

Грунтовые воды. Изучая факторы, определяющие минерализацию и солевой состав вод прудов П. П. Воронков [6] и М. Н. Тарасов [16] пришли к выводу о решающей роли в питании прудов определенных соотношений вод поверхностного и подземного стока.

На основании проведенных исследований выявлено, что наряду с поверхностным стоком источником загрязнения прудов могут являться грунтовые воды, также характеризующиеся значительной геохимической трансформацией (рис. 3 в). Установлено, что грунтовые воды в весенний период характеризуются следующим

составом: гидрокарбонатные кальциево-натриевые-калиевые, кальциево-натриевые и магниево-кальциево-натриевые. Если концентрации хлоридов и натрия в поверхностном стоке достигают соответственно 26,4 и 31,0 мг/дм³ (см. табл. 1), то в грунтовых водах содержание данных компонентов может быть как меньше указанных значений, так и значительно превышать их. Так, содержание хлоридов в воде колодцев Смолевичей составляет 16,5–29,7 мг/дм³, Несвижа – 44,5–141,8 мг/дм³. Концентрации натрия в грунтовых водах составили 37,0–56,8 мг/дм³ в Смолевичах и 58,4–66,8 мг/дм³ в Несвиже. Кроме того, в грунтовых водах фиксируется высокое содержание азота нитратного: 6,14–6,59 мгN/дм³ и 6,59–30,7 мгN/дм³ в Смолевичах и Несвиже соответственно.

Роль водосбора в формировании состава и качества вод в технологических прудах. В работах П. П. Воронкова [6] отмечается сходство химического состава вод поверхностного стока, формирующегося на водосборах с одинаковыми физико-географическими условиями. Согласно выполненным исследованиям, состав вод прудов во многом предопределен характером техногенной нагрузки, а также геоморфологическими особенностями водосборных территорий.

С целью выявления влияния геоморфологических особенностей водосборов, а также видов техногенного воздействия на качество вод в технологических водоемах изучались пруды-усреднители Верхний и по ул. Сыркомли в Несвиже. Оба пруда образованы путем углубления русла реки (ручья), схожи по морфологическим характеристикам и почвенно-ландшафтным условиям водосборов. Кроме того, исследуемые технологические пруды являются проточными и предназначены для отстаивания вод р. Уши (пруд Верхний) и ручья (пруд по ул. Сыркомли), поступающих с мелиорированных территорий с целью очистки и последующего сброса в каскад русловых прудов. При этом их водосборы имеют ряд значимых различий: характеризуются разной площадью, геоморфологическими особенностями (диапазоном относительных отметок, величиной угла наклона поверхности), а также техногенной нагрузкой.

Пруд Верхний представляет собой искусственный водоем, образованный путем углубления русловой части реки Уши, оснащен земляной плотиной и водосбросом. Котловина пруда представляет собой искусственную выемку с глубиной до 1,3 м и относительно выровненным дном. Пруд занимает крайнее северо-восточное положение в каскаде Несвижских прудов. Принимает воды р. Уши и мелиоративного канала «Микуличский», вода из которого перекачивается в пруд насосной станцией. После очистки в пруду Верхнем воды сбрасываются в каскад русловых прудов, в частности, в пруд Дикий. Водосбор

пруда Верхнего имеет площадь около 19 га, характеризуется выровненной поверхностью (угол наклона менее 1°), относительной высотой, не превышающей 7,8 м, и сельскохозяйственной нагрузкой.

По химическому составу воды пруда Верхнего близки к водам р. Уши во все периоды исследования и соответствуют гидрокарбонатным кальциево-магниевым и магниево-кальциевым. Основной приток минерального азота происходит с речными водами в весенний период, концентрации азота нитратного в которых составляют 5,65 мгN/дм³, нитритного – 0,116 мгN/дм³ (12 ПДК) и аммонийного – 1,08 мгN/дм³ (1,5 ПДК). В летний период содержание азота аммонийного в водах, поступающих на очистку, уменьшается до 0,66 мгN/дм³, азота нитратного и нитритного снижается до концентраций, эквивалентных вполне чистым водам. Поступление калия в составе речных вод также уменьшается с 5,4 до 2,7 мг/дм³, однако возрастает содержание фосфора до 0,085 мгP/дм³. Родниковое питание р. Уши у истока объясняет высокое содержание железа 0,20–0,25 мг/дм³ в исследуемые периоды.

Пруд по ул. Сыркомли расположен в восточной части города в ложбине стока, оснащен дамбой и водосбросом. Котловина пруда представляет собой искусственную выемку, характеризуется крутыми склонами и неровным дном, с максимальной глубиной до 2 м. Водосбор имеет наибольшую площадь – 96 га, характеризуется значительным диапазоном относительных отметок в 16 м и несколько сот летней историей усадебной застройки. Сконструирован с целью очистки поверхностного стока с городской территории, а также вод ручья, поступающего с мелиорированных территорий. Геоморфологические особенности территории водосбора пруда по ул. Сыркомли (средний угол наклона поверхности составляет 2°) создают предпосылки для образования конусов выноса и формирования техногенной нагрузки на водоемы в весенний период. Сток талых вод поставляет азональные воды с высоким содержанием хлоридов, натрия и калия, многократно увеличивает концентрации микрокомпонентов в водах пруда: превышение содержания тяжелых металлов в весенний период над летним по содержанию свинца и меди составило 1,6 раза, по содержанию кадмия – 3,6 раза, никеля – 7 раз и марганца – 73 раза (табл. 2).

Воды пруда по ул. Сыркомли характеризуются азональным классом (кальциево-натриевым) в течение всех сезонов исследований, а также азональным типом (хлоридно-гидрокарбонатным) в весенний период. Воды пруда, являясь загрязненными, поставляют значительные концентрации фосфора (до 0,42 мгP/дм³), азота аммонийного (до

3,84 мгN/дм³) и нитритного (0,411 мгN/дм³) в пруд Девичий, один из каскада Несвижских прудов.

Источником загрязнения пруда по ул. Сырокомли биогенными веществами являются воды ручья, впадающие в исследуемый пруд для отстаивания и очищения. Концентрация азота нитратного в водах ручья достигает 0,65 мгN/дм³, аммонийного – 9,77 мгN/дм³, натрия – 50 мг/дм³, калия – 13 мг/дм³, что в 3,6, 2,5, 1,5 и 1,25 раза соответственно превышает содержания данных компонентов в водах пруда (см. табл. 1). В процессе исследований установлено, что воды ручья имеют грунтовое питание, о чем свидетельствует их низкая температура, составившая 11° в июле (тогда как в пруду – 18°). Грунтовые воды в данном районе характеризуются азональным классом, являясь калиевыми, натриево-калиевыми и кальциево-натриево-калиевыми и обеспечивают дополнительное загрязнение водоема в составе вод ручья и подземного стока.

Очевидно, что совокупность видов техногенного воздействия в сочетании со значительной площадью водосбора и углом наклона поверхности в 2° создали предпосылки для наибольшего загрязнения вод данного пруда всем спектром изучаемых компонентов наряду с другими исследуемыми объектами.

Установлено, что качество вод малых водоемов обусловлено техногенной нагрузкой на их водосборы, которая в свою очередь предопределяется площадью водосборной территории, типом и давностью ее освоения, мелиоративной освоенностью, сельскохозяйственным воздей-

ствием и качеством грунтовых вод. Кроме того, геоморфологические особенности водосбора – значительный диапазон относительных отметок с общим уклоном поверхности в сторону водоема, а также местонахождение водного объекта в ложбине стока, создают предпосылки для формирования наиболее высокой техногенной нагрузки на водоем.

Эффективность очистки. Схожие морфологические характеристики пруда по ул. Сырокомли и Верхнего, общие почвенно-ландшафтные условия, а также единый принцип очистки стоков позволили сопоставлять данные по эффективности очистки.

После отстаивания в пруду Верхнем повышается качество вод, что проявляется в улучшении цветности на 21 % и уменьшении концентраций всех исследуемых компонентов: азота аммонийного – на 60 %, азота нитратного и сульфатов – на 37 %, фосфора – на 21 %, а также калия, натрия и хлоридов – на 11 % (рис. 4). Соответственно уменьшается значение минерализации от повышенного до среднего. После очистки в сбрасываемых водах фиксируется уменьшение концентраций азота аммонийного и фосфора фосфатного до уровня предельно допустимых значений и ниже (см. табл. 1). Высокая эффективность очистки в пруду Верхнем достигается использованием высшей водной растительности – кубышки желтой (*Nuphar lutea*), сплошным покровом покрывающей всю акваторию пруда.



Рис. 4. Эффективность очистки вод в технологических прудах г. Несвижа

Эффективность очистки вод в пруду по ул. Сырокомли составила для азота нитратного 72 %, натрия – 32 %, калия – 20 %, сульфатов и хлоридов – 9 % (см. рис. 4). Содержание азота аммонийного уменьшилось на 61 %, что прояви-

лось в значительном снижении концентрации с 9,77 мгN/дм³ до 3,84 мгN/дм³, однако осталось достаточно высоким (см. табл. 1). В водах, сбрасываемых в водоприемник, зафиксировано содержание фосфора фосфатного и железа обще-

го, вдвое превышающее их концентрации при поступлении, также увеличилось содержание азота нитритного на 35 %. В совокупности с ухудшением показателя цветности на 10 % приведенные выше данные свидетельствуют об активно происходящих процессах эфтрофикации данного водоема и неудовлетворительном его экологическом состоянии.

Технологические водоемы, созданные в качестве прудов-усреднителей, характеризуются разной эффективностью очистки вод для различных компонентов (от 9 до 72 %). Эффективность процесса во многом предопределена концентрациями загрязнителей в водах, поступающих на очистку. Например, в пруд по ул. Сырокомли поступают воды из мелиоративного канала с более высоким содержанием загрязнителей, многократно превышающим их концентрации в водах, поступающих в пруд Верхний: в 15–17 раз по содержанию азота аммонийного, в 4–5 – по сульфатам, натрию и калию; в 2–3 раза – по хлоридам, азоту нитратному и нефтепродуктам. Поэтому при одинаковой степени эффективности очистки вод в технологических водоемах в водо-приемники сбрасываются разные количества загрязнителей.

В ходе исследований выявлено, что воды в технологических прудах в значительной степени трансформированы: представлены гидрокарбонатным с высоким содержанием хлоридов, а также хлоридно-гидрокарбонатным типами, характеризуются высокой долей ионов натрия в солевом составе. Формирование состава вод в прудах происходит преимущественно в весенний период за счет вод поверхностного стока, который содержит макрокомпоненты в высоких концентрациях вследствие применения противогололедных смесей.

Зафиксировано загрязнение вод минеральным азотом и фосфором фосфатным. Источниками загрязнения прудов биогенными веществами являются воды ручьев и рек, а также поверхностный сток, поступающие с сельскохозяйственных угодий и огородов. Кроме того, грунтовые воды, являясь загрязненными, обес-

печивают поступление в пруды вод азонального класса с высоким содержанием натрия, хлоридов, калия, а также азота нитратного.

Качество вод технологических водоемов обусловлено техногенной нагрузкой на их водосборы, которая в свою очередь предопределеняется рядом факторов: площадью водосборной территории, типом и давностью ее освоения, мелиоративной освоенностью, сельскохозяйственным воздействием и качеством грунтовых вод. Кроме того, геоморфологические особенности водосборов создают предпосылки для формирования наиболее высокой техногенной нагрузки на водоемы.

Степень эффективности очистки в технологических прудах обусловлена техногенной нагрузкой на их водосбор, качеством вод, поступающих на очистку и экологическим состоянием водоема-усреднителя. Культивирование высшей водной растительности в проточных технологических прудах значительно повышает эффективность очистки стоков при прочих равных условиях (морфологических характеристиках прудов и почвенно-ландшафтных условиях их водосборов).

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод о неудовлетворительном состоянии большинства искусственных водоемов и прилегающих к ним территорий. Искусственные водоемы, созданные в качестве прудов-усреднителей [5], зачастую не выполняют функции очищения вод и являются источниками загрязнения водотоков и водоемов в городах.

Облик водоемов и качество вод свидетельствуют об активно проходящих процессах эфтрофирования. Кроме того, закустаренность прибрежной зоны, нередко, замусоренность акватории прудов в совокупности с «цветением» вод создают неэстетический облик водоемов в городской черте. В этой связи назрела необходимость разработки рекомендаций по реабилитации технологических водоемов в городах с учетом их проточности, особенностей загрязнения и степени эфтрофирования.

Литература

1. Алекин, О. А. Основы гидрохимии / О. А. Алекин. Л., 1952.
2. Астапович, И. Т. Зарастваемость прудов макрофитами и их влияние на продукционные процессы / И. Т. Астапович, В. И. Головнев, Г. П. Воронова : Тез. докл. Всесоюз. конф. по высшим водным и прибрежно-водным растениям. Борок. 1977. С. 38–40.
3. Винберг, Г. Г. Первая продукция водоемов / Г. Г. Винберг. Минск, 1960.
4. Власов, Б. П. Использование высших водных растений для оценки и контроля за состоянием водной среды / Б. П. Власов. Минск, 2002.
5. Водный кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс]. 2013. Режим доступа : <http://pravo.levonevsky.org/kodeksby/vodk/20130312/index.htm>. Дата доступа : 20.01.2014.
6. Воронков, П. П. Гидрохимический режим прудов степной и лесостепной зон в период половодья / П. П. Воронков. Л., 1954. Т. 22. С. 45–57.
7. Геохимические провинции покровных отложений БССР / Под ред. К. И. Лукашева. Минск, 1969.

8. Жукинский, В. И. Методические основы экологической классификации качества поверхностных вод суши / В. И. Жукинский, О. П. Оксюк // Гидробиологический журнал. 1983. Т. 19, № 2. С. 59–67.
9. Кадацкая, О. В. Геохимическая индикация ландшафтной обстановки водосборов / О. В. Кадацкая. Минск, 1987.
10. Кирвель, И. И. Пруды Беларуси как антропогенные водные объекты, их обслуживание и режим / И. И. Кирвель. Минск, 2005.
11. Ландшафтные воды в условиях техногенеза / О. В. Кадацкая [и др.]. Минск, 2005.
12. Ляхнович, В. П. Пути повышения рыбопродуктивности прудов Белоруссии / В. П. Ляхнович. Л., 1966. Т. 611. С. 234–246.
13. Матвеев, А. А. Атмосферные осадки и сток растворенных веществ / А. А. Матвеев // Гидрохимические материалы. Л., 1967. С. 5–19.
14. Назаров, Г. В. Формирование выноса фосфора из почвы в условиях антропогенного воздействия / Г. В. Назаров // Эволюция круговорота фосфора и эфтрофирование природных вод. Л., 1988. С. 33–38.
15. Приходько, Н. Н. Основные направления охраны малых рек Украинской ССР от загрязнения и заражения агрохимикатами / Н. Н. Приходько // Водные ресурсы. 1989. № 2. С. 147–154.
16. Тарасов, М. Н. О расчете соотношений поверхностного и грунтового питания прудов гидрохимическим методом / М. Н. Тарасов. Л., 1961. Т. 31. С. 88–95.
17. Хомич, В. С. Сансирующие аквальные системы урбанизированных территорий как фактор трансформации природных вод / В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик // Прикладная лимнология. Минск, 2000. С. 201–206.
18. Хомич, В. С. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси / В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик. Минск, 2004.
19. Хомич, С. А. Особенности формирования и функционирования карьерных водоемов (на примере Белоруссии) / С. А. Хомич : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Минск, 1987.
20. Широков, В. М. Пруды Белоруссии / В. М. Широков, И. И. Кирвель. Минск, 1987.
21. Яцухно, В. М. Формирование агроландшафтов и охрана природной среды / В. М. Яцухно, Ю. Э. Мандер. Минск, 1995.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 28.04.2014 г.

Ю. А. Романкевич

**ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОДОЕМОВ В МАЛЫХ ГОРОДАХ БЕЛАРУСИ**

Дана эколого-геохимическая оценка технологических водоемов на территории малых городов (Несвижа и Смолевичей), включающая их морфологические особенности, геохимический состав вод, а также природные и техногенные факторы, влияющие на формирование солевого состава.

Установлено, что качество вод в технологических водоемах обусловлено техногенной нагрузкой и геоморфологическими особенностями их водосборов, составом вод, поступающих на очистку, поверхностным стоком, качеством грунтовых вод, а также экологическим состоянием водоемов-усреднителей. Выявлено, что атмосферные осадки не оказывают существенного влияния на формирование состава вод технологических водоемов.

Геохимическая трансформация вод водоемов на городской территории проявляется в высоких содержаниях натрия и хлоридов в солевом составе. Поступление основных объемов макро- и микрокомпонентов с водосборной территории происходит в весенний период, а наибольшая минерализация вод и повышенное содержание биогенных веществ отмечается в летний сезон. Зафиксировано загрязнение вод минеральным азотом и фосфором фосфатным. В исследуемых водах отмечается низкое содержание тяжелых металлов и слабое загрязнение нефтепродуктами.

Таким образом, малые искусственные водоемы и прилегающие к ним территории в городах находятся в неудовлетворительном состоянии, зачастую не выполняют функции очищения вод и являются источниками загрязнения водотоков и водоемов в городах.

Y. A. Romankevich

ECOGEOCHEMICAL EVALUATION OF WATER PROCESS IN BELARUS TOWNS

The ecogeochemical assessment of technological reservoirs on the territory of small towns (Nesvizh and Smolevichi), including their morphological features, geochemical composition of water, as well as natural and man-made factors affecting the formation of the salt composition has been given.

The quality of water in the reservoirs due to technological development pressure and geomorphological features of their watersheds, the composition of water entering cleaning, surface runoff, groundwater quality and ecological status of water bodies-reclaimers has been established. It has been revealed that precipitation does not have a significant impact on the formation of technological water reservoirs.

The geochemical transformation of water reservoirs in urban areas appears in high contents of sodium and chloride in the salt composition. The receipt of fixed amounts of macro-and micro-components with the catchment occurs in the spring and the highest salinity and high nutrient content observed in summer season. Water pollution by nitrogen and phosphorus mineral phosphate has been recorded. The low content of heavy metals and weak oil pollution has been observed in the studied waters.

Thus, small artificial ponds and adjacent areas in the cities are in poor condition and often do not serve as water purification and they are sources of rivers and reservoirs in the cities.

УДК 550.4 (476)

А. В. Матвеев, В. Е. Бордон, Л. А. Нечипоренко**ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО РИСКА НА ТЕРРИТОРИИ ОПОРНОГО ПОЛИГОНА «ПАРК» (Г. МИНСК)**

На основании результатов спектрального анализа охарактеризованы особенности распределения концентрации 16 наиболее распространенных микрозлементов (Pb , Ag , Ni , Co , Cr , V , Mn , Ti , Zr , Cu , Ba , Zn , Nb , Be , Y , Yb), в том числе группы тяжелых металлов (Pb , Cu , Zn , Ni , Co) и элементов группы железа (Ni , Co , Cr , V , Mn , Ti) в покровных отложениях. Выделены ведущие геохимические ассоциации. Обобщение этих материалов позволило провести зонирование территории по степени эколого-геохимического риска.

Экономическое развитие любой страны сопровождается усилением негативного воздействия на природные комплексы и соответствующим ухудшением экологической обстановки. При этом техногенные изменения проявляются даже на территориях, в пределах которых всякая хозяйственная деятельность ограничена (заповедники, заказники, парки и др.). Изучение подобных территорий позволяет, с одной стороны, оценить их реальное состояние и соответствие закрепленным функциям (сохранение близкой к естественной природной обстановки, природного разнообразия, зоны отдыха), а с другой – направлено на разработку мероприятий по ограничению дальнейшего увеличения техногенного пресса на окружающую среду. Именно с этой целью авторами, при выполнении исследований по проекту Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований «Разработать геохимические критерии как научную основу технологии многоцелевого геоэкологического картирования (на примере опорных полигонов Беларуси и Украины» (Х11К-069), проведено изучение геохимических особенностей покровных отложений на площади опорного полигона «Парк», и на этой основе оценена экологическая обстановка территории. Конечно, для полной характеристики состояния природных комплексов парковой зоны необходимо изучение всех компонентов ландшафта, что предполагает участие в таких работах специалистов разного профиля и выполнение комплекса аналитических определений. У авторов статьи подобных возможностей не было. Они ограничились только исследованием покровных отложений, а это, как показали ранее проведенные работы [7, 9], представляет возможность оценить уровень техногенного загрязнения территории и провести геоэкологическое районирование (установить степень эколого-геохимического риска).

Общая характеристика исследованной территории и методика работ

Опорный полигон «Парк» расположен в пределах Заводского района г. Минска, включает

территорию парка 50-летия Октябрьской революции и прилегающую с северо-востока лесопарковую зону. Растительность, в основном, представлена хвойными деревьями (в парке сосны, в лесопарке – сосны и ели) и редкими кустарниками, почвенный слой в низинах покрыт мхом, на повышенных участках – разнотравьем. Жидких отходов, промышленного и бытового мусора здесь практически нет. Но к опорному полигону с юго-восточной и северной сторон примыкают вспомогательные цеха тракторного завода, на западе, вблизи полигона, расположена автозаправочная база, на юге – зеркальная фабрика. Полигон со всех сторон окружен городскими постройками, его пересекает трамвайная линия (по ул. Долгобродской), на юге примыкает Партизанский проспект с его мощным автомобильным движением.

На изученной территории с поверхности залегают преимущественно флювиогляциальные разнозернистые пески с гравием и галькой. Мощность этих отложений варьирует от 3–5 до 10 м. На небольших площадях в северной и северо-западной части встречаются моренные супеси с гравием и галькой (мощностью до 15 м), а в центральной части выделен небольшой контур денудированных краевых ледниковых образований, сложенных разнозернистыми песками и песчано-гравийным материалом. На значительной территории ледниковые отложения перекрыты техногенными грунтами – песчано-глинистым материалом с обломками кирпича, асфальта, арматуры и др. Мощность этого «культурного» слоя варьирует от 0,6 до 6,4 м.

Исследование геохимических особенностей покровных отложений проводилось методом профильного опробования с глубины 0,2–0,7 м. В отобранных (61) образцах, приближенно-количественным спектральным анализом определены 25 элементов.

В связи с тем, что, за исключением единичных образцов, концентрации Bi , Ge , Tl , Sr , Mo , Sb , Cd , Sn , Sc оказались ниже порога чувствительности метода, для дальнейших исследований использовались данные только по 16 эле-

ментам (Pb, Ag, Ni, Co, Cr, V, Mn, Ti, Zr, Cu, Ba, Zn, Nb, Be, Y, Yb).

Учитывая, что целью работ было выявление особенностей площадного распределения концентраций отдельных элементов и на этой основе выполнение оценки экологической обстановки в парковой зоне, основное внимание при геохимическом изучении отложений уделялось показателям, которые позволяют производить такую оценку. К их числу, по данным ранее проведенных работ [8], относятся коэффициенты концентрации K_k (отношение содержаний элементов в пробе к их кларку в четвертичной толще региона), содержание суммы тяжелых металлов (Pb, Cu, Zn, Ni, Co) и элементов группы железа (коэффициент F – сумма концентраций Ni, Co, Cr, V, Mn, Ti), ведущие геохимические ассоциации.

Фактический материал и обсуждение полученных результатов

Выполненные расчеты коэффициентов концентрации показали, что их величины варьируют в значительных пределах (табл. 1), позволяющих судить о накоплении / рассеивании элементов, степени загрязненности территории. В соответствии с работой [3] за показатель загрязнения (нижний порог концентраций, относящихся к аномальным) приняты содержания, превышающие два региональных кларка. При

этом особое внимание было обращено на концентрацию Pb, Cu, Cr, Ni, Zn, которые, по данным [4, 5, 8], являются наиболее токсичными из всех элементов, выявленных в покровных отложениях ледниковой зоны. Как показали результаты спектрального анализа, содержания этих элементов на изученной площади достигают значений, близких к ПДК, и даже изредка превышают данный показатель. В частности, концентрации Pb нередко составляют 40–50 г/т (единично 60–80 г/т), Zn – до 200–300 (единично 400–600), Ni – до 40–60, Cu – единично до 40–45, Cr – до 80–90 г/т. При таких содержаниях коэффициенты концентрации вышеуказанных элементов нередко, судя по табл. 1, достигают 2–3 и более, что позволяет утверждать о формировании на отдельных участках парковой зоны ареалов загрязненных покровных отложений. На это же указывают и содержания тяжелых металлов (рис. 1), сумма концентраций которых варьирует в основном от 37 до 134 г/т (77 % всех образцов), но нередко достигает 203–347 г/т (16 %) и даже 460–1064 г/т (7 %). С учетом того, что сумма кларков элементов, входящих в группу тяжелых металлов, составляет 87 г/т, следует признать, что все значения выше 200 г/т можно отнести к группе относительно экологически неблагоприятных.

Таблица 1. Коэффициенты концентрации K_k наиболее распространенных микроэлементов в покровных отложениях на территории полигона «Парк»

№ образца	Коэффициент концентрации				
	< 1	1,0–1,5	1,5–2,0	2,0–3,0	> 3,0
11-01	Mn, Ti, Zn, Co, V, Y, Yb, Nb, Be	Ni, Zr	Pb, Cr	Cu, Ba	
11-02	Be, Y, Yb, Co, Cr, V, Mn, Ti	Pb, Cu, Nb		Ni, Zr	Ba
11-03	Co, Be, Yb	V, Ti, Nb, Y	Cr	Pb, Ni, Mn, Cr, Cu	Ba, Zn
11-04	Co, V, Be, Yb	Cr, Ti, Cu, Nb	Pb, Ni, Mn	Zr, Y	Ba, Zn
11-05	Co, V, Ti, Be, Y, Yb	Pb, Cr, Cu	Mn, Zr	Ni, Ba	
11-06	Co, Cr, V, Ti, Be, Y, Yb	Mn, Cu, Nb	Pb, Ni, Zr		Ba
11-07	Co, Cr, V, Mn, Ti, Cu, Yb, Be	Pb, Ni, Zr, Y			Ba
11-08	Co, Ti, Yb, Be	V, Y	Pb, Ni, Cr, Mn, Cu	Zr	Ba
11-09	Pb, Co, V, Be, Mn, Ti, Cu, Y, Yb	Ni, Cr	Zr		Ba
11-10	Co, Cr, V, Ti, Cu, Be, Y, Yb	Pb, Ni, Mn, Zr			Ba, Zn
11-11	Co, V, Ti, Cu, Be, Y, Yb	Pb, Cr, Mn	Ni, Zr	Ba	Zn
11-12	Co, V, Ti, Cu, Ba, Y, Yb	Pb, Cr, Zr	Mn	Ni, Ba	
11-13	Y, Yb, Cu, Pb, Cr, V, Mn, Ti	Zr		Ni	Ba
11-14	Co, V, Ti, Be, Yb	Pb, Zr, Cu, Y	Cr, Nb	Mn	Ni, Ba, Zn
11-15	Co, V, Ti, Be, Y, Yb	Pb, Mn, Zr	Nb	Cr, Cu, Ba	Ni, Zn
11-16	Cr, V, Mn, Ti, Cu, Be, Y, Yb	Pb, Zr	Ni	Ba, Cr	
11-17	Co, Ti, Be, Yb	Y	V	Cr, Mn, Zr	Pb, Ni, Zn, Cu, Ba
11-18	Co, V, Ti, Cu, Be, Yb	Pb, Mn, Y	Ni, Zr	Cr	Ba
11-19	Pb, Co, V, Mn, Ti, Cu, Be, Y, Yb	Cr		Ni, Zr, Ba	
11-20	Co, Cr, V, Ti, Cu, Be, Yb	Mn, Zr, Y	Pb, Ni		Ba, Zn
11-21	Co, V, Mn, Be, Yb	Ag, Cr, Ti, Y	Pb, Ni, Cu, Nb	Zr	Ba
11-22	Co, Mn, Ti, Be, Yb	Pb, Ag, Cr, V, Cu, Y	Zr, Nb	Ni	Ba
11-23	Co, Ti, Be, Yb	Cr, V, Mn, Y	Zr, Cu	Pb, Ni	Ba, Zn
11-24	Cr, V, Mn, Ti, Cu, Yb, Be	Pb, Ni, Y	Zr		Ba

Окончание табл. 1

№ образца	Коэффициент концентрации				
	< 1	1,0–1,5	1,5–2,0	2,0–3,0	> 3,0
11-25	Co, V, Mn, Ti, Cu, Be, Yb	Pb, Ni, Cr, Y	Zr, Nb		Ba
11-26	V, Mn, Ti, Zr, Cu, Be, Y, Yb	Pb, Ni, Nb		Cr	Ba
11-27	Cr, V, Ti, Yb	Mn, Zr, Y	Pb, Ni, Cu		Ba, Zn
11-28	Co, V, Ti, Be, Yb	Cr	Mn, Zr, Cu	Ni	Pb, Ba
11-29	Co, Be	V, Mn, Ti, Nb, Yb	Zr	Pb, Ni, Cr, Cu, Y	Ag, Ba
11-30	Co, Cr, Ti, Zr, Cu, Be, Y, Yb	Pb, Ni		Mn, Ba	
11-31	Co, V, Yb, Be	Cr, Ti, Zr, Cu, Y	Pb	Ni, Mn	Ba, Zn
11-32	Co, Cr, V, Ti, Cu, Be, Y, Yb	Pb, Mn, Zr	Ni		Ba
11-33	Co, Cr, V, Ti, Cu, Be, Yb	Pb, Mn, Zr, Y	Ni, Nb		Ba
11-34	Co, V, Cu, Be, Yb	Pb, Cr, Mn, Ti, Y	Ni, Nb	Zr	Ba
11-35	Pb, Co, V, Cu, Be	Cr, Mn, Ti, Yb	Zr, Nb	Ni	Ba
11-36	Pb, Co, Cr, V, Mn, Ti, Y, Yb	Zr, Cu	Ni		Ba
11-37	Pb, Cr, V, Mn, Ti, Zr, Cu, Be, Y, Yb	Ni			Ba
11-38	Pb, Co, Cr, V, Mn, Ti, Be, Yb	Ni, Cu, Nb, Y	Zr		Ba, Zn
11-39	Co, Cr, V, Mn, Ti, Zr, Be, Yb	Pb, Cu, Y		Ni	Ba, Zn

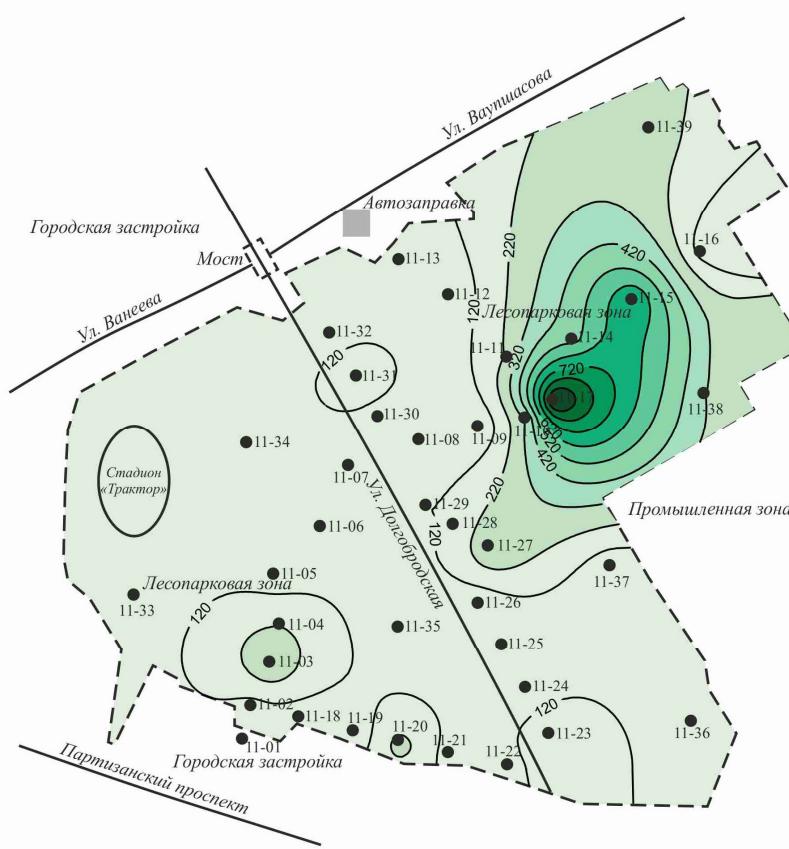


Рис. 1. Сумма концентраций тяжелых металлов (Pb, Cu, Zn, Ni, Co), г/т, в покровных отложениях на территории полигона «Парк»

В этом отношении лучше выглядит распределение концентраций элементов группы железа (коэффициента F). Сумма кларков данных элементов составляет 2623 г/т, а вариации конкретных значений преимущественно заключены в интервале 873–3055 г/т (86 % всех образцов), и только в одном случае величина коэффициента F достигает 4699 г/т, что приближается к дву-

кратному превышению суммы кларков входящих элементов.

Сопоставление площадей, в пределах которых заметно возрастают концентрации разных элементов и их групп, показало, что эти площади нередко совпадают между собой, что позволяет выделить ассоциации элементов, которые могут использоваться при экологических оценках терри-

тории. Чаще всего в покровных отложениях парковой зоны, в соответствии с классификацией В.М. Гольшмидта [2], установлены следующие ведущие ассоциации: литофильная ($Ni, Zr, Ba; Zr, Nb, Y$), халькофильная ($Cr, Cu, Ba, Ni, Zn; Ni, Pb, Ba; Pb, Ni, Cu, Nb; Pb, Ni, Cu$), литосидерофильная ($Ni, Mn, Ba,$

$Zn; Ni, Ba, Zn, Mn$) и литохалькосидерофильная ($Pb, Ni, Mn, Zr, Cu, Zn, Ba; Cr, Mn, Zr, Pb, Ni, Zn, Cu, Ba; Pb, Ni, Cr, Cu, Y, Ag, Ba; Zr, Y, Ba, Zn$). Площадное распределение геохимических ассоциаций элементов и повышенных концентраций отдельных элементов показано на рис. 2.

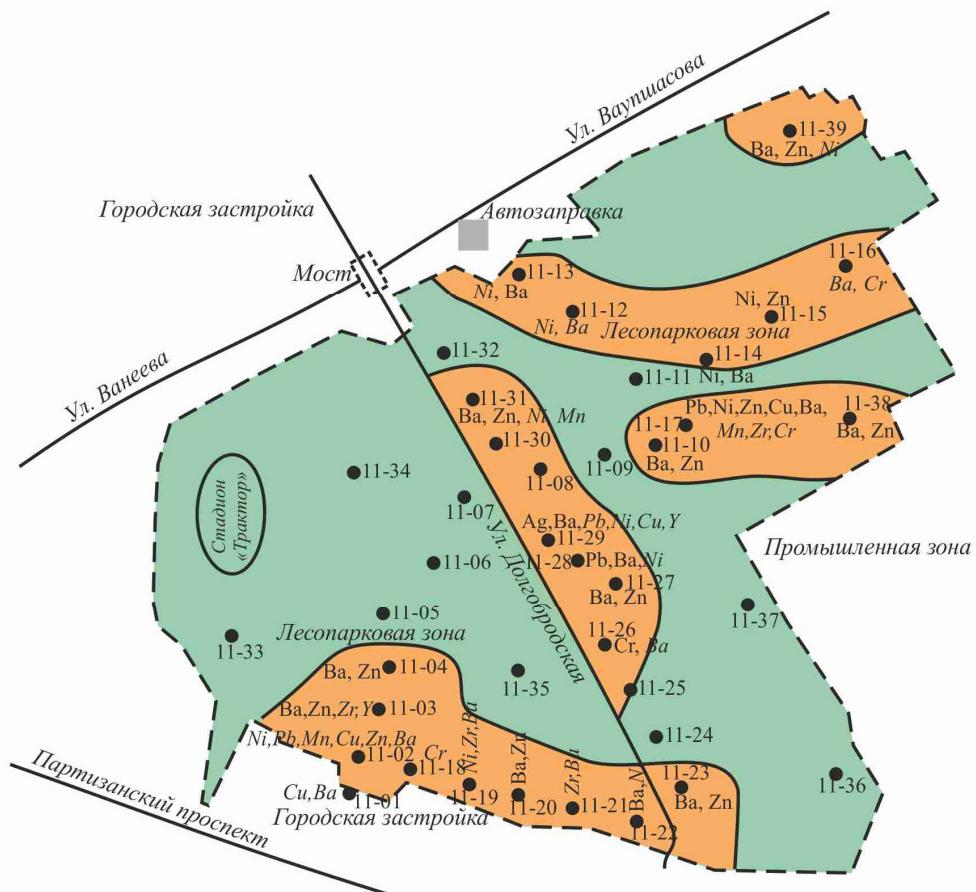


Рис. 2. Геохимические ассоциации элементов в покровных отложениях на территории полигона «Парк». Элементы с K_k более 3 показаны обычным шрифтом, элементы с K_k 2–3 – курсивом

Помимо вышеупомянутых содержаний элементов, на экологическую обстановку любого региона могут оказывать влияние и их низкие количества [1, 6]. В частности, по данным [6], следует считать неблагоприятными для человека значения Со – менее 2–7 г/т, Mn – 400 г/т, Cu – менее 6–15 г/т. Во всех проанализированных образцах покровных отложений Со встречается в количествах менее 7 г/т, а в 27 % – 2 г/т и ниже. Содержание меди в 37 % проб ниже 15 г/т, а в 10 % – ниже 8 г/т. Концентрация Mn в 39 % образцов ниже 400 г/т, а в 6 % – ниже 250 г/т.

С учетом приведенного фактического материала и разработанных ранее методик [7, 10] зонирование полигона «Парк» выполнено по степени эколого-геохимического риска (рис. 3).

Из построений следует, что основная часть изученной территории характеризуется не значительной и невысокой степенью такого риска. Менее благоприятными являются участки, примыкающие к промышленной зоне, жилой застройке и автомобильным трассам, но и на этих площадях степень эколого-геохимического риска не достигает максимально установленных для Республики Беларусь степеней – высокой и экологической катастрофы [9].

Выделенные участки с повышенной степенью загрязнения следует учитывать на территории полигона парковой зоны при выборе мест размещения аттракционов и других объектов, вокруг которых образуются скопления людей.

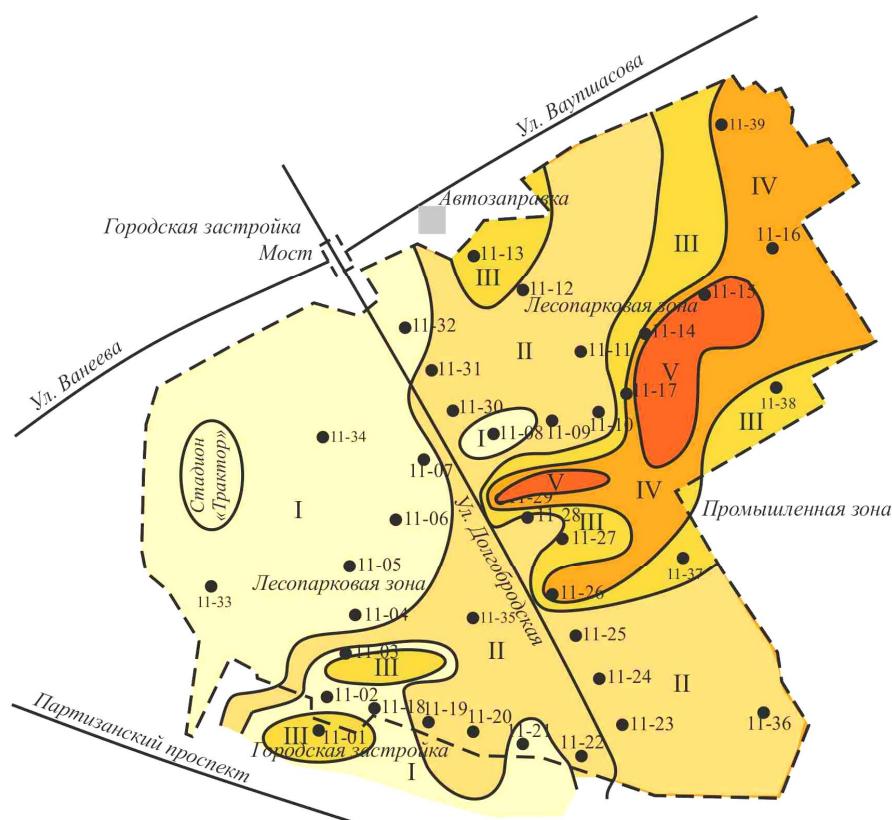


Рис. 3. Карта зонирования территории полигона «Парк» по степени эколого-геохимического риска: участки с незначительной (I), невысокой (II), умеренной (III), средней (IV) и повышенной (V) степенью риска

Выводы

1. Изучены особенности распределения в покровных отложениях опорного полигона «Парк» концентраций 16 наиболее распространенных микрэлементов (Pb, Ag, Ni, Co, Cr, V, Mn, Ti, Zr, Cu, Ba, Zn, Nb, Be, Y, Yb).

2. Установлено, что содержания отдельных элементов (Pb, Cu, Cr, Ni, Zn, Ba, Ag, Zr, Y) и сумма тяжелых металлов могут превышать клярковые величины в 2–3 раза и более. Построена схема распространения ассоциаций подобных элементов, что позволило выделить участки с разной степенью загрязненности территории.

3. Показано, что на отдельных площадях парковой зоны в покровных отложениях количества Co – менее 2–7 г/т, Cu – менее 10–15, Mn –

менее 250–400 г/т, что значительно ниже клярков и может считаться неблагоприятным для человека [6].

4. Выполнено зонирование полигона «Парк» по степени эколого-геохимического риска, которое свидетельствует об относительно благоприятной экологической обстановке на большей части этой территории. Однако выделены участки со средней и повышенной степенью эколого-геохимического риска, которые следует учитывать при размещении аттракционов и других объектов, посещаемых населением.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проекты X11K–069 и X13–020).

Литература

1. Богдасаров, А. Элементы и минералы биологически активных добавок / А. Богдасаров, С. Силич. Брест, 2003.
2. Войткевич, Г. В. Краткий справочник по геохимии / Г. В. Войткевич [и др.]. М., 1970.
3. Временные методические рекомендации по проведению геолого-экологических исследований при геологоразведочных работах. Киев, 1990..
4. Егорова, Т. М. Прогнозні Со, Mo, Mn, Zn біогеохімічні субрегіони України / Т. М. Егорова // Доповідні НАНУ. 2003. № 11. С. 201–206.

5. Жовинский, Э. А. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины / Э. А. Жовинский, И. В. Кураева. Киев, 2002.
6. Ковальский, В. В. Геохимическая экология / В. В. Ковальский. М., 1974.
7. Матвеев, А. В. Геохимическая специализация четвертичных отложений как экологический фактор / А. В. Матвеев, Э. Я. Жовинский, В. Е. Бордон // Геохімія та рудоутворення. Вып. 31–32. 2012. С. 144–149.
8. Матвеев, А. В. Геохимия четвертичных отложений Беларуси / А. В. Матвеев, В. Е. Бордон. Минск, 2013.
9. Матвеев, А. В. Районирование территории Беларуси по степени эколого-геохимического риска / А. В. Матвеев // Літасфера. 2012. № 1 (36). С. 107–112.
10. Матвеев, А. В. Эколого-геохимическая характеристика г. Солигорска / А. В. Матвеев [и др.] // Проблемы водных ресурсов, геотермии и геэкологии: материалы международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Г. В. Богомолова. Минск, 2005. Т. 2. С. 79–80.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 27.01.2014 г.

A. V. Matveyev, V. E. Bordon, L. A. Nechiporenko

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО РИСКА НА ТЕРРИТОРИИ
ОПОРНОГО ПОЛИГОНА «ПАРК» (Г. МИНСК)**

На изученной территории проанализированы особенности распределения в покровных отложениях 16 элементов (Pb , Ag , Ni , Co , Cr , V , Mn , Ti , Zr , Cu , Ba , Zn , Nb , Be , Y , Yb). Показано, что концентрации некоторых из них (Pb , Zn , Ni , Cu , Cr) на отдельных площадях приближаются к ПДК или даже превышают этот показатель. На наличие загрязненных участков также указывают повышенные (до 460–1064 г/т) содержания тяжелых металлов (Pb , Cu , Zn , Ni , Co), что в 5 и более раз превышает сумму кларков этих элементов. По коэффициентам концентраций отдельных элементов и их групп, превышающих значения кларков в 2–3 раза и более, выделены ведущие geoхимические ассоциации. Обобщение полученных материалов позволило провести зонирование полигона «Парк» с выделением площадей с незначительной, невысокой, умеренной, средней и повышенной степенью эколого-геохимического риска.

A. V. Matveyev, V. E. Bordon, L. A. Nechiporenko

**THE EVALUATION OF ECOGEOCHEMICAL RISK
ON THE REFERENCE RANGE «PARK» AREAS (MINSK)**

The characteristics of distribution in the overburden 16 elements (Pb , Ag , Ni , Co , Cr , V , Mn , Ti , Zr , Cu , Ba , Zn , Nb , Be , Y , Yb) in the study area were analyzed. It has been shown that the concentration of some of them (Pb , Zn , Ni , Cu , Cr) in individual areas MPC approach or even exceed this figure. The presence of contaminated sites also indicate the elevated (up to 460–1064 g / t) of heavy metals (Pb , Cu , Zn , Ni , Co), which is 5 times or more greater than the sum of these elements Clarks. By concentration ratios of individual elements and their groups, clarke values exceeding 2–3 times or more, highlighted leading geochemical association. A summary of the materials allowed for zoning polygon «Park» space issue with a minor, low, moderate, medium and high degree of environmental and geochemical risk.

УДК 550.42:502.1(476)

**О. В. Лукашёв, Н. В. Жуковская, В. М. Натаров,
Н. Г. Лукашёва, С. В. Савченко**

АССОЦИАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДНЫХ КОМПОНЕНТАХ НА ТЕРРИТОРИИ БЕРЕЗИНСКОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

*На территории Березинского биосферного заповедника с помощью многомерных статистических методов выделены естественные ассоциации химических элементов. В торфяно-болотных почвах представлена одна ассоциация, связанная с зольностью почвы. В минеральных почвах выделены три ассоциации. Формирование первой обусловлено вхождением элементов в решетки одних и тех же породообразующих и акцессорных минералов, второй – с тонкодисперсными фракциями почв, третьей – парагенетической связью. Состав ассоциаций донных отложений связан с гранулометрической дифференциацией вещества, органическим веществом и вхождением элементов в одни и те же минералы. В хвое *Pinus sylvestris* L. выделены четыре ассоциации химических элементов. Первая объединяет элементы биологического накопления, вторая состоит из элементов биологического захвата. Отдельно выделяются две ассоциации биофильных элементов.*

Одной из задач геохимического исследования природных объектов является выделение и анализ ассоциаций химических элементов. Наиболее изучены парагенные ассоциации элементов в минералах, континентальных отложениях, корах выветривания. Парагенезисы элементов характеризуют рудные и техногенные аномалии, зональные и провинциальные особенности фоновых геохимических ландшафтов. Подобный подход применяется также при оценке химического загрязнения окружающей среды. Традиционной мерой выделения ассоциаций является коэффициент концентрации, однако при выделении ассоциаций химических элементов более эффективно использование многомерных статистических методов.

Целью настоящей работы является выделение ассоциаций химических элементов в отдельных компонентах природной среды Березинского биосферного заповедника (в донных отложениях, почвах, растительности) с использованием разнообразных методов статистического анализа, реализуемых на основе современных программных средств.

В основу работы положены результаты последнего по времени эколого-геохимического изучения территории заповедника (2008–2010 гг.), в рамках которого было проведено опробование донных отложений ряда рек и озер, поверхностного горизонта почв (0–20 см) по сети 2 × 2 км, почв и доминантных видов растительности на постоянных пунктах эколого-геохимического мониторинга, почв на Южном геохимическом профиле, хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на незаболоченных участках.

Различные аспекты выполненных нами исследований ранее подробно рассмотрены в публикациях [10–12, 14, 15], существенно дополняющих результаты работ, проведенных в Березинском биосферном заповеднике в начале

1980-х гг. под общим руководством академика К. И. Лукашёва, а также повторных эколого-геохимических исследований середины 1990-х гг. (В. Б. Кадацкий, И. К. Вадковская, В. М. Натаров, В. В. Савченко и др.) [1, 3, 7–9, 17]. Следует отметить, что указанные работы в основном были ориентированы на первоначальную фиксацию геохимических характеристик компонентов природной среды заповедника и выявление геохимических различий разных ландшафтов с использованием соответствующего математического аппарата.

Анализ содержания микроэлементов (Be, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Sn, Ba, Yb, Pb и др.) в почвах, донных отложениях, растительности проводился методом эмиссионного спектрального анализа на приборе PGS-2 по методике [5]. Чувствительность определения микроэлементов в золах указанных объектов (мг/кг): Be – 1; Sc – 5; Ti – 1; V – 10; Cr – 5; Mn – 10; Fe – <1 000; Co – 2; Ni – 8; Cu – 1; Zn, Sr – 200; Y – 10; Zr – 10; Nb – 5; Mo – 3; Ag – 0,7; Cd – 100; Sn – 10; Ba – 100; Yb – 1; Pb – 5.

Статистическая обработка данных включала в себя: оценку распределения переменных с помощью гистограмм, вероятностных графиков и критериев согласия (Колмогорова–Смирнова, Шапиро–Уилка), вычисление дескриптивных статистик, непараметрический дисперсионный анализ Краскелла–Уоллиса, кластерный и факторный анализы.

Для приведения данных к нормальному закону распределения использовалось логарифмирование при логнормальном распределении и извлечение квадратного корня – при гамма-распределении. Подобные преобразования позволяют «нормализовать» выборки и использовать при анализе параметрические методы.

Факторный анализ выполнялся на основе корреляционной матрицы, методом главных компонент с последующим варимакс-вращением. Мерой сходства в поведении химических элементов в данном случае является коэффициент корреляции, который показывает степень синхронности пространственных колебаний отдельных элементов. Выявленные таким образом ассоциации характеризуют определенный миграционный поток и в пространственном аспекте определяют сопряженность и однородность изменчивости содержания элементов [16].

Как значимые рассматривались факторы с собственным значением, превышающим 1. Факт, что выделяемые ассоциации могут значительно

перекрываться, является скорее преимуществом данного метода многомерного анализа, так как обычно концентрации элементов определяются рядом факторов и процессов.

Статистический анализ осуществлялся с использованием программных пакетов Statistica 6, SPSS 16.

Объемы изученных выборок составляли: донных осадков рек – 37 проб, почв – 187 (в том числе минеральных – 107, торфяно-болотных – 80), хвои *Pinus silvestris* L. – 30 проб.

Донные отложения. Среднее содержание изученных химических элементов в донных отложениях рек заповедника (р. Березины и ее притоков) в 1,3–4,6 раза выше, чем в почвах их водосбора (табл. 1).

Таблица 1. Среднее содержание химических элементов в донных отложениях рек и почвах Березинского биосферного заповедника, мг/кг сухого вещества

Компонент	Be	Ti	V	Cr	Mn	Fe, %	Co	Ni	Cu	Y	Zr	Nb	Ba	Yb	Pb
Донные (1)	0,81	1420	21,9	16,3	534	1,73	6,07	14,2	14,9	12,9	391	6,5	507	1,32	18,2
Почвы (2)	0,37	738	12,8	7,7	161	0,60	1,32	4,8	7,0	8,5	151	4,1	220	0,83	14,3
1 : 2	2,2	1,9	1,7	2,1	3,3	2,9	4,6	3,0	2,1	1,5	2,6	1,6	2,3	1,6	1,3

Ранее (в 1997 г.) изучение особенностей распределения микроэлементов в донных отложениях р. Березины ($n = 20$) было выполнено В. В. Савченко (в рамках НИР «Провести эколого-геохимическую оценку природных геосистем Березинского биосферного заповедника как территории комплексного экологического мониторинга Республики Беларусь» ГНТП «Природопользование и охрана окружающей среды»). Установлено, что их пространственное распределение по территории в целом однородное. Исключение составили Mn и Pb. В частности, отмечено более высокое среднее содержание Mn (5 300 мг/кг, $n = 11$) на участке выше д. Броды, по сравнению с участком д. Броды–оз. Палик (2 600 мг/кг, $n = 9$). Для Pb были выявлены два участка относительно повышенного содержания протяженностью 20–25 км: в районе д. Березино (буферная зона заповедника) и в районе п. Броды (мелиоративный массив). Более ранние исследования, проведенные в 1989 г., показали, что содержание Pb вниз по реке закономерно снижалось: выше д. Броды оно составляло 16 мг/кг ($n = 11$), ниже впадения Сергучского канала – 10 мг/кг ($n = 11$), в илах оз. Палик – 7,0 мг/кг ($n = 5$). В пробах 1997 г. Pb был установлен только в 50 % случаев.

Статистическая обработка данных валового содержания металлов, встречающихся в донных отложениях р. Березины, в 100 % случаев, показала, что за прошедшее десятилетие (1997–2008 гг.) в донных отложениях реки на террито-

рии заповедника повысилось среднее содержание технофильных элементов Cu, Ni, Pb (более чем в 1,5 раза) и нетехнофильных Ti, Zr, Ba, при снижении средней концентрации Mn, Cr и Y. Если ранее (начало 1980-х гг. [3], 1997 г.) Pb отмечался в донных отложениях приблизительно в 50 % случаев, то в 2008 г. (и позднее) этот элемент при той же чувствительности определения методом эмиссионной спектроскопии был установлен повсеместно.

Сравнение среднего валового содержания металлов в донных отложениях р. Березины в пределах заповедника на участках выше и ниже п. Броды, показало, что для лежащего выше по течению участка характерно более высокое содержание Ti (в 1,2 раза), Mn (1,6 раза), Zr (1,3 раза), тогда как для лежащего ниже – Cu (1,3 раза) и Y (1,4 раза). Содержание V, Cr, Fe, Ni, Ba, Yb и Pb на обоих участках сопоставимо. Следует отметить, что существовавшая в 1980–1990-е гг. тенденция постепенного снижения валового содержания Pb в донных отложениях заповедника вниз по течению исследованиями 2008 г. не подтвердилась [10].

Пригодность полученных данных для факторного анализа подтверждается достаточным результатом теста Кайзера–Мелькина–Олькина (КМО) (0,623) и значимым уровнем теста сферичности Бартллетта ($\chi^2 = 478$; $df = 105$; $p < 0,001$).

В результате факторного анализа выделены четыре главные компоненты (фактора), объясняющие 82 % общей дисперсии (табл. 2).

Таблица 2. Факторные нагрузки четырех главных компонент химических элементов в донных отложениях Березинского биосферного заповедника

Фактор / вклад, %	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Y	Zr	Nb	Ba	Yb
1/26	—	0,620	0,951	—	—	0,846	0,970	—	0,487	—	—	—	0,490
2/19	0,805	0,473	—	0,721	0,499	—	—	—	—	0,824	—	0,514	—
3/19	—	—	—	0,439	0,751	—	—	0,782	—	-0,355	-0,364	—	—
4/18	0,382	—	—	—	—	—	—	—	0,766	—	0,782	0,617	0,726

Примечание. Полужирным шрифтом выделены ведущие компоненты для каждой переменной, прочерком – нагрузки, не являющиеся достоверными.

Первая главная компонента (фактор 1), описывает 26 % общей дисперсии и характеризуется высокими нагрузками Ni, Cr, V, Co (табл. 2). Данные элементы концентрируются преимущественно в тонких фракциях (соотношение среднего содержания в гранулометрических фракциях донных отложений менее 0,01 мм и менее 1 мм составляет для Ni – 2,1, V – 1,5, Cr – 2,2, Co – 1,3), что, по-видимому, и отражает фактор 1 (долю тонких фракций).

Вторая главная компонента (фактор 2) учитывает 19 % общей дисперсии и отражает поведение Zr, Ti, Mn. Значимую нагрузку на фактор имеет и Ba. Указанные элементы (кроме Mn) в большинстве геохимических обстановок являются малоподвижными. Главные минералы-носители Ti (рутин, ильменит) и Zr (циркон) устойчивы к выветриванию и концентрируются преимущественно в песчаных и алевритовых фракциях. По данным [2], во многих почвах лесной зоны Mn концентрируется в виде крупных частиц оксидов в песчано-пылеватой фракции почв. Аналогичная ассоциация (Ba-Ti-Zr-Mn) была выделена нами ранее для дерново-подзолистых почв национального парка «Нарочанский».

Третья главная компонента (фактор 3, 19 % общей дисперсии) характеризуется высокими нагрузками Fe и Cu. Накопление элементов данной ассоциации предопределется содержанием органического вещества. Установлена

сильная прямая связь между фактором 3 и органическим веществом ($\rho = 0,71$, $p < 0,001$).

Для фактора 4 (18 % общей дисперсии) характерна ассоциация Nb–Y–Yb–Ba. Это еще одна ассоциация, представленная относительно малоподвижными элементами, входящими в состав породообразующих и акцессорных минералов.

Почвы. Вследствие разнообразия почвообразующих пород и ландшафтно-геохимических условий в настоящее время на территории Березинского биосферного заповедника представлены следующие семь основных типов (разновидностей) почв [14]: дерново-подзолистые автоморфные; дерново-подзолистые заболоченные; дерновые заболоченные; торфяно-болотные низинные; торфяно-болотные переходные; торфяно-болотные верховые; аллювиальные. Как указывалось выше, их опробование производилось в основном по системе профилей, образующих сеть 2×2 км, что позволило получить выборку образцов, в целом отражающую существующее соотношение указанных почвенных типов (разновидностей). Предварительно проведенные опытно-методические работы показали, что в условиях массового площадного опробования наиболее предпочтителен (в том числе и с практической точки зрения) отбор частных проб верхнего горизонта почвы (0–20 см, A₁, A_T), составляющих суммарную представительную пробу для данной точки регулярной сети.

В табл. 3 приведены средние показатели содержания элементов в различных типах почв.

Таблица 3. Содержание химических элементов в поверхностном горизонте почв Березинского биосферного заповедника, мг/кг сухого вещества

Почва (число проб)	Be	Ti	V	Cr	Mn	Fe, %	Co	Ni	Cu	Y	Zr	Nb	Ba	Yb	Pb
Дерново-подзолистая автоморфная (31)	0,32	1379	15,8	11,9	306	0,591	1,56	9,2	7,7	9,7	302	7,5	337	1,1	15,9
Дерново-подзолистая заболоченная (29)	0,31	1071	15,8	9,9	150	0,51	1,04	8,0	7,0	8,7	316	7,1	279	0,9	14,0
Дерновая заболоченная (16)	0,60	1305	15,8	10,5	236	0,73	2,0	9,2	8,3	9,1	234	6,2	267	0,9	15,3
Торфяно-болотная низинная (30)	0,25	384	10,1	4,5	164	0,630	1,73	3,4	7,8	4,2	40,8	1,44	112	0,45	14,5
Торфяно-болотная переходная (25)	0,22	272	8,5	2,8	170	0,520	1,45	2,9	5,0	3,3	26,4	1,1	78	0,32	17,5
Торфяно-болотная верховая (25)	0,06	72	2,2	1,1	20,1	0,099	0,70	1,3	1,9	0,81	7,1	0,35	22	0,1	5,4
Аллювиальная (30)	0,87	1296	17,7	11,5	429	1,15	1,0	9,2	10,3	12,5	301	6,6	355	1,2	16,1
Среднее взвешенное (187)	0,40	826	12,4	7,53	216	0,61	1,32	6,2	6,9	7,0	179	4,38	211	0,72	14,2

Ранее проведенными исследованиями в первую очередь были затронуты дерново-подзолистые песчаные почвы заповедника [3]. Среднее содержание Ti в этих почвах, по данным Н. Н. Петуховой начала 1980-х гг., составляло 537 мг/кг, V – 8,9, Cr – 5,1, Mn – 188, Ni – 2,7, Cu – 1,5, Zr – 275, Pb – 3,6 мг/кг ($n = 32$), что в 1,6–2,6 раза ниже современной оценки для Mn, V, Ti и в 3,4–5,1 раза – для Ni, Pb и Cu (см. табл. 3, дерново-подзолистая автоморфная почва). Сопоставимые данные получены только для Zr (275 и 302 мг/кг соответственно). Выполненный тогда же корреляционный анализ показал наличие достоверной средней связи Mn и Cu, Cu и Ni, Cu и V ($r = +0,50$ – $0,62$).

С помощью непараметрического дисперсионного анализа (Kruskal–Wallis test) нами установлены статистически значимые различия между типами почв по концентрации химических

элементов (табл. 4). Последующее сравнение типов почв между собой по концентрации всех исследуемых химических элементов проводилось с применением критерия множественного сравнения Краскела–Уоллиса. Были установлены следующие статистически значимые различия. Торфяно-болотные верховые почвы отличаются от дерново-подзолистых, аллювиальных, дерновых и дерново-подзолистых почв по концентрации всех исследуемых элементов. Выявлены различия между: торфяно-болотными верховыми и торфяно-болотными низинными почвами по содержанию Ti, V, Cr, Ni, Y, Zr, Nb, Ba, Yb; торфяно-болотными верховыми и торфяно-болотными переходными по концентрации V, Mn, Fe, Cu, Pb. Статистически значимо по содержанию Mn, Fe, Cu в поверхностном горизонте отличаются между собой дерново-подзолистые заболоченные и аллювиальные почвы.

Таблица 4. Результаты рангового дисперсионного анализа Краскела–Уоллиса

Показатель	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Y	Zr	Nb	Ba	Yb	Pb
H	119,7	78,9	123,1	67,2	77,9	117,2	75,6	108,4	122,2	123,1	122,3	110,6	49,9
df	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
p	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Ассоциации химических элементов изучались отдельно для торфяно-болотных и минеральных почв.

В торфяно-болотных почвах выделена одна ассоциация, включающая все исследуемые химические элементы (в скобках – нагрузка на фактор): Ni (0,960) – Ti (0,951) – Ba (0,950) – Nb (0,917) – V (0,917) – Y (0,912) – Cr (0,905) – Cu (0,901) – Zr (0,883) – Yb (0,859) – Fe (0,830) – Pb (0,806) – Mn (0,758).

Концентрация элементов данной ассоциации определяется, прежде всего, зольностью.

Коэффициент корреляции Спирмена (ρ) между содержанием органического вещества и выделенным фактором составляет: $\rho = 0,95$ ($p < 0,001$). Следует отметить, что предлагаемая факторная модель в наименьшей степени объясняет пространственное варьирование Mn, Pb и Fe. Доля объясненной дисперсии составляет соответственно 56, 64 и 68 %.

На рис. 1 представлена зависимость между выделенным фактором в торфяно-болотных почвах заповедника и их зольностью.

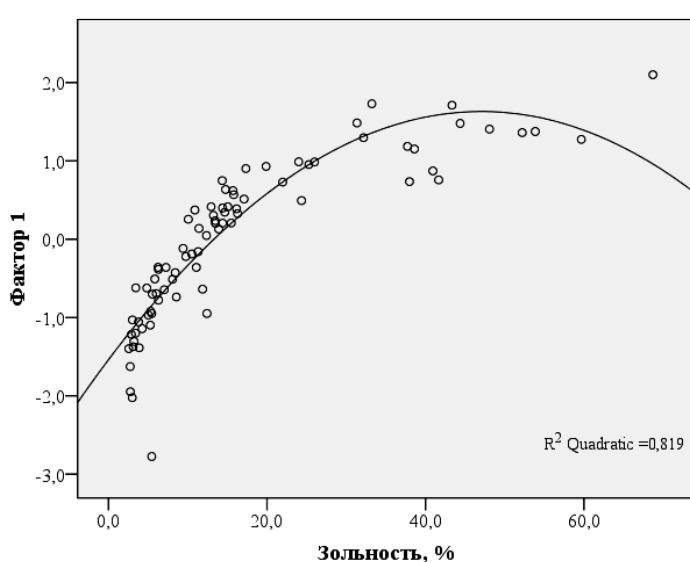


Рис. 1. Зависимость фактора 1 от зольности торфяно-болотных почв

Для минеральных почв (дерново-подзолистые, дерново-подзолистые заболоченные, дерновые заболоченные, аллювиальные) с

помощью факторного анализа выделено три фактора, объясняющих 76 % общей дисперсии (табл. 5).

Таблица 5. Факторные нагрузки трех главных компонент химических элементов в минеральных почвах Березинского биосферного заповедника

Фактор/ вклад, %	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Y	Zr	Nb	Ba	Yb	Pb
1/27	0,706¹	0,240	0,665	0,339	0,234	0,347	—	0,250	0,846	0,813	0,784	0,242	0,203
2/26	0,270	0,613	0,395	0,698	0,669	0,603	0,761	—	—	0,234	0,370	—	0,804
3/23	0,339	0,548	0,334	0,272	0,573	0,344	0,410	0,926	—	—	—	0,920	—

С первой главной компонентой (фактор 1), описывающей 27 % общей дисперсии, положительно связано содержание Nb, Zr, Ba, Ti, Cr (рис. 2). Установлена обратная средняя связь между элементами данной ассоциации и содержанием органического вещества ($r = -0,51$, $p < 0,001$). Содержание данных элементов зависит от доли минеральной составляющей почвы и обусловлено их вхождением в решетки одних и тех же породообразующих и акцессорных минералов, а также сходством геохимического поведения.

Вторая главная компонента (фактор 2) учитывает 26 % общей дисперсии и отражает поведение Pb, Cu, Mn, Fe, V и Ni. Следует отметить, что содержание элементов данной ассоциации в почвах в значительной степени зависит от гранулометрического состава последних – данные элементы концентрируются в основном во фракциях меньше 0,01 мм (главным образом меньше

0,001 мм) [4, 6], где могут входить в глинистые минералы, оксиды (гидрооксиды) Fe и Mn, связываться органическим веществом. Можно предположить, что фактор 2 отражает содержание глинистой фракции в почвах, с ростом которой увеличивается и концентрация элементов указанной ассоциации.

Третья главная компонента (фактор 3, 23 % общей дисперсии) характеризуется высокими нагрузками Y и Yb. Иттрий имеет химическое сходство и, как правило, демонстрирует совместное нахождение с Yb и другими лантаноидами.

Растительность. Для изучения ассоциаций химических элементов в растительности Березинского биосферного заповедника использовалась хвоя *Pinus sylvestris* L. (опробовались деревья 20–100-летнего возраста, поваленные прошедшим в августе 2010 г. ураганом на суходолах (табл. 6)).

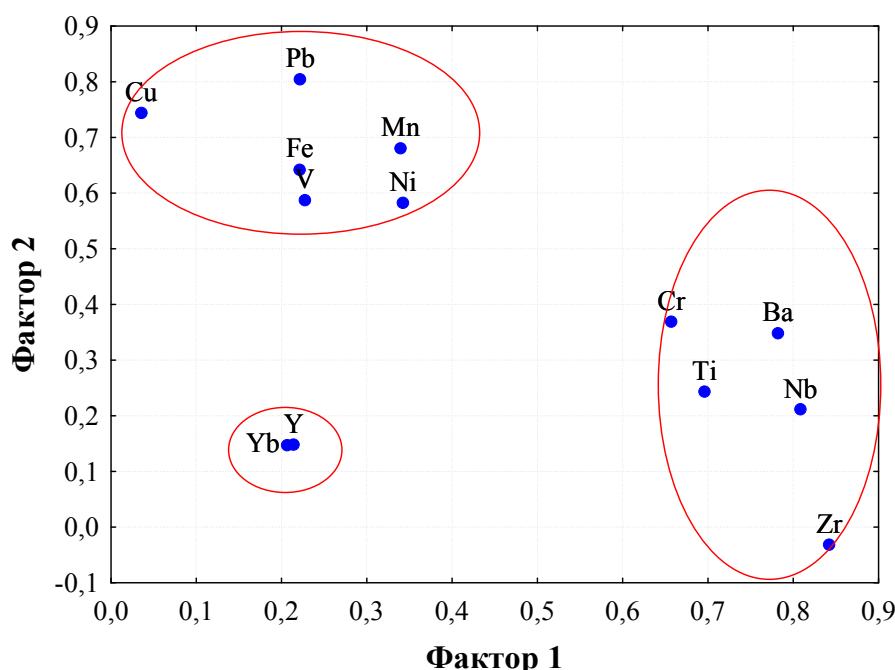


Рис. 2. Отображение химических элементов в пространстве двух факторов

Таблица 6. Содержание химических элементов в хвое *Pinus sylvestris* L. на территории Березинского биосферного заповедника, мг/кг сухого вещества

Зольность, %	P	Ti	V	Cr	Mn	Fe
2010 г. (<i>n</i> = 30)						
2,00 1,67–2,55	1 086 701–1 606	9,46 6,92–15,1	0,259 0,132–0,720	0,41 0,200–4,68	235 106–406	80,9 66,8–130
1997 г. (<i>n</i> = 18)						
2,4	Не определено	3,5	0,7	--	280	Не определено
Co	Ni	Cu	Zn	Sr	Ba	Pb
2010 г. (<i>n</i> = 30)						
0,110 0,048–0,226	1,41 0,566–3,76	3,77 2,67–5,19	6,48 3,46–15,8	6,29 3,42–14,1	6,66 3,48–20,2	0,265 0,176–0,508
1997 г. (<i>n</i> = 18)						
--	1,8	4,4	16,2	6,1	8,1	0,3

Ранее (первая половина 1980-х гг.) химический состав растительности заповедника исследовался И. К. Вадковской, которой, в частности, было определено содержание микроэлементов (Ti, V, Mn, Cr, Ni, Co, Cu, Pb) в хвое различных фитоэкологических рядов сосняков (пушицево-сфагновых, тростниково-сфагновых, багульниково-сфагновых, осоково-сфагновых) [1, 3]. Результаты, полученные на материале более поздних исследований (1997 г.), представлены в табл. 6. Сравнение приведенных данных показывает, что микроэлементный состав хвои *Pinus sylvestris* L. за годы, разделяющие два последних опробования (1997 и 2010 гг.), мало изменился – сопоставимые средние показатели (различия не более 2 раз) получены для Mn, Ni, Cu, Sr, Ba и Pb.

С помощью метода главных компонент выделено четыре фактора, объясняющих 75 % общей дисперсии (табл. 7). Хром был исключен из анализа как не связанный с другими химическими элементами.

Фактор 1 характеризует 24 % изменчивости исходных признаков и формирует ассоциацию Ba–Sr–Mn–V. Установлена статистически значимая прямая связь между фактором 1 и зольностью хвои ($r = 0,57$, $p = 0,001$). По величине коэффициента биологического поглощения (КБП) элементы данной ассоциации (за исключением V) относятся к элементам биологического накопления (КБП > 1); КБП составляют: для Mn – 42; Sr – 6,3; Ba – 1,1; V – 0,8.

Таблица 7. Факторные нагрузки четырех главных компонент химических элементов в хвое *Pinus sylvestris* L. на территории Березинского биосферного заповедника

Фактор/вклад, %	P	Ti	V	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sr	Ba	Pb
1/24	–	–	0,656	0,761	–	–	–	–	-0,493	0,768	0,889	–
2/23	–	0,778	0,348	0,465	0,875	–	–	0,498	–	–	–	0,773
3/15	–	–	–	–	–	0,929	0,898	–	–	–	–	–
4/13	0,871	–	–	–	–	–	–	0,562	0,544	–	–	–

С фактором 2 (23 % общей дисперсии) положительно связано содержание Fe, Ti и Pb; КБП данных элементов – меньше 1 и составляет для Fe – 0,5, Ti – 0,3, Pb – 0,9. Элементы этой ассоциации относятся к группе среднего биологического захвата (0,1–1,0). Железо – биофильный элемент, но поступление его в растение идет по барьерному типу, поэтому даже значительная концентрация его в почве не приводит к повышенному накоплению данного элемента. Титан и свинец не являются жизненно необходимыми для растений элементами, что и обуславливает низкие значения КБП [18].

Для фактора 3 (15 % общей дисперсии) характерна ассоциация Co–Ni. Никель и кобальт достаточно тесно связаны геохимически и оказывают сходное воздействие на физиологические процессы у растений [13].

Фактор 4 (13 % общей дисперсии) связан, в первую очередь, с P. Из других элементов статистически значимую нагрузку на фактор имеют Cu и Zn. Фосфор – макроэлемент, играющий большую роль в метаболических процессах, Cu, Zn – биофильные элементы.

Группировка химических элементов в хвое *Pinus sylvestris* L. заповедника представлена на рис. 3. Дендрограмма, построенная в результате кластерного анализа, показывает внутреннюю иерархическую структуру и взаимосвязь химических элементов.

Таким образом, с помощью многомерных статистических методов выделены естественные ассоциации химических элементов в почвах, растительности и донных отложениях Березинского биосферного заповедника. В торфяно-болотных почвах выделена одна ассоциация химических элементов, связанная, прежде всего, с зольностью почвы (табл. 8).

Таблица 8. Ассоциации химических элементов в компонентах природной среды на территории Березинского биосферного заповедника

Донные отложения	Почвы минеральные	Почвы торфяно-болотные	Растительность
$F_1(26 \%) = V_{0,62}-Cr_{0,95}-Co_{0,85}-Ni_{0,97}$	$F_1(27 \%) = Nb_{0,81}-Zr_{0,85}-Ba_{0,78}-Ti_{0,71}-Cr_{0,67}$	$F_1(79 \%) = Ni_{0,96}-Ti_{0,95}-Ba_{0,95}-Nb_{0,92}-V_{0,92}-Y_{0,91}-Cr_{0,91}-Cu_{0,90}-Zr_{0,88}-Yb_{0,86}-Fe_{0,83}-Pb_{0,81}-Mn_{0,76}$	$F_1(24 \%) = Ba_{0,89}-Sr_{0,77}-Mn_{0,76}-V_{0,66}$
$F_2(19 \%) = Ti_{0,81}-Mn_{0,72}-Zr_{0,82}-Ba_{0,51}$	$F_2(26 \%) = Pb_{0,80}-Cu_{0,76}-Mn_{0,70}-Fe_{0,67}-V_{0,61}-Ni_{0,60}$	—	$F_2(23 \%) = Fe_{0,88}-Ti_{0,78}-Pb_{0,77}$
$F_3(19 \%) = Fe_{0,75}-Cu_{0,78}$	$F_3(23 \%) = Y_{0,93}-Yb_{0,92}$	—	$F_3(15 \%) = Co_{0,93}-Ni_{0,90}$
$F_4(18 \%) = Nb_{0,78}-Y_{0,77}-Yb_{0,73}-Ba_{0,62}$	—	—	$F_4(13 \%) = P_{0,87}-Cu_{0,56}-Zn_{0,54}$

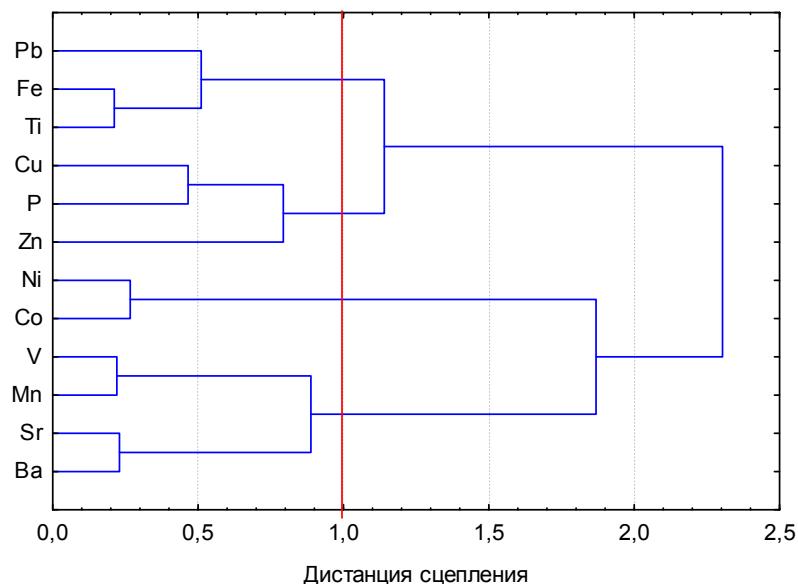


Рис. 3. Дендрограмма классификации химических элементов в хвое *Pinus sylvestris* L. на территории Березинского биосферного заповедника Метод Уорда. Дистанция сцепления 1 – r Пирсона

В минеральных почвах заповедника выделены три ассоциации химических элементов. Формирование первой ассоциации ($Nb-Zr-Ba-Ti-Cr$) обусловлено входением элементов в решетки одних и тех же породообразующих и акцессорных минералов. Вторая ($Pb-Cu-Mn-Fe-V-Ni$) – связана с тонкодисперсными фракциями почв. Третья – представлена характерной парагенетической связью $Y-Yb$.

Ассоциации донных отложений в целом схожи с ассоциациями химических элементов, выделенных в минеральных почвах. Их формирование связано, как с гранулометрической дифференциацией вещества ($V-Cr-Co-Ni$), так и с входением в одни и те же минералы ($Ti-Mn-$

$Zr-Ba$, $Nb-Y-Yb-Ba$). Выделяется также ассоциация $Fe-Cu$, связанная, прежде всего, с органическим веществом.

В хвое *Pinus sylvestris* L. выделены четыре ассоциации химических элементов. Первая ($Ba-Sr-Mn-V$) объединяет элементы биологического накопления. Вторая ($Fe-Ti-Pb$) – элементы биологического захвата. Отдельно выделяются ассоциации биофильных элементов $Co-Ni$ и $P-Cu-Zn$. Следует отметить, что унаследованности ассоциаций в системе почва-растительность не наблюдается

Выделенные ассоциации могут выступать в качестве фоновых при изучении особенностей химического загрязнения природной среды.

Литература

1. Вадковская, И. К. Микроэлементный состав фоновых растений болотных сосняков Березинского заповедника / И. К. Вадковская, В. В. Валетов // Докл. АН БССР, 1985. Т. XXIX, № 5. С. 450–453.

2. **Водяницкий, Ю. Н.** Оксиды марганца в почвах / Ю. Н. Водяницкий. М., 2005.
3. **Геохимическое изучение ландшафтов Березинского биосферного заповедника** / Под ред. К. И. Лукашёва. Минск, 1985.
4. **Геохимические провинции покровных отложений БССР** / Под ред. К. И. Лукашева. Минск, 1969.
5. **Зырин, Н. Г.** Спектральный анализ почв, растений и других биологических материалов / Н. Г. Зырин, А. И. Обухов. М., 1977.
6. **Кабата-Пендиас, А.** Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. М., 1989.
7. **Кадацкий, В. Б.** К характеристике дотехногенного геохимического фона БССР / В. Б. Кадацкий, И. В. Мартынова, Т. Н. Шибанова, Г. Л. Шимко // Геохимия техногенеза : Матер. I Всесоюз. совещ. Иркутск, 1985. С. 93–97.
8. **Кадацкий, В. Б.** Технофильные элементы в почвах Беларуси : дис. ... д-ра геогр. наук : 11.00.01. / В. Б. Кадацкий // Минск, 1995.
9. **Лукашёв, К. И.** Геохимические особенности древесно-кустарниковой растительности Березинского биосферного заповедника / К. И. Лукашев, И. К. Вадковская // Докл. АН БССР. 1988. Т. XXXII, № 2. С. 160–162.
10. **Лукашёв, О. В.** Эколого-геохимическое состояние поверхностных вод и речных отложений на территории Березинского биосферного заповедника / О. В. Лукашёв [и др.] // Природопользование. 2009. № 15. С. 79–87.
11. **Лукашёв, О. В.** Химический состав суглинистых вод Березинского биосферного заповедника / О. В. Лукашёв, В. М. Натаров, Н. Г. Лукашёва, С. В. Савченко // Природопользование. 2010. № 17. С. 63–68.
12. **Лукашёв, О. В.** Микроэлементы в почвах Березинского биосферного заповедника / О. В. Лукашёв, В. М. Натаров, Н. Г. Лукашёва, С. В. Савченко // Природопользование. 2010. № 18. С. 45–54.
13. **Медведев, С. С.** Физиология растений / С. С. Медведев. СПб, 2004.
14. **Натаров, В. М.** Почвы Березинского биосферного заповедника / В. М. Натаров. Минск, 2007.
15. **Натаров, В. М.** Комплексный геохимический фоновый мониторинг в Березинском биосферном заповеднике: Монография / В. М. Натаров, О. В. Лукашёв, В. В. Савченко. Минск, 2013.
16. **Новикова, О. В.** Ассоциации микроэлементов в древесной растительности гг. Москвы и Кито / О. В. Новикова, М. Г. Макарова, Н. Е. Кошелева // Вестн. РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2004. № 1(10). С. 74–84.
17. **Савченко, В. В.** Рекомендации по организации и ведению геохимических наблюдений на станциях комплексного экологического мониторинга фонового ранга / В. В. Савченко, В. М. Натаров ; под ред. А. И. Лучкова. Минск, 1999.
18. **Уфимцева, М. Д.** Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга / М. Д. Уфимцева, Н. В. Терехина. СПб, 2005.

**Белорусский государственный университет,
Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 3.03.2014 г.

**О. В. Лукашёв, Н. В. Жуковская, В. М. Натаров,
Н. Г. Лукашёва, С. В. Савченко**

АССОЦИАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДНЫХ КОМПОНЕНТАХ НА ТЕРРИТОРИИ БЕРЕЗИНСКОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

На территории Березинского биосферного заповедника с помощью многомерных статистических методов выделены естественные ассоциации химических элементов в основных природных средах: почвах, растительности и донных отложениях.

Состав ассоциаций химических элементов существенно различается для минеральных и органических почв. В торфяно-болотных почвах выделена одна ассоциация, связанная, прежде всего, с зольностью почвы Ni–Ti–Ba–Nb–V–Y–Cr–Cu–Zr–Yb–Fe–Pb–Mn. В минеральных почвах выделены три ассоциации химических элементов. Формирование первой ассоциации (Nb–Zr–Ba–Ti–Cr) обусловлено вхождением элементов в решетки одних и тех же пордообразующих и акцессорных минералов. Вторая (Pb–Cu–Mn–Fe–V–Ni) – связана с тонкодисперсными фракциями почв. Третья – представлена характерной парагенетической связью Y–Yb.

Состав ассоциаций донных отложений в целом схож с ассоциациями химических элементов, выделенных в минеральных почвах. Их формирование связано как с гранулометрической дифференциацией вещества (V–Cr–Co–Ni), так и с вхождением в одни и те же минералы (Ti–Mn–Zr–Ba,

Nb-Y-Yb-Ba). Выделяется также ассоциация Fe-Cu, связанная, прежде всего, с органическим веществом.

В хвое *Pinus sylvestris* L. выделены четыре ассоциации химических элементов. Первая (Ba-Sr-Mn-V) объединяет элементы биологического накопления. Вторая (Fe-Ti-Pb) – состоит из элементов биологического захвата. Отдельно выделяются ассоциации биофильных элементов Co-Ni и P-Cu-Zn. Следует отметить, что не наблюдается унаследованности ассоциаций в системе почва-растительность.

Выделенные ассоциации могут выступать в качестве фоновых при изучении особенностей химического загрязнения природной среды.

O. V. Lukashev, N. V. Zhukovskaja, V. M. Natarov,
N. G. Lukasheva, S. V. Savchenko

ASSOCIATION OF CHEMICAL ELEMENTS IN NATURAL ENVIRONMENTS IN THE BEREZINA BIOSPHERE RESERVE

On the territory of Berezina Biosphere Reserve using multivariate statistical methods are highlighted natural associations of chemical elements in the main natural environments: soils, vegetation and sediments.

Of associations of chemical elements varies considerably for mineral and organic soils. In peat soils one association highlighted, associated primarily with ash soil: Ni-Ti-Ba-Nb-V-Y-Cr-Cu-Zr-Yb-Fe-Pb-Mn. In mineral soils identified three associations of chemical elements. Forming a first association (Nb-Zr-Ba-Ti-Cr) is due to occurrence of grating elements in the same main and accessory minerals. The second (Pb-Cu-Mn-Fe-V-Ni) is connected with the fine fraction of soil. The third characteristic is represented by paragenetic Y-Yb connection.

The contance of sediments is generally similar to associations of chemical elements identified in mineral soils. Their formation is connected as a differentiating agent particle size (V-Cr-Co-Ni), and entering the same minerals (Ti-Mn-Zr-Ba, Nb-Y-Yb-Ba). Association also stands Fe-Cu, connected primarily with organic matter.

*In the needles of *Pinus sylvestris* L. four associations of chemical elements have been identified. The first (Ba-Sr-Mn-V) combines elements of biological accumulation. The second (Fe-Ti-Pb) is worth of components of biological capture. The association biophytic elements Co-Ni and P-Cu-Zn are separately allocated. It should be noted that there is no association of heredity in the soil – vegetation.*

Dedicated associations can serve as background in the study of peculiarities of chemical pollution of the environment.

УДК 504.3.064-034 (47+57)

Т. И. Кухарчик, С. В. Какарека, Т. Л. Лапко, М. И. Козыренко

ВЫЯВЛЕНИЕ И ОЦЕНКА ЗАПАСОВ НОВЫХ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В БЕЛАРУСИ: ПОДХОДЫ, РЕЗУЛЬТАТЫ, ПРОБЛЕМЫ

В статье приведены результаты выполненной в Беларуси первой инвентаризации химических веществ, дополнительно включенных в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ в 2009 г., а также расчетные данные о запасах двух групп новых СОЗ в составе полимерных изделий. Проанализирована информация, представленная потенциальными пользователями промышленных химикатов на основе новых СОЗ. Представлены обобщенные данные об объемах использования и хранения в стране пестицидов на основе новых СОЗ.

Перечень химических веществ, подпадающих под определение стойких органических загрязнителей (СОЗ) и представляющих опасность для здоровья человека и природных экосистем, в настоящее время включает 24 наименования, что в два раза больше по сравнению с первона-

чальным списком [3, 7]. Первое наиболее существенное дополнение было принято на четвертой конференции Сторон в 2009 г., когда к СОЗ были отнесены 9 новых веществ (таблица 1). Краткое обобщение свойств новых СОЗ и сфер их применения выполнено в работах [1, 5].

Таблица 1. Химические вещества, дополнительно включенные в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ в 2009 г.

Наименование химического вещества	Назначение и сфера использования
Альфа-гексахлорциклогексан	Пестицид, побочный продукт производства линдана; входит в состав гексахлорциклогексана (ГХЦГ)
Бета-гексахлорциклогексан	То же
Гексабромдифенил	Производился как антиприрен в период с 1970 по 1975 гг.; использовался при производстве АБС-пластика и других полимерных изделий; может присутствовать в обшивке автомобилей, произведенных в США до 1976 г.
Гексабромдифениловый эфир и пентабромдифениловый эфир (коммерческий октабромдифениловый эфир)	Производился как антиприрен с сер. 1970-х по 2004 гг.; примерно 98 % использовано для производства АБС-пластика. Может содержаться в составе полимерных изделий телевизоров и мониторов с электронно-лучевой трубкой, других видах офисной и канцелярской техники
Линдан	Пестицид; сельское хозяйство. Добавка в фармацевтические препараты
Пентахлорбензол	Пестицид; сельское хозяйство. Компонент хлорбензольных смесей для диэлектрических жидкостей. Побочный продукт термических и производственных процессов
Тетрабромдифениловый эфир и пентабромдифениловый эфир (коммерческий пентабромдифениловый эфир)	Производился как антиприрен с сер. 1970-х по 2004 гг.; примерно 95 % использовано для производства пенополиуретана. Может содержаться в составе полимерных изделий транспортных средств, мебельной обшивке и матрасах, корпусах офисной и канцелярской техники
Перфтороктановая сульфоновая кислота, ее соли и перфтороктановый сульфонилфторид	Производятся как поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые используются при производстве пленкообразующих пенообразователей (для пожаротушения), авиационных гидравлических жидкостей, химических препаратов для нанесения покрытий на металл, средств защиты растений, чистящих и моющих средств для промышленности, средств бытовой химии, лакокрасочной продукции, воска и полиролей, средств пропитки тканей, обработки кожи и бумаги и др.
Хлордекон	Пестицид; сельское хозяйство

Согласно Стокгольмской конвенции о СОЗ, производство и использование хлорорганических пестицидов и гексабромдифенила запрещено (имеется лишь конкретное исключение для использования линдана в качестве фармацевтического средства). Производство коммерческого октабромдифенилового эфира и коммерческого пентабромдифенилового эфира также запрещено; использование же изделий, их содержащих, включая повторное использование и рециклинг, может осуществляться Сторонами не позднее,

чем до 2030 г. при условии, что такое использование и окончательное удаление будет осуществляться экологически безопасным способом. Производство ПФОС разрешено для приемлемых целей, определены конкретные исключения в отношении использования данной группы химических веществ. Год окончательного запрета на производство и использование ПФОС пока не установлен; оценка необходимости их дальнейшего использования для приемлемых целей и конкретных исключений будет проводиться

Конференцией Сторон с учетом технических, экологических, экономических и других аспектов регулирования химических веществ.

Для разработки планов управления новыми СОЗ с целью выполнения принятых международных обязательств необходимы данные об объемах их использования в стране, сферах и характере использования, видах материалов/изделий, их содержащих, местах хранения отходов и многие другие. В этой связи актуальным является проведение инвентаризации и оценка запасов как собственно промышленных химикатов, так и изделий, оборудования или отходов, в которых они могут содержаться.

К настоящему времени в глобальном масштабе получены оценки объемов производства промышленных препаратов на основе полибромдифениловых эфиров и гексабромдифенила, а также полимерных изделий на их основе, которые могут стать базовыми при выполнении национальных и региональных оценок [20]. Для ряда стран и регионов оценены объемы импорта/экспорта и использования полибромированных дифенилов (ПБД), полибромированных дифенилэфиров (ПБДЭ) и перфтороктановых сульфонатов (ПФОС) [10, 15–17, 19]. В качестве информационной основы в большинстве случаев использованы регистры химических веществ, данные учета импорта-экспорта, сведения компаний, осуществляющих продажу и распространение продукции; широко практиковалось анкетирование. В последние годы значительное внимание уделяется вопросам оценки запасов новых СОЗ в составе готовых изделий и отходов, включая изучение содержания в них СОЗ путем химико-аналитических измерений, поскольку именно они представляют угрозу для здоровья человека и природных экосистем. Одна из последних масштабных работ регионального уровня – оценка запасов новых СОЗ в 27 странах Евросоюза [18]. В рамках международных проектов выполнены исследования по выявлению электронного и электротехнического оборудования и отходов в ряде развивающихся стран Азии, Африки и Латинской Америки [14].

В данной статье приведены результаты первой предварительной инвентаризации новых СОЗ (включенных в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ в 2009 г.) в Беларуси, представлены расчетные данные о запасах двух групп новых СОЗ в составе полимерных изделий электрооборудования и транспортных средств, а также обобщена информация об объемах использования и хранения пестицидов на основе новых СОЗ.

Фактический материал и методические подходы

Первая оценка запасов новых СОЗ в Беларуси выполнена на основании результатов предварительной инвентаризации, проведенной на основании ТКП 17.11-06-2012 в 2013 г., расчет-

ных данных о накопленных запасах полибромдифениловых эфиров в составе полимерных изделий различных товаров, а также обобщения фондовых и отраслевых данных об использовании и хранении пестицидов на основе новых СОЗ.

В качестве нормативно-технического и методического обеспечения проведения инвентаризации новых СОЗ послужили ТКП 17.11-06-2012 (02120). Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила проведения инвентаризации стойких органических загрязнителей, дополнительно включенных в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ (утверждены Постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды № 19-Т от 26.12.2012) и брошюра «Методические рекомендации по выявлению и оценке запасов химических веществ, дополнительно включенных в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ» [5]. Следует подчеркнуть, что методологической основой указанных документов явились руководства, подготовленные под эгидой международных организаций ЮНЕП, ЮНИДО, ЮНИТАР [8, 9, 11, 12], а также документы, касающиеся обоснования включения химических веществ в приложения к Стокгольмской конвенции о СОЗ [13].

Инвентаризация новых СОЗ осуществлялась путем рассылки запросов и комплекта необходимых документов в министерства/ведомства (Министерство промышленности, Министерство транспорта, Министерство энергетики, концерны «Белнефтехим», «Беллэргпром», Госвоенком и др.), а также непосредственно на предприятия. При подготовке списка предприятий учитывался профиль их деятельности и возможность использования в производственных процессах промышленных химикатов на основе новых СОЗ. Так, в качестве потенциальных потребителей полибромдифениловых эфиров рассматривались предприятия по производству полимерных изделий (АБС-пластмасс, пенополиуретана, поролона и др.), кабеля и проводов, резинотехнических изделий, лакокрасочных материалов, ковров и ковровых покрытий, в качестве потенциальных потребителей ПФОС – предприятия по производству средств огнетушения и антиприренов, печатных плат, нанесению покрытий на металлы, обработки бумаги, тканей и кожи, производству химических составов для гальваники, химических моющих и чистящих средств, ковров и др. Учитывались также потенциальные пользователи противопожарных пен на основе ПФОС.

Всего разослано более 300 писем-запросов. При рассылке запросов на предприятия практиковалась также электронная система рассылки формы акта инвентаризации и методических рекомендаций. В процессе инвентаризации проведены консультации для специалистов

предприятий относительно идентификации промышленных веществ на основе новых СОЗ и материалов/изделий, их содержащих, а также заполнения форм отчета.

Для предварительной оценки запасов полибромдифениловых эфиров (комерческого октабромдифенилового эфира – к-октаБДЭ и коммерческого пентабромдифенилового эфира – к-пентаБДЭ) использованы подходы, рекомендованные руководствами ЮНЕП/ЮНИДО [8, 9, 12]. При этом запасы к-октаБДЭ оценивались в составе АБС-пластика телевизоров и мониторов с электронно-лучевыми трубками (ЭЛТ), запасы к-пентаБДЭ – в составе пенополиуретановых изделий транспортных средств, используемых в Беларуси. Принималось, что содержание к-октаБДЭ в полимерных материалах телевизоров составляет 2,54 кг/т, в мониторах – 0,87 кг/т, средний вес телевизора – 31,6 кг, монитора – 14 кг, доля пластика – 30 % [8, 9]. Для оценки количества телевизоров и мониторов использованы данные Национального комитета статистики и анализа [6], а также результаты выборочного обследования домашних хозяйств. Фактической основой расчетов возможного объема к-пентаБДЭ в составе транспортных средств явились преимущественно данные Белтехосмотра (по состоянию на 2010 г.), содержащие информацию по маркам транспортных средств и году производства. Согласно [12], к-пентаБДЭ может содержаться примерно в 50 % легковых и грузовых автомобилей, произведенных в США в период с 1976 по 2004 г. и в 5 % автомобилей, произведенных в других зарубежных странах.

Исходными данными для анализа возможности применения в Беларуси пестицидов, относящихся к новым СОЗ, и оценки современной ситуации с их обращением явился перечень зарегистрированных средств защиты растений [2, 4], а также данные ГУ «Главная государственная инспекция по семеноводству, карантину и защите растений» за период с 1990 по 2013 г. и КУП «Комплекс по переработке и захоронению токсичных промышленных отходов Гомельской области».

Результаты предварительной инвентаризации новых СОЗ

В соответствии с ТКП 17.11-06-2012 осуществлялась инвентаризация химических препаратов на основе гексабромдифенила, тетрабромдифенилового эфира и пентабромдифенилового эфира (комерческого пентабромдифенилового эфира), гексабромдифенилового эфира и гептабромдифенилового эфира (комерческого октабромдифенилового эфира), перфтороктановой сульфоновой кислоты, ее солей и перфтороктанового сульфонилфторида и/или продукции и отходов, содержащих указанные соединения.

Всего по состоянию на 01.12.2013 г. получено 478 ответов, в том числе 97 официальных

писем и 371 Акт инвентаризации СОЗ. Предварительной инвентаризацией охвачены предприятия следующих министерств/ведомств: Министерство транспорта и коммуникаций – 99 предприятий (в т. ч. Белорусская железная дорога – 81, Департамент «Белавтодор» – 12), Госкомвоенпром – 20, Концерн «Беллегпром» – 37, Концерн «Беллесбумпром» – 23, Концерн «Белнефтехим» – 28, Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь – 18, Министерство промышленности Республики Беларусь – 60, Министерство связи и информатизации – 27, Министерство энергетики Республики Беларусь – 90, Управление Делами Президента Республики Беларусь – 21, Прочие – 44. 9 предприятий, некоторые были выполнена рассылка запросов, ликвидированы.

В табл. 1 представлены сводные данные о результатах предварительной инвентаризации новых СОЗ в Беларуси. Согласно информации, предоставленной предприятиями, в стране отсутствует производство препаратов на основе полибромдифениловых эфиров и ПФОС. Ниже проанализированы данные, представленные предприятиями, которые рассматривались как потенциальные пользователи новых СОЗ и/или продукции, содержащей новые СОЗ.

К-пентаБДЭ. Исследования показали, что в производственных процессах, в том числе при производстве пенополиуретана, на предприятиях Беларуси не используются антипарены на основе к-пентаБДЭ. На ряде предприятий возможно использование готовых материалов/изделий, содержащих к-пентаБДЭ (имеется в виду также пенополиуретан или другие полимерные материалы). Однако прямых или косвенных данных, подтверждающих наличие к-пентаБДЭ в материалах, не приводятся. Так, большинство мебельных предприятий отметили, что при производстве мягкой мебели используется пенополиуретан (поролон) производства Беларуси, России, реже – других стран. В перечне производителей и поставщиков указаны ООО «Европласт», ООО «БелфомКомплект» и «Элиттекстиль» (Россия) и ООО «Белорганика» (Беларусь).

На 4-х предприятиях выявлено 9 легковых автомобилей, произведенных в США до 2005 г., в которых возможно содержится к-пентаБДЭ, согласно [12]. Сведения об отходах, содержащих к-пента БДЭ, представили 4 предприятия, однако данные ошибочны и/или информация требует уточнения.

В целом, согласно результатам предварительной инвентаризации, в Беларуси не выявлено полиуретановой пены, средств огнезащиты и других материалов/изделий, содержащих к-пентаБДЭ.

К-октаБДЭ. Установлено, что, как и к-пентаБДЭ, антипарены на основе к-октаБДЭ не используются в производственном процессе на

предприятиях Беларуси. Материалы/изделия, потенциально содержащие к-октаБДЭ, возможно используются на ряде предприятий, однако информация нуждается в уточнении (5 предприя-

тий представили информацию, однако данные, подтверждающие наличие к-октаБДЭ в материалах, не приводятся; имеются ошибки в заполнении таблицы).

Таблица 1. Результаты предварительной инвентаризации новых СОЗ

Наименование СОЗ	Сектор/процесс/характер использования СОЗ	Результаты инвентаризации	Примечание
Гексабромдифе-нил	Транспортные средства, потенциально содержащие гексабромдифенил	Не выявлены	-
Тетрабромдифе-ниловый эфир и пентабромдифе-ниловый эфир (коммерческий пентабромдифе-ниловый эфир) – к-пентаБДЭ	Производство к-пентаБДЭ	Не выявлено	-
	Использование к-пентаБДЭ	Не выявлено	-
	Использование материалов/изделий, потенциально содержащих к-пентаБДЭ	Возможно используются (11 ответов)	Информация требует уточнения
	Транспортные средства, потенциально содержащие материалы/изделия с к-пентаБДЭ	Имеются (16 ответов)	В 12-ти актах информации требует уточнения
	Отходы, содержащие к-пента БДЭ	Возможно имеются (4 ответа)	Информация требует уточнения
Гексабромдифе-ниловый эфир и гептабромдифе-ниловый эфир (коммерческий октабромдифе-ниловый эфир) – к-октаБДЭ	Производство к-октаБДЭ	Не выявлено	-
	Использование к-октаБДЭ	Не выявлено	-
	Использование материалов/изделий, потенциально содержащих к-октаБДЭ	Возможно используются (5 ответов)	Информация требует уточнения
	Использование/хранение электронных и электротехнических приборов/изделий, потенциально содержащих к-октаБДЭ	Имеются (258 ответов)	Данные достоверны
	Отходы, содержащие к-октаБДЭ	Возможно имеются (3 ответа)	Информация требует уточнения
Перфтороктано-вая сульфоновая кислота, ее соли и перфтороктановый сульфонилфторид (ПФОС)	Производство ПФОС	Не выявлено	-
	Использование ПФОС при производстве химических препаратов	Не выявлено	-
	Использование ПФОС или химических препаратов, содержащих ПФОС, в технологических процессах	Возможно используются (1 ответ)	Информация требует уточнения
	Использование ПФОС или химических препаратов, потенциально содержащих ПФОС, в технологических процессах	Возможно используются (3 ответа)	Данные ошибочны
	Использование/хранение пленкообразующих пенообразователей, содержащих ПФОС	Возможно имеются (1 ответ)	Информация требует уточнения
	Использование/хранение пленкообразующих пенообразователей, потенциально содержащих ПФОС	Возможно имеются (1 ответ)	Информация требует уточнения
	Использование/хранение авиационных гидравлических жидкостей, потенциально содержащих ПФОС	Не выявлены	-
	Запасы ПФОС и материалов/жидкостей, потенциально содержащих ПФОС, утративших потребительские свойства/устаревших	Не выявлены	-
	Отходы, содержащие ПФОС	Не выявлены	-

Согласно результатам инвентаризации, при производстве электронного оборудования используется АБС-пластик, полистирол и полiamидные полимеры, которые поставляются ОАО «Белхим», ОДО «Фторотекс», ОАО «Гродноазот» (производители не конкретизированы). На ряде предприятий используется АБС пластик производства Российской Федерации (ОАО «Нижнекамскнефтехим»). В одном случае в качестве производителя указана южнокорейская фирма KUMHO.

При проведении инвентаризации новых СОЗ, на большинстве предприятий были учтены телевизоры и мониторы с электронно-лучевыми трубками (ЭЛТ) (пластик данного оборудования, согласно [12], содержит к-октаБДЭ). Всего 258 предприятий представили информацию о марках такого оборудования и годах их производства. Общее количество телевизоров с ЭЛТ составило 1805 шт., мониторов с ЭЛТ – 10 493 шт. В среднем на одно предприятие/организацию приходится 22 монитора и 3,8 телевизора (указанные данные

использованы в последующем для оценки запасов к-октабДЭ в данном оборудовании).

Сведения об отходах, содержащих к-октабДЭ, предоставили 3 предприятия, однако данные требуют уточнения. Следует отметить, что наиболее вероятная категория отходов, содержащая к-октабДЭ – пластик телевизоров и мониторов с ЭЛТ. В Классификаторе отходов (2010) имеется лишь общая категория отходов («Оргтехника, утратившая свои потребительские свойства»; код 9120201); в последующем потребуется внесение дополнений с учетом требований Стокгольмской конвенции о СОЗ.

ПФОС. На данном этапе не выявлены предприятия и производственные процессы, где применяются ПФОС или препараты, их содержащие. Согласно полученным данным, при нанесении покрытий на металл, при производстве тканей, ковров, обработке кожи, бумаги используются химические препараты, не содержащие ПФОС. Предприятие по производству пленкообразующих пенообразователей (ООО «Спландор») указало, что в технологическом процессе не используются ПФОС.

Анализ представленных Актов инвентаризации и писем позволяет сделать заключение, что в Беларуси используется фторсодержащий пленкообразующий пенообразователь «Барьер пленкообразующий», однако содержание в нем ПФОС пока не подтверждено. Основные пользователи – предприятия, где имеются значительные запасы нефтепродуктов (информация получена с 7-ми предприятий); общий выявленный объем пенообразователя «Барьер пленкообразующий» – около 38 т.

Всего информацию об использовании различных пленкообразующих пенообразователей

представили 28 предприятий, на которых в основном используются пенообразователи общего назначения (ПО-6К, ПО-6СК, ТЭАС и др.), произведенные в Беларуси или в России.

Не выявлено авиационных гидравлических жидкостей, содержащих или потенциально содержащих ПФОС. По данным инвентаризации, на предприятиях не числятся запасы ПФОС и материалов/жидкостей, потенциально содержащих ПФОС, утративших потребительские свойства/устаревших на предприятиях Беларуси, также как и отходы.

Оценка запасов полибромдифениловых эфиров в готовых изделиях

Оценка запасов к-октабДЭ в составе АБС-пластика телевизоров и мониторов с ЭЛТ. Исследования показали, что в Беларуси в среднем на одного человека приходится: телевизоров с ЭЛТ – 0,29 ед./человека, мониторов с ЭЛТ – 0,05 ед./человека. Для сравнения отметим, что суммарное количество устройств с ЭЛТ в зарубежных странах составляет (ед./человека): в странах Латинской Америки – 0,36, Азии – 0,17, Африки – 0,08–0,19, в Швейцарии – 0,28. Общее количество телевизоров с ЭЛТ, использующихся в Беларуси, ориентировочно оценивается в 2837 тыс. ед., из которых более 95 % приходится на долю населения. Общее количество мониторов с ЭЛТ составляет примерно 1008,8 тыс. ед., на долю населения приходится немногим менее половины общего количества (47 %).

Расчеты показали, что в телевизорах и мониторах с ЭЛТ может содержаться примерно 72,0 т коммерческого октабромдифенилового эфира. Распределение запасов к-октабДЭ по группам гомологов, которые представлены в его составе, приведено в табл. 2.

Таблица 2. Запасы гомологов ПБДЭ, содержащихся в полимерах телевизоров и мониторов, т

Гомологи	Доля гомологов в к-октабДЭ, % [12]	В телевизорах с ЭЛТ	В мониторах с ЭЛТ	Всего
ГексабДЭ	11	7,5	0,4	7,9
ГептабДЭ	43	29,4	1,6	31,0
ОктабДЭ	35	23,9	1,3	25,2
НонабДЭ	10	6,8	0,4	7,2
ДекабДЭ	1	0,7	0,04	0,74
Всего	100	68,3	3,74	72,04

Объем пластика в телевизорах и мониторах с электронно-лучевыми трубками оценивается в 31 тыс. т (пока не учтены другие категории электронного и электротехнического оборудования, которые могут содержать к-октабДЭ: копировальная техника, принтеры, телефоны, бытовые приборы).

Оценка запасов к-пентабДЭ в транспортных средствах показала, что в составе пенополиуретановых и пластиковых изделий автомобилей, произведенных до 2005 г. и используемых в Беларуси, может быть примерно 26,7 т

к-пентабДЭ. При этом в автомобилях, произведенных в США, может содержаться около 9 т к-пентабДЭ, в автомобилях, произведенных в других зарубежных странах, – 17,6 т. Основное количество к-пентабДЭ содержится в пенополиуретане легковых автомобилей – 93 % от общих оцененных запасов. Объем пенополиуретана, содержащегося в автомобилях, произведенных в США до 2005 г., оценивается в 1,8 тыс. т; данная величина может рассматриваться в качестве базовой при разработке стратегии обращения с отходами, содержащими к-пентабДЭ.

Хлорорганические пестициды, относящиеся к новым СОЗ

Анализ имеющихся материалов показал, что новые СОЗ содержатся в следующих пестицидах:

- Гаммагексан (20 % линдана и 30 % гексахлорбензола), фентиурам (15 % линдана), тигам (тирам + 20 % линдана), меркургексан (20 % линдана), ГХЦГ (11–18 % линдана; 62 % – альфа-ГХГ и 8,5 % бета-ГХГ);

- Пентатиурам (23 % квинтоцена + тирам), Квинтоцен (пентахлорбензол);

- Мирекс, Келефан, Кепон, Кюрлон (все содержат хлордекон; доля неизвестна).

Согласно Государственного реестра, в перечне пестицидов, разрешенных для применения в Беларуси, нет препаратов, содержащих СОЗ [2].

Пестициды, содержащие новые СОЗ, применялись в Беларуси до 2005 г. (табл. 3).

Таблица 3. Объемы применения новых СОЗ или пестицидов, их содержащих, в Беларуси за период с 1990 по 2005 г., т

Название пестицида	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Гексахлорбензол	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ГХЦГ	0,19	2,66	0,14	0,07	0,01	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Пентатиурам	7,32	4,46	0,34	2,73	3,98	1,9	0	4,8	1,1	0,74	0,15	0,14	0	0	0,03	0
Тигам	5,2	1,02	0	0	1,22	0,72	0,25	0,15	0,46	0,2	0,24	0,37	0	0,05	0	0,06
Фентиурам	-	-	-	0,59	-	0,07	0	11,9	4,76	4,39	0,79	0,3	0,11	0,07	0,05	0,04
Всего	12,78	8,14	0,48	3,39	5,21	2,76	0,25	16,8	6,32	5,33	1,18	0,81	0,11	0,12	0,08	0,1

Всего за период с 1990 по 2005 гг. в Беларуси использовано 63,87 т пестицидов, относящихся к СОЗ или их содержащих. Среди используемых пестицидов выделяются пентатиурам (содержащий пентахлорбензол) и фентиурам (содержащий линдан), объемы использования которых составили 27,7 и 23,3 т соответственно. С 2006 г. ни один из препаратов, указанных выше, не применялся.

Из общего объема непригодных пестицидов, которые хранятся на складах сельскохозяйственных предприятий, по состоянию на 01.01.2013 г., 3,3 т относятся к новым СОЗ (или содержат их). Имеется также 45,8 т неизвестных пестицидов и 618,0 т смесей пестицидов. В общем количестве пестицидов, содержащих новые СОЗ, преобладает фентиурам (2,7 т). Таким образом, 0,1 % пестицидов на хранении содержат новые СОЗ и около 22 % могут содержать новые СОЗ.

Наибольшие запасы непригодных пестицидов, содержащих новые СОЗ, находятся на КУП «Комплекс по переработке и захоронению токсичных промышленных отходов Гомельской области». По состоянию на начало 2013 г. здесь насчитывалось 36,6 т пестицидов, содержащих новые СОЗ, а также 597 т неизвестных пестицидов и 1400 т пестицидов, извлеченных из захоронений и также потенциально содержащих СОЗ.

Заключение

Полученные первые результаты, касающиеся использования новых СОЗ в Беларуси или их запасов, являются информационной основой разработки стратегий и планов действий по экологически безопасному обращению с материалами/изделиями и отходами, содержащими но-

вые СОЗ, и, соответственно, по выполнению международных обязательств по Стокгольмской конвенции о СОЗ. Для повышения точности и надежности данных о СОЗ потребуются дополнительные исследования и продолжение инвентаризации с вовлечением более широкого перечня предприятий – потенциальных пользователей новых СОЗ. При этом необходимо проведение специальных семинаров, посвященных проблеме выявления и инвентаризации новых СОЗ.

Опыт зарубежных стран, а также выполненные собственные исследования позволяют заключить, что существует ряд объективных причин, затрудняющих идентификацию новых СОЗ и изделий/отходов, их содержащих. Одна из них – относительно небольшие объемы производства и, соответственно, использования собственно промышленных химикатов на основе новых СОЗ. Например, в 27-ми странах ЕС объемы использования ПФОС в середине 2000-х годов оцениваются примерно в 7 тонн; это означает, что в отдельных странах их потребление может составлять килограммы [18]. Выявление таких объемов препаратов – весьма кропотливая работа. Вторая причина – сложность идентификации промежуточной продукции, в первую очередь АБС-пластика, пенополиуретана, вторичного пластика, возможно содержащих ПБДЭ, и большого перечня химических препаратов, потенциально содержащих ПФОС. Кроме того, поскольку отсутствуют маркеры готовых изделий (телефизоров, мониторов, другой офисной техники, транспортных средств и т. д.), содержащих СОЗ, все они могут рассматриваться только как потен-

циально содержащие СОЗ. В этой связи актуальным представляется развитие химико-аналитической базы для определения содержания новых СОЗ в химических препаратах и компонентах природной среды. Необходимо создание потенциала для определения содержания полибромдифениловых эфиров и/или брома в полимерных изделиях.

Поскольку основную угрозу с точки зрения поступления опасных химикатов в окружающую среду представляют готовые изделия и отходы, в которые они превращаются по истечении срока эксплуатации, требуется совершенствование системы учета отходов, включая обновление классификатора отходов.

Литература

1. **Анализ** сфер применения химических веществ, дополнительно включенных в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ, и проблемы их идентификации / Т. И. Кухарчик [и др.] / Природопользование. 2012. Вып. 23. С. 125–133.
2. **Государственный реестр** средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь. Справочное издание / Л. В. Плешко [и др.]. Минск. 2011.
3. **Доклад** Конференции Сторон Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях о работе ее шестого совещания // Конференция Сторон Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях. Шестое совещание. Женева, 28 апреля – 10 мая 2013 года. UNEP/POPS/COP.6/33.
4. **Дополнение** к государственному реестру средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь (Утверждено Советом по пестицидам и удобрениям Государственного учреждения «Главная государственная инспекция по семеноводству, карантину и защите растений» / Постановление от 15 ноября 2011 г.). 2011.
5. **Методические** рекомендации по выявлению и оценке запасов химических веществ, дополнительно включенных в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ / Т. И. Кухарчик [и др.]. Государственное научное учреждение «Институт природопользования Национальной академии наук Беларусь». Минск, 2013.
6. **Статистический** ежегодник Республики Беларусь / Министерство статистики и анализа Республики Беларусь. Минск, 2013.
7. **Стокгольмская** конвенция о стойких органических загрязнителях с поправками, внесенными в 2009 году. Текст и приложения. 2009.
8. **Case Study in a Hypothetical Country A on POP-PBDEs in the Transport Sector.** UNEP, UNIDO, UNITAR. 2012.
9. **Case Study on Inventory of PBDEs in Electrical and Electronic Equipment (EEE) and Related Waste (WEEE).** UNEP, UNIDO, UNITAR. 2012.
10. **Dorian** Carloni. Perfluoroctane Sulfonate (PFOS). Production and Use: Past and Current Evidence / Prepared for UNIDO. 2009.
11. **Guidance for the Inventory of Perfluoroctane Sulfonic Acid (PFOS) and related Chemicals under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants.** UNEP, UNIDO, UNITAR. 2012.
12. **Guidance for the Inventory of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) Listed under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants.** UNEP, UNIDO, UNITAR. 2012.
13. <http://chm.pops.int/TheConvention/>.
14. <http://ewasteguide.info/ewaste/case-studies>.
15. **OECD** (2002). Cooperation on existing chemicals, Hazard assessment of Perfluoroctane Sulfonate (PFOS) and its salts, ENV/JM/RD(2002)17/FINAL.
16. **Perfluoroctane** Sulfonate – Risk reduction strategy and analysis of advantages and drawbacks, Final Report prepared for Department for Environment, Food and Rural Affairs and the Environment Agency for England and Wales. RPA & BRE, Risk & Policy Analysts Limited in association with BRE Environment. 2004.
17. **SCHER**, 2005. Opinion on «RPA's report «Perfluoroctane Sulphonates Risk reduction strategy and analysis of advantages and drawbacks» / European Commission Health & Consumer Protection Directorate-General. Directorate C – Public Health and Risk Assessment. C7 – Risk assessment. Scientific Committee on Health and Environmental Risks.
18. **Study** on waste related issues of newly listed POPs and candidate POPs/ FINAL REPORT // Service request under the framework contract No ENV.G.4/FRA/2007/0066. 2011.
19. **Substance** Flow Analysis of PFOS and PFOA. Buser Andreas, Morf Leo 2009: Perfluorinated surfactants perfluoroctanesulfonate (PFOS) and perfluoroctanoic acid (PFOA) in Switzerland. Environmental studies no. 0922. Federal Office for the Environment, Bern.
20. **UNEP** 2010. Technical review of the implications of recycling commercial penta and octabromodiphenyl ethers. Stockholm Convention document for 6th POP Reviewing Committee meeting (UNEP/POPs/PORC.6/INF/6). 2010.

T. I. Кухарчик, С. В. Какарека, Т. Л. Лапко, М. И. Козыренко

**ВЫЯВЛЕНИЕ И ОЦЕНКА ЗАПАСОВ НОВЫХ СТОЙКИХ
ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В БЕЛАРУСИ:
ПОДХОДЫ, РЕЗУЛЬТАТЫ, ПРОБЛЕМЫ**

Приведены методические подходы и результаты выполненной в Беларуси первой инвентаризации химических веществ, дополнительно включенных в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ в 2009 г. Проанализирована информация, представленная потенциальными пользователями промышленных химикатов на основе новых СОЗ. Показано, что по данным инвентаризации, в Беларуси не производятся и не используются промышленные химикаты на основе коммерческого октабромдифенилового эфира, коммерческого пентабромдифенилового эфира и перфтороктановых сульфонатов.

Приведены расчетные данные запасов коммерческого октабромдифенилового эфира в составе полимерных изделий телевизоров и мониторов с электронно-лучевой трубкой и коммерческого пентабромдифенилового эфира в составе пенополиуретана транспортных средств.

Проанализированы данные об объемах использования и хранения в стране пестицидов на основе новых СОЗ. Приведен перечень пестицидов, содержащих новые СОЗ, и объемы их использования в Беларуси с 1990 по 2005 г. Показано, что основные объемы устаревших пестицидов, содержащих новые СОЗ, находятся на полигоне опасных отходов в Гомельской области.

Обсуждаются проблемы идентификации продукции/отходов, содержащих новые СОЗ, и необходимые первоочередные меры для уточнения и детализации полученных данных.

T. I. Kukharchyk, S. V. Kakareka, T. L. Lapko, M. I. Kazyrenko

**IDENTIFICATION AND ASSESSMENT OF SUBSTANCES, INCLUDED
ADDITIONALLY INTO THE STOCKHOLM CONVENTION
ON POPs, IN BELARUS:APPROACHES, RESULTS, PROBLEMS**

The methodological approaches and the results of the first inventory of substances, included additionally into the Stockholm Convention on POPs in 2009, in Belarus are given. The information from potential users of commercial chemicals on the basis of new POPs is analyzed. It has been shown that according to the results of the inventory none of commercial chemicals on the basis of commercial octabromodiphenyl ether, pentabromodiphenyl ether and perfluorooctane sulfonic acids, its salts and perfluorooctanesulfonyl fluoride is produced in Belarus.

The estimated data on stock of commercial octabromodiphenyl ether in polymeric products of CRT TV-sets and monitors and commercial pentabromodiphenyl ether in polyurethane foam of vehicles are given.

The data on volumes of use and storage of pesticides on the basis of new POPs in the country are analyzed. The list of pesticides with new POPs and volumes of their use in Belarus in 1990–2005 is given. It is shown that the greatest amounts of the pesticides with new POPs are stored on the toxic waste dump in Gomel region.

The problems of product/waste with new POPs identification and necessary immediate measures for specification and detailed elaboration of the received data are discussed.

УДК 551.3 (476)

А. В. Матвеев

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЯВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Приводятся расчеты интенсивности наиболее распространенных видов современных экзогенных геологических процессов и экзогенной геодинамики в целом. Показано, что ее проявления приводят к перемещению материала (отложений) массой от 15–40 т/км²/год до 1200 т/км²/год (локально до 2100 т/км²/год). По этим данным установлено, что ежегодная денудация земной поверхности на большей части страны не превышает 0,05 мм (при колебании значений 0,02–1,1 мм).

Начиная со второй половины XX столетия, заметно возрос интерес к проблемам современной геодинамики. Это вызвано тем, что геодинамические процессы активно воздействуют на среду обитания человека, устойчивость инженерных сооружений, формирование некоторых типов отложений (торфа, сапропелей, стройматериалов и др.), которые используются при хозяйственной деятельности. В то же время необходимо отметить, что понятие «современный» трактуется по-разному. К этому возрастному периоду чаще всего относят этапы продолжительностью от первых сотен лет (время проведения инструментальной регистрации проявления процессов) и до 10–11 тыс. лет [14]. Более того, при выделении активных разломов учитываемый возрастной диапазон может возрастать до 400 тыс. лет [15]. В связи с этим, естественно, характеризуя особенности проявления современной геодинамики, следует подчеркивать в каких именно хронологических рубежах исследуются процессы. В представленной публикации к современным отнесены проявления экзогенной геодинамики примерно в течение последних 15–20 тыс. лет. Данный этап начинается с позднеледникового (на крайнем севере Республики Беларусь) и несколько ранее на территории южнее границы поозерского оледенения. Рассматриваемый возрастной интервал характеризуется примерно одинаковыми условиями проявления геологических процессов. При этом следует подчеркнуть, что, учитывая особенности процессов и наличие фактических данных, приводимые ниже расчеты интенсивности эрозии водотоков, суффозии, карста, накопления торфа, озерных отложений оценивались в среднем за все послеледниковые, а для других процессов – выполнялись для этапов, измеряемых от одного года (плоскостная эрозия) до 30 лет (пыльные бури).

Особенности проявления различных видов экзогенной геодинамики на территории Республики Беларусь достаточно подробно охарактери-

зованы в многочисленных публикациях [4–6, 9–11, 14, 16]. Однако картирование процессов, оценка их интенсивности, как правило, проводились по различным методикам и параметрам. Каждой-либо общепринятой величины, позволяющей сопоставлять различные виды геодинамики не существует [7]. В то же время необходимо подчеркнуть, что при решении ряда теоретических и прикладных проблем (построение картографической модели современной геодинамики; обоснование схем рационального размещения сельскохозяйственного и промышленного производства; геоэкологическое районирование и т. д.) интегральная оценка экзогенной геодинамики является весьма полезной. Именно для получения такой интегральной оценки предлагается использовать количество (массу) материала (отложений), перемещаемого в среднем различными экзогенными процессами в течение года и выражаемого в тоннах с площади 1 км². Однако необходимо отметить, что в малоподвижных средах (седиментация в водоемах, накопление торфа и др.) понятие «перемещенные отложения» является довольно условным, так как при превращении отмершей растительности в торф, осаждении различного материала в водоемах собственно перемещение происходит на незначительную величину. Измерение скорости процесса в этих случаях сводится к простым расчетам, исходя из мощности отложений и времени их формирования.

Для получения количественных характеристик других проявлений экзогенной геодинамики требуются более сложные подходы, причем основное внимание уделяется только перемещению материала, так как его накопление, которое может осуществляться на значительных площадях, иногда даже за пределами района (региона) исследований, связано со снижением энергии соответствующего процесса (водного, воздушного, гравитационного) и не может использоваться в качестве обобщенной характеристики интенсивности процесса.

Для картирования количественных оценок экзогенных процессов с учетом масштаба проводимых работ (1:500 000) и наличия фактического материала вся территория страны была разбита на систему из 553 квадратов площадью 400 км² каждый. В пределах этих квадратов рассчитывались средние значения интенсивности проявления отдельных видов геодинамики. Эти величины относились к центрам квадратов и по ним строились соответствующие карты, а на заключительном этапе для каждого квадрата суммировались все полученные величины и составлялась итоговая карта интегральной оценки экзогенной геодинамики в тоннах на квадратный километр в год.

На территории Республики Беларусь наиболее широко представлены такие виды экзогенной геодинамики, как плоскостная и линейная эрозия временных водотоков, эрозия рек, дефляция, суффозия, карст, озерная и болотная седimentация, подземная химическая денудация.

Для оценки интенсивности плоскостного смыва временными водотоками (делявиальных процессов) использовалась составленная ранее карта смыва со склонов [14]. На этой карте показано, что основной снос материала на территории региона в основном варьирует в интервале 1–6 мм/год (единично до 10–11 мм/год). Для перевода данных значений в тонны на квадратный километр в год использовались данные по плотности отложений, приводимые в работе [3]. Из публикации следует, что плотность песков разного состава и генезиса составляет 1,6–1,9 г/см³, моренных супесей и суглинков 2,1–2,2, озерно-ледниковых суглинков и глин 1,9–2,1, озерных сапропелей, супесей, алевритов, суглинков 1,05–2,0, лессовидных супесей и суглинков 1,5–1,9 и торфа – 0,3–1 г/см³.

В связи с тем, что плоскостная эрозия проявляется только на распахиваемых землях, при расчете переноса материала учитывался процент этих земель в различных районах страны, который колеблется, по данным [2], в основном от 10–15 до 50–55 %. Кроме того, для получения окончательной величины делявиального смыва вводилась поправка, которая рассчитывалась, исходя из того, что выделенные на среднемасштабных картах контуры проявления процессов являются в значительной степени обобщенными. При сопоставлении с топокартами более крупных масштабов оказывается, что внутри этих контуров выделяются участки достаточно расположенного рельефа, на которых плоскостной смыв не происходит. Доля таких участков в выделенных квадратах по проведенным измерениям варьирует от 0,1 до 1,0, в среднем составляя 0,6. С учетом перечисленных поправок установлено, что на территории государства интенсивность делявиального смы-

ва в основном варьирует от 0 до 1000 т/км²/год (единично до 1400–1800 т/км²/год). Общие особенности распределения данной величины по площади показаны на рис. 1, а.

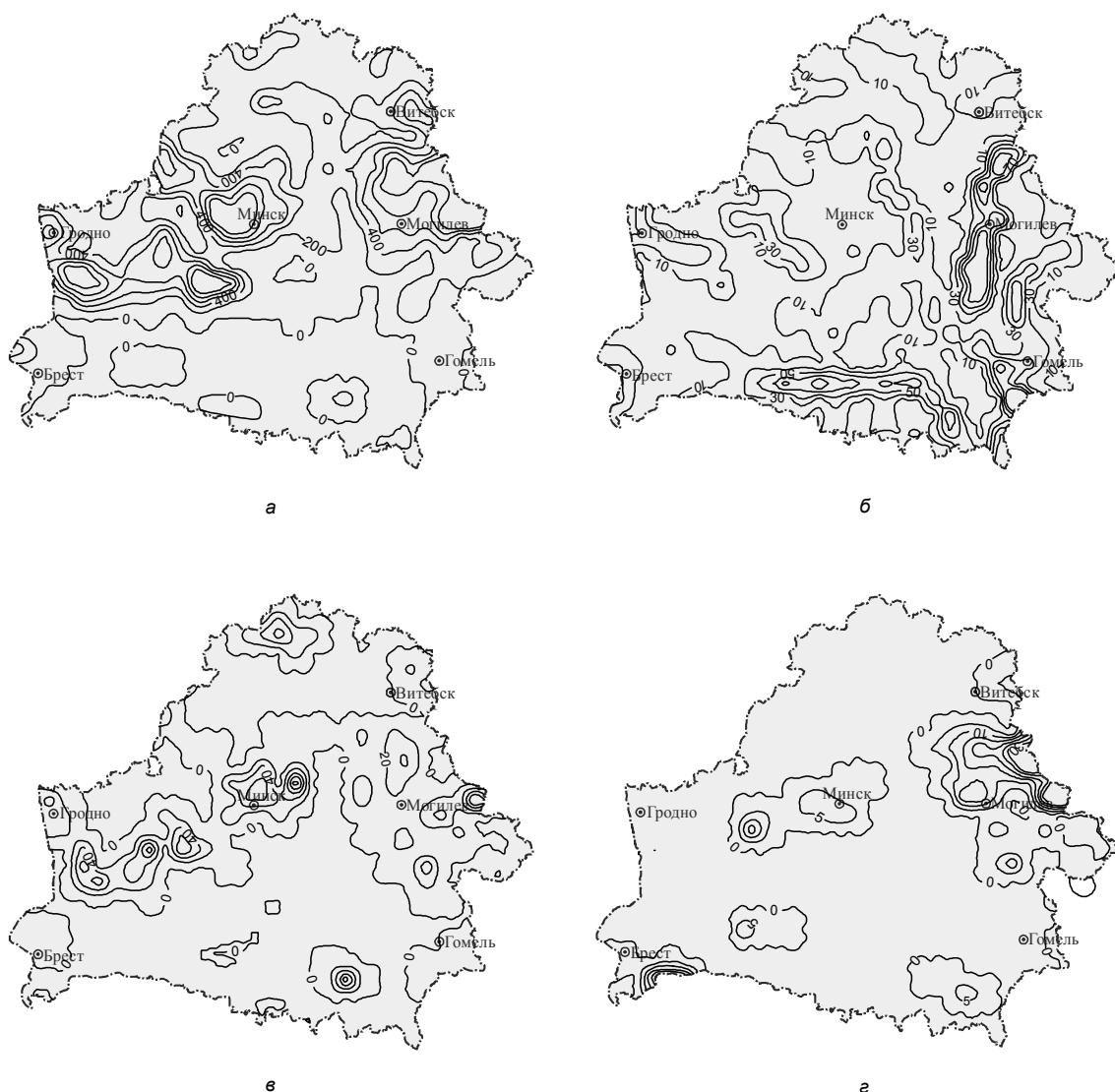
Оценка интенсивности эрозионных процессов в речных долинах осуществлялась по бассейнам наиболее крупных рек (Зап. Двины, Немана, Днепра, Березины, Сожа, Припяти, Зап. Буга). Для этой оценки использовались общие объемы эродированного материала при выработке долин, которые рассчитывались, исходя из ширины, длины и глубины вреза водотоков. По опубликованным данным [14], они для Немана составляют $1,9 \cdot 10^9$ м³, Днепра – $70 \cdot 10^9$, Березины – $29 \cdot 10^9$, Сожа – $31 \cdot 10^9$ и Припяти – $44 \cdot 10^9$ м³. Кроме того, были дополнительно уточнены объемы выработанных долин Зап. Двины ($14 \cdot 10^9$ м³) и Зап. Буга ($9,5 \cdot 10^9$ м³). Аналогичным образом оценивались параметры притоков первого, второго и третьего порядков, варьирующие соответственно в интервалах $(0,9–35) \cdot 10^9$ м³, $(0,5–17) \cdot 10^9$ и $0,3 \cdot 10^9$ м³.

Данные объемы, разделенные на длину водотоков на территории региона и время формирования пойм и надпойменных террас, позволили определить средний снос материала реками в тоннах на квадратный километр в год. Полученные величины колеблются для наиболее крупных рек от 1600 (Зап. Двина) до 9000 (Днепр) т/км²/год. Для притоков первого, второго и третьего порядков составляют 800–4000 т/км²/год, 400–1400 и около 200 т/км²/год. Более мелкие водотоки не анализировались, так как их долины невелики и не могут заметно повлиять на общую оценку переноса материала реками. При пересчете полученных значений на площадь квадратов установлено, что интенсивность эрозии постоянных водотоков на территории Республики Беларусь варьирует в основном от 10 до 90 т/км²/год (единично до 130–140 т/км²/год). Распределение этого показателя на территории страны представлено на рис. 1, б.

Для расчета эрозионной деятельности овражно-балочных систем проводились определения их параметров в процессе полевых работ, по топографическим картам, учитывались также материалы [10]. Обобщение данных, полученных из разных источников, позволило оценить средние значения длины, ширины и глубины рассматриваемых эрозионных форм, составившие соответственно 1 км, 30 м и 8 м. Кроме того, оконтурены площади проявления овражно-балочной эрозии и установлена густота расчленения этой территории. Затем определено, что при выработке одного усредненного эрозионного вреза вынос отложений составляет 48 т/год. Используя данную величину, оценивался снос по всем площадям распространения оврагов, варьирующий в основном в интервале 5–50 т/км²/год,

изредка до $75\text{--}125 \text{ т}/\text{км}^2/\text{год}$ (рис. 1, в). Примерно по такой же методике были установлены значения выноса материала при проявлении суффозионных процессов (одна западина, воронка – $1,8 \text{ т}/\text{год}$) и карста (одна воронка – $2 \text{ т}/\text{год}$). При формировании карстовых озерных котловин интенсивность выщелачивания оценивается $900 \text{ т}/\text{км}^2/\text{год}$. Количество суффозионных форм, развитых в зонах распространения лессовидных отложений, колеблется от нескольких до $70\text{--}80$ западин на 1 км^2 [6]. Карстовые воронки, сформи-

ровавшиеся на площадях близкповерхностного залегания меловых пород, встречаются, по данным полевых наблюдений, в количествах от 1–3 до $10\text{--}20$ на 1 км^2 . Площади карстовых озерных котловин, распространенных в юго-западной части страны, составляют в основном $0,2\text{--}0,5 \text{ км}^2$ (до $3,2 \text{ км}^2$). С учетом приведенных данных установлено, что объем перемещаемых отложений при проявлении суффозионно-карстовых процессов, составляет от 5 до $50 \text{ т}/\text{км}^2/\text{год}$ (рис. 1, г).



**Рис. 1. Интенсивность проявления эрозии временных плоскостных потоков (а),
эрозии постоянных (б) и временных (в) линейных водотоков,
суффозионно-карстовых процессов (г), $\text{т}/\text{км}^2/\text{год}$**

При оценке переноса материала дефляционными процессами основное внимание уделялось пыльным бурям, так как объемы перевеваемых отложений при так называемой «повседневной» дефляции измеряются около $1 \text{ т}/\text{год}$, проявляются локально и не могут существенно влиять на общую оценку ветровой эрозии.

Для характеристики проявления пыльных бурь учитывались ранее выполненные картографические построения и данные из публикаций [4, 15, 16, 19]. Обобщение этих материалов позволило получить следующие возможные (скорее, максимальные) параметры дефляционного сноса на площадях слабой ($400 \text{ т}/\text{км}^2/\text{год}$),

средней ($1000 \text{ т}/\text{км}^2/\text{год}$) и высокой ($1500 \text{ т}/\text{км}^2/\text{год}$) интенсивности. Для получения более реальных объемов переноса материала экстремальными видами дефляционных процессов по всей территории их проявления необходимо учитывать повторяемость пыльных бурь на конкретной территории, площади земель, на которых наиболее вероятно развитие этих процессов. В работах [15, 16] анализируются данные метеонаблюдений по 34 станциям примерно за 30-летний период. По представленным материалам вероятность пыльных бурь сильной, средней и слабой интенсивности в течение одного года в среднем по всем пунктам наблюдения составляет соответственно 4 %, 11 % и 18 %. Кроме того, естественно предположить, что развитие этих процессов происходит главным образом на пахотных землях, на которые приходится в среднем около 30 % всей площади региона [2], и прежде всего, на песчаных и торфяных почвах, доля которых в составе земель сельскохозяйственного

использования также равна 30 % [13]. С учетом этих данных можно рассчитать, что при проявлении пыльных бурь слабой, средней и высокой интенсивности в среднем с небольшим округлением перенос материала оценивается в $7,0 \text{ т}/\text{км}^2/\text{год}$, $9,0$ и $6,0 \text{ т}/\text{км}^2/\text{год}$. Особенности территориального распределения рассматриваемого показателя приведены на рис. 2, а.

Интенсивность накопления озерных и болотных отложений, как отмечалось выше, оценивалась по их мощности и времени формирования, которые устанавливались по данным [1, 5, 8, 11, 17, 18]. В результате проведенных расчетов интенсивность озерной седиментации измеряется в среднем $100 \text{ т}/\text{км}^2/\text{год}$, накопление торфа – $100 \text{ т}/\text{км}^2/\text{год}$. Распределение интенсивности этих процессов по площади показано на рис. 2, б и 2, в.

Довольно значительные объемы вещества перемещаются в процессе подземной химической денудации. По материалам [9], интенсивность выщелачивания подземными водами измеряется в основном от 5 до $30 \text{ т}/\text{км}^2/\text{год}$ (рис. 2, г).

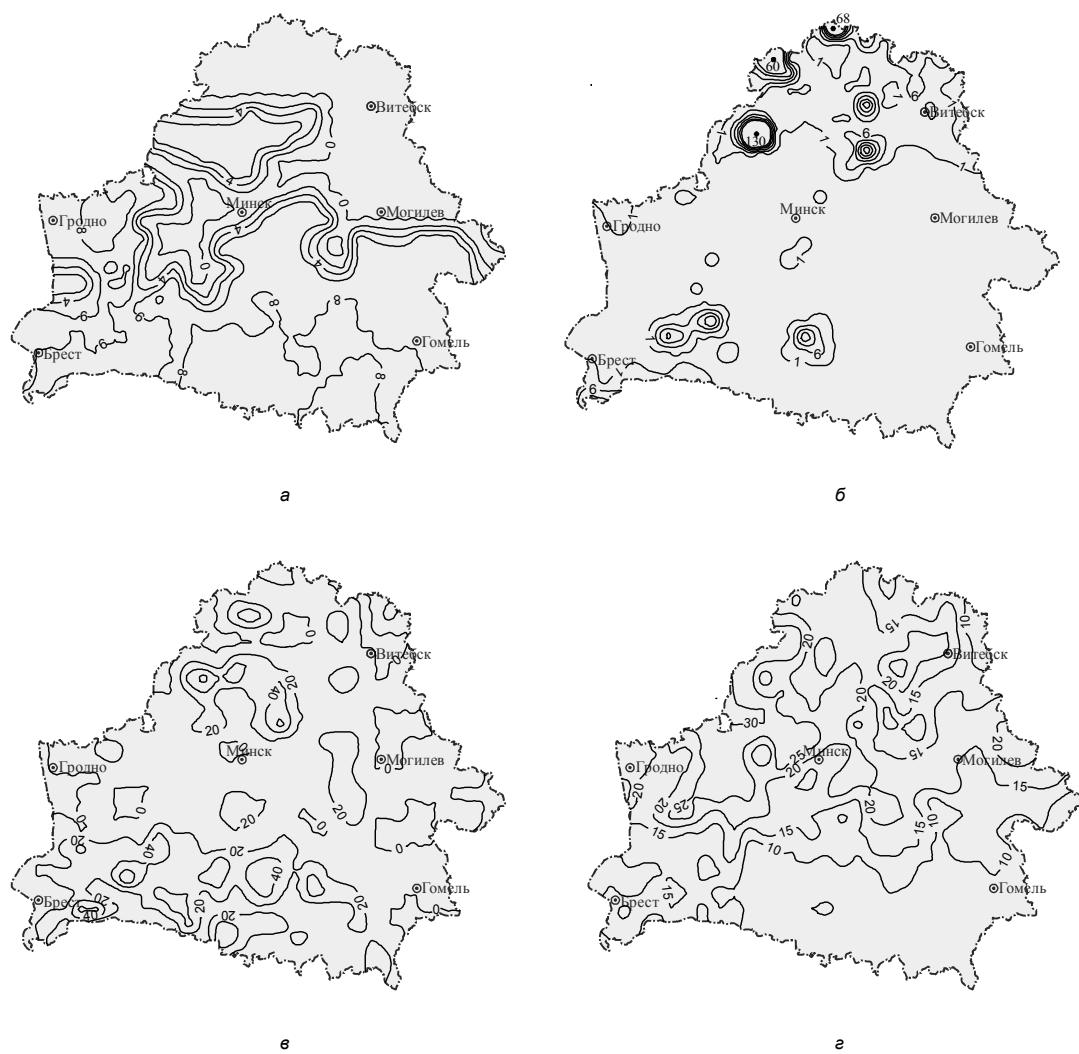


Рис. 2. Интенсивность проявления экстремальной дефляции (а), озерной седиментации (б), накопления торфа (в), химической денудации (г), $\text{т}/\text{км}^2/\text{год}$

Довольно значительные объемы отложений теоретически могут перемещаться при проявлении такого вида гравитационных процессов, как крип. На склонах круче 8–10° скорость ежегодного сползания материала составляет в среднем 3–5 мм/год, причем в движение вовлекается слой отложений мощностью около 0,5 м. Однако, имея ввиду, что эти смещения установлены только на наиболее крутых склонах, которые характерны примерно для 2–3 % территории Беларуси [12], а также тот факт, что направления движения могут меняться от года к году, реально оценить объем переносимого материала не представилось возможным, тем более, что каких-либо видимых перестроек рельефа (отложений) при проявлении крипа в основном не происходит.

В послепедниковое время в преобразовании рельефа (отложений) принимали участие и некоторые другие экзогенные процессы (осадконакопление в искусственных водоемах, обвалы, осыпи, оползни, криогенные процессы), но их до-

ля в общем объеме перемещаемого материала не может превышать 1–2 %, поэтому, учитывая сложный характер расчета интенсивности этих процессов, их количественная характеристика не проводилась и не учитывалась в интегральной оценке экзогенной геодинамики.

После обобщения (суммирования) приведенных выше расчетов была получена интегральная характеристика интенсивности проявления современных экзогенных геологических процессов. Ее значения варьируют преимущественно в интервале от 100 до 1200 т/км²/год (при максимальных величинах до 1900–2100 т/км²/год и при минимальных – около 15–40 т/км²/год). Площадное распределение этого показателя показано на рис. 3. Приведенные значения (рис. 3) позволили рассчитать современную денудацию земной поверхности, оцениваемую на большей части территории 0,05 мм/год при колебании от 0,02 до 0,6 мм/год (локально до 1,1 мм/год).

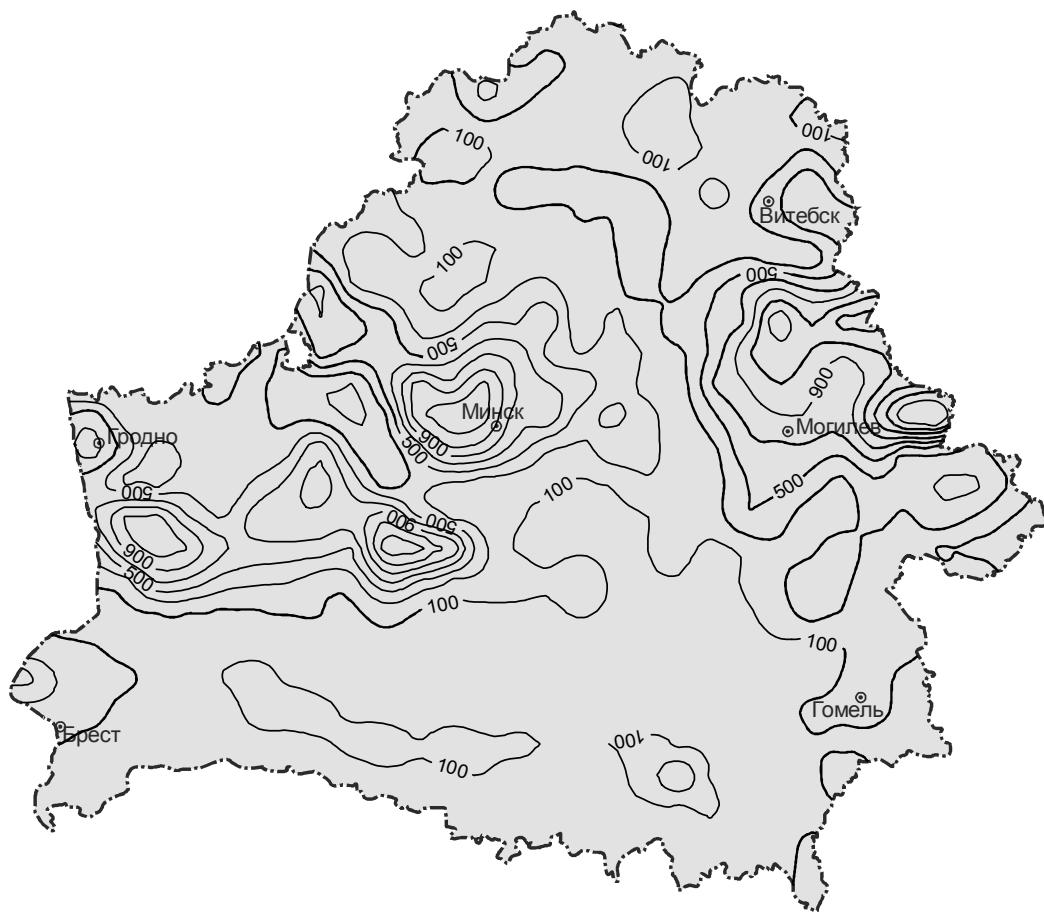


Рис. 3. Интегральная оценка интенсивности проявления современных экзогенных процессов, т/км²/год

Максимальные значения интегральной оценки интенсивности экзогенной геодинамики и денудации земной поверхности приурочены к центральной части страны, где расположены

грандиозные комплексы краевых ледниковых образований (максимальные отметки и колебания высот земной поверхности), основные площади лессовидных отложений, широко представлены

гляциодислокации, при формировании которых в толще четвертичных отложений внедрялись значительные по объему блоки (пласти) меловых и девонских карбонатных пород, иногда образующих даже выходы на земную поверхность. Кроме того, четвертичные отложения на этой территории преимущественно подстилаются меловыми породами, которые в восточной части страны залегают вблизи земной поверхности. Распространение в центральной части страны легкоразмываемых и выщелачиваемых отложений и пород (мела, лессовидных супесей и суглинков), большие перепады высот вызвали активное протекание здесь различных видов эрозии, суффозии и карста, которые и обусловили максимальные для территории Республики Беларусь величины интегральной оценки проявления экзогенных процессов.

Заключение

1. Для получения интегральной оценки проявления экзогенной геодинамики использовался такой показатель, как масса (в тоннах) материала (отложений), перемещаемого в течение года с площади 1 км².

2. Картирование данной характеристики с учетом масштаба работ и наличия фактического материала проводилось по квадратам площадью 400 км². Для этих квадратов рассчитывались значения интенсивности отдельных видов экзогенных процессов, а затем полученные величины суммировались и по ним строилась схема интегральной оценки проявления экзогенной геодинамики.

3. Основной вклад в интегральную оценку проявления экзогенных процессов вносят плоскостная и линейная эрозия временных и постоянных водотоков, дефляция, суффозия, карст, накопление озерных и болотных отложений, подземная химическая денудация.

4. Параметры, характеризующие интенсивность отдельных видов экзогенной геодинамики на площадях их проявления, варьируют в основном в следующих пределах: плоскостной смыв – 100–800 т/км²/год, речная эрозия – 10–90, овражно-балочная эрозия – 5–75, суффозия и карст – 5–50, экстремальная дефляция (пыльные бури) – 6–9, озерная седиментация – 1–11, формирование торфяных залежей – 10–30, подземная химическая денудация – 5–30 т/км²/год. В сумме на эти процессы приходится около 98 % всего материала, перемещаемого в процессе экзогенной геодинамики.

5. Интегральная оценка интенсивности проявления современных экзогенных процессов изменяется на территории страны от 15–40 до 1200 т/км²/год (на локальных площадях до 1900–2100 т/км²/год). С использованием вышеуказанных данных рассчитана современная денудация земной поверхности, значения которой в основном колеблются от 0,02 до 0,05 мм/год, но в центральной части страны могут достигать 0,6–1,1 мм/год.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Х13-20).

Литература

1. Бамбалов, Н. Н. Торф / Н.Н. Бамбалов [и др.] // Полезные ископаемые Беларуси. Минск, 2002. С. 182–194.
2. Бубен, І. І. Сельскагаспадарчае асваенне зямель. М 1:2 000 000 / І. І. Бубен, А. М. Далянкоў // Нацыянальны атлас Беларусі. Мінск, 2002. С. 104.
3. Галкин, А. Н. Инженерная геология Беларуси // А. Н. Галкин, А. В. Матвеев, В. Г. Жогло. Витебск, 2006.
4. Жилко, В. В. Ветровая эрозия почв и борьба с ней / В. В. Жилко, Л. М. Ярошевич // Проблемы Полесья. 1974. Вып. 3. С. 94–111.
5. Жуховицкая, А. Л. Озерный седиментогенез в голоцене Беларуси: геохимические и биологические аспекты / А. Л. Жуховицкая [и др.]. Минск, 1998.
6. Корсакова, О. П. Геоморфологическая роль суффозии в лессовых породах Беларуси : автореф. дис. ... канд. геогр. наук / О. П. Корсакова. М., 1990.
7. Кукал, З. Скорость геологических процессов / З. Кукал. Москва, 1987.
8. Курзо, Б. В. Сапропель / Б. В. Курзо // Полезные ископаемые Беларуси. Минск, 2002. С. 305–316.
9. Махнач, Н. А. Подземная химическая денудация на территории Беларуси / Н. А. Махнач, А. В. Матвеев // Весці НАН Беларусі. Серыя хімічных наукаў. 2009. № 1. С. 72–75.
10. Павловский, А. К. Закономерности проявления эрозионных процессов на территории Беларуси / А. К. Павловский. Минск, 1994. 106 с.
11. Пидопличко, А. П. Торфяные месторождения Белоруссии / А. П. Пидопличко. Минск, 1961. 160 с.
12. Сачок, Г. І. Стромкасць схілаў рэльефу. М 1:3 000 000 / Г. І. Сачок, М. А. Шышонак // Нацыянальны атлас Беларусі. Мінск, 2002. С. 65.
13. Смеян, М. І. Грануламетрычны састаў глебаў. М 1:3 000 000 / М. І. Смеян, Г. С. Цыtron, Л. І. Шыбул // Нацыянальны атлас Беларусі. Мінск, 2002. С. 103.

14. Современная динамика рельефа Белоруссии : под ред. Б. Н. Гурского, А. В. Матвеева. Минск, 1991.
15. Чижиков, Ю. А. Районирование территории Беларуси по степени вероятности экстремального проявления ветровой эрозии / Ю. А. Чижиков // Доклады НАН Беларуси. 1999. Т. 43, № 1. С. 99–101.
16. Чижиков, Ю. А. Особенности проявления экстремальной дефляции на территории Беларуси / Ю. А. Чижиков // Доклады НАН Беларуси. 2004. Т. 48, № 3. С. 97–98.
17. Якушко, О. Ф. Белорусское Поозерье. История развития и современное состояние озер Северной Белоруссии / О. Ф. Якушко. Минск, 1971.
18. Якушко, О. Ф. Озероведение. География озер Белоруссии / О. Ф. Якушко. Минск, 1981.
19. Ярошевич, Л. М. Экологические проблемы эрозии почв в Полесье / Л. М. Ярошевич, Ю. И. Кришталь // Проблемы Полесья. 1991. Вып. 14. С. 153–171.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 28.01.2014 г.

A. V. Matveev

**ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЯВЛЕНИЯ
СОВРЕМЕННЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

Приводится оценка интенсивности наиболее распространенных видов современных экзогенных геологических процессов и экзогенной геодинамики в целом на территории Республики Беларусь. Рассчитана суммарная величина перемещения материала (отложений) при проявлении этих процессов, которая варьирует от 15–40 до 1200 т/км²/год (на локальных площадях до 1900–2100 т/км²/год). Установлено, что современная денудация земной поверхности на большей части страны не превышает 0,05 мм/год (колебания значений от 0,02 до 1,1 мм/год). Максимальные величины интегральной оценки экзогенной геодинамики и денудационного среза земной поверхности приурочены к центральной части страны, что обусловлено развитием здесь наиболее грандиозных краевых ледниковых образований (максимальных отмечок земной поверхности), легкоразываемых и выщелачиваемых лессовидных отложений и залегающих местами на небольшой глубине меловых пород.

A. V. Matveyev

**THE INTEGRAL EVALUATION FEATURES OF DISPLAYS OF
MODERN EXOGENOUS PROCESSES ON THE TERRITORY OF BELARUS**

The estimation of the intensity of the most common types of modern exogenous processes and exogenous geodynamics in general in the Republic of Belarus is providing. The total amount of displacement of material (sediments) while the manifestation of these processes, which varies from 15–40 to 1200 t/km²/god (in local areas to t/km²/god 1900–2100) has been calculated. It has been found that modern denudation of the earth's surface over most of the country does not exceed 0.05 mm/year (range of values from 0.02 to 1.1 mm/year). Maximum values of integral evaluation of exogenous geodynamics and denudation cut of the earth's surface which is confined to the central part of the country, due to the development of the most huge here glacial boundaries (maximum marks of the earth's surface), easily washed and leached loess deposits and places lying in shallow water Cretaceous rocks.

УДК 502.174 : 662.331 (476)

**Л. С. Лис, Т. И. Макаренко, В. Б. Кунцевич, С. Т. Мультан, Т. Я. Кашинская,
Л. П. Калилец, Н. В. Шевченко**

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭФФЕКТИВНОГО ОСВОЕНИЯ ТОРФЯНЫХ РЕСУРСОВ ГРОДНЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье анализируются новые задачи и современные подходы к освоению торфяных ресурсов Беларуси. Приводятся результаты обоснования и предложения по новому составу целевых фондов для административных районов Гродненской области, которые являются частью нового нормативного документа «Схема рационального использования торфяных месторождений и охраны торфяных болот Республики Беларусь на период до 2030 г.».

Торфяные ресурсы Республики Беларусь в прошедшие времена сыграли важную роль в развитии ее экономики. В довоенные годы и после войны они использовались как топливо, которое в энергетическом балансе страны занимало до 60 % [6]. В последующие годы использование торфяного топлива постепенно снижалось благодаря появлению других видов, но в 50–60-е годы прошлого столетия значительно увеличилось использование торфяных месторождений в качестве сельскохозяйственных земель после проведенной мелиорации. Использование в сельскохозяйственном направлении осушенных земель (более 1200 тыс. га) имело большое значение в увеличении производимой продукции [1]. Однако к концу 90-х гг. XX в. добыча торфа резко снизилась [12].

В нынешних условиях при становлении рыночной экономики основная задача состоит в существенном повышении эффективности освоения природных ресурсов, что в значительной степени касается и торфяных. Ряд директивных и нормативных распорядительных документов ставит новые задачи: увеличить выработку тепловой и электрической энергии за счет местных видов топлива, повысить эффективность использования торфа в сельском хозяйстве, развить производства по комплексной глубокой переработке торфа с получением нетрадиционной продукции многоцелевого назначения [3, 5, 10, 11].

Для организации производств по выпуску новой научноемкой продукции, а это широкий спектр органических и органо-минеральных удобрений, мелиоративных и удобрительных смесей, грунтов, биостимуляторов, ростовых веществ, кормовых добавок и другой продукции для сельского хозяйства, а также сорбционных материалов, красителей, ингибиторов коррозии металлов, торфощелочных реагентов, литейных и антиадгезионных составов для промышленных целей необходим дифференцированный подбор специфического торфяного сырья, причем такие производства относятся к малотоннажным и ресурсосберегающим [2, 7, 15]. Однако для реализации данных производств потребуются дополнительные объемы добычи торфа. Принимая во вни-

мание, что все крупные месторождения распределены по целевым фондам, очевидно: для решения поставленных задач необходимо пересмотреть и доработать критерии выделения торфяных месторождений по новым целевым фондам, уточнить современное состояние и использование торфяных месторождений и на этой основе произвести перераспределение оставшихся запасов торфа. При этом необходимо исходить из важности и остроты проблемы обеспечения республики местными видами топлива и органическими удобрениями при обязательном сохранении стабильности природной среды [4, 8, 9, 14].

Решение стоящих задач связано в первую очередь с проведением масштабной инвентаризации торфяного фонда на основе системного анализа торфяных месторождений по всем административным районам республики с использованием многочисленной информации о каждом из них, а также его роли в природной территориальной системе и потребности региона в освоении этого ресурса. Важнейшим элементом такого анализа являются существующие и доработанные критерии отнесения торфяных месторождений в целевые фонды. Особой доработке подверглись критерии выделения объектов в природоохраненный и разрабатываемый фонды: первый – в связи с возрастающими требованиями экологизации производств и значительным расширением нормативной базы в области охраны окружающей среды; второй – в связи со специфическими требованиями отдельной продукции комплексной глубокой переработки к качественным характеристикам и свойствам торфяного сырья.

Работа по распределению торфяных месторождений по эффективным направлениям использования является исходным материалом для разработки нового нормативного документа «Схема рационального использования торфяных месторождений и охраны торфяных болот Республики Беларусь на период до 2030 г.». По поручению Совета Министров Республики Беларусь этот документ разрабатывается в рамках Государственной научно-технической программы «Природные ресурсы и окружающая среда», подпрограммы 1 «Природные ресурсы и их ком-

плексное использование». Заказчик – Национальная академия наук Беларусь. Исполнители – Институт природопользования НАН Беларусь и НПЦ по биоресурсам НАН Беларусь. В качестве софинансирования для выполнения работ выделена международная техническая помощь ПРООН в Республике Беларусь.

При выполнении работы использовались данные кадастрового справочника «Торфяной фонд Белорусской ССР», картографические и архивные материалы, результаты ранее проведенных экспедиционных обследований, материалы районных землеустроительных, лесотехнических и природоохранных служб.

В настоящее время разработан проект «Схемы...» для Гродненской области. Структурно в него входят следующие основные разделы:

- анализ существующих и перспективных направлений использования торфяных ресурсов;
- характеристика торфяного фонда Гродненской области;
- современное состояние, использование и основные качественные характеристики торфяных месторождений области;
- предложения по распределению торфяных ресурсов в каждом административном районе по целевым фондам.

Дополнительно для каждого района составлены карты-схемы торфяных месторождений площадью в нулевых границах не менее 10 га с указанием их фондовой принадлежности.

Базовой точкой отсчета запасов торфа явились данные, утвержденные в предыдущей «Схеме...» по состоянию на 01.01.1988 г. Существующее значение оставшихся торфяных ресурсов по состоянию на 01.01.2013 г. получено расчетным путем. В данном случае учитывались прирост торфа, если месторождение находилось в естественном состоянии, или же его убыль за счет потерь органического вещества в результате осушения массива и его сельскохозяйственного использования. Учитывалось также количество добытого торфа предприятиями ГПО «Белтопгаз» и бывшими организациями Белсельхозхимии за период с 1988 по 2013 г. Необходимо отметить, что в последнем случае, начиная с 90-х годов прошлого столетия, объемы добычи торфа резко сократились и составили, согласно полученной информации, около 20 % от проектных данных, предусмотренных ранее разработанной «Схемой...».

В системе ГПО «Белтопгаз» разрабатываемый фонд области уменьшился до 11,4 млн т в 2013 г. По сравнению с 30,5 млн т в 1988 г. В предлагаемом варианте указанный фонд приведен как дополнительный к существующему и равен 29 млн т.

Следует отметить, что в Гродненской области в неиспользуемом фонде (в проекте – «не-

распределенном») осталось незначительное количество месторождений, пригодных по уточненным критериям для их отнесения в разрабатываемый, поэтому в проекте «Схемы...» предлагается пополнять его также в единичных случаях за счет территорий, находящихся в земельном фонде. Отнесение месторождения (или его части) в разрабатываемый фонд не означает его обязательного освоения, а свидетельствует о том, что по своим качественным и количественным показателям рассматриваемое торфяное месторождение соответствует критериям указанного фонда. Принятие решения о разработке массива произойдет в случае потребности конкретного региона в торфяной продукции и согласования всех вопросов по отводу земель в установленном порядке.

Природоохранный фонд области в 1990 г. составлял 11 171 га (6,9 % от всего торфяного фонда). В дальнейшем он интенсивно пополнялся за счет создания заказников различного назначения и в настоящее время равен 14 961 га. В предлагаемом варианте, в соответствии с разработанными ГНПО «НПЦ НАН Беларусь по биоресурсам» критериями природоохранной значимости торфяных месторождений, площадь последних в указанном фонде должна составить к 2030 г. 18 235 га (11,3 %).

Запасной фонд торфяных ресурсов области представлен торфом, пригодным для получения лечебных грязей, и составляет 140 тыс. т [13]. Это месторождения «Студенец» (кадастровый номер 48) и «Полонечко» (кадастровый номер 90), расположенные соответственно в Сморгонском и Ивьевском районах.

Для выполнения задач по эффективному использованию торфяных ресурсов на перспективу необходимо иметь данные по распределению имеющихся запасов торфа по целевым фондам в настоящее время.

На рис. 1 показано распределение торфяных ресурсов по целевым фондам (**по площади (а) и запасам (б)**) по состоянию на 01.01.2013 г.

В торфяном фонде области преобладают залежи большой площади (1001–5000 га), по запасам таких 48,7 % (рис. 2, а). В распределении по запасам выделяются интервалы: 1001–5000 тыс. т – 29,2 %, и 10 001–20 000 тыс. т – 27,5 % (рис. 2, б).

Основные запасы сосредоточены в месторождениях с глубиной торфа 1–2 м – 50,1 %, значительна доля залежей с глубиной 2–3 м – 30,1 % и с глубиной 3–4 м – 17,7 % (рис. 2, в).

Распределение запасов торфа по степени разложения близко к нормальному, максимум приходится на интервал 31–35 % – 32,3 %, значительно доля запасов торфа со степенью разложения 36–45 % – 37,7 % (рис. 2, г).

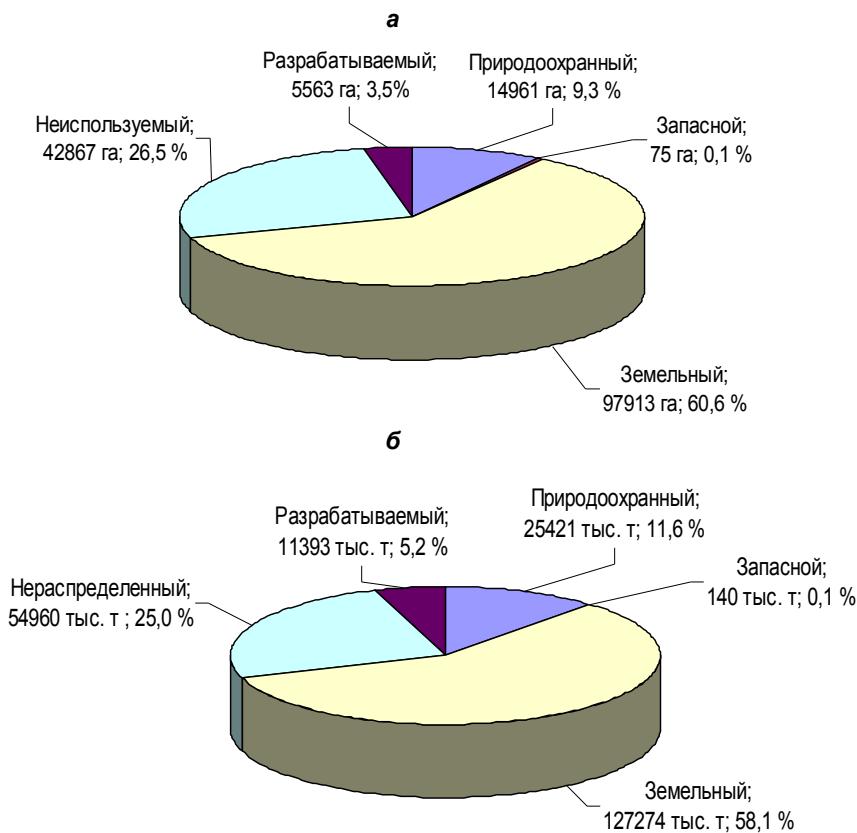


Рис. 1. Структура целевых фондов торфяных ресурсов Гродненской области по площади (а) и запасам (б) по состоянию на 01.01.2013 г.

Распределение по зольности можно охарактеризовать следующим образом: максимум приходится на диапазон 12–20 %, имеются запасы торфа низкозольного: до 3–0,7 % и до 5–2,9 %. Велика доля запасов с зольностью более 25–16,4 % (рис. 2, д).

Определяющими критериями при отнесении месторождения (или его части) в тот или иной фонд являются качественная характеристика торфа (в первую очередь тип, степень разложения, зольность), количественные показатели (запас торфа, глубина залежи, пнистость), потребность региона в торфяной продукции, местоположение массива, его состояние и использование.

По результатам проведенного анализа торфяных месторождений во всех административных районах области с учетом имеющихся и доработанных критериев выбора, а также потребностей регионов в торфяной продукции, разработаны предложения по новому составу целевых фондов, которые составили основу проекта новой «Схемы...».

В качестве примера в табл. 1 приведено предложенное распределение торфяных ресурсов по целевым фондам Лидского района.

В табл. 2 представлено распределение торфяных ресурсов по целевым фондам всей области.

Прогнозируется, что за период до 2030 г. при своевременном отводе площадей геологические запасы торфа в разрабатываемом фонде области могут достичь 40 млн т.

Природоохраный фонд составит 18 235 га.

Земельный фонд по отношению к 2013 г. увеличится на 800 га. В то же время геологические запасы торфа в этом фонде уменьшатся на 15 млн т, что объясняется перераспределением торфяных ресурсов: месторождения, находящиеся в земельном фонде с глубиной залежи 1,3 м и более, при необходимости могут быть переданы в разрабатываемый фонд, а выработанные – пополнят земельный.

Нераспределенный фонд к 2030 г. уменьшится по сравнению с 2013 г. по площади на 12,5 тыс. га и по запасам на 19,5 тыс. т.

Таким образом, разработанный проект нового нормативного документа «Схемы...» в настоящее время подготовлен для согласования с заинтересованными организациями и ведомствами: областным исполнительным комитетом, Минэнерго, Минсельхозпрод, Минприроды, Минлесхоз и Госкомимущество. После этого разработанные совместно с лабораторией биогеохимии ландшафтов и НПЦ НАН Беларусь по биоресурсам по всем областям республики проекты «Схемы...» в 2016 г. будут представлены для рассмотрения в Совет Министров Республики Беларусь.

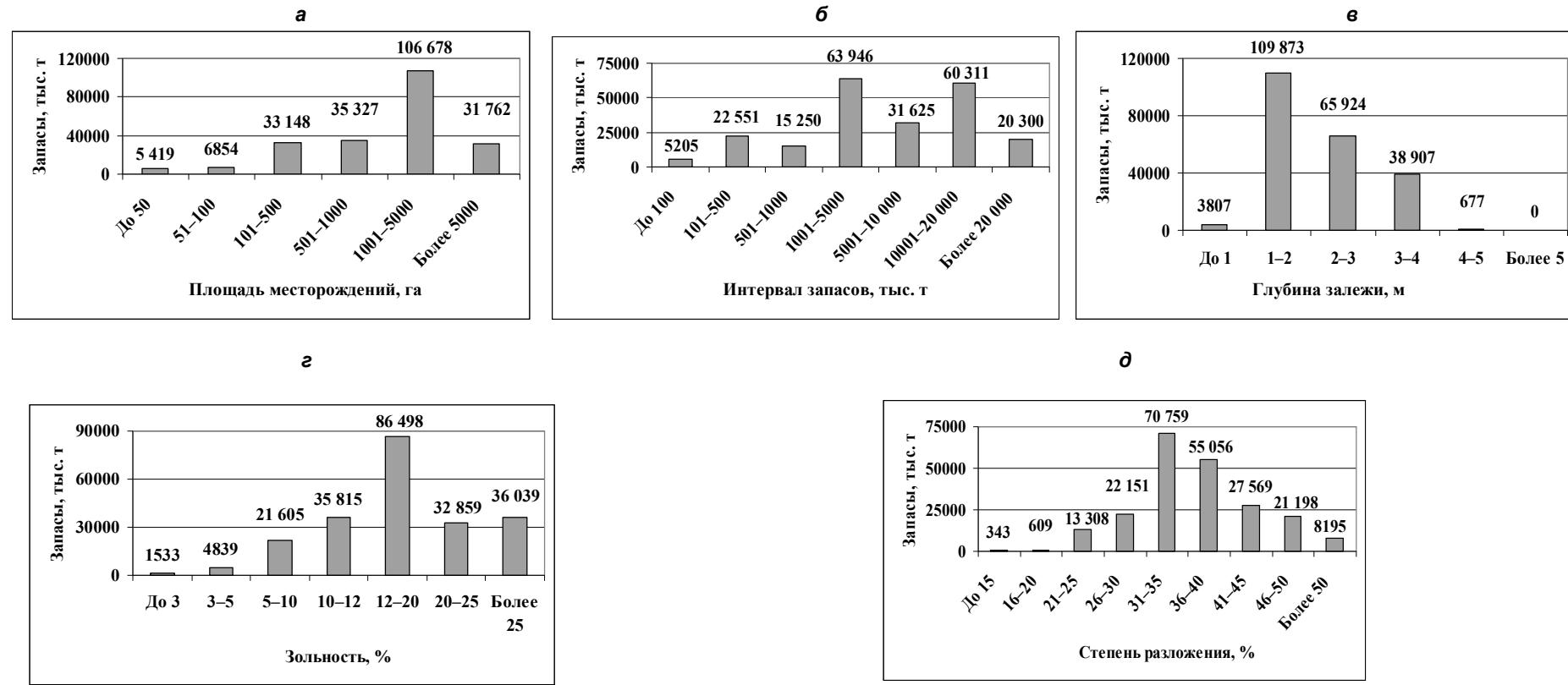


Рис. 2. Гистограммы распределения торфяного фонда Гродненской области по площади месторождений (а), запасам торфа на месторождениях (б), глубине (в), степени разложения (г) и зольности (д)

Таблица 1. Распределение торфяных ресурсов Лидского района по целевым фондам

Кадастровый номер	Наименование торфяного месторождения	По состоянию на 01.01. 2013 г.			Распределение торфяных ресурсов по целевым фондам на период до 2030 г.													
		Площадь в нулевых границах, га	Выработанная площадь торфяных месторождений, га	Оставшиеся запасы торфа, тыс. т	Запасной	Природоохранный	Разрабатываемый	Земельный	Нераспределенный	га	тыс. т	га	тыс. т	га	тыс. т	га	тыс. т	
183	Березина	1307	740	160	—	—	—	—	—	348	43	959	117					
184	Крупка	1071	239	3175	—	—	—	489	2307	457	818	125	50					
185	Диковина	1938	90	7885	—	—	—	518	2267	1104	5412	316	206					
186	Островецкое	212	16	178	—	—	—	—	—	212	178	—	—					
187	Третьяковское	100	—	—	—	—	—	—	—	100	227	—	—					
188	Перепечица	19	19	—	—	—	—	—	—	19	—	—	—					
189	Докудовское	7811	4989	4376	—	—	930	956	1016	2980	4988	134	877	306				
190	Манцевичи	363	60	1486	—	—		160	650	181	836	22	—					
191	В пойме р. Ваверка	766	40	556	—	—	—	—	—	766	556	—	—					
192	Тарновское	274		1055	—	—	274	1055	—	—	—	—	—	—				
193	Поречанское	821	144	3189	—	—	—	293	3100	82	41	46	48					
194	Пальцо	303	81	521	—	—	—			275	473	28	48					
195	Ройста	556	245	529	—	—	—	158	489	271	27	127	13					
196	Остеп	153	50	313	—	—	—					153	313					
197	Хвальковщина	1222	—	—	—	—	—	420	1300			802	1115					
198	Бобровское	412	98	708	—	—	—	—	—	347	708	65	—					
199	Мало-Хомичевское	32	—	—	—	—	—	—	—	32	2	—	—					
200	В пойме р. Лебеда	1364	470	3239	—	—	—	67	190	1007	2185	290	864					
201	Скрибово-Романовцы	127	80	40	—	—	—	—	—	31	10	96	30					
202	Игнатовское	450	143	477	—	—	—	—	—	315	334	135	143					
204	Карпейки	106	25	5	—	—	—	—	—	106	5							
205	Санговское	25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	25	11					
206	В пойме р. Ельня	301	40	318	—	—	—	—	—	244	258	57	60					
207	Белица	14	—	8	—	—	—	—	—	14	8							
208	Перерово	13	—	9	—	—	—	—	—	5	4	8	5					
69	По реке Жижма	1257	82	972	—	—	—	—	—	1257	972							
	Итого	21 017	7651	31 854	—	—	1204	2011	3521	13 283	12 161	13 231	4131	3329				

Таблица 2. Распределение торфяных ресурсов Гродненской области по целевым фондам

Район	По состоянию на 01.01. 2013 г.			Распределение торфяных ресурсов по целевым фондам на период до 2030 г.									
	Площадь в нулевых границах, га	Выработанная площадь торфяных месторождений*, га	Оставшиеся запасы торфа, тыс. т	Запасной		Природоохранный		Разрабатываемый		Земельный		Нераспределенный	
				га	тыс. т	га	тыс. т	га	тыс. т	га	тыс. т	га	тыс. т
Берестовицкий	3218	670	4603	—	—	—	—	349	1211	2143	2311	726	1081
Волковысский	388	122	220	—	—	—	—	—	—	193	88	195	132
Вороновский	16 799	2116	39 898	—	—	634	1871	5500	14 417	7421	17 593	3244	6017
Гродненский	15 220	4680	20 975	—	—	2796	5360	733	2089	9856	11 564	1835	1962
Дятловский	5880	623	2626	—	—	520	529	226	334	3274	1193	1860	570
Зельвенский	8062	1336	5921	—	—	52	16	81	194	7250	5015	679	696
Ивьевский	11 985	1146	11 381	35	85	1661	963	262	310	5367	3875	4695	6233
Кореличский	10 814	1803	18 215	—	—	600	904	408	604	7876	13 630	1930	3077
Лидский	21 017	7651	31 854	—	—	1204	2011	3521	13 283	12 161	13 231	4131	3329
Мостовский	15 556	1713	16 463	—	—	333	417	478	1074	12 650	14 082	2095	890
Новогрудский	13 204	815	16 592	—	—	—	—	552	643	8776	11 194	3876	4755
Островецкий	6302	2005	7202	—	—	197	294	452	291	4962	5045	684	1564
Ошмянский	6786	1603	9036	—	—	522	1503	1072	4280	4399	2834	793	419
Свислочский	4166	345	6534	—	—	2174	4265	—	—	1710	1877	282	392
Слонимский	4407	468	4391	—	—	—	—	224	437	3256	2607	927	1347
Сморгонский	5628	1540	7076	31	55	799	2865	256	827	3751	1985	822	1399
Щучинский	11 947	784	16 201	—	—	6743	10 246	190	442	3671	3943	1343	1570
Итого	161 379	29 420	219 188	66	140	18 235	31 244	14 304	40 436	98 716	112 067	30 117	35 433

* Данные предоставлены лабораторией биогеохимии ландшафтов.

Литература

1. **Бамбалов, Н. Н.** Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения / Н. Н. Бамбалов. Минск, 1984.
2. **Гаврильчик, А. П.** Трансформация свойств торфа при антропогенном воздействии / А. П. Гаврильчик, Т. Я. Кашинская. Минск, 2013.
3. **Государственная** программа «Торф» на 2008–2010 годы и на период до 2020 года. Минск, 2008.
4. **Государственная** программа развития особо охраняемых природных территорий. Указ Президента Республики Беларусь от 6 марта 2008 г. № 146.
5. **Концепция** энергетической безопасности Республики Беларусь от 17 сентября 2007 г. № 433.
6. **Лиштван, И. И.** Проблемы рационального использования и охраны торфяных ресурсов в БССР /и. И. Лиштван. Общество «Знание». Минск, 1985.
7. **Наумова, Г. В.** Торф и продукты его переработки / Г. В. Наумова, А. Э. Томсон. Минск, 2009.
8. **Национальная** стратегия развития и управления системой природоохранных территорий до 1 января 2015 года. Постановление Совета Министров Республики Беларусь, № 1920 от 29 декабря 2007 г.
9. **Об установлении** ограничений на пользование недрами на отдельных участках. Указ Президента Республики Беларусь. 12.01.2007 г. № 563.
10. **Постановление** Совета Министров Республики Беларусь, от 26 декабря 2006 г. № 1726 «Об утверждении плана мероприятий по использованию в республике местных топливно-энергетических ресурсов».
11. **Протокол** заседания Президиума Совета Министров Республики Беларусь о ходе выполнения Государственной программы «Торф» на 2008-2010 годы и на период до 2020 года от 21 апреля 2009 № 13.
12. **Радзевич, Л. Ф.** Торфяной фонд Белорусской ССР и основные направления его охраны и рационального использования / Л. Ф. Радзевич. Сер. 87.51.15. Минск, 1991.
13. **Смирнова, В. В.** Закономерности формирования, ресурсы и качество торфяного сырья Беларуси для получения лечебных грязей : автореф. дис. канд. техн. наук / В. В. Смирнова. Минск, 1993.
14. **Схема** рационального размещения особо охраняемых территорий республиканского значения на период до 2015 года. Постановление Совета Министров Республики Беларусь, № 1919 от 29 декабря 2007 г.
15. **Торфяные** месторождения Республики Беларусь, пригодные для комплексного освоения на ближайшую и отдаленную перспективу. Минск, 2013. С. 114.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 03.03.2014 г.

**Л. С. Лис, Т. И. Макаренко, В. Б. Кунцевич, С. Т. Мультан,
Т. Я. Кашинская, Л. П. Калилец, Н. В. Шевченко**

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭФФЕКТИВНОГО ОСВОЕНИЯ ТОРФЯНЫХ РЕСУРСОВ ГРОДНЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

В свете новых задач по повышению эффективности освоения торфяных ресурсов предложены измененные подходы к выбору направлений их использования. Эти подходы включают проведение оценки современного состояния и использования торфяных месторождений и системную инвентаризацию их по многочисленным показателям вещественного состава и роли в природно-территориальной системе регионов. Важным моментом в данной работе является доработка критериев выделения объектов в природоохранный и разрабатываемый фонды, которые призваны быть решающими в реализации задач на настоящее и перспективное время. Выполнена обобщенная характеристика оставшихся запасов торфяного фонда Гродненской области, включающая динамику изменений составов целевых фондов и закономерности распределения этих запасов по площади, глубине, степени разложения и зольности торфа. С учетом этой информации, а также ряда дополнительных данных (потребность регионов в продукции на основе торфа, местоположению объектов, ограничений по некоторым показателям компонентного и химического составов и т.п.) эксперты путем были разработаны предложения по новому составу целевых фондов вышеуказанной области. На основании такого материала разработан проект нового нормативного документа «Схема рационального использования торфяных месторождений и охраны торфяных болот Республики Беларусь до 2030 года».

*L. S. Lis, T. I. Makarenko, V. B. Kuntsevich, S. T. Myltan,
T. J. Kashinskaja, L. P. Kalilets, N. V. Shevchenko*

**PROSPECT OF THE EFFECTIVE DEVELOPMENT
OF PEAT RESOURCES IN GRODNO REGION**

In the light of new challenges to improve the efficiency of development of peat resources change in the approach to the choice of directions for their use have been proposed. These approaches include an assessment of the current state and the usage of peat deposits and systematic inventory of the numerous indicators of the material composition and the role of natural-territorial system of regions. An important point in this work is a revision of the criteria in the selection of objects and developed environmental funds, which are designed to be crucial in the implementation of tasks on the present and future time. The generalized characteristic of remaining stocks of peat fund Grodno region, including the dynamics of changes in the composition of the trust funds and the patterns of distribution of these stocks on the area, depth, and degree of decomposition of peat ash has been performed. With this information, as well as some additional data (demand regions in the production of peat-based, location, facilities, restrictions on some parameters component and chemical compositions, etc.) have been developed by expert suggestions on the new composition of the trust funds for the above area. On the basis of such material the new normative document «The scheme of rational use and protection of peat deposits of Belarus until 2030» has been developed.

М. И. Струк, Т. Г. Флерко

ИЗМЕНЕНИЯ В СЕЛЬСКОМ РАССЕЛЕНИИ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПРИПЯТСКОГО ПОЛЕСЬЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Рассмотрено влияние изменений в сельском расселении восточной части Припятского Полесья на природопользование. Оценены природно-ландшафтные предпосылки расселения и природопользования. Выявлены особенности трансформации сельского расселения территории, включая динамику численности населения, людности поселений, поголовья крупного рогатого скота в личных хозяйствах и сельскохозяйственных организациях. Определено их воздействие на использование местных природных ресурсов.

Сельское расселение выступает одним из основных факторов, оказывающих влияние на природопользование. Так, сельские населенные пункты, как и города, являются потребителями отдельных видов природных ресурсов, в частности земельных, водных, лесных. Их функционирование сопровождается образованием отходов, которые поступают в окружающую природную среду, создавая опасность ее загрязнения. Кроме этого, в данных населенных пунктах сосредоточены необходимые для природопользования трудовые ресурсы.

Влияние сельских поселений на природопользование зависит прежде всего от их величины и располагаемой ими производственной базы. Обе эти характеристики со временем меняются, что влечет за собой соответствующие изменения в природопользовании.

Вопросам пространственной организации сельского расселения Беларусь и ее трансформации регулярно уделяется внимание в проводимых в стране научных исследованиях. При этом основной упор делается на анализе демографических процессов [1, 5, 7, 14]. Предметом изучения становились также природные факторы концентрации сельского населения, например, плодородие почв [11]. Для отдельных частей страны исследовались ландшафтные условия размещения сельского расселения (Гомельская область) [12] и земельные ресурсы сельских поселений (Поозерский регион) [2, 6].

Отмеченные исследования дают представление об изменениях, происходящих в сельском расселении Беларусь на уровне административных районов. Однако их влияние на природопользование изучено недостаточно. Пока не сложилось достаточно четкого понимания относительно того, как происходящая трансформация сельского расселения сказывается на использовании местных природных ресурсов. Между тем такое понимание необходимо, поскольку именно эти ресурсы относятся к основным факторам социально-экономического развития сельских территорий.

Целью исследования выступила оценка влияния изменений в сельском расселении на природопользование. Для ее достижения решались задачи по оценке природных предпосылок расселения и природопользования на изучаемой

территории, выявлению особенностей сельского расселения и его изменений, влиянию этих изменений на использование местных природных ресурсов.

Объектом изучения явились районы восточной части Припятского Полесья, относящиеся к Гомельской области – Житковичский, Петриковский, Мозырский и Наровлянский. Для всего данного региона в настоящее время реализуется государственная программа социально-экономического развития и комплексного использования природных ресурсов, что обуславливает приоритетность его выбора для исследования.

Природно-ландшафтные предпосылки расселения и природопользования. Восточная часть Припятского Полесья целиком расположена в пределах Полесской ландшафтной провинции. Среди остальных ландшафтных провинций Беларусь эта провинция выделяется более высокой долей низинных ландшафтов речных террас, пойм и болот [4].

Для выявления особенностей ландшафтного строения изучаемой территории использована ландшафтная карта Припятского Полесья М 1 : 200 000, составленная в рамках работ по научному обеспечению Государственной программы социально-экономического развития региона. Всего в ее пределах выделяется 7 типов ландшафтов.

1. *Пойменные низины со старицными озёрами*, плоские, слабонаклонные, местами крупногравийные, заболоченные, сложенные аллювиальными разнозернистыми песками, заиленными супесями и суглинками со злаковыми и злаково-гидромезофитными лугами и дубравами на дерново-глеевых и дерново-заболоченных почвах, разнотравно-злаково-осоковыми и гипновоосоковыми лугами, черноольховыми и пушисто-березово-черноольховыми лесами на торфяных и торфяно-глеевых почвах, сосновыми лесами на песчаных дерново-подзолистых почвах, пахотными землями.

2. *Аллювиальные аккумулятивные низины первой надпойменной террасы*, плоские, местами грядово-холмистые, частично заболоченные, осложненные эоловыми холмами, сложенные средне- и мелкозернистыми песками с широколиственно-сосновыми лесами и дубравами на

дерново-подзолистых глееватых почвах, низинными гипново-осоковыми болотами с черноольховыми и пушисто-березово-черноольховыми лесами на торфяных и торфяно-глеевых почвах, пахотными землями.

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

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

торфяных и торфяно-глеевых почвах и сосновыми лесами на дерново-подзолистых почвах.

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

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

7. Моренные возвышенности, эрозионные грядово-холмистые и холмисто-увалистые с поверхностным залеганием супесей и суглинков валунных, песков с сосновыми лесами на дерново-палево-подзолистых супесчаных и дерново-подзолистых песчаных почвах, пахотными землями.

С помощью построенной карты, рассчитаны площади и доля распространения каждого типа ландшафтов на территории (табл. 1). По своему высотному положению они относятся к низинам, равнинам и возвышенностям. Низинными являются пять типов ландшафтов, равнинными – два и возвышенными – один.

Таблица 1. Ландшафтная структура районов восточной части Припятского Полесья, %

Ландшафт	Район				
	Житковичский	Мозырский	Наровлянский	Петриковский	Всего
Пойменные низины со старичными озерами	12	16	18	12	14
Аллювиальные аккумулятивные низины первой надпойменной террасы	16	4	24	7	12
Аллювиальные аккумулятивные и озерно-аллювиальные эрозионно-аккумулятивные низины второй надпойменной террасы	24	3	21	20	19
Плоские низины с отложениями торфа (болота)	30	8	7	24	20
Водно-ледниковые равнины	16	47	24	36	29
Моренные равнины	2	–	6	1	2
Моренные возвышенности	–	22	–	–	4

Преобладающее положение на всей территории занимают низинные ландшафты, на долю которых приходится 2/3 ее площади. Они же превалируют в трех из четырех районов, и только в Мозырском районе их доля значительно меньше – 31 %.

При оценке природно-ландшафтных предпосылок сельского расселения важно учитывать распространение тех ландшафтов, которые не-пригодны или малопригодны для размещения поселений. К таковым относятся пойменные и болотные ландшафты. Они вместе занимают третью часть всей территории. Этот показатель в 1,3 раза выше, нежели в целом для Полесской ландшафтной провинции, где на их долю прихо-

дится четверть площади. Подобное соотношение свидетельствует о менее благоприятных природно-ландшафтных предпосылках сельского расселения на изучаемой территории. Внутри ее, в соответствии с распространением пойменных и болотных ландшафтов, формируется следующее распределение районов по степени улучшения данных предпосылок: Житковичский – Петриковский – Наровлянский – Мозырский.

Применительно к оценке природно-ландшафтных предпосылок природопользования, особенно в связи с сельским расселением, наиболее существенное значение имеет плодородие почв, отражающее пригодность территории для сельского хозяйства, являющегося ос-

новным занятием сельских жителей. На территории, в которой ведущее положение занимают ландшафты пойм, речных террас, болот, а также водно-ледниковых равнин, представлены преимущественно малоплодородные песчаные почвы. В частности, они занимают 2/3 площади пахотных земель [14]. В связи с этим плодородие данных земель низкое. Так, показатели их бонитета, а также бонитета сельскохозяйственных угодий в пределах всей территории и по каждому из составляющих ее районов ниже, по сравнению

со средними для Гомельской области величинами (табл. 2).

Вместе с тем почвы естественных лугов территории на большей ее части, за исключением Мозырского района, обладают более высоким плодородием, поэтому имеющиеся здесь природно-ландшафтные предпосылки сельскохозяйственного освоения можно оценить как менее благоприятные, а таковые для разведения крупного рогатого скота – более благоприятные по сравнению с Гомельской областью в целом.

Таблица 2. Плодородие почв сельскохозяйственных земель районов восточной части Припятского Полесья и Гомельской области в целом, баллы (по данным [8])

Район	Виды сельскохозяйственных земель			
	Сельскохозяйственные, всего	Пахотные и используемые под постоянные культуры	Луговые улучшенные	Луговые естественные
Житковичский	26,7	30,1	26,1	17,9
Мозырский	24,7	27,6	22,4	16,2
Наровлянский	25,5	27,3	22,8	18,1
Петриковский	23,5	25,8	21,6	17,8
Все районы	25,1	27,7	22,3	17,5
Гомельская область	27,6	30,3	24,9	16,6

Изменения в расселении. Существенные для природопользования изменения в сельском расселении связаны с динамикой численности населения всей территории и составляющих ее районов, его распределения по поселениям различной величины, наличия у них производственной базы. Показатели, характеризующие особенности отмеченных изменений на исследуемой территории, рассмотрены в сравнении с областью в целом. Поскольку динамика численности сельского населения района зависит от величины города – его административного центра, то вначале она рассмотрена совместно с городским населением. Выбран временной интервал с 1990 по 2013 г. На данном интервале социально-экономическое развитие Беларусь осуществлялось в условиях самостоятельного

государства с переходной экономикой.

В динамике численности населения всей территории прослеживается общая для Гомельской области в целом тенденция. Она заключается в снижении количества всего населения за счет сельских жителей и стабилизации городского (табл. 3). Внутри территории сходная направленность и показатели динамики численности населения наблюдаются у Житковичского и Петриковского районов. У каждого из них она снижается применительно ко всему населению, а также сельскому и городскому. Подобное снижение отмечается и в Наровлянском районе, однако здесь его темпы намного выше, особенно по отношению к сельским жителям, причиной чему, очевидно, служит высокий уровень радиоактивного загрязнения этого района.

Таблица 3. Динамика численности населения районов восточной части Припятского Полесья и Гомельской области в целом за 1990 – 2013 гг.

Район / область	Население, тыс. чел.						Проценты 2013 г. к 1990 г.		
	1990 г.			2013 г.			Всего	Городское	Сельское
	Всего	Городское	Сельское	Всего	Городское	Сельское			
Житковичский	52,9	19,8	33,1	38,3	18,6	19,7	72,4	93,9	59,5
Мозырский	125,8	102,4	23,4	130,4	111,4	19,0	103,7	108,8	81,2
Наровлянский	19,9	11,6	8,3	11,0	8,0	3,0	55,3	69,0	36,1
Петриковский	48,9	16,3	32,6	30,8	13,5	17,3	63,0	82,8	53,1
Все районы	247,5	150,1	97,4	210,5	151,5	59,0	85,1	100,9	60,6
Гомельская область	1 662,1	1 074,9	587,2	1 427,7	1 074,1	353,6	85,9	100,0	60,2

Противоположной направленностью характеризуется динамика численности населения Мозырского района, для которого можно выделить две отличительные особенности. Первая из них заключается в росте здесь всего населения, происходящем за счет городских жителей, вторая –

в сравнительно низких темпах снижения количества сельского населения. Если в остальных районах Припятского Полесья и всей Гомельской области оно уменьшилось на 40 % и более, то в указанном районе – только на 19 %. По-видимому, в данном случае проявляется стабилизирующая

роль г. Мозыря, население которого превышает 100 тыс. чел., в силу чего он выступает фактором удержания сельского населения.

В соответствии с общим сокращением количества населения территории, аналогичная динамика имеет место и применительно к отдельным населенным пунктам, затрагивая как городские, так и сельские поселения. Так, из шести городских поселений население уменьшилось у пяти. Среди сельских населенных пунктов сокращение числа жителей коснулось 90 % от их общего количества.

Наряду с показателем численности сельского населения, характеризующим наличие необходимых для природопользования трудовых ресурсов, важными показателями, определяющими интенсивность использования всего природно-ресурсного потенциала территории и отдельно земельных ресурсов, является его общая плотность, а также плотность применительно к сельскохозяйственным угодьям. Первый из приведенных показателей в рассматриваемой части Припятского Полесья несколько ниже, а второй – выше средних для области величин (табл. 4). Подобное их распределение свидетельствует о том, что хотя в целом потенциал трудовых ресурсов сельского населения на рассматриваемой территории меньше по сравнению с областью в целом, но применительно к сельскохозяйственным землям он более высокий.

Таблица 4. Плотность сельского населения и сельских поселений в районах восточной части Припятского Полесья и Гомельской области в целом

Район / область	Плотность сельского населения		Плотность сельских поселений ед./100 км ²
	чел./км ²	чел./100 га сельхозугодий	
Житковичский	7	30	4
Мозырский	12	45	6
Наровлянский	2	14	2
Петриковский	6	20	4
Все районы	7	28	4
Гомельская область	9	26	6

В распределении указанных показателей внутри территории их максимальными значениями выделяется Мозырский район, минимальными Наровлянский. Тем самым прослеживается сходство с динамикой численности сельского населения. Наименьшее его сокращение характерно для района с самой высокой плотностью населения, наибольшее – с самой низкой.

Сельские населенные пункты являются источниками трудовых ресурсов прежде всего для сельского хозяйства, основное средство произ-

водства которого – земли. В районах Гомельской области в 2010 г. в сельском хозяйстве было занято в среднем 17 % сельского населения [9]. На 100 га сельскохозяйственных угодий приходилось примерно пять человек. С течением времени отмечается снижение данного показателя. Так, в 2000 г. он составлял около семи человек. Соответственно за последнее десятилетие количество занятых на 100 га сельскохозяйственных угодий сократилось в 1,35 раза. Сельское же население за этот период снизилось на меньшую величину – в 1,23 раза. Следовательно, со временем происходит уменьшение роли сельских поселений как источников трудовых ресурсов для сельского хозяйства.

С плотностью сельского населения согласуется плотность сельских населенных пунктов. На территории Припятского Полесья она несколько ниже, чем в среднем по Гомельской области (см. табл. 4). Внутри данной территории самый высокий ее показатель отмечается в Мозырском и самый низкий – в Наровлянском районе.

В соответствии с общим сокращением численности сельского населения на рассматриваемой территории происходило также снижение людности преобладающей части сельских населенных пунктов. За период с 1989 г. по 2009 г. оно составило в среднем 43 %, что сопоставимо с областью в целом (табл. 5). В течение указанного периода значительно усилилась контрастность в показателе людности сельских поселений между районами. Различия между его минимальными и максимальными значениями увеличились с 1,2 до 2,3 раза. Более стабильным он оставался в Мозырском районе, где снижение средней людности сельских населенных пунктов составило только 18 %, в то время как в Житковичском и Петриковском – примерно треть, а Наровлянском – две трети от ее величины в 1989 г.

В начале рассматриваемого периода большая часть сельских поселений, имела численность населения свыше 100 человек (табл. 6). На всей территории они составляли 67 %, в отдельных районах – от 62 % (Мозырский) до 75 % (Житковичский). В 2009 г. доля этих поселений снизилась в целом до 42 %. Среди районов только в Житковичском их осталась больше половины (55%), во всех остальных – 33–40 %. Если в 1989 г. ни в одном из районов доля малых сельских населенных пунктов с числом жителей до 20 человек не превышала 6 %, то в 2009 г. почти повсеместно (за исключением Житковичского района) таковая достигла 23–36 %.

Большие сельские поселения с числом жителей свыше 500 человек составляют примерно десятую часть от их общего количества. Вместе с тем в них проживает около половины сельского населения территории в целом и трех из четырех районов, за исключением Наровлянского (табл. 7). Со временем их доля, совместно с до-

лей поселений с числом жителей 101–500 человек, снижается в пользу малых населенных пунктов с числом жителей до 100 человек. Подобное уменьшение для всей территории составило 5,2 % и для районов изменялось от 3,4 % (Мозырский) до 9,9 % (Наровлянский). Тем самым распределение сельского населения по населенным пунктам различной величины становится более равномерным.

Влияние сельских поселений на использование местных природных ресурсов, помимо их

величины, зависит также от располагаемой ими производственной базы. Основой формирования последней выступает крупный рогатый скот. Его количество в населенном пункте определяет, прежде всего, интенсивность потребления ресурсов близлежащей луговой растительности. Кроме этого, от данного количества зависят также объемы образования органических удобрений, внесение которых необходимо для поддержания плодородия почв.

Таблица 5. Динамика средней людности сельских поселений в районах восточной части Припятского Полесья и Гомельской области в целом за 1989–2009 гг.

Район / область	Средняя людность сельских поселений, чел.		2009 г. в процентах к 1989 г.
	1989 г.	2009 г.	
Житковичский	311	207	67
Мозырский	265	218	82
Наровлянский	254	93	37
Петриковский	257	159	62
Все районы	275	182	66
Гомельская область	236	156	66

Таблица 6. Динамика распределения сельских поселений районов восточной части Припятского Полесья по величине за 1989–2009 гг., %

Район / область	Год	Величина сельских поселений, чел.							
		До 10	11–20	21–50	51–100	101–200	201–500	501–1000	Свыше 1000
Житковичский	1999	1	1	6	17	20	34	17	4
	2009	4	7	19	15	26	18	9	2
Мозырский	1999	2	4	20	12	23	26	10	3
	2009	14	13	16	17	10	19	9	2
Наровлянский	1999	–	3	10	18	26	31	8	5
	2009	17	19	17	11	14	22	–	–
Петриковский	1999	2	2	11	22	25	21	14	3
	2009	12	11	26	18	13	9	9	2
Все районы	1999	2	2	12	17	23	27	13	4
	2009	11	11	20	16	16	16	8	2

Таблица 7. Динамика распределения сельского населения районов восточной части Припятского Полесья по поселениям различной величины за 1989–2009 гг., %

Район	Год	Величина сельских поселений, чел.		
		До 100	101–500	Свыше 500
Житковичский	1989	4,5	43,2	52,3
	2009	8,9	46,2	44,9
Мозырский	1989	5,9	45,5	48,6
	2009	9,3	33,8	56,9
Наровлянский	1989	7,9	58,6	33,5
	2009	17,8	82,2	–
Петриковский	1989	7,7	37,5	54,8
	2009	15,2	32,2	48,6
Все районы	1989	6,2	43,5	50,3
	2009	11,4	40,0	48,6

Крупный рогатый скот содержится как на животноводческих фермах, так и в хозяйствах населения. Со временем в его численности и размещении происходят изменения. Для лучшего понимания наблюдаемых при этом тенденций, динамика поголовья крупного рогатого скота рас-

смотрена на более длительном временном интервале – с 1961 по 2010 г.

Происходящие в Припятском Полесье изменения отражают общие для Беларуси тренды. Так, в целом по стране за послевоенный период общая численность крупного рога-

того скота вначале увеличивалась, достигнув максимума в 1986 г. – 7,5 млн голов. Затем, до 2004 г. она уменьшалась, снизившись до 3,9 млн голов. Потом опять наметился рост до 4,1 млн голов в 2010 г. [10]. Аналогичная динамика соответствующего показателя наблюдалась

также в восточной части Припятского Полесья (рис. 1). В частности, общая численность крупного рогатого скота за временной интервал с 1986 по 2004 г. снизилась здесь в 2,7 раза. В последующие 7 лет наметился небольшой ее рост, составивший 7 %.

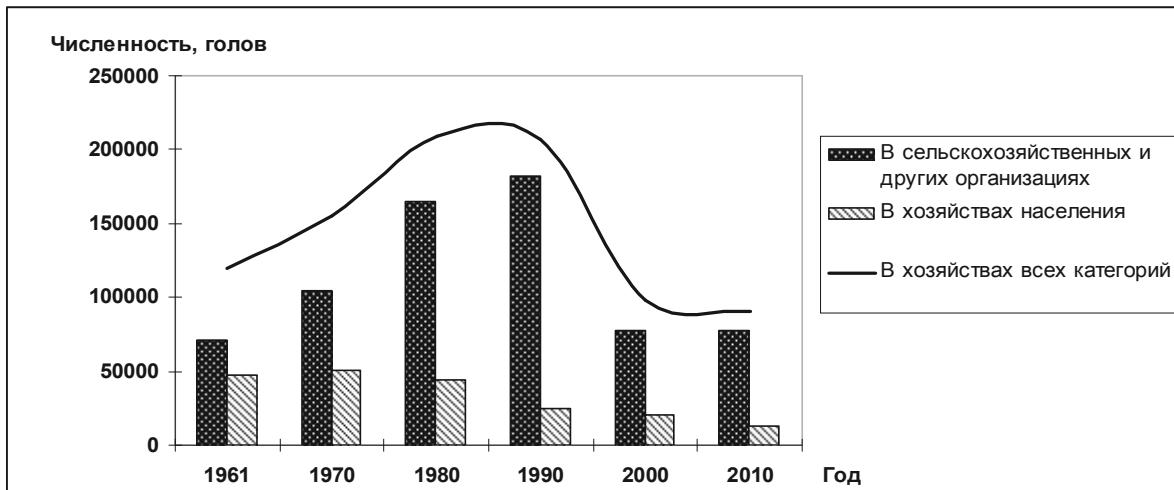


Рис. 1. Динамика численности крупного рогатого скота в районах восточной части Припятского Полесья за 1961–2010 гг.

В динамике поголовья крупного рогатого скота сельскохозяйственных организаций и хозяйств населения прослеживаются различия. Если у первых из них после максимального спада в 2004 г. наступил его рост, то у вторых с 1970 г. наблюдается устойчивое снижение. За последние 40 лет оно составило 4 раза. Доля крупного рогатого скота хозяйств населения в общей его численности уменьшилась с 33 % в 1970 г. до 14 % в 2010 г.

Изменения в размещении крупного рогатого скота в сельскохозяйственных организациях связаны с ростом его концентрации. Решение об этом принято в начале 2000-х гг. в рамках реализации Государственной программы возрождения и развития села на 2005–2010 гг. [3].

В настоящее время на исследуемой территории фермы крупного рогатого скота имеются у третьей части сельских населенных пунктов. Их средний размер составляет 717 голов. Они размещаются, главным образом, в больших и средних по величине поселениях. Так, в населенных пунктах с числом жителей 101–200 человек сосредоточено около 45 % данных объектов и примерно столько же – в поселениях с числом жителей свыше 200 человек. В малых сельских населенных пунктах с числом жителей до 100 человек располагается лишь десятая часть ферм, хотя их доля в общей численности сельских поселений составляет 58 %.

Изменения в природопользовании. Для выявления особенностей изменений в природо-

пользовании изучаемой территории рассмотрена динамика использования земель в ее пределах в сравнении с Гомельской областью в целом за период 1990–2013 гг. (табл. 8). Источником информации выступили данные земельного кадастра за 1990 и 2013 гг.

Как следует из таблицы, степень хозяйственного освоения восточной части Припятского Полесья ниже, по сравнению с Гомельской областью в целом. Здесь отмечаются более низкие показатели сельскохозяйственного использования, в том числе распаханности, а также застройки территории, с одной стороны, и более высокие – лесистости и заболоченности – с другой. Подобные различия согласуются с ее менее благоприятными для сельского хозяйства природноландшафтными условиями.

Характерной особенностью землепользования рассматриваемой территории является также повышенная доля луговых земель в структуре сельскохозяйственных угодий. Особенно велика она в Житковичском и Петриковском районах (около половины угодий), в ландшафтной структуре которых преобладают ландшафты пойм, надпойменных террас и болот, и естественное плодородие луговых земель выше. В Мозырском районе, где более значимую роль играют равнинные и возвышенные ландшафты и плодородие луговых угодий ниже, эта доля меньше среднеобластного значения (36 %).

Таблица 8. Динамика структуры землепользования в районах восточной части Припятского Полесья и Гомельской области в целом за 1990–2012 гг.

Район / область	Год	Доля земель, %							
		Пахотных	Луговых	Всего с/х	Лесных	Болот	Под водой	Под застройкой	Прочих
Житковичский	1990	11,7	12,0	24,2	58,4	6,3	3,6	2,3	5,2
	2013	10,8	11,3	22,3	57,9	9,7	4,3	3,1	2,7
Петриковский	1990	16,8	14,7	31,9	56,3	3,5	2,0	2,4	3,9
	2013	14,6	15,1	29,9	58,0	3,9	2,4	3,4	2,4
Мозырский	1990	16,4	10,6	27,8	56,5	2,8	2,0	3,1	7,8
	2013	16,4	9,4	26,3	58,0	2,8	2,5	6,4	4,0
Наровлянский	1990	15,9	11,5	28,2	58,2	4,8	2,1	2,3	4,4
	2013	8,3	5,4	13,9	71,5	4,0	2,5	2,6	5,5
Всего	1990	14,9	12,5	28,0	57,4	4,5	3,1	3,1	3,9
	2013	12,7	10,9	23,9	60,4	5,6	3,1	3,7	3,3
Гомельская область	1990	22,3	14,6	37,8	46,4	3,4	2,0	3,2	7,2
	2013	20,2	13,6	34,2	51,6	4,5	2,0	4,0	3,7

В сельскохозяйственное освоение территории существенный вклад внесла осушительная мелиорация. В показателях доли осушенных земель по районам прослеживается прямая связь с распространением в их пределах низинных ландшафтов болот. Так, максимальные величины этих показателей (14 и 19 %) приходятся на западные (Житковичский и Петриковский) районы, где эти ландшафты занимают более четверти площади, а минимальные (8 и 13 %) – на восточные (Мозырский и Наровлянский) районы, в которых их доля достигает 7–8 %.

Преобладающая часть осушенных земель (79 %) приходится на сельскохозяйственные угодья. Они составляют примерно половину (48 %) этих угодий. Особенно велика их доля в Наровлянском, Житковичском и Петриковском районах, где она достигает соответственно 93, 65 и 63 %.

В динамике структуры землепользования территории прослеживается общая для области тенденция, направленная на уменьшение ее сельскохозяйственного освоения при одновременном увеличении лесных и заболоченных земель. При этом темпы подобного рода изменений в пределах территории выше среднеобластных, что можно объяснить выводом из оборота больших площадей сельскохозяйственных угодий в Наровлянском районе из-за их радиоактивного загрязнения.

Уменьшение сельскохозяйственных земель затронуло как пахотные, так и луговые угодья. Причем величина его для первых из них оказалась выше, чем для вторых, что вызвано переводом части малоплодородных пахотных земель в луговые.

Вследствие отмеченной трансформации сельскохозяйственных угодий общее снижение площади луговых земель оказалось меньше,

нежели пахотных, и составило в пределах изучаемой территории 1,6 %. В то же время поголовье крупного рогатого скота, для которого эти земли представляют кормовую базу, уменьшилось в 2 раза. По сути, существенное сокращение численности крупного рогатого скота происходило при практически стабильной площади луговых угодий. Соответственно, снижалась интенсивность использования последних. Наибольшей величины подобная интенсивность достигала в 1980-е гг., когда на 1 голову крупного рогатого скота приходилось лишь 0,5–0,6 га луговых земель (рис. 2). В 2000-е гг. данный показатель оказался самым высоким за весь период с 1970 г. – примерно 1,1 га, что в 2 раза выше уровня 1980-х гг.

Произошедшее снижение численности крупного рогатого скота и связанное с ним уменьшение интенсивности использования лугов обусловлено социально-экономическими причинами. К таковым следует отнести, прежде всего, экономический кризис 1990-х гг., который сопровождал переход от плановой экономики к рыночной. Кроме этого, очевидно, сказалось и повышение продуктивности скота. Так, надой молока на 1 корову увеличился в Гомельской области в 2010 г. в 2 раза по сравнению с 1970 г. [10].

Сокращение поголовья крупного рогатого скота в хозяйствах населения можно объяснить, во-первых, снижением количества самого населения и его старением, во-вторых, уменьшением мотивации сельских жителей в содержании скота. При сохранении сложившихся тенденций в динамике численности, возрастной структуры и реальных доходов сельского населения, можно прогнозировать дальнейшее сокращение и, возможно, полное исчезновение поголовья крупного рогатого скота в личных хозяйствах.

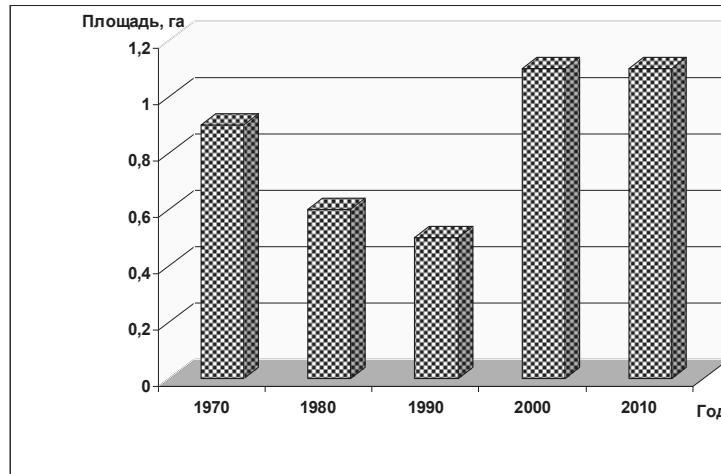


Рис. 2. Динамика площади луговых земель на 1 голову крупного рогатого скота в районах восточной части Припятского Полесья за 1970–2010 гг., га

В связи со значительным снижением численности крупного рогатого скота за последние 25 лет, современная площадь луговых земель, по-видимому, является избыточной по отношению к его нынешнему поголовью. Отсюда недостаточно полное их использование и, как следствие этого, усиление процессов закустаривания и заболачивания лугов. В наибольшей степени отмеченные процессы будут проявляться для естественных луговых угодий, неудобных для механизированной обработки, примыкающих к небольшим населенным пунктам, где ликвидированы животноводческие фермы и существенно уменьшилось количество населения и поголовье скота. А именно такие населенные пункты стали преобладать на изучаемой территории, и количество их будет увеличиваться.

Сокращение численности сельского населения и поголовья крупного рогатого скота в его хозяйствах создает сложности в использовании ресурсов приусадебных земель. Они связаны, во-первых, с прекращением обработки отдельных участков и превращением их в «бросовые» земли, во вторых, с недостатком органических удобрений. Так, за 1990–2010 гг. в связи с двукратным уменьшением поголовья крупного рогатого скота в хозяйствах населения, образование данных удобрений также снизилось в 2 раза. В этих условиях, чтобы не допустить дегумификации приусадебных земель, по-видимому, следует вовлекать их в севообороты сельскохозяйственных организаций.

Наряду с приведенными изменениями в сельском расселении, вызвавшими снижение интенсивности природопользования, на протяжении рассматриваемого периода проявилось действие и обратных процессов, стимулирующих его рост. Эти процессы связаны, прежде всего,

со строительством агрогородков в соответствии с реализацией Государственной программы развития села, что способствовало общему увеличению показателя застройки территории при снижении численности проживающего на ней населения.

Выводы. Природно-ландшафтные условия восточной части Припятского Полесья менее благоприятны для сельского расселения, нежели Полесского региона в целом, из-за повышенного распространения здесь непригодных для размещения сельских поселений пойменных и болотных ландшафтов, которые занимают 1/3 ее площади. Следствием этого является более низкая, по сравнению со средней для Гомельской области величиной, плотность сельского населения. Внутри территории максимальное значение показателя плотности отмечается в Мозырском районе, где распространение пойменных и болотных ландшафтов самое низкое, и минимальное – в Наровлянском районе, подверженном радиоактивному загрязнению.

В структуре природопользования территории проявляется зависимость от ее ландшафтного строения. Обладая относительно низким плодородием почв, она характеризуется пониженным сельскохозяйственным освоением, в то же самое время доля луговых земель, которые характеризуются повышенным естественным плодородием, здесь выше, что создает благоприятные предпосылки разведения в ее пределах крупного рогатого скота.

На территории проявляется характерная для Беларуси тенденция к снижению численности сельского населения, что сопровождается уменьшением людности поселений и повышением распространения тех из них, которые относятся к малым, с числом жителей до 100 человек. Доля последних увеличилась с 33 % в

1989 г. до 58 % в 2009 г., а проживающего в них населения – с 6 до 11 %.

Наряду с сокращением численности сельского населения, за рассматриваемый период произошло двукратное снижение всего поголовья крупного рогатого скота, в том числе в хозяйствах населения – четырехкратное, вследствие чего доля последнего в его общей численности снизилась до 14 %. Имеющиеся фермы крупного рогатого скота размещаются преимущественно в больших поселениях, у 2/3 сельских населенных пунктов, преимущественно у малых, они отсутствуют.

При существенном снижении численности крупного рогатого скота, площадь луговых угодий осталась практически неизменной, что обуслови-

ло общее уменьшение пастбищной и сенокосной нагрузки на них и создало предпосылки закустаривания и заболачивания неиспользуемых угодий. В наибольшей степени этим процессам будут подвержены естественные пойменные луга, расположенные вблизи небольших сельских населенных пунктов, неудобные для использования сельскохозяйственной техники.

Продолжение тенденции к сокращению сельского населения с ростом доли малых поселений в сочетании с усилением концентрации крупного рогатого скота на больших фермах и комплексах, приведет к усилению поляризации природопользования в сельских районах с повышением его интенсивности вблизи больших населенных пунктов и снижением – малых.

Литература

1. **Антипова, Е. А.** Геодемографические проблемы и территориальная структура сельского расселения Беларуси / Е. А. Антипова. Минск, 2008.
2. **Гарцуева, Е. Я..** Экспериментальная Схема землеустройства Браславского района: стратегия устойчивого землепользования / Е. Я. Гарцуева, Г. В. Дудко, И. С. Кононович // Земля Беларуси. 2009. № 3. С. 39–48.
3. **Государственная** программа возрождения и развития села на 2005-2010 годы. Утверждена Указом Президента Республики Беларусь 25.03.2005. № 150.
4. **Ландшафтная** карта Белорусской ССР. Масштаб 1:600000. Главное управление Геодезии и картографии при Совете Министров СССР. М., 1984.
5. **Манак, Б. А.** Насельніцтва Беларусі: рэгіянальныя асаблівасці развіцця і рассялення / Б. А. Манак. Минск, 1992.
6. **Пилецкий, И. В.** Современные проблемы качества земель культурных ландшафтов сельских агломераций Белорусского Поозерья / И. В. Пилецкий // Земля Беларуси. 2008. №3. С. 46–48.
7. **Пирожник, И. И.** Трансформация системы расселения Беларуси во второй половине XX – начале XXI в. / И. И. Пирожник, Е. А. Антипова // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2006. № 3. С.72–78.
8. **Показатели** кадастровой оценки земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств / Г. И. Кузнецов [и др.]. Минск, 2010.
9. **Регионы** Республики Беларусь, 2011. Статистический сборник. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Минск, 2011.
10. **Статистический** ежегодник Республики Беларусь, 2011. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Минск, 2011.
11. **Струк, М. И.** Региональные особенности оптимизации окружающей среды Беларуси / М. И. Струк. Минск, 2007.
12. **Флерко, Т. Г.** Ландшафтные условия размещения системы расселения Гомельской области / Т. Г. Флерко // Природопользование. Минск, 2008. Вып. 14. С. 38–45.
13. **Хомич, В. С.** Природно-ресурсное обеспечение социально-экономического развития Припятского Полесья / В. С. Хомич [и др.] // Природопользование. Минск, 2012. Вып. 22. С. 170–187.
14. **Шахотько, Л. П.** Модель демографического развития Республики Беларусь / Л. П. Шахотько. Минск, 2009.

**Институт природопользования НАН Беларуси,
Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины**

Поступила в редакцию 17.03.2014 г.

M. I. Струк, Т. Г. Флерко**ИЗМЕНЕНИЯ В СЕЛЬСКОМ РАССЕЛЕНИИ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ
ПРИПЯТСКОГО ПОЛЕСЬЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**

Оценены природно-ландшафтные предпосылки восточной части Припятского Полесья для сельского расселения и природопользования. Установлено, что они являются здесь менее благоприятными из-за повышенного распространения пойменных и болотных ландшафтов, занимающих треть ее площади, а также преобладания малоплодородных песчаных почв, вследствие чего плотность сельского населения в пределах данной территории и ее сельскохозяйственное освоение ниже, чем в Гомельской области в целом.

Выявлены особенности трансформации сельского расселения за период с 1990 г. Установлено последовательное снижение численности сельского населения и людности поселений, что приводит к повышению (до 58 % в 2009 г.) доли тех из них, которые относятся к малым (с числом жителей до 100 человек).

Определены изменения производственной базы сельских поселений, основу которой составляет крупный рогатый скот. Установлено двукратное снижение всего его поголовья, в том числе в хозяйствах населения – четырехкратное. Показано, что произошло оно при практическом сохранении площади луговых земель, следствием чего является общее уменьшение пастбищной и сенокосной нагрузки на них и создание предпосылок закустаривания и заболачивания неиспользуемых угодий. С учетом современного размещения ферм крупного рогатого скота преимущественно в больших поселениях, выделены луговые земли, в наибольшей степени подверженные этим процессам. К таковым отнесены естественные пойменные луга, расположенные вблизи небольших сельских населенных пунктов, неудобные для использования сельскохозяйственной техники.

M. I. Struk, T. G. Flerko**CHANGES IN EASTERN RURAL SETTLEMENT PRYPYAT POLESIE
AND THEIR IMPACT ON NATURAL RESOURCES**

The natural landscapes prerequisites of eastern Prypyat Polesie part for rural resettlement and environmental management have been valued. It has been established that they are less favorable here due to the increased spread of floodplain and wetland landscapes, occupying a third of its area, as well as the prevalence of infertile sandy soils, whereby the density of the rural population within a given area and its agricultural development is lower than in the Gomel region in the whole.

The features of the transformation of rural settlements for the period from 1990 have been identified.

The consistent decline in the rural population and the population size of settlements, which leads to an increase (up to 58 % in 2009), the share of those who refer to small (with a population of up to 100 people) has been established.

The changes in the production base of rural settlements, which is based on cattle have been identified. The two-fold reduction of all his livestock, including in households – fourfold has been established. It has been shown that it happened in the practical preservation of grassland area, resulting in an overall reduction of grazing and haying burden on them and create prerequisites bushing and water logging of unused land. With the current placement of cattle farms mainly in large settlements, grasslands most vulnerable to these processes have been marked. To those classified natural meadows located near the small villages inconvenient for agricultural machinery usage.

А. Г. Голубцов, Н. Г. Черный

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ ПРИРОДООХРАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ – ПРИМЕНЕНИЕ ЛАНДШАФТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТА КАНЕВСКОГО БИОСФЕРНОГО РЕЗЕРВАТА

На примере разработки проекта Каневского биосферного резервата показана перспективность применения методических подходов ландшафтного планирования для научного обоснования создания системы заповедных территорий различных уровней охраны.

Важной задачей на пути достижения устойчивого развития является увеличение площади природно-заповедных территорий с природными ландшафтами до уровня, достаточного для сохранения их разнообразия, свойственного естественному состоянию [1]. Вместе с тем, создание в Украине новых природоохранных территорий высших категорий охраны – природных и биосферных заповедников сопряжено со значительными трудностями правового и социально-экономического характера. Цели сохранения био- и ландшафтного разнообразия часто конфликтуют с интересами природопользования и экономического развития территорий.

Показательна ситуация в Центральной Украине [16] (рис. 1, А): здесь на 1/5 территории Украины функционирует только один природоохранный объект высшей категории охраны – Каневский природный заповедник (площадь – 2027 га), а также несколько национальных природных парков созданных в последние годы. Подчинённость этих объектов разным ведомствам приводит к несогласованности действий и отсутствии комплексного подхода к выполнению природоохранных целей. Решение проблемы виделось в создании в регионе биосферного заповедника на основе Каневского природного заповедника – успешно функционирующего природоохранного и научно-исследовательского учреждения, основанного в 1923 году. Но неоднократные попытки его создания наталкивались на сложность решения ряда вопросов юридического, экономического и социального характера [9].

Для упреждения подобных конфликтов природоохранных и экономических целей рабочая группа программы «Человек и биосфера» ЮНЕСКО предложила концепцию биосферного резервата. Согласно данной концепции выделяются особые территории – биосферные резерваты, – в пределах которых обеспечивается устойчивое равновесие между конфликтующими целями сохранения биологического разнообразия, содействия экономическому развитию и сбережения культурных ценностей [3, 18]. Учитывая правовые и социально-экономические реалии Украины, наиболее эффективной альтернативой

проекту Каневского биосферного заповедника может стать биосферный резерват.

Задача данного исследования – предложить проект биосферного резервата, который отвечал бы принципам Севильской стратегии и служил образцом устойчивого развития в Украине. Методологической основой разработки является ландшафтное планирование – пространственное планирование окружающей среды, направленное на изучение мультифункциональности ландшафта, предпосылка которого – устойчивое природопользование [15].

Работа осуществлена в рамках научно-исследовательского проекта «Ландшафтное планирование в Украине» (2011–2014 гг.), выполненного Институтом географии НАН Украины на примере Черкасской области [6, 17] при экспертном участии Технического Университета Берлина (проф. Ш. Хайланд, А. Май) и Технического Университета Дрездена (проф. К. Шмидт) при содействии Федерального ведомства по охране природы Германии (BfN) и Министерства экологии и охраны природных ресурсов Украины.

Объект и методы исследований

Согласно Севильской стратегии «биосферными резерватами» принято называть территории суходольных и/или прибрежных морских экосистем или их сочетание, которые признаны международной программой ЮНЕСКО «Человек и Биосфера» [18]. Природоохранные территории, претендующие на статус биосферного резервата, должны сочетать реализацию функций сохранения ландшафтов, развития социально-экономической сферы и научно-технической функции, направленной на поддержку исследований и образования. Обязательными являются критерии:

- охват всего спектра репрезентативных экосистем;
- площадь резервата должна быть достаточной с точки зрения сохранения биоразнообразия и поставленных задач;
- функциональное зонирование: основная территория (ядро) – буферная зона – зона сотрудничества;
- наличие менеджмент-плана для управления территорией.

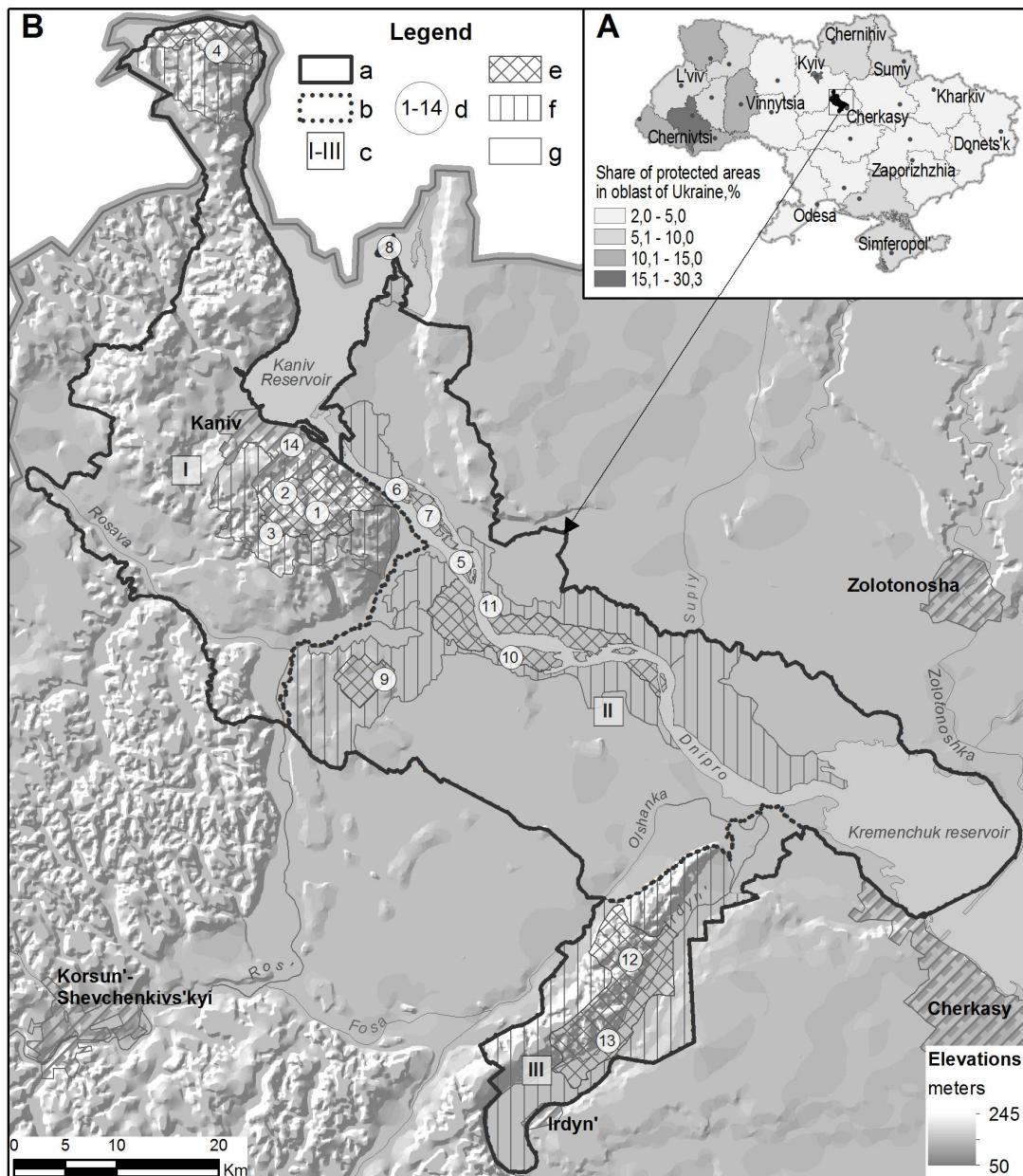


Рис. 1. Проект Каневского биосферного резервата.

На врезке А – доля площади природоохранных территорий в областях Украины (данные: [2]).

Условные обозначения: а – границы проектируемого Каневского биосферного резервата; б – границы участков резервата: I – Каневский, II – Днепровский, III – Ирдынско-Мошногорский; в – местности, особо ценные для охраны природы ввиду высокого уровня ландшафтного и биоразнообразия: 1 – Каневский природный заповедник, 2 – урочище Волчья Скоты, 3 – Каневско-Яблуновская дача, 4 – Трахтемирово-Бучацкий массив, 5 – остров Просеред, 6 – остров Круглик, 7 – остров Шелестов, 8 – Змеиные острова, 9 – урочище Перуны, 10 – устье реки Рось, 11 – урочище Скляровое, 12 – Мошногорский кряж, 13 – Ирдынские болота; высокой культурной ценности: 14 – исторический центр г. Канева; г – основные территории (ядра); д – буферные зоны; е – зона сотрудничества

Деятельность биосферных резерватов направлена на то, чтобы сделать их показательными объектами для изучения и демонстрации подходов к сохранению среды и устойчивому развитию в регионе.

Решение задачи по разработке проекта Каневского биосферного резервата (БР) и его зонирование возлагается на ландшафтное пла-

нирование, которое рассматривается как инструмент пространственного планирования, направленный на сохранение природы, уход и развитие ландшафтов [15]. Имеется в виду длительная охрана: 1) биологического разнообразия; 2) способности природных экосистем к функционированию и саморегуляции, 3) разнообразия, своеобразия и красоты природы и ландшафта, а так-

же их значимости для отдыха. Однако речь идет не только об охране видов фауны и флоры или облика ландшафта, в равной мере должны охраняться такие компоненты, как почвы, воздух, климат, воды, а также сохраняться возможности для длительного сбалансированного природопользования [13]. Объектом исследования при этом являются как природные, так и антропогенно измененные ландшафты [12, 14].

Общая схема работ по разработке проекта Каневского БР как части ландшафтного планирования представлена на схеме (рис. 2). Инвентаризация, систематизация, анализ и визуализация пространственных данных выполнена с использованием геоинформационных методов, использовано программное обеспечение ArcGIS 10.1 (ESRI).

Результаты исследований и их обсуждение

Идея создания биосферного резервата задекларирована на начальном этапе работ по внедрению ландшафтного планирования. По результатам предварительных консультаций исполнителей, экспертов и представителей органов государственной власти это предложение утверждено в качестве рамочной цели проекта. С социально-экономической точки зрения Черкасская область – депрессивный регион и находится в поиске новых направлений для развития. Поэтому создание биосферного резервата еще и имиджевый проект, призванный улучшить инвестиционную привлекательность и заинтересовать туристов из других областей Украины.

Конфигурация и зонирование. Один из важных критериев образования биосферного резервата – наличие в его пределах ландшафтов, репрезентативных для региона. Для определения границ Каневского БР в ходе реализации инвентаризационно-оценочного этапа ландшафтного планирования проведены детальные исследования природных условий региона. Из всего массива данных отобраны материалы, которые, на наш взгляд, являются наиболее важными для обоснования границ биосферного резервата (рис. 2). Это карты, характеризующие распространение типов биотопов; редких видов флоры и фауны; структуру почвенного покрова и наличие редких почв; природные и современные ландшафты; степень антропогенного преобразования ландшафтов; структуру современного природопользования; сеть существующих природно-заповедных территорий.

ГИС-анализ карт позволил провести границы проектируемого биосферного резервата таким образом, чтобы в его пределах было представлено все разнообразие региона – ландшафты, сохраненные в природном (приближенном к природному) состоянии, участки с наибольшим уровнем био- и ландшафтного разнообразия и антропогенные ландшафты различных типов – от

слабо- до сильнопреобразованных, местообитания редких видов растений и животных.

Функциональное зонирование биосферных резерватов направлено на выделение в его границах ареалов, актуальное состояние которых наиболее отвечает задачам реализации основных функций – сохранения, развития и научно-технической.

В ландшафтном планировании предполагается оценка ландшафтов и их компонентов в категориях *значения* для выполнения определенной функции и *чувствительности* к существующим или возможным нагрузкам. На основе анализа результатов такой оценки принимается решение о дальнейших целях их использования. Типы целей – *сохранение и поддержка* актуального состояния ландшафтов, *развитие* альтернативных видов их использования, *улучшение* состояния ландшафтов, подвергающихся негативным воздействиям [7, 10, 15]. Дифференциация территории планирования по типам целей представляется на картах, которые и являются основой для функционального зонирования биосферного резервата.

К основным территориям биосферного резервата целесообразно отнести ландшафты, для которых рекомендованы цели сохранения естественных местообитаний типичных видов флоры и фауны; мест распространения и концентрации редких видов; высокой степени ландшафтного разнообразия и уникальных ландшафтных комплексов [11].

Буферные зоны, окружающие ядра резервата, смягчают переход к заповедным территориям, позволяют проводить отдельные активные мероприятия по поддержке и охране биоразнообразия, привлекать туристов. Ключевыми участками буферных зон в Каневском биосферном резервate могут стать многочисленные природоохранные объекты более низкого природоохранного статуса: ландшафтные заказники (Тарасов Обрий, Максим), заказники разных видов вместе с прилегающими территориями. Объединение их в пределах одной функциональной зоны позволит разработать целостную стратегию дальнейшего развития природоохранной, научной и рекреационной деятельности.

В зону сотрудничества целесообразно включать ландшафты, обладающие высоким значением для различных сфер деятельности, а также ландшафты, требующие особого ухода и специальных мероприятий для поддержки или восстановления их значимости. Здесь ландшафтное планирование помогает структурировать территорию относительно наиболее оптимального землепользования в регионе. Цели развития и улучшения ландшафтов служат ориентиром для разработки специальных мероприятий по экономическому и социальному развитию, устойчивости региона в социально-культурном и экологическом отношении.

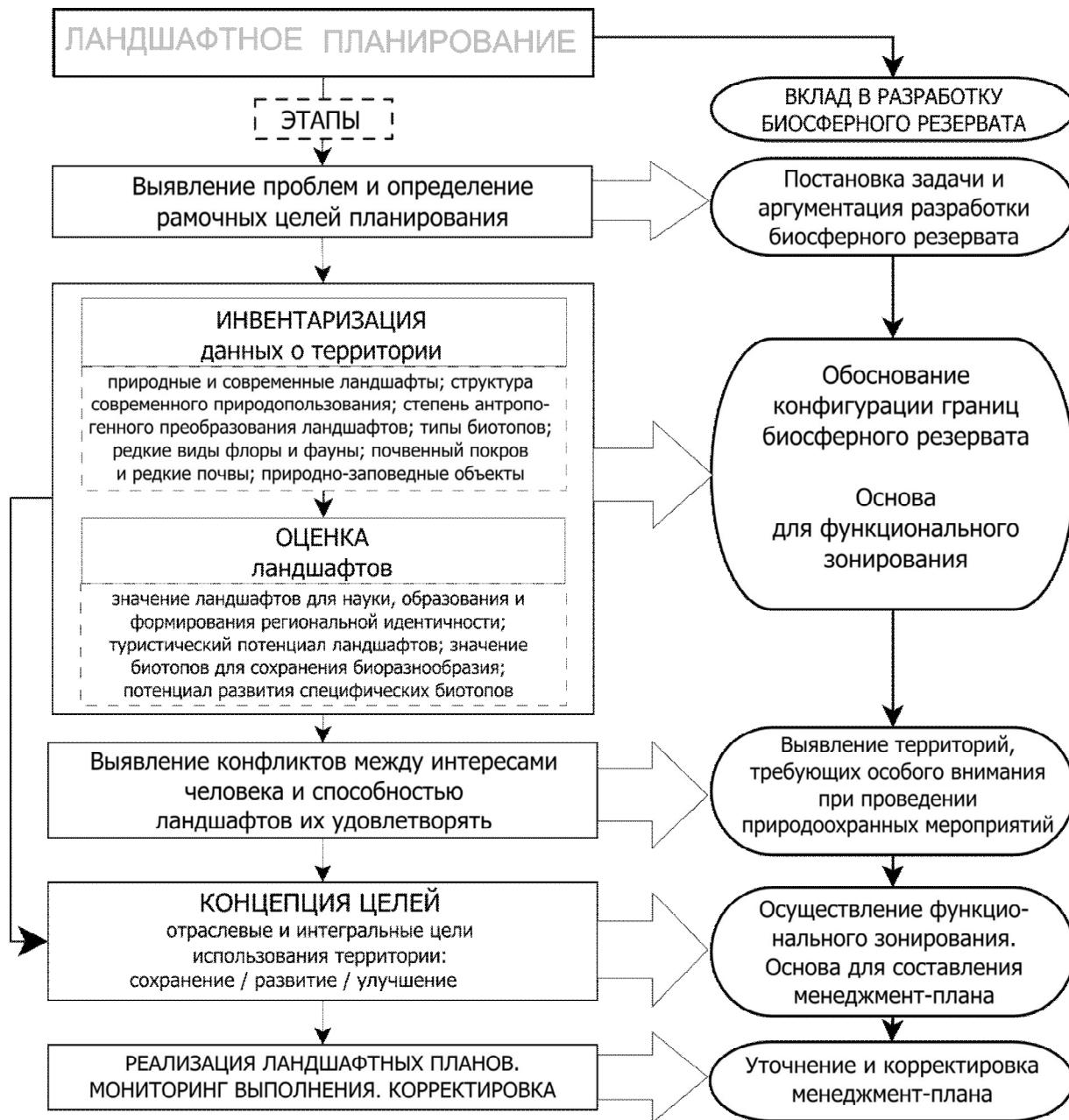


Рис. 2. Схема разработки Каневского биосферного резервата на основе ландшафтного планирования

Концепция биосферных резерватов предполагает качественно новое решение по использованию территорий, которые включаются в зону сотрудничества. Главная задача зоны сотрудничества – демонстрация новых, «дружественных» к природной среде подходов в природопользовании, которые способствовали бы устойчивому развитию территории. В структуре биосферных резерватов они могут составлять до 80 % площади. Концепцией биосферных резерватов предусмотрено, что природопользование в пределах этих зон не ограничивается, однако поддерживается и поощряется инициа-

тива по внедрению мероприятий, направленных на достижение природоохранных целей. Например, абсолютно заповедный режим для ценных высокопродуктивных экосистем в пойме Днепра, которые сформировались в результате много векового антропогенного воздействия, приведет к деградации этих участков и исчезновению целого ряда редких видов и даже ценозов. Но регулируемое дальнейшее использование (сенонашение, умеренный выпас) таких экосистем позволит поддерживать высокий уровень биоразнообразия, сохраняя при этом традиционные виды хозяйствования. Также может быть разра-

ботан ряд мероприятий по поддержанию сбалансированного сельского хозяйства, например, создан специальный бренд для продукции, которая производится без использования химических удобрений и средств защиты растений [19]. Перспективным также является оптимизация структуры агроугодий в зависимости от чувствительности почв к водной и ветровой эрозии. Детальная разработка природоохранных целей возможна с применением ландшафтного планирования.

Характеристика территории проектируемого Каневского БР. Резерват располагается в Центральной Украине (Среднее Приднепровье), в пределах Каневского, Золотоношского и Черкасского районов Черкасской области (рис. 1). Важная предпосылка его создания именно здесь – наличие ряда существующих природоохранных территорий, расположенных вблизи друг от друга. Основной среди них – Каневский природный заповедник, имеющий высший природоохранный статус и расположенный на пересечении двух экокоридоров – Днепровского и Галицко-Слобожанского [5].

На данном этапе разработки площадь Каневского БР составляет 1261 км². Учитывая значительное антропогенное преобразование ландшафтов исследуемого региона, не представляется возможным объединить ядра резервата в один ареал. Однако Концепция биосферных резерватов допускает наличие нескольких ядер (подобные резерваты относятся к типу кластерных). Поэтому, согласно указанным выше критериям, предлагается выделить несколько ядер – основных территорий, которые окружены буферными зонами шириной 2–3 км. Доля заповедных ядер составляет 10 %, буферных зон – 29 %, зона сотрудничества – 61 % территории.

Таким образом, Каневский БР формируется из трех своеобразных по ландшафтной структуре участков (см. рис. 1), которые дополняют друг друга и охватывают весь спектр экосистем Среднего Приднепровья (детально [8, 9]):

I. Каневский участок: расположен на правом берегу Днепра в Каневском районе Черкасской области. Ландшафт простирается полосой около 30 км и шириной 3–9 км вдоль правого берега Днепра. Исключительной особенностью геологического строения является дислоцированность осадочных мезозойских и кайнозойских отложений, которые смяты в складки. Каневские дислокации – это часть Приднепровской возвышенности, отличающаяся гипсометрической поднятостью, исключительно глубоким и густым расчленением поверхности (следствие катастрофических эрозионных процессов), из-за чего этот ландшафт называют Каневскими горами. Здесь, на относительно небольшой территории, сконцентрированы практически все типы ланд-

шафтов, характерные для Среднего Приднепровья – лесостепные, широколиственные, луговые, болотные.

Основной фактор высокой значимости Каневского ландшафта – уникальный, всемирно известный геолого-геоморфологический объект Восточно-Европейской платформы – Каневские дислокации. Высокая значимость ландшафта определяется распространением многочисленных геолого-геоморфологических памятников (обнажения геологических пород, свидетельствующих о геологической истории; развитленная овражная сеть), наличием ископаемых почв, а также разнообразных археологических и исторических объектов, высокий уровень ландшафтного и биоразнообразия [8, 9] (см. рис. 1, местности 1–4).

II. Днепровский участок расположен в долине Днепра, включительно с островами и фрагментами ландшафтов боровой террасы на левобережье в Каневском районе, в юго-западной части Золотоношского района и в северной части Черкасского района. Он характеризуется доминированием лугово-болотных комплексов, ценность которых для охраны природы определяется чрезвычайно высоким уровнем биоразнообразия. Ландшафты долины Днепра являются средой обитания множества видов растительного и животного мира, внесенных в Красную книгу Украины [9].

К основным территориям резервата на Днепровском участке следует отнести группу островов на Днепре и отдельные массивы болотно-лесных угодий в пойме Днепра на правом и левом берегах [8, 9] (рис. 1, местности 5–11).

III. Ирдынско-Мошногорский участок расположен в центральной части Черкасского района и характеризуется сочетанием болотных, смешанно- и широколиственно-лесных ландшафтов. Участок неоднороден в физико-географическом отношении: болотные ландшафты доминируют в пойме реки Ирдынь; на надпойменной террасе расположен огромный массив Черкасского бора. Левый берег Ирдыни высокий, крутой, поднимающийся над уровнем Днепра на 165 м и известный под названием Мошногорский кряж, представляющий собой отроги Каневских дислокаций. Разнообразие природных условий определяет наличие дубово-сосновых, широколиственных лесов, лугов и низинных болот [8, 9].

В пределах Ирдынско-Мошногорского участка в основные зоны резервата следует включить сообщества широколиственных 90–100-летних лесов Мошногорского кряжа (рис. 1, местность 12) и болота в пойме р. Ирдынь, представленные типичными эвтрофными сообществами, которые являются уникальным местом гнездования редких видов птиц (рис. 1, местность 13).

Особенности культурных ландшафтов.

Длительная история освоения региона и особенности природопользования обусловили формирование на территории, включаемой в биосферный резерват, своеобразных культурных ландшафтов. Их наиболее выразительной чертой является огромное количество археологических и исторических памятников, свидетельствующих о богатой на события истории региона [4]. Вблизи Канева находится Шевченковский национальный заповедник – важный элемент культурного ландшафта области, значимый для формирования не только региональной, но и всеукраинской идентичности.

Особое положение в проектируемом биосферном резервате занимает город Канев (первое документальное упоминание – 1144 г.) с привлекательным архитектурным культурно-историческим ансамблем (рис. 1, местность 14). В рамках резервата могут быть разработаны мероприятия по сохранению, как отдельных памяток, так и поддержке целостного культурного ландшафта в старой части города. Также, могут получить более весомое обоснование инициативы по развитию и поддержке туризма и рекреации в городе Каневе и его окрестностях.

Заключение

Проект Каневского биосферного резервата является результатом комплексных исследований региона Среднего Приднепровья, для разработки которого впервые в Украине применены методологические подходы ландшафтного планирования с широким использованием ГИС-технологий. В проекте учтены наработки предыдущих инициатив по созданию природоохранной

территории высокого статуса на основе Каневского природного заповедника.

Гибкость подходов к организации биосферных резерватов в сочетании с ландшафтным планированием позволяет оптимально распределить площади функциональных зон резервата, обеспечив тем самым выполнение природоохранных функций. Материалы ландшафтного планирования в Черкасской области представляют общую концепцию целей и мероприятий по поддержке устойчивого развития в пределах биосферного резервата. Для разработки менеджмент-плана Каневского биосферного резервата необходимо выполнить более детальные (масштаб 1 : 25 000) работы по ландшафтному планированию непосредственно для территории резервата.

Наличие и функционирование Каневского биосферного резервата будет способствовать устойчивому развитию всего региона и формированию экологического сознания населения Украины. Существенно усилятся взаимодействие органов государственного управления, деловых кругов и гражданского общества для реализации природоохранных целей. Внедрение проекта позволит оптимизировать управляемую структуру и выработать общую программу управления природоохранной территорией, а также унифицировать план научных исследований. Местное население получает новые возможности и имиджевые преимущества для развития и поддержки хозяйственной деятельности, прежде всего, в отрасли туризма и рекреации и в сельском хозяйстве.

Литература

1. **Закон України «Про загальнодержавну програму формування екологічної мережі України на 2000–2015 роки».** 2000.
2. **Звіт про виконання загальнодержавної програми формування національної екологічної мережі України за 2011 рік** [Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://www.menr.gov.ua/content/article/6032>.
3. **Мадридський** план дійствий для биосферних заповедників (2008–2013) [Электронный ресурс] / UNESCO. Мадрид, 2008. Режим доступа : <http://unesdoc.unesco.org/images/0016/001633/163301r.pdf>.
4. **Олійник, Я. Б.** Природні та етнокультурні феномени України / Я. Б. Олійник, В. В. Стецюк. Київ, 2008.
5. **Про Генеральну схему планування території України.** Закон України від 7 лютого 2002 р. № 3059-III // Відомості Верховної Ради України. 2002. № 30. Ст. 204.
6. **Руденко, Л. Г.** Рамочные условия и организация работ по внедрению ландшафтного планирования в Украине / Л. Г. Руденко, Е. А. Маруняк, А. Май // Актуальные проблемы ландшафтного планирования : Матер. Всеросс. научн.-практ. конф. М., 2011.
7. **Руководство** по ландшафтному планированию. Т. I. Принципы ландшафтного планирования и концепция его развития в России. 2000. Т. II. Методические рекомендации по ландшафтному планированию. М.: Гос. центр экол. программ, 2001.
8. **Чорний, М. Г.** Перспективи розширення Канівського природного заповідника / М. Г. Чорний [та ін.] // Заповідна справа в Україні. 2011. 17(1–2). С. 103–101.
9. **Чорний, М. Г.** Канівський природний заповідник: передумови створення, ретроспективний аналіз діяльності, сучасний стан та перспективи розвитку: монографія / М. Г. Чорний, Л. О. Чорна. К., 2013.
10. **Auhagen, A.** Landschaftsplanung in der Praxis / A. Auhagen. Stuttgart: Ulmer, 2002.

11. **Biosphärenreservat Rhön:** Rahmenkonzept für Schutz, Pflege und Entwicklung / Bearb.: Planungsbüro Grebe, Landschafts- und Ortsplanung, Nürnberg. Auftraggeber: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München. Radebeul: Neumann, 1995.
12. **European Landscape Convention.** Florence, 20.X.2000 [Electronic resource]. Mode of access : <http://conventions.coe.int/Treaty/EN/Treaties/Html/176.htm>.
13. **Heiland, S.** (2010): Landschaftsplanung. In: Henckel D. [et al.] (Hrsg.): Planen – Bauen – Umwelt. Ein Handbuch. Wiesbaden. S. 294–300.
14. **ILN** (Institut für Landschaftspflege und Naturschutz der Universität Hannover) (1998): Definitionen aus dem Bereich von Landschaftspflege und Naturschutz. Manuscript, unveröff.
15. **Landschaftsplanung** / [mit Beitr. von: Claus Bittner]. Christina von Haaren (Hrsg.). Stuttgart: UTB, Ulmer, 2004.
16. **Millennium Development Goals.** Ukraine – 2013. National Report / Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine. Kyiv, 2013.
17. **Golubtsov, A.** Landscape planning in Ukraine: the first landscape program / L. Rudenko // Geography, Environment, Sustainability. 2013. Vol. 06. No. 04. P. 91–102.
18. **The Statutory framework of the world network of biosphere reserves** [Electronic resource] / MAB UNESCO. Seville, 1995. Mode of access : <http://unesdoc.unesco.org/images/0010/001038/103849Eb.pdf>.
19. **Ziele des UNESCO Biosphärenreservates Spreewald** [Electronic resource]. Mode of access : <http://www.spreewald.de/>.

**Институт географии Национальной академии наук Украины, Киев, Украина,
Учебно-научный центр «Институт биологии»
Киевского национального университета
им. Тараса Шевченко, Киев, Украина**

Поступила в редакцию 29.05.2014 г.

А. Г. Голубцов, Н. Г. Черный

**НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ ПРИРОДООХРАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ –
ПРИМЕНЕНИЕ ЛАНДШАФТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ
ПРОЕКТА КАНЕВСКОГО БИОСФЕРНОГО РЕЗЕРВАТА**

В статье представлены результаты научного обоснования создания Каневского биосферного резервата, полученные в рамках международного украинско-германского проекта «Ландшафтное планирования в Украине» (2010–2014 гг.). Впервые в Украине применены методические подходы ландшафтного планирования – ключевого инструмента планирования, направленного на сохранение природы и уход за ландшафтом. Основа работы – результаты многолетних исследований региона Среднего Приднепровья, проводимые на базе Каневского природного заповедника и опыт создания системы заповедных территорий различных уровней охраны. Обработка и анализ данных о территории исследования осуществлен с использованием геоинформационных технологий. Применение ландшафтного планирования позволило сконфигурировать биосферный резерват таким образом, чтобы представить в его пределах все многообразие региона, а также предложить оптимальную схему функционального зонирования, основой которого являются результаты комплексной оценки компонентов природы.

O. Golubtsov, M. Chornyi

**NEW APPROACHES TO PROTECTED AREAS – LANDSCAPE PLANNING APPLICATION
FOR THE DEVELOPMENT PROJECT KANIV BIOSPHERE RESERVE**

The abstract presents the results of designing of Kaniv Biosphere Reserve, obtained within the framework of Ukrainian-German project «Landscape Planning in Ukraine» (2010–2014). To design the biosphere reserve for the first time in Ukraine there were used methodological approaches of landscape planning a key instrument of planning directed at nature conservation and landscape management. The work is grounded on long-term research of Serednye Prydniproviya (Middle Dnieper Basin) region on the basis of Kaniv Natural Reserve and on the experience of creation of the system of nature conservation territories with different levels of nature protection. The processing and analysis of the data on the territory of the research have been carried out with use of geoinformation technologies. The use of landscape planning has allowed to define the boundaries of the biosphere reserve in a way that made it possible to represent within the biosphere reserve all diversity of the region, as well as to propose the optimal scheme of functional zoning, based on the results of nature components assessment.

II. БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 622.331+551.3

И. И. Лиштван, Б. В. Курзо, О. М. Гайдукевич

НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ТОПЛИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФА

В исторической перспективе рассмотрены этапы топливного использования торфа в Республике Беларусь. Представлен краткий обзор научных исследований Института торфа и его правоприемников в области брикетирования, получения кускового и гранулированного торфа. Охарактеризовано современное состояние и перспективы использования торфа как источника энергии

На протяжении всей истории Беларуси традиционным видом топлива были дрова, что вело к существенному истреблению лесов. Однако наша страна богата также месторождениями торфа, относящегося по генезису к твердым горючим ископаемым. Природные свойства торфяных залежей определяют высокие теплотворные показатели торфа, что сделало его основным видом местного топлива в довоенные и многие послевоенные годы.

Для получения топливного кускового или гранулированного торфа из него удаляют значительное количество воды, перерабатывают и формуют в куски или гранулы определенного размера. Из высушенного фрезерного торфа прессованием под давлением получают брикеты – высококалорийное топливо. В котлах также сжигают пылевидный торф, добытый фрезерным способом, который предварительно высушивают и измельчают.

Первые промышленные разработки торфа в Беларуси были организованы в конце XIX в. и осуществлялись только с целью топливного использования. Так, в 1896 г. добытый на востоке Витебской губернии торф сжигали в газогенераторных установках в Оршанском районе на местном стеклозаводе для получения тепловой энергии. В 1899 г. для обеспечения топливом Брилевских кирпичных заводов торф добывали на торфяном месторождении Котужь возле Гомеля. В 1913 г. добыча торфа в Беларуси составляла 6 тыс. т в год [19] (14 тыс. т/год – по другим источникам [9]), или 1–2 % от всего количества торфа, добытого в пределах царской России.

После 1917 г. индустриализация страны потребовала поиска новых источников энергии. Столкнувшись с огромным дефицитом энергоносителей в годы революции и гражданской войны новая Советская власть инициировала в 1918 г.

декрет «О разработке торфяного топлива», согласно которому торфу отводилась значительная роль в электрификации страны. Утвержденная в 1921 г. система мероприятий по развитию народного хозяйства на основе плана ГОЭРЛО предусматривала строительство в Беларуси в 1927–1930 гг. крупной тепловой электростанции – Белорусской ГРЭС мощностью 35 тыс. кВт, которая целиком работала на торфе Осиновского месторождения Витебской губернии.

В 1922 г. в Витебской, Минской и Гомельской губерниях было добыто более 38 тыс. т торфа для топлива [19]. Из общего объема добытого торфа 26 тыс. т приходилось на резной торф и 12 тыс. т – на машинный. На добычу торфа в то время работало в Витебской губернии около 700 человек, в Гомельской – 300 и в Минской – 210 человек. Добычу торфа осуществляли элеваторными машинами машино-формовочным способом со значительным использованием ручного труда.

В 1926 г. добыча торфа в БССР находилась в пределах 40 тыс. т, в 1928 г. – 50 тыс. т торфа [9]. Перед второй мировой войной в 1940 г. работало более 200 небольших торфопредприятий, добытый торф которых обеспечивал около 64 % топливного баланса республики, а общий объем добычи составил 3,4 млн т [8].

Появление крупных потребителей торфяного топлива – электростанций вызвало необходимость совершенствования технологии и оборудования торфяного производства, создания высокопроизводительных машин и изыскания новых способов добычи торфа. Для решения этих проблем в 1922 г. в Москве создается Центральный научно-исследовательский институт торфяной промышленности – Инсторф. Распоряжением Рабоче-крестьянского правительства БССР от 28 июля 1928 г. издано положение о

Белорусской центральной торфяной станции Народного Комисариата земледелия БССР при отделе мелиорации, землеустройства и государственных земельных имуществ Народного Комисариата земледелия БССР. В 1929 г. в Минске организован торфяной отдел в Институте промышленности БССР [25].

В 1932 г. в системе Академии наук Белорусской ССР создан Институт торфа (ныне Институт природопользования НАН Беларуси). Исследования института касались научно-прикладных вопросов применения торфа. Большая роль отводилась использованию торфа в качестве источника энергии.

С тех пор и до настоящего времени существуют два основных научных центра в области торфа, техники и технологий его добычи и использования: в Москве (центр исследований затем переместился в Тверь) и в Минске. Их деятельность нельзя назвать конкуренцией, скорее это плодотворное творческое сотрудничество. В Московском торфяном институте (впоследствии в Калининском политехническом институте, ныне Тверском государственном техническом университете) созданы научные школы под руководством и при участии: по физике и химии торфа – М. П. Воларовича, Н. И. Гамаюнова, И. И. Лиштвана, Н. В. Чураева, Е. Т. Базина; по механике торфа и его переработке – С. Г. Соловьева, М. В. Мурашова, В. С. Варенцова, В. М. Наумовича, Л. Н. Самсонова, В. И. Горячева, В. Ф. Зюзина, Л. С. Амаряна; по разведке и разработке торфяных месторождений – С. Н. Тюремнова, В. Я. Антонова, И. Ф. Ларгина, Л. М. Малкова, А. Е. Афанасьева, В. И. Суворова.

В довоенное время в Минске, в Институте торфа АН БССР, Б. К. Климовым начаты исследования в области получения искусственного жидкого топлива и газа из горючих сланцев, угля и торфа [24]. Ученым также разработаны новые методы термической переработки торфа.

После войны торфяная промышленность республики восстановлена в короткий срок и уже в 1950 г. обеспечила добычу 3,9 млн т топливного торфа, из которого на торфобрикетных заводах произвели 1,7 млн т торфяных брикетов [9].

Фундаментальные научные идеи, теоретические основы торфяной механики, новые технологические принципы производства торфяного топлива разработаны в послевоенное время ведущими учеными института Ф. А. Олейко, В. Г. Горячкиным, И. Г. Блох.

В. М. Наумовичем в 1946 г. в Минске, в Институте торфа, начаты и в 1960-е гг. продолжены в Калининском политехническом институте работы по созданию теоретических основ брикетирования торфа [14]. Ученым предложена молекулярная теория брикетирования торфа, выявлена роль форм воды, значение гуминовых кислот и адсорбционных сил при брикетировании. Прове-

дены исследования процесса сушки торфа при брикетировании и на этой основе разработана парогазовая барабанная сушилка, которая использовала дымовые газы котельной. Результаты ее испытаний в 1950 г. на торфопредприятии им. Орджоникидзе Минской области послужили основой для создания аналогичного оборудования на торфобрикетном заводе в Вертелишках Гродненской области и на заводе горного воска в Дукоре Минской области [17].

В начале 1950-х гг. в институте изучали вопросы полубрикетирования торфа, возможности использования для этого стандартного производственного оборудования. Результатом стало строительство ряда заводов по производству такой продукции.

Ряд исследований в области сушки торфа выполнены в Институте энергетики (ныне Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси). Там А. В. Лыковым заложены теоретические основы сушки капиллярно-пористых тел [13], в 1953–54 гг. Л. К. Жикевичем изучался процесс сушки и аэродинамики в движущемся слое торфа, Л. М. Никитиной – процесс сушки фрезерного торфа в пневмопаровой сушилке.

Уже в 1957 г. из 8,2 млн т добываемого торфа наибольшее количество (57 %) получено с использованием механизированного поверхностно-послойного фрезерного способа добычи торфа [9]. Фрезерный способ добычи торфа наряду с большими преимуществами имеет ряд недостатков – зависимость от погодных условий, невысокие цикловые сборы. Фрезерный торф характеризуется малой насыпной плотностью, неоднородным составом, высокой влагоемкостью, склонностью к саморазогреванию и самовозгоранию. Это приводит к большим потерям готовой продукции.

В 1949 г. Институтом торфа начаты исследовательские работы по улучшению качества фрезерного торфа путем дополнительной механической переработки и превращения его в гранулированное топливо. Ученые института Е. А. Жук, В. М. Наумович, Н. С. Костюк, И. С. Нагорский, Ф. А. Малышев изучали влияние переработки торфяной залежи, влажностные характеристики торфа при глубоком фрезеровании и изыскивали эффективные технологии добычи фрезерного торфа пониженной влажности [9]. Ими установлено, что недостатки фрезерного торфа можно в значительной степени устранить путем увеличения механической переработки сферовированной торфяной крошки. В результате механической переработки и формования объемную плотность можно увеличить в 2–3 раза и значительно уменьшить водопоглощаемость готовой продукции.

В рамках работ по механизации добычи кускового торфа в Институте торфа (В. В. Садов-

ничий, К. П. Куницкий) разработана самоходная машина МСК для выполнения операций по сушке кускового торфа [17]. Машина осуществляла ворочку и формировала валки кускового торфа для последующей уборки. Создание машины МСК обеспечило условия комплексной механизации добычи кускового торфа. В это же время изучали возможности сушки и механизации добычи мелкокускового торфа цилиндрической формы и вопросы прочности кускового торфа.

Результаты исследований института по получению гранулированного (зернистого крошкиообразного) торфа освещены в трудах института и других изданиях Академии наук БССР, и частично в журнале «Торфяная промышленность». Это работы Ф. А. Олейко, Е. А. Жук, В. Г. Горячкина и А. Б. Дубова, В. В. Садовничего и П. А. Шадурского. Выполненные теоретические изыскания позволили в 1961 г. создать машину для добычи кускового торфа МКТ-3. С помощью этой машины получен мелкокусковой торф, обладающий высокой прочностью, насыпной плотностью и водопоглощаемостью [27].

На экспериментальной базе «Дукора» Института торфа изготовлены опытные машины для получения гранулированного торфа, в которых в качестве перерабатывающего механизма применяли зубчатые валки, а формующим аппаратом служил дырчатый барабан [17]. Малая толщина фрезеруемого машиной слоя приводила к экскавации пересущенной торфяной массы, затруднению формования и получению вследствие этого непрочной торфяной продукции. Для устранения недостатка предложена специальная фреза глубиной фрезерования до 200 мм, которая обеспечивала экскавацию торфа, однородного по влажности и пластичности.

Ф. А. Олейко предложен новый метод оценки степени переработки торфа, показана возможность расчета затрат энергии на трение торфа по различным поверхностям, основных размеров шнекового перерабатывающего-формующего аппарата, создана классификация торфяных машин по числу степеней свободы экскавирующего элемента [17]. Заложенные учеными основы продолжены исследованиями Н. А. Кот (винтовая фреза как экскавирующий орган), Н. И. Бохан (дисковая фреза и автоматическое регулирование глубины фрезерования), А. П. Лецко (механическая переработка дырчатым шнековым прессом, предложенным Олейко), И. С. Нашкевичем (шнековый пресс с неподвижным валом). Подытоживала сделанное работа [10], в которой рассмотрены экскавирующие органы для глубинно-щелевой разработки торфяной залежи – дисковая и винтовая фрезы, установлены их оптимальные параметры, конструктивное оформление, энергоемкость процесса экскавации, дано описание конструктивных особенностей машин для добычи торфа, в которых

используются данные экскавирующие органы и на основе их энергетической оценки сделан вывод о преимуществе дисковых фрез как рабочих органов. Показана возможность полной механизации всего технологического процесса добычи топливного торфа глубинно-щелевым способом экскавации залежи.

В конце 1970-х гг. в Институте торфа Н. М. Солодухо проведены исследования по получению кускового торфа фрезформовочным способом на залежах низкой степени разложения [18]. Создана машина МТК-2,8Т мощностью 220 кВт, экскавирующий рабочий орган которой был выполнен в виде фрезы, а формование осуществлялось в двухшnekовом прессе и 19-ручейковом торовом формирователе. Исследования показали, что такой способ позволяет исключить саморазогревание торфа и потери углеводного комплекса, организовать добычу на небольших торфяных месторождениях в непосредственной близости от потребителя. В тоже время добыча торфа фрезформовочным способом позволила получить более дешевое, чем торфяные брикеты, местное топливо.

Результаты исследований и производственных испытаний позволили в 1970-е гг. разработать, испытать и внедрить ряд машин для обеспечения потребности в коммунально-бытовом топливе. Среди них – машины ПМК-500 и МБТ-500 для добычи мелкокускового торфа методом щелевой экскавации залежи (Н. А. Кот, Н. М. Солодуха, В. Т. Улитин, А. С. Гладкий, В. В. Шавель). Однако следует отметить, что под действием градиентов влажности и температуры в процессе полевой сушки, а также атмосферных осадков, мелкокусковой торф, добытый на залежи низинного типа, склонен к трещинообразованию и самопроизвольному крошению. Гранулированный торф по качественным показателям значительно превосходит кусковой, поэтому в конце 1960-х – начале 1970-х гг. получили развитие работы И. Н. Чистого по получению гранулированного торфа с кусками размером 20–40 мм как разновидности формованного [27]. Данный способ формования осуществлялся за счет создаваемого избыточного давления и продавливания торфа через активную матрицу. На основе предложенного способа созданы и исследованы надежные в работе формующие механизмы и опытные машины МДГ-0,5 и МТГ для получения гранулированного торфа. Это позволило разработать основы технологии производства гранулированного торфа на различных по ботаническому составу и степени разложения залежах. Проверка предложенной технологии в производственных условиях показала, что гранулированный торф по сравнению с фрезерным имеет значительные преимущества: повышенную насыпную плотность не менее чем в 1,5 раза, сезонные сборы – в 1,6–1,8, цикловые – в 5–6 и

на основе этого в 7–8 раз сокращается количество технологических операций при значительном повышении производительности труда на сушке, уборке и штабелировании. Проведены исследования по брикетированию гранулированного торфа, добытого на залежах средней и низкой степени разложения, так как фрезерный торф из-за малой насыпной плотности не отвечал требованиям брикетного производства [10].

В Институте торфа Ф. С. Яцевичем совместно с ЦКБ с ОП АН БССР в конце 80-х гг. XX в. разработана конструкция экспериментального шнекового окатывающего гранулятора АНБ-710, способного окатывать фрезерный торф в гранулы диаметром 1–3 мм для сорбентов и экстракции воска [29]. Технологическая схема производства гранул предусматривала отделение от исходного сырья – фрезерного торфа – древесных и металлических включений валко-дисковым сепаратором, перемешивание торфа с пластификатором (водой, паром) в дозаторе и смесителе, окатывание его в шнековом грануляторе, сушку в барабанной сушилке, отделение крупных гранул в барабанном грохоте, отделение пыли от сухих гранул с помощью пневмосепаратора.

На основе разработанных М. А. Гатихом и Л. С. Лис с сотрудниками физико-технических основ проектирования и внедренных нестандартных измерительных приборов и систем автоматического контроля качественных показателей торфа и продукции из него (влагомеров, плотномеров, расходомеров, систем прочности) в 1980-е гг. в институте создана автоматизированная система управления технологическим процессом торфобрикетного завода с паротрубчатой сушилкой [3–7]. Изучались вопросы автоматизации процессов сушки торфа на брикетных заводах [3] и прочности торфяных брикетов, приборной базы для ее диагностики [5].

В середине 80-х гг. XX в. в работах И. И. Лиштвана детально изучена природа прочности окускованного торфа [11–12]. Показано, что она определяется химическими и водородными связями, межмолекулярными взаимодействиями, природными факторами (ботанической характеристикой, степенью разложения и влажностью) и технологическими параметрами (размером куска, степенью дисперсности, влиянием древесных включений и промораживанием).

И. И. Лиштваном и А. А. Терентьевым установлены закономерности формирования структуры торфа при его модификации электролитами, ПАВ и ПЭ и разработаны основы физико-химического упрочнения кускового торфа. А. А. Терентьевым исследованы физико-механические характеристики торфоугольных смесей [20] и предложена технология производства брикетов из торфа в смеси с каменным углем на торфобрикетных заводах [26].

В своих трудах А. А. Терентьев, подытоживая огромную работу в области способов управления прочностью окускованной продукции (брикетов и кускового торфа) с использованием механических, физических и физико-химических методов воздействия, установил зависимости между составом торфа и физико-механическими свойствами окускованной продукции. Он теоретически обосновал роль исходного состояния торфа в формировании его структуры и нахождения основных реологических параметров, связывающих это состояние с качеством окускованной продукции, а также предпочтительный вид торфа различного типа для производства формованной продукции [11, 23]. А. А. Терентьевым совместно со специалистами института БелНИИтоппроект дана оценка энергетической эффективности твердого бытового брикетированного и гранулированного топлива из торфа в композициях с углем, лигнином, отходами деревообработки [1].

Разработанные И. И. Лиштваном и А. А. Терентьевым физико-химические основы торфяного производства нашли отражение при проектировании и совершенствовании технологического оборудования по добыче кускового торфа и брикетных производств, в нормативных документах, регламентирующих качество продукции на основе торфа [21, 22].

Вопросы, связанные с получением композиционного кускового топлива на основе торфа с фитомассой быстрорастущих растений, сапропеля и полукокса рассмотрены в последних работах А. П. Гаврильчика [2]. Использование 10–20 % связующих добавок при формировании крошащихся видов торфа увеличивало плотность и прочность последних, снижало крошимость и водопоглощающую способность.

До начала 70-х гг. XX в. торф в Республике Беларусь оставался основным видом топлива. На нем работало большинство электростанций, таких, как Жодинская ТЭЦ, Василевичская ГРЭС, Бобруйская ТЭЦ, Кричевская ТЭЦ, БелГРЭС и др. [25]. Однако в последующие годы добыча топливного торфа постепенно снижается. Это связано с вытеснением его дешевым на то время и более удобным в применении топливом – природным газом, который пришел в Республику Беларусь в начале 70-х гг. С этого времени торфяное топливо планомерно заменяется на газ. К 1986 г. сжигание его на электростанциях и ТЭЦ прекращается [25]. Вследствие этого происходит сокращение добычи торфа и производства основного вида продукции – топливных брикетов. Из 44 заводов, которые производили топливные брикеты, осталось 19. Собранные из различных источников данные по объему добычи торфа (рис. 1) говорят о том, что за весь период освоения торфяных ресурсов в республике добыто

порядка 930 млн т торфа (по состоянию на конец 2012 г.). Из этого объема около 230 млн т используется в топливных целях.

По данным ГПО «Белтопгаз» уровень газификации природным газом жилого фонда составляет сейчас 70,5 % [30]. Природный газ ис-

пользуется в 2,7 млн квартир, сжиженный – в 1,1 млн. Только около 10 % жителей села имеют возможность пользоваться природным газом. В связи с этим среди сельского населения республики торфяное топливо еще долго будет востребовано.

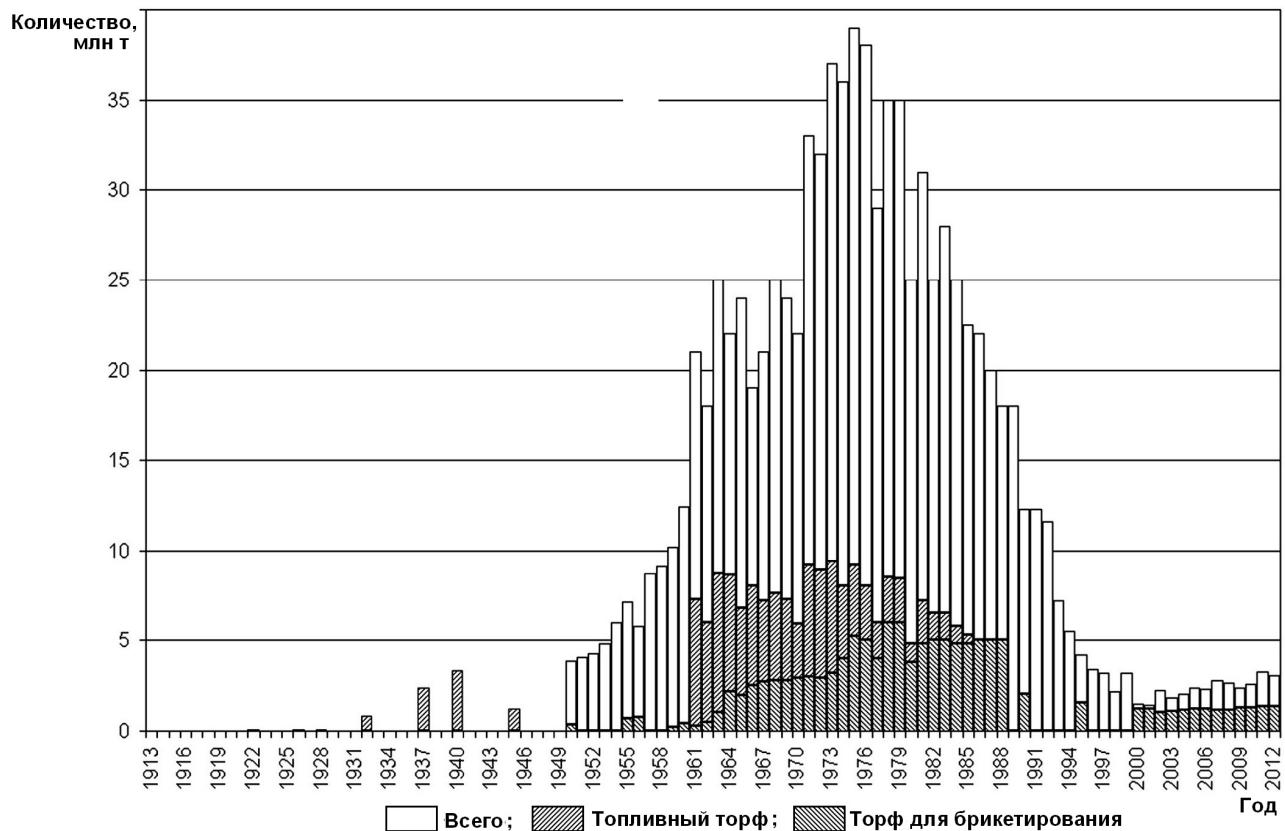


Рис. 1. Добыча торфа в Республике Беларусь (составлено с использованием данных [9, 16])

В настоящее время мировая тенденция развития рынка энергоносителей характеризуется возрастанием использования местных видов топливного сырья: древесных отходов, щепы, отходов сельского хозяйства. Это происходит на фоне увеличения объемов экспортных поставок американского угля в Европу. Увеличение объемов использования угля повлекло снижение цен на данный вид топлива.

С начала 2000-х гг. Правительством Республики Беларусь принят обоснованный курс на увеличение использования местных видов топлива, в том числе торфа, в топливном балансе страны. В 2008 г. разработана и постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 23.01.2008 № 94 утверждена Государственная программа «Торф» на 2008–2010 годы и на период до 2020 года.

По данным Министерства энергетики РБ в 2012 г. потребление топливных брикетов в стране составило 968,7 тыс. т. Экспортные по-

ставки брикетов (в Швецию, Литву и Польшу) – 392,7 тыс. т. В 2012 г. и первом полугодии 2013 г. отмечалась тенденция снижения потребления топливных брикетов вследствие интенсивной газификации населенных пунктов, мягкого температурного режима в зимнее время и уменьшения отпуска брикетов по фиксированным ценам. Министерством строительства и архитектуры РБ заявлена перспективная потребность подведомственных организаций цементной подотрасли в торфобрикетах, составляющая 176 тыс. т в год к 2015 г. Расчеты специалистов Минэнерго показывают, что стоимость 1 т условного топлива при использовании торфяных брикетов на 30 % меньше, чем при использовании каменного угля. Применение цементными заводами торфяных брикетов позволит сэкономить значительную часть финансовых средств, направляемых на закупку импортируемого природного газа и каменного угля для производства цемента.

В последние годы в республике развивается рынок топливных гранул (пеллет) нового вида энергоносителей, которые дают возможность автоматизировать процесс получения тепловой энергии. Существует возможность создания топливных гранул на основе торфа с добавками неиспользуемых органических отходов сельского хозяйства и деревообработки. Пеллеты из таких материалов полезно утилизируют отходы хозяйственной деятельности человека и позволяют получать продукцию топливного назначения заданного качества по содержанию зольных элементов, прочностным и водопоглотительным характеристикам.

Для Республики Беларусь организация пеллетных производств на основе торфяного сырья, производимого предприятиями различной формы собственности весьма актуальна, а экспортный потенциал данного продукта перспективен. В настоящее время в Республике Беларусь предприятиями различной формы собственности реализуется несколько проектов создания пеллетных производств на основе торфяного сырья – в Лиозненском районе Витебской области иностранным частным унитарным предприятием «Бризант-Энерджи Центр» с проектной мощностью до 100 тыс. т в год [28], Осиповичском районе Могилевской области СООО «Экоарк» в объеме 35 тыс. т в год и Ошмянском районе Гродненской области ОАО «Торфобрикетный завод «Ошмянский» [25].

Исследованиями института выявлены основные качественные характеристики пеллет, которые находят отражение в нормативных документах. Показана возможность получения топливных гранул на основе разных видов торфа с добавками органического и кремнеземистого сапропеля, растительных отходов сельскохозяйственного производства. Одновременно существует возможность управления основными нормируемыми характеристиками получаемого топлива, особенно содержанием золы. Установлено, что качественные пеллеты, отвечающие требованиям стандартов качества, могут быть получены путем добавления в торфяное сырье до 30 % отходов переработки зерна и кукурузы и до 50 % отходов сои и тростника. Добавление в тростниковое сырье 10 % органического сапропеля влагой 60–70 % также позволяет получить высококачественное гранулированное топливо.

Для вовлечения перспективных видов местного топлива в топливно-энергетический ба-

ланс разработаны предложения по получению композиционных топливных гранул на основе торфа, имеющих хорошие потребительские качества ввиду высокой теплотворной способности и возможности автоматизации процесса сжигания, которые заключаются в следующем:

- учитывая ограниченность отходов биомассы древесного происхождения и необходимость ее экономного использования, сырьевой основой при производстве топливных гранул на перспективу должен служить торф. Высококачественные торфяные топливные гранулы могут быть получены путем формования через горячую матрицу верхового торфа с малым содержанием зольного остатка;

- топливные гранулы на основе торфа, по сравнению с древесными, обладают выраженным гидрофобными свойствами. Это качество необходимо учитывать при организации хранения и перевозки пеллет, в том числе россыпью для нужд теплоэнергетики, что значительно снижает затраты на упаковку;

- с целью снижения расхода торфа и утилизации неиспользуемых отходов сельского хозяйства в качестве добавок к торфяной основе должны применяться остатки переработки сои и кукурузы, лузга зерновых культур, тростник и др., которые в целом изменяют прочностные характеристики готовой продукции в сторону их незначительного снижения и увеличения содержания мелочи, однако вследствие малого содержания золы позволяют регулировать содержание зольного остатка и теплотворной способности готовой продукции;

- для увеличения прочностных характеристик готовой продукции и насыпной плотности, снижения содержания мелочи необходимо качестве добавок к торфяному сырью использовать в органический сапропель зольностью до 10 % в количестве 3–10 %.

Для организации производства пеллет ОАО «Лельчицкий агросервис» на основе сырья Лельчицкого района Гомельской области разработаны технические условия ТУ BY 400009031.004-2013 «Пеллеты топливные на основе торфа» и опытно-промышленный технологический регламент производства ТР-П 100289079.028-2013, в которых учитываются действующие за рубежом нормативные документы, результаты экспериментов по получению качественной формованной продукции на основе торфа, а также состав и свойства разведенного торфяного и сапропелевого сырья.

Литература

1. Борисейко, В. В. Оценка энергетической эффективности твердого бытового топлива / В. В. Борисейко, А. А. Терентьев // Торфяная промышленность. 1987. № 9. С. 27–29.

2. Гаврильчик, А. П. Перспективы использования композиционного топлива / А. П. Гаврильчик, Л. П. Калилец, И. В. Агейчик // Торф в решении проблем энергетики, сельского хозяйства и экологии : Материалы Междунар. конф. Минск, 21-23 ноября 2006 г. Минск, 2006. С. 23–24.
3. Гатих, М. А. Автоматизация процессов сушки торфа на брикетных заводах / М. А. Гатих, В. Е. Геншафт, Б. В. Войтович. Минск, 1983.
4. Гатих, М. А. Влагометрия торфа / М. А. Гатих, Л. С. Лис. Минск, 1986.
5. Гатих, М. А. Пенетрометр для контроля прочности торфяных брикетов / М. А. Гатих, В. А. Царев, Л. А. Головницкий // Торфяная промышленность. 1987. № 2. С. 24–27.
6. Гатих, М. А. Создание АСУТП торфобрикетного завода с паротрубчатой барабанной сушилкой / М. А. Гатих [и др.] // Торфяная промышленность. 1988. № 6. С. 22–25.
7. Гатих, М. А. Физико-механические методы измерения и дозирования массы сыпучих материалов / М. А. Гатих. Минск, 1987.
8. Голованчиков, И. Я. Торфяная промышленность / И. Я. Голованчиков, Ф. П. Петрович // Белорусская советская энциклопедия. Минск, 1974. Т. 10. С. 239–240.
9. Костюк, Н. С. Белорусская ССР – Республика торфа / Н. С. Костюк. Минск, 1958.
10. Кот, Н. А. Глубинно-щелевой способ добычи торфа / Н. А. Кот. Минск, 1974.
11. Лиштван, И. И. Физико-химические основы технологии торфяного производства / И. И. Лиштван [и др.]. Минск, 1983.
12. Лиштван, И. И. Физические свойства торфа и торфяных залежей / И. И. Лиштван [и др.]. Минск, 1985.
13. Лыков, А. В. Теория сушки. / А. В. Лыков. М., 1968.
14. Наумович, В. М. Брикетирование торфа: краткие сведения о производстве торфяных брикетов / В. М. Наумович, Б. Д. Паремский. Минск, 1946.
15. Опейко, Ф. А. Степень переработки торфа / Ф. А. Опейко // Ин-т торфа АН БССР : сб. науч. тр. Минск, 1951. Вып. 1. С. 46–52.
16. Радзевич, Л. Ф. Торфяной фонд Белорусской ССР и основные направления его охраны и рационального использования / Л. Ф. Радзевич. Минск, 1991.
17. Сквозь годы в согласии с природой / НАН Беларуси. Ин-т проблем использования природных ресурсов и экологии. Подгот. Н. А. Кот, М. И. Потемкин. Под общ. ред. И. И. Лиштвана. Минск, 1998.
18. Солодуха, Н. М. Фрезформовочный способ добычи торфа / Н. М. Солодуха. Минск, 1980.
19. Состояние торфохозяйств по данным 1921–1922 операционного года // Торфяная промышленность. М., 1923.
20. Терентьев, А. А. Исследования физико-механических характеристик торфоугольных смесей / А. А. Терентьев, Н. П. Марук // Торфяная промышленность. 1982. № 5. С. 20–22.
21. Терентьев, А. А. Машина МТК-16 с прямоточным формователем и принудительной очисткой / А. А. Терентьев // Торфяная промышленность. 1990. № 9. С. 10–11.
22. Терентьев, А. А. Структура и свойства формованной торфяной продукции / А. А. Терентьев, В. И. Суворов. Тверь, 2004.
23. Терентьев, А. А. Управление структурообразованием в торфяных системах при получении бытового топлива / А. А. Терентьев : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Минск, 1989.
24. Токарев, Н. В. Работы члена-корреспондента АН БССР Б. К. Климова по использованию торфа, углей и сланцев для получения моторного топлива в 1930–1940-е годы / Н. В. Токарев // Альтернативные источники сырья и топлива : Тез. докл. III Междунар. науч.-техн. конф. «Аист–2011». Минск, 24–26 мая 2011 г. Минск, 2011. С. 32.
25. Торфяная промышленность Беларуси / ред. колл. Л. И. Рудинский [и др.]. Минск, 2013.
26. Тычина, В. А. Определение структурно-реологических констант вязкопластичного течения минерально-торфяных смесей в рабочих органах шнековых прессов / В. А. Тычина, А. А. Терентьев // Торфяная промышленность. 1981. № 12. С. 14–16.
27. Чистый, И. Н. Производство гранулированного торфа / И. Н. Чистый. Минск, 1980.
28. Энергетическая стратегия : Научно-практический журнал Министерства энергетики Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://energystrategy.by/news-423.html>. Дата доступа : 11.02.2014.
29. Яцевич, Ф. С. Технология получения торфяных гранул малого диаметра / Ф. А. Яцевич // Торфяная промышленность. 1989. № 2. С. 25–26, 32.
30. Online конференция: Практика газификации жилого фонда Беларуси: как избежать проблем. Новости Беларуси – Белорусское телеграфное агентство [Электронный ресурс]. Режим доступа : http://www.belta.by/ru/conference/i_384.html. Дата доступа : 11.02.2014.

И. И. Лиштван, Б. В. Курзо, О. М. Гайдукевич

**НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
В ОБЛАСТИ ТОПЛИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФА**

В хронологической последовательности рассмотрены этапы использования торфа как энергоносителя в Республике Беларусь, результаты и перспективные направления исследований по проблемам топливного использования торфа. Показана динамика потребления торфа в республике. Этап роста производства торфяного топлива связан с необходимостью удовлетворения нужд индустриального народного хозяйства. Этап, когда значение торфа как топлива резко уменьшается, начинается в 1970-х гг. с началом газификации республики и планомерной заменой торфяного топлива на крупных теплоэнергетических объектах более дешевым и технологичным природным газом. В то же время на рынке теплоносителей торф сохранил свои позиции как коммунально-бытовое топливо.

Созданный в 1932 г. Институт торфа Академии наук Беларуси обеспечил решение научно-прикладных вопросов в области использования торфа как энергоносителя. Фундаментальные научные идеи, теоретические основы торфяной механики, новые технологические принципы производства торфяного топлива разработаны ведущими учеными института Ф. А. Опейко, В. Г. Горячким, В. М. Наумовичем, И. И. Лиштваном, А. А. Терентьевым. Особое внимание уделялось вопросам механической переработки и превращения торфяного сырья в кусковое и гранулированное топливо, проектирования и совершенствования технологического оборудования по добыче торфа и автоматизации брикетных производств.

В настоящее время в области новых направлений энергетического использования торфа выполнены экспериментальные работы по получению композиционных топливных гранул на основе торфа, имеющих высокие потребительские качества из-за высокой теплотворной способности и возможности автоматизации процесса сжигания.

I. I. Lishtvan, B. V. Kurzo, O. M. Gaydukevich

APPLIED RESEARCH IN THE FIELD OF FUEL PEAT USE

In chronological order the steps of usage of peat as an energy in Belarus, results and promising areas of research on the use of fuel peat have been considered. The dynamics of the consumption of peat in Belarus are shown. The growth stage production of peat fuel is connected with the need to meet the needs of the industrial economy. The second stage, where the peat's value like a fuel has decreased sharply has began in 1970's with the beginning of Republic's gasification and orderly replacement of peat fuel in large thermal power facilities cheaper and more technologically advanced natural gas. At the same time on the heat transfer agent market peat save its positions like a communal services fuel.

The Peat Institution of Academy of Sciences of Belarus, which have been founded in 1932 have provided the solution of scientific and applied problems in the use of peat as an energy. Fundamental scientific ideas, theoretical bases of peat's mechanic, new technological principles of peat fuel production have been developed by leading scientists of the Institute such as Opeyko F. A., Goryachkin V. G., Naumovich V. M., Lishtvan I. I., Therentyev A. A. Particular attention have been paid to the mechanical processing and conversion of peat raw material to the granulation lump fuel, design and development of equipment process the extraction of peat briquette production automation.

Nowadays in the area of searching of a new areas of energy usage peat experimental works have been performed on behalf of the composite peat-based pellets, with high quality consumer because of the high calorific value and the possibility of automating the combustion process.

УДК 663.97 + 631.41

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

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА КОЛЛОИДНОГО РАСТВОРА ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ ТОРФА

Коллоидный раствор гуматов получен постепенным увеличением количества добавляемого электролита (CaCl_2) к разбавленному щелочному раствору гуматов натрия. Коллоидный раствор гуматов рассеивал свет, давал конус Тиндаля и изменялся во времени, причем наиболее заметные изменения были в течение первых 72 ч, после чего изменения визуально не наблюдались, но данные оптических измерений свидетельствуют о медленном самопроизвольном изменении в течение 168 ч.

Взаимодействие растворов гуминовых веществ (ГВ) с многовалентными катионами широко распространено в природных водах, почвах, торфяных и сапропелевых отложениях и во многих химико-технологических процессах переработки гумифицированного сырья. Литературные данные о свойствах коллоидных растворов ГВ противоречивы, и одна из причин – отсутствие общепринятых методов их получения.

Разбавленные щелочные растворы гуматов одновалентных катионов (лития, натрия, калия, аммония и др.) являются истинными (молекулярными), так как гуматы находятся в молекуларно-дисперсной форме и не образуют надмолекуллярных структур с поверхностью раздела фаз [2, 6, 8, 14–17, 22, 24]. Впервые такой вывод сделал Свен Оден, и в настоящее время эта точка зрения получила широкое распространение. Разбавленные водные и щелочные растворы гуматов и фульватов одновалентных катионов не дают конуса Тиндаля, характеризуются ламинарным (ニュートンовским) течением и, по современным представлениям, относятся к истинным растворам типичных высокомолекуллярных полимеров [3, 7, 8, 17, 24, 25].

При введении поливалентных катионов, например кальция или бария, в щелочные растворы гуминовых кислот (ГК) выпадают осадки смешанных гуматов, в состав которых входят ионы кальция или бария и одновалентные катионы [11, 14–16, 24]. Согласно теории [1, 4, 21, 26], выпадению осадков из истинных растворов высокомолекуллярных соединений и полиэлектролитов предшествует образование зародышей новой фазы путем формирования надмолекуллярных структур, и это правило распространяется на разбавленные растворы ГВ [15, 17]. Под воздействием электролитов в растворах ГВ сначала образуются растворимые микромозаичные ассоциаты молекул с упорядоченными и неупорядоченными микрозонами за счет соединения макромолекул по водородным связям (в кислой среде), или через мостики поливалентных катионов, или за счет повышения концентрации при вытеснении молекул ГВ солями из дисперсионной среды.

Согласно современным представлениям коллоидной химии и химии высокомолекуллярных полиэлектролитов [1, 4, 10, 18, 23, 26], способность макромолекул ГК к ассоциации обусловлена их гибкостью в растворе, нерегулярностью распределения ионогенных и неионогенных групп атомов и связанных с этим наличием гидрофильных и гидрофобных фрагментов в каждой молекуле, а также микроброуновским движением отдельных фрагментов макромолекул, что в совокупности обеспечивает микромозаичность возникающих ассоциатов с образованием в отдельных микрозонах упорядоченных участков. Ассоциаты в растворе характеризуются непостоянством состава по количеству ассоциированных молекул: они могут распадаться полностью или частично, возникать вновь в другой части раствора, но, главное, ассоциаты, как и макромолекулы, не имеют поверхности раздела фаз из-за небольшого количества молекул в одном ассоциате [4, 18, 21, 23, 26]. Ассоциаты гуматов с упорядоченными микрозонами рассматриваются как зародыши новой фазы, способные к укрупнению и образованию микроагрегатов (мицелл) [7, 8, 15, 17, 19, 22]. Последние отличаются от ассоциатов не только большим количеством молекул, но и наличием поверхности раздела фаз, причем важнейшей особенностью микроагрегатов является способность их нахождения в растворе при размерах менее 10^{-4} см [4, 21, 26]. Согласно общей теории образования аморфных осадков [1, 4, 21], появление микроагрегатов новой фазы означает переход истинного раствора ГК в коллоидный.

Применительно к разбавленным растворам ГК наиболее часто имеют место три варианта образования коллоидных растворов из истинных.

Первый – когда ассоциаты, а затем и микроагрегаты образуются в щелочной, нейтральной или близкой к нейтральной среде при взаимодействии растворов гуматов одновалентных катионов с многовалентными. Согласно данным [16], при введении двухвалентных катионов в разбавленные растворы гуматов одновалентных катионов ионный обмен происходит на молеку-

лярном уровне, и причиной образования осадков является укрупнение частиц дисперсной фазы за счет взаимодействия двухвалентных катионов с разными молекулами ГК. Механизм укрупнения частиц дисперсной фазы через кальциевые мостики подтвержден независимым экспериментальным определением изменений размеров частиц методом гель-фильтрации при введении хлористого кальция в щелочные растворы ГК торфа [5]. У исходного раствора гуматов лития древесно-тростникового торфа на дифференциальных кривых молекулярно-массового распределения было два максимума, соответствующих 25 000 и 175 000 D, а после введения в раствор 46 мг-экв. CaCl_2/l гумата наблюдалось смещение максимумов в высокомолекулярную область со средними «молекулярными» массами 125 000 и 250 000 D. Аналогичные результаты получены для гуматов пущевого торфа: после введения в раствор 27 мг-экв. CaCl_2/l образовавшиеся ассоциаты смешанных гуматов кальция и лития находились в истинных растворах, но их массы были в 3–5 раз больше по сравнению с молекулярными массами исходных гуматов (до введения хлористого кальция). При более высоких концентрациях электролита происходит превращение истинного раствора в коллоидный путем соединения многих молекул и ассоциатов гуматов через металлические мостики в результате реакции обмена одновалентных катионов на поливалентные. Подбирая концентрации растворов гуматов и вводимого электролита, можно получить коллоидный раствор смешанных гуматов, например кальция и натрия, с поверхностью раздела фаз между микроагрегатами гуматов и дисперсионной средой – раствором гидроксида натрия. При дальнейшем введении новых порций ионов кальция наступает вторая стадия – выпадение осадка смешанных гуматов из коллоидного раствора, что и наблюдалось в работе [5].

Данный механизм образования коллоидных растворов гуматов из истинных широко распространен в почвенных растворах, речных, озерных, морских и канализационных водах, а также в водах торфяных, сапропелевых и угольных месторождений. Этот механизм имеет место во многих технологиях химической переработки ископаемого твердого топлива, например при получении кальциевых солей фульвокислот для кучного и подземного выщелачивания редких и рассеянных металлов, а также в аналитической практике для осаждения фульвокислот в виде бариевых солей в целях очистки их от примесей других органических веществ.

Второй вариант образования коллоидных растворов имеет место при воздействии кислот на щелочные экстракты ГВ. В этом случае в кислой среде сначала образуются ассоциаты, а затем и микроагрегаты, в результате взаимодействия молекул ГК через водородные связи. В

природных условиях такие процессы имеют место, например, в болотных и почвенно-грунтовых водах с кислой реакцией среды, а в технологической практике – при получении ГК из торфа, бурого угля, сапропеля и другого сырья.

Третий вариант образования коллоидных растворов в щелочных или нейтральных средах имеет место, когда в истинный раствор гуматов водятся соли, например хлористый натрий. В данном случае коллоидный раствор образуется как итог вытеснения гуматов из раствора по механизму высыпания и укрупнения частиц через водородные связи. Этот механизм широко распространен в почвах и природных водах с большим содержанием солей, а также используется при фракционировании ГК методом высыпания из растворов гуматов одновалентных катионов [9, 19, 20].

Из вышеизложенного анализа литературы следует, что образование осадка при введении электролита в истинный раствор гуматов лития, натрия, калия или аммония происходит, как минимум, в две стадии.

Первая – превращение истинного раствора в коллоидный путем соединения многих молекул гуматов через металлические мостики или водородные связи, либо за счет повышения концентрации гуматов при вытеснении их солями из раствора.

Независимо от того, по какому из трех вышеописанных механизмов истинные растворы гуматов преобразуются в коллоидные, при дополнительном введении электролита наступает вторая стадия – выпадение осадка ГВ из коллоидного раствора за счет слипания коллоидных частиц. Это означает, что, несмотря на сложность процессов преобразования истинных растворов гуматов в коллоидные в щелочной, нейтральной или кислой среде, осадки ГВ выпадают только из коллоидных растворов.

Таким образом, наблюдаемое явление осаждения ГВ электролитами из водно-щелочных растворов имеет коллоидно-химическую природу, поэтому для характеристики данного процесса наиболее правильно использовать общепринятый в коллоидной химии термин «коагуляция» [4, 21], а наименьшую величину электролита, при которой образуется осадок, характеризовать термином «порог коагуляции».

Исследовали ГК низинного тростниково-осокового торфа со степенью разложения R 35 %, зольностью A 11,3 %, pH в KCl 5,2, из месторождения Гало-Ковалевское. Для экстракции ГВ использовали фрезерный торф, высушенный в лаборатории до воздушно-сухого состояния, измельченный и просеянный через сито с размером ячеек 1 мм. Экстракцию ГВ осуществляли 2 %-ным раствором гидроксида натрия или водного аммиака при температуре 96–98 °C (кипящая во-

дяная баня) в течение 2 ч при модуле 1:10. Из охлажденных до температуры 18–22 °С супензий экстракты отделяли центрифугированием, ГК осаждали добавлением 10 %-ного раствора HCl до pH 1. Осадки ГК отделяли центрифугированием, вымораживали при температуре минус 4–5 °С, отмывали от избытка ионов хлора и сушили при температуре 50 °С. Коагуляцию гуматов осуществляли с использованием в качестве коагулянта хлорида кальция. Поскольку стандартной методики определения порога коагуляции нет, мы, на основании литературных данных [11, 15, 16], применили следующую методику. Готовили 0,02 %-ный раствор ГК в 0,1 М NaOH и выдерживали его в течение 24 ч. Параллельно готовили водный раствор CaCl₂ с концентрацией 19,98 г / л.

В серию пробирок вносили возрастающие (от 0,05 до 1,0 мл) количества раствора CaCl₂, затем во всех пробирках доводили объем дистиллированной водой до 1,0 мл. Далее, в каждую пробирку приливали по 5,0 мл приготовленного раствора гумата натрия, выдержанного в течение 24 ч. Таким образом, общий объем жидкости в каждой пробирке составлял 6,0 мл. Для безошибочного внесения заданных количеств CaCl₂ в пробирки пользовались заранее составленной таблицей, где указаны количества CaCl₂ в миллиграмм-эквивалентах на литр гумата, соответствующие им количества раствора CaCl₂ в миллилитрах на 5,0 мл гумата и количества воды

в миллилитрах для уравнивания общего объема жидкости в пробирках до 6,0 мл. Полную коагуляцию ГК определяли в миллиграмм-эквивалентах CaCl₂ на литр гумата через 4 ч, когда осадок смешанных гуматов выпадал на дно пробирки, а жидкость над осадком была слабо окрашена.

В каждой пробирке, помимо визуальной оценки, измеряли величину оптической плотности через 4, 24, 72 и 168 ч, чтобы проследить за изменением растворов во времени с увеличением количества вводимого коагулянта. Коллоидный раствор хранился в темноте в лабораторных условиях. Оптическая плотность исходных растворов гуматов натрия обусловлена поглощением света системами полисопряжения их молекул, которое в щелочной среде усиливается под воздействием электродонорных и электрофильных групп, расположенных при системах сопряжения и поэтому влияющих на подвижность π-электронов. Из рис. 1 видно, что при введении коагулянта в щелочной раствор ГК сначала наблюдается небольшое снижение величины оптической плотности истинного раствора, наверное, за счет того, что катионы кальция ослабляют воздействие вышеуказанных ауксочромов на системы полисопряжения. Данное снижение оптической плотности является, по-видимому, закономерностью, потому что оно наблюдалось всегда при многократном повторении опытов с ГК низинного и верхового торфа.

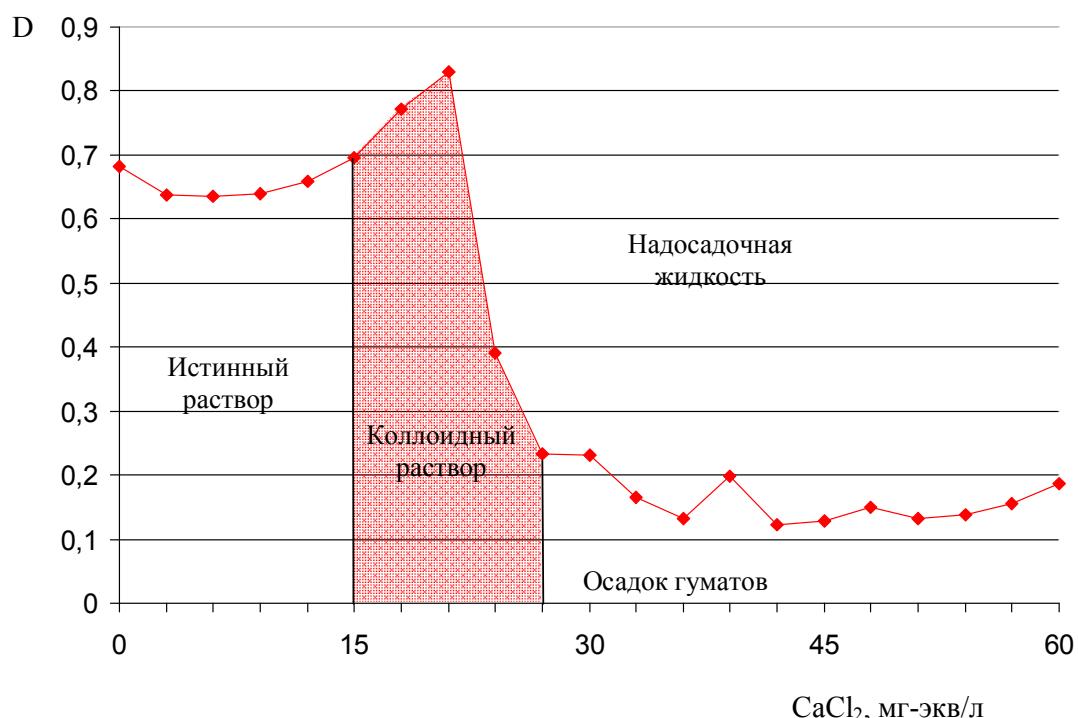


Рис. 1. Изменение оптической плотности D₄₄₀ раствора гуматов в зависимости от концентрации коагулянта

Однако при возрастании концентрации катионов кальция начинается постепенное увеличение оптической плотности за счет образования растворимых ассоциатов молекул смешанных гуматов натрия и кальция с частичным объединением их систем полисопряжения через кальциевые мостики. Объединенные системы полисопряжения нескольких молекул интенсивнее поглощают свет по сравнению с отдельными молекулами. На стадии формирования растворимых ассоциатов молекул растворы гуматов продолжают оставаться прозрачными и при прохождении через них света не образуют конуса Тиндаля, хотя они и окрашены более интенсивно по сравнению с исходным раствором.

При дальнейшем укрупнении ассоциатов за счет введения новых порций катионов кальция образовались микроагрегаты (мицеллы) гуматов с границей раздела фаз, и раствор гуматов из истинного превратился в коллоидный, в котором четко наблюдали опалесценцию и конус Тиндаля. Полученный коллоидный раствор гуматов имел большую величину оптической плотности по сравнению с исходным молекулярным раствором, потому что имело место не только поглощение, но рассеивание света. При дальнейшем увеличении концентрации хлорида кальция происходила коагуляция смешанных гуматов кальция и натрия с образованием объемного осадка.

В связи с вышеизложенным, на рис. 1 выделены три зоны: зона истинного раствора гуматов, которая соответствует количеству хлорида кальция от 0 до 15 мг-экв. $\text{CaCl}_2/1 \text{ л}$; зона коллоидного раствора, соответствующая количеству хлорида кальция от 15 до 27 мг-экв. $\text{CaCl}_2/1 \text{ л}$ гумата натрия (начало коагуляции обнаружено после 21 мг-экв. $\text{CaCl}_2/1 \text{ л}$); зона коагуляции и осаждения, соответствующая количеству введенного хлорида кальция более 27 мг-экв. $\text{CaCl}_2/1 \text{ л}$ гумата натрия. Коагуляция гуматов из

коллоидного раствора происходит быстро, даже при небольшом увеличении количества добавляемого электролита, поэтому после превышения 21 мг-экв. $\text{CaCl}_2/1 \text{ л}$ гумата кривая зависимости величины оптической плотности от концентрации коагулянта (см. рис. 1) круто снижается, что соответствует общему правилу для всех коллоидных растворов коагулировать от введения даже небольших количеств электролита [4, 21, 26].

Поскольку истинный раствор гуматов превращается в коллоидный постепенно, по мере возрастания концентрации двухвалентных катионов, то при определенных количествах введенного коагулянта в растворах могут одновременно существовать коллоидные частицы и отдельные макромолекулы. Для количественной оценки той части гуматов, которая не перешла в коллоидное состояние, а оставалась в виде истинного раствора, выполнено измерение оптической плотности до и после центрифугирования (табл. 1). Коллоидные частицы оседали в силовом поле центрифуги, а фугаты представляли собой прозрачные истинные растворы. Оптическая плотность раствора после отделения коллоидных частиц снизилась по сравнению как с исходным, так и с коллоидным раствором, за счет удаления части гуматов с осадком коллоидных частиц. С увеличением количества вводимого коагулянта, доля гуматов, переходящих в коллоидное состояние, возрастает, а доля гуматов, остающихся в форме молекулярного раствора, снижается. Таким образом, при постепенном увеличении концентрации катионов кальция в разбавленном растворе гуматов натрия наблюдаются существенные изменения в состоянии системы: $\text{H}_2\text{O}-\text{NaOH}-\text{ГК}-\text{CaCl}_2$, суть которых состоит в постепенном превращении истинного раствора гуматов в коллоидный, с последующей коагуляцией последнего по мере увеличения количества вводимого коагулянта.

Таблица 1. Оптическая плотность D_{440} растворов гуматов до и после центрифугирования

Продолжительность опыта, ч	Исследуемый раствор	D_{440} при концентрации CaCl_2 , мг-экв/дм ³					
		15	18	21	24	27	30
4	Весь раствор	0,710	0,735	0,812	0,876	0,507	0,286
4	Фугат	0,454	0,417	0,283	0,171	0,129	0,111
24	Весь раствор	0,673	0,745	0,793	0,370	0,213	0,165
24	Фугат	0,441	0,298	0,176	0,136	0,082	0,091

Визуально образование коллоидного раствора наблюдалось по появлению светорассеяния сначала в пробирках с введенным CaCl_2 в количестве 21–27 мг-экв./1 л гумата, а со временем коллоидные растворы постепенно появлялись и в других пробирках в диапазоне концентраций хлорида кальция от 21 до 15 мг-экв./л,

причем в пробирках с меньшим количеством коагулянта коллоидные растворы формировались позже, чем в пробирках с большим количеством коагулянта. Осадки гуматов в пробирках появлялись также в зависимости от количества введенного коагулянта.

В течение 168 ч коллоидный раствор гуматов медленно изменялся, что отражалось в уменьшении поглощения света и смещении максимума поглощения (рис. 2) в сторону меньших количеств коагулянта. Такие изменения можно объяснить тем, что, с одной стороны, коллоидные частицы постепенно укрупнялись, а с другой – имело место образование новых коллоидных частиц из молекул, еще находившихся в молекулярно–дисперсном состоянии, что привело к снижению оптической плотности исследуемых растворов. Одновременно с этим снижалась величина порога коагуляции, и это четко видно на рис. 2 по смещению максимума поглощения света в сторону меньших концентраций хлорида кальция. Причиной снижения величины порога коагуляции также является постепенное укрупнение коллоидных частиц. Более крупные из них

легче коагулируют, и для их коагуляции требуется меньшее количество коагулянта. В течение 72 ч выдерживания коллоидного раствора осадка на дне пробирок не наблюдалось, однако вышеизложенные данные о снижении оптической плотности указывают на наличие процессов скрытой коагуляции. По истечении 168 ч в двух пробирках с концентрацией CaCl_2 24–27 мг-экв./1 л гумата появились небольшие осадки, т. е. некоторое количество коллоидных частиц гуматов коагулировало, а оставшаяся часть продолжала сохраняться в коллоидном растворе и еще какое-то время могла бы находиться в нем, если бы наблюдения не были прекращены. В пробирках с содержанием 15–21 мг-экв. CaCl_2 /1 л гумата коллоидные растворы сохранялись без выпадения осадка в течение всего времени наблюдения, т. е. они были устойчивы в течение 168 ч.

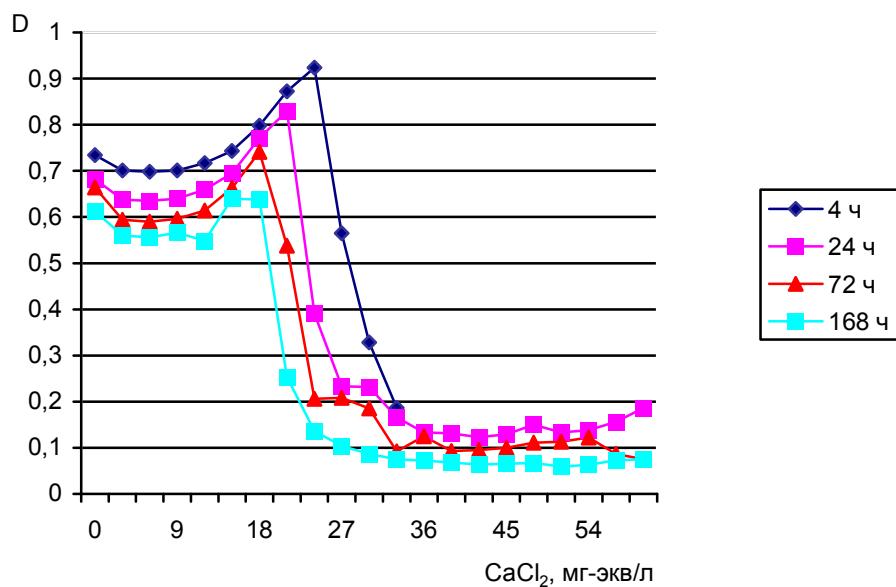


Рис. 2. Изменение оптической плотности D_{440} раствора гуматов в зависимости от концентрации коагулянта и времени

При медленном и постепенном образовании коллоидного раствора и его последующей коагуляции, по мере возрастания вводимого коагулянта, происходит фракционирование гуминовых веществ: одна часть их быстро образует коллоидный раствор, другая – медленно, а еще одна – вообще не образует коллоидного раствора и находится молекулярно-дисперсном состоянии. Судя по слабому поглощению света, можно сказать, что доля этой фракции в составе ГК не-значительна, но принципиально важно, что она всегда имеется.

Таким образом, постепенно увеличивая количество добавляемого электролита в необходимых количествах к щелочным растворам гуматов одновалентных катионов, можно получать

коллоидные растворы гуматов. Наиболее заметные изменения коллоидных растворов происходят в течение первых 72 ч, после чего изменения визуально не наблюдаются, но данные измерений величины оптической плотности свидетельствуют о том, что коллоидные растворы гуматов не устойчивы и продолжают самопроизвольно изменяться во времени, т. е. они, как и любые другие коллоидные растворы, представляют собой термодинамически неравновесные системы.

Возникает вопрос, в чем отличие физических и химических свойств ГК, переходящих и не переходящих в описанных условиях в коллоидное состояние? В настоящее время для ответа на этот вопрос нет научных данных. Это предстоит изучить в ближайшем будущем.

Л и т е р а т у р а

1. Алексеев, В. Н. Количественный анализ / В. Н. Алексеев. М., 1972.
2. Березин, А. А. Структура торфа-сырца и ее изменения в процессе механической переработки / А. А. Березин, И. Д. Беловидов // Тр. Моск. Торфяного института. 1958. Вып. 8. С. 167–208.
3. Бамбалов, Н. Н. Пороги коагуляции гуминовых кислот / Н. Н. Бамбалов, В. Е. Раковский // Изв. АН БССР. Сер. хим. наук. 1967. № 4. С. 101–103.
4. Воюцкий, С. С. Курс коллоидной химии / С. С. Воюцкий. М., 1975.
5. Дите, М. В. Влияние концентрации катионов кальция на молекулярно-массовое распределение гуминовых кислот / М. В. Дите, Н. Н. Бамбалов // Вестн. НАН Беларуси. Сер. хим. наук, 2005. № 4 С. 97–100.
6. Драгунов, С. С. Строение гуминовых кислот и приготовление гуминовых удобрений / С. С. Драгунов // Тр. Моск. Торфяного ин-та. 1958. Вып. 8. С. 244–256.
7. Драгунов, С. С. Вязкость и поверхностное натяжение водных растворов гуматов / С. С. Драгунов, Г. А. Богданов, Е. Э. Перрасе // Коллоидный журнал, 1946. Т. 8, № 6. С. 397–400.
8. Драгунов, С. С. Извлечение торфяных гуминовых кислот аминами жирного ряда / С. С. Драгунов, А. П. Рождественский // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Т. 3. Киев, 1968. С. 206–211.
9. Забрамный, Д. Т. Фракционирование гуминовых кислот хлористым натрием / Д. Т. Забрамный, Г. П. Мошенко // Исследование минерального и растительного сырья Узбекистана. Ташкент, 1962.
10. Келлер, С. Разделение белков / С. Келлер, Р. Блок // Аналитические методы белковой химии. М., 1963. С. 7–36.
11. Кононова, М. М. Органическое вещество почв / М. М. Кононова. М., 1963.
12. Кухаренко, Т. А. Гуминовые кислоты торфов и особенности их структуры / Т. А. Кухаренко // Тр. Ин-та торфа. 1954. Т. 3. С. 120–132.
13. Кухаренко, Т. А. Изменение структуры и свойств гуминовых кислот в углеобразовательном процессе / Т. А. Кухаренко // Генезис твердых горючих ископаемых. 1959. С. 319–337.
14. Кухаренко, Т. А. Исследование гуминовых кислот и негидролизуемого остатка торфов Калининской области / Т. А. Кухаренко // Химическая переработка твердых топлив. М., 1965. С. 79–84.
15. Кухаренко, Т. А. Порог коагуляции или порог осаждения? / Т. А. Кухаренко // Химия и классификация ископаемых углей. М., 1966. С. 171–185.
16. Ларина, Н. К. Ионный обмен и строение гуминовых кислот / Н. К. Ларина, В. И. Касаточкин // Почвоведение, 1957. № 9. С. 28–32.
17. Лиштван, И. И. Физико-химическая механика гуминовых веществ / И. И. Лиштван, Н. Н. Круглицкий, В. Ю. Третинник. Минск, 1976.
18. Моравец, Г. Макромолекулы в растворе / Г. Моравец. Пер. с англ. М., 1967.
19. Орлов, Д. С. Фракционирование гуминовых кислот с помощью метода дробного осаждения / Д. С. Орлов, Г. И. Глебова, Т. И. Мироненкова // Биологические науки. 1976, № 10. С. 125–130.
20. Орлов, Д. С. Практикум по биохимии гумуса / Д. С. Орлов, Э. В. Гришина. М., 1981.
21. Пасынский, А. Г. Коллоидная химия / А. Г. Пасынский. М., 1963.
22. Раковский, В. Е. К вопросу об определении порога коагуляции гуминовых кислот / В. Е. Раковский, В. А. Батуров // Химия и генезис торфа и сапропелей. Минск, 1962. С. 44–51.
23. Тагер, А. А. Физико-химия полимеров / А. А. Тагер. Изд. 2-е. М., 1968.
24. Хайнский, И. А. Исследование процессов образования гуматов электрохимическими методами / И. А. Хайнский // Коллоидный журнал. 1936. Т. 2. Вып. 1. С. 61–64.
25. Цзян-Лун. Исследование структурообразования в растворах гуминовых веществ / Цзян-Лун [и др.] // Коллоидный журнал. 1961. Т. 23. № 2. С. 209–213.
26. Щукин, Е. Д. Коллоидная химия / Е. Д. Щукин М., 2004.

Институт природопользования НАН Беларусь

Поступила в редакцию 12.02.2014 г.

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

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА КОЛЛОИДНОГО РАСТВОРА ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ ТОРФА

Коллоидный раствор гуматов получен путем постепенного введения хлорида кальция в щелочной раствор гуминовых кислот, выделенных из низинного тростниково-осокового торфа 2 %-ным гидроксидом натрия при температуре 96–98 °C в течение 2 ч при модуле 1:10. Наблюдения за состоянием коллоидного раствора, проводившиеся в течение 168 ч в лабораторных условиях в темноте, показали его изменчивость. В течение всего времени наблюдений коллоидный

раствор гуматов давал конус Тиндаля, рассеивал и поглощал свет, частично коагулировал. Наиболее заметные изменения коллоидного раствора были в течение первых 72 ч, после чего изменения визуально не наблюдались, но данные оптических измерений свидетельствуют о его медленном самопроизвольном изменении. Истинный раствор гуматов превращался в коллоидный постепенно, по мере возрастания концентрации катионов кальция, поэтому при определенных количествах введенного коагулянта в растворе одновременно существовали коллоидные частицы и отдельные макромолекулы.

N. N. Bambalov, V. V. Smirnova, M. S. Milevich

**OBTAINING AND PROPERTIES
OF COLLOIDAL SOLUTIONS OF HUMIC PEAT SUBSTANCES**

The colloidal humic solution has been obtained by the gradual introduction of calcium chloride in the alkaline solution of humic acid extracted from lowland reed sedge peat 2 % sodium hydroxide at the temperature of 96–98 °C for 2 h at 1:10 module. The observations of the colloidal solution which have been conducted during 168 hours in laboratory conditions in the dark showed its variability. During the observation period colloidal solution has given Tyndall cone, scatter and absorb the light, coagulate partially. The most noticeable changes was a colloidal solution during the first 72 hours, after which the change was not visually observed, but these optical measurements indicate its slow spontaneous changes. The true humic solution turned into colloidal gradually with increasing concentration of calcium ions, so when certain amounts entered coagulant solution coexist colloidal particles and individual macromolecules.

Н. Н. Бамбалов, В. В. Смирнова**СОДЕРЖАНИЕ ЛЕГКОГИДРОЛИЗУЕМЫХ ВЕЩЕСТВ В ГУМИНОВЫХ КИСЛОТАХ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ТОРФА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ**

Гуминовые кислоты (ГК), выделенные из воздушно-сухого торфа водным аммиаком содержат в 1,8–2,6 раза больше легкогидролизуемых веществ, чем ГК, выделенные гидроксидом натрия. Количество легкогидролизуемых веществ в ГК, выделенных из воздушно-сухого торфа до и после кислотного гидролиза, мало различаются между собой из-за существенной разницы в плотности упаковки надмолекулярных структур ГК, находящихся в торфе и в изолированных из него препаратах.

Кислотный гидролиз является эффективным классическим методом изучения молекулярной структуры сложных органических соединений, например белков, полисахаридов, гуминовых веществ, лигнина и др. [4–9, 14, 16–19]. Сочетанием методов кислотного гидролиза, хроматографии и спектрометрии обнаружено большое разнообразие углеводов, аминокислот, органических кислот, альдегидов, фенолов, аминосахаров и других органических веществ, входящих в состав периферической части ГК торфа, сапропеля и почв. В связи с этим среди исследователей нет единства мнений о методах выделения ГК из торфа – до или после кислотного гидролиза.

Цель предварительного кислотного гидролиза торфа состоит в удалении легкогидролизуемых углеводов, чтобы не загрязнять ими ГК при экстракции щелочью. Именно такой подход реализован в схеме группового анализа торфа по методу Инсторфа [10], однако специальные исследования [11] показали, что препараты ГК, выделенные из торфа после предварительного кислотного гидролиза, содержат углеводы, т. е. цель не достигается, а молекулярная структура ГК при этом радикально изменяется [1–3, 7, 8, 11]. На недопустимость кислотного гидролиза торфа перед выделением ГК указано в работе [8], так как в процессе гидролиза происходят побочные процессы конденсации аминокислот с углеводами по типу реакции Майара [12, 13, 21], и гуминовые вещества загрязняются искусственными гуминоподобными продуктами. Даже без нагревания при длительном хранении торфа в разбавленной серной кислоте и происходит синтез гуминоподобных веществ [20]. В связи с искаложением состава и свойств природных ГК под воздействием кислотного гидролиза в работе [15] предложено в процессе группового анализа проводить кислотный гидролиз ГК после их выделения.

Существует мнение о том, что в торфе надмолекулярные структуры ГК свободно прони-

цаются для молекул воды и растворенных в ней ионов [10]. Это означает, что независимо от того, проводится ли кислотный гидролиз ГК без предварительного выделения их из торфа или осуществляется гидролиз изолированных из него препаратов, ионы растворенных в воде кислот (серной, соляной и др.) должны свободно проникать в надмолекулярные структуры ГК, а кислотный гидролиз должен проходить как на поверхности, так и внутри надмолекулярных структур. Если это так, то должна быть существенная разница в содержании гидролизуемых и негидролизуемых компонентов в ГК, выделенных из торфа, подвергшегося кислотному гидролизу, и препаратах ГК, выделенных из негидролизованного (исходного) торфа.

Цель данной работы – сравнительная оценка содержания легкогидролизуемых веществ в выделенных из торфа препаратах ГК и в ГК, гидролизованных в составе торфа без их выделения.

Исследовали ГК наиболее распространенных видов торфа: низинного тростниково-осокового со степенью разложения (R) 35 %, зольностью (A) 11,3 %, pH в KCl 5,2 из месторождения Гало-Ковалевское и верхового сосново-пушицевого ($R = 50\%$, $A = 3,3\%$, pH в KCl 3,3) из месторождения Радемье. Исследовали фрезерный торф, высушенный в лаборатории до воздушно-сухого состояния, измельченный и просеянный через сито с размером ячеек 1 мм.

Для получения препаратов ГК использовали исходный торф и остаток торфа после гидролиза 5 %-ной серной кислотой в течение 3 ч при температуре 96–98 °C и модуле 1:10. Экстракцию ГК осуществляли 2 %-ными водными растворами аммиака или гидроксида натрия при температуре 96–98 °C на кипящей водяной бане в течение 2 ч при модуле 1:10. Из полученных экстрактов ГК осаждали подкислением 10 %-ной соляной кислотой до pH 1. Осадки центрифугировали, вымораживали при минус 4–5 °C, отмы-

вали от избытка ионов хлора и сушили при температуре 50 °C.

Из каждого образца торфа получали образцы ГК по четырем вариантам: первый – 2 %-ным раствором гидроксида натрия из исходного торфа; второй – 2 %-ным раствором гидроксида натрия после гидролиза торфа 5 %-ным раствором H_2SO_4 в течение 3 ч при температуре 96–98 °C; третий – 2 %-ным раствором водного аммиака из исходного торфа; четвертый – 2 %-ным раствором водного аммиака после гидролиза торфа 5 %-ным раствором H_2SO_4 в течение 2 ч при температуре 96–98 °C. Выбранные реагенты и режимы получения препаратов в лабораторных условиях соответствуют реагентам и технологическим

режимам получения гуминовых препаратов в производственных условиях.

Кислотный гидролиз всех полученных препаратов ГК осуществляли 2 %-ной соляной кислотой при температуре 96–98 °C в течение 3 ч при модуле 1:100. Ошибка определения ГК составляет $\pm 0,8\%$. Результаты представлены в табл. 1 и 2.

Выход гидролизуемых веществ и остатка после кислотного гидролиза ГК 2 %-ной соляной кислотой существенно зависит от способа выделения гуминовых препаратов. Наибольший выход гидролизуемых веществ получается в тех препаратах, которые выделены из низинного и верхового торфа без предварительного кислотного гидролиза торфа.

Таблица 1. Содержание гидролизуемых веществ в ГК, выделенных из торфа в различных условиях 2 %-ным раствором гидроксида натрия, % к органическому веществу

Вариант	Условия экстракции ГК из торфа	$A_{ГК}$, %	ЛГВ, %	НГВ, %	ЛГВ/НГВ
<i>Низинный торф</i>					
1	2 %-ный раствор $NaOH$, 2 ч при температуре 96–98 °C	1,85	23,6	76,4	0,31
2	5 %-ный раствор H_2SO_4 , 2 ч при температуре 96–98 °C, затем 2 %-ный раствор $NaOH$, 2 ч при температуре 96–98 °C	2,26	17,3	82,7	0,21
<i>Верховой торф</i>					
1	2 %-ный раствор $NaOH$, 2 ч при температуре 96–98 °C	0,67	13,6	86,4	0,16
2	5 %-ный раствор H_2SO_4 , 2 ч при температуре 96–98 °C, затем 2 %-ный раствор $NaOH$, 2 ч при температуре 96–98 °C	1,08	9,7	90,3	0,11

Таблица 2. Содержание ЛГВ в ГК, выделенных в различных условиях 2 %-ным раствором водного аммиака, % к органическому веществу

Вариант	Условия экстракции ГК из торфа	$A_{ГК}$, %	ЛГВ, %	НГВ, %	ЛГВ/НГВ
<i>Низинный торф</i>					
3	2 %-ный раствор водного аммиака 2 ч при температуре 96–98 °C	2,8	51,4	48,6	1,06
4	5 %-ный раствор H_2SO_4 2 ч при температуре 96–98 °C, затем 2 %-ный раствор водного аммиака 2 ч при температуре 96–98 °C	2,2	45,0	55,0	0,82
<i>Верховой торф</i>					
3	2 %-ный раствор водного аммиака 2 ч при температуре 96–98 °C	0,4	22,8	77,2	0,30
4	5 %-ный раствор H_2SO_4 2 ч при температуре 96–98 °C, затем 2 %-ный раствор водного аммиака 2 ч при температуре 96–98 °C	0,3	21,6	78,4	0,28

Так, ГК низинного торфа, выделенные по варианту 1 при температуре 96–98 °C, содержат 23,6 % гидролизуемых веществ, а из ГК, выделенных после предварительного кислотного гидролиза торфа, выход гидролизуемых веществ составляет 17,3 %, т. е. на 6,3 % меньше. Если принять все легкогидролизуемые вещества ГК варианта 1 за 100 %, то при кислотном гидролизе данного образца торфа (вариант 2) в ГК сохранилось около 74 % легкогидролизуемых веществ,

которые по какой-то причине не взаимодействовали с 5 %-ной серной кислотой.

Для верхового торфа результаты аналогичны, только абсолютные величины выхода гидролизуемых веществ меньше, чем для ГК низинного торфа: 13,6 % – при выделении без предварительного кислотного гидролиза и 9,7 % – после гидролиза торфа 5 %-ной серной кислотой. Такие различия в содержании легко-гидролизуемых веществ в ГК низинного и верхового торфа, выделенных по варианту 1, наблю-

дались и раньше [1], и объясняются они тем, что верховой торф в течение многих сотен лет находился в условиях кислой торфяной залежи. За это время процессы его гидролиза проходили медленно, поэтому в ГК верхового торфа сохранилась лишь более устойчивая часть гидролизуемых веществ. В низинном торфе процессы кислотного гидролиза в торфяной залежи не проходили, так как величина pH этого торфа была близка к нейтральной.

Несмотря на предварительный кислотный гидролиз торфа 5 %-ной серной кислотой в препаратах ГК сохраняется до 75 % гидролизуемых веществ, хотя при постановке эксперимента ожидалось, что основная масса их будет удалена из ГК на стадии кислотного гидролиза торфа. Эти результаты позволяют утверждать, что кислотный гидролиз воздушно-сухих ГК, находящихся в составе торфяных частиц, и их воздушно-сухих изолированных препаратов протекает по-разному.

Наиболее вероятна гипотеза о том, что плотность упаковки молекул ГК в надмолекулярных структурах торфа и в выделенных из него препаратах различна, в связи с чем по-разному осуществляется контакт минеральной кислоты с молекулами ГК. Из полученных данных следует, что в воздушно-сухом торфе ГК в надмолекулярных структурах упакованы столь плотно, что водный раствор кислоты не может проникать вглубь их и контактирует лишь с поверхностью надмолекулярных структур, а в надмолекулярных структурах изолированных воздушно-сухих препаратов ГК молекулы упакованы рыхло, поэтому надмолекулярные структуры хорошо проницаемы для водных растворов минеральной кислоты, и гидролиз ГК идет не только на поверхности надмолекулярных структур, но и внутри них. Данная гипотеза требует дальнейшего подтверждения, поскольку мы не проводили кислотный гидролиз нативного торфа с естественной влажностью.

В результате растворения ГК в щелочной среде их надмолекулярные структуры разрушаются, затем при подкислении снова возникают и образуют рыхлый осадок, который после сушки в определенной степени проницаем для молекул воды и растворенных в ней ионов соляной кислоты, поэтому гидролиз протекает как на поверхности, так и внутри надмолекулярных структур изолированных препаратов ГК.

Для ГК, выделенных из торфа водным аммиаком, результаты аналогичны (см. табл. 2): кислотный гидролиз торфа не обеспечивает получение ГК без легкогидролизуемых веществ.

При анализе данных (см. табл. 2) обнаруживается очень высокое содержание гидроли-

зуемых веществ в ГК, извлеченных водным аммиаком из низинного торфа – более 51 % их органического вещества, т. е. водный аммиак избирательно экстрагирует из торфа фракцию ГК, обогащенную алифатическими цепями. В ГК, извлеченных водным аммиаком из верхового торфа, легкогидролизуемых веществ было также значительно больше, чем в ГК, извлеченных гидроксидом натрия (соответственно 22,8 и 13,6 %). Следовательно, водный аммиак экстрагирует из торфа фракцию ГК, обогащенную гидролизуемыми алифатическими цепями, а гидроксид натрия – ГК, обогащенные негидролизуемыми соединениями.

Несмотря на столь существенные различия состава ГК, выделенных этими двумя экстрагентами из одного и того же образца торфа, факт неполного удаления гидролизуемых веществ из ГК при кислотном гидролизе торфа подтверждается результатами кислотного гидролиза ГК, выделенных водным аммиаком. Так, из ГК низинного торфа, полученных по варианту 3, выход легкогидролизуемых веществ составил 51,4 %, а из ГК этого же торфа, выделенных по варианту 4, – 45,0 %. Разница в 6,4 % свидетельствует о том, что ГК, находящиеся в составе частиц торфа, слабо доступны для ионов соляной кислоты, по сравнению с изолированным препаратом ГК.

Еще более наглядны результаты, полученные для ГК, выделенных водным аммиаком из верхового торфа: разница в содержании гидролизуемых веществ в ГК, выделенных до и после кислотного гидролиза, составила всего лишь 1,2 %, что однозначно указывает на практическую недоступность ГК, находящихся в торфе, для ионов минеральной кислоты.

Выводы:

1. Особенностью ГК, извлекаемых из торфа водным аммиаком при температуре 96–98 °C, является существенно более высокое (в 1,8–2,6 раза) содержание легкогидролизуемых веществ по сравнению с ГК, извлекаемыми водным раствором гидроксида натрия.

2. В воздушно-сухом торфе ГК в надмолекулярных структурах упакованы столь плотно, что водный раствор соляной кислоты может контактировать лишь с поверхностью надмолекулярных структур и не проникает вглубь, поэтому кислотный гидролиз идет только на поверхности надмолекулярных структур. В надмолекулярных структурах изолированных препаратов ГК, наоборот, молекулы упакованы рыхло, поэтому надмолекулярные структуры хорошо проницаемы для раствора соляной кислоты, и гидролиз ГК идет не только на поверхности, но и внутри надмолекулярных структур.

Л и т е р а т у р а

1. **Бамбалов, Н. Н.** Изменение физико-химических свойств гуминовых кислот в процессе гумификации торфов : автореф. дис. ... канд. хим. наук / Н. Н. Бамбалов. Минск, 1968.
2. **Бамбалов, Н. Н.** Современное состояние и проблемы методики группового анализа органического вещества торфяных почв / Н. Н. Бамбалов // Физико-химические, геохимические и микробиологические процессы мелиорированных почв Полесья. РИСО АН БССР Минск. 1974. С. 166–209.
3. **Бамбалов, Н. Н.** Влияние кислотного и щелочного гидролиза на полидисперсность гуминовых кислот, выделенных нейтральным раствором пирофосфата натрия / Н. Н. Бамбалов, Т. Я. Беленькая, В. В. Команденко // Физические, технологические и химические свойства торфа. Минск, 1973. С. 86–90.
4. **Вернер, В. С.** О свойствах холоцеллюлоз и а-целлюлоз растений-торфообразователей и торфов / В. С. Вернер // Химия твердого топлива. 1970. № 2. С. 84–95.
5. **Вернер, В. С.** Изменения полисахаридов растений-торфообразователей в торфообразовательных процессах / В. С. Вернер // Переработка и использование торфа и сапропелей. Минск, 1971, С. 60–69.
6. **Гаррис, И.** Методы изучения последовательности аминокислотных остатков в белках / И. Гаррис, В. Ингрэм // Аналитические методы белковой химии. М., 1963. С. 522–599.
7. **Драгунов, С. С.** Исследование химической природы гуминовых кислот / С. С. Драгунов, Н. Н. Желоховцева, Е. А. Стрелкова // Почвоведение. № 3. 1950. С. 151–157.
8. **Драгунов, С. С.** Извлечение торфяных гуминовых кислот аминами жирного ряда / С. С. Драгунов, А. П. Рождественский // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Часть 3. Киев, 1968. С. 206–211.
9. **Кононова, М. М.** Органическое вещество почвы / М. М. Кононова. М., 1963.
10. **Лиштван, И. И.** Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. Минск, 1975.
11. **Лукошко, Е. С.** Исследование углеводного комплекса гуминовых кислот торфа / Е. С. Лукошко, Н. С. Янковская // Физические, технологические и химические свойства торфа. Минск, 1973. С. 129–133.
12. **Маль, С. С.** Углеводы и азотсодержащие вещества торфа / С. С. Маль. Минск, 1982.
13. **Несмелянов, А. Н.** Начала органической химии / А. Н. Несмелянов, Н. А. Несмелянов. Т. 1. М., 1969.
14. **Орлов, Д. С.** Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д. С. Орлов. М., 1990.
15. **Пассер, М.** Химические исследования органических компонентов торфа. Междунар. конгресс по торфу / М. Пассер, Т. Барт, Д. Эльтерлинг. Л., 1963.
16. **Пунтус, Ф. А.** Исследование периферической части гуминовых кислот торфа и сапропелей / Ф. А. Пунтус, Н. Н. Бамбалов, Т. П. Смычник // Проблемы использования сапропелей в народном хозяйстве. Минск, 1976. С. 115–121.
17. **Раковский, В. Е.** Методы выделения легкогидролизуемых веществ из торфа / В. Е. Раковский, В. Д. Чайкова : Труды Ин-та торфа. Т. 7, Минск, 1959, С. 90–96.
18. **Резников, В. М.** Теория пероколяционного гидролиза растительного сырья / В. М. Резников. Л., 1964.
19. **Рождественский, А. П.** Исследование химических свойств торфяных гуминовых кислот : автореф. дис. ... канд. тех. наук / А. П. Рождественский. Калинин, 1969.
20. **Смычник, Т. П.** Влияние условий гидролиза на содержание гуминовых веществ в гидролизатах / Т. П. Смычник, Н. Н. Бамбалов // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. 1995. № 2. С. 99–102.
21. **Чичибабин, А. Е.** Основные начала органической химии / А. Е. Чичибабин. Т. 1. М–Л., 1963.

Институт природопользования НАН Беларуси,

Поступила в редакцию 19.02.2014 г.

Н. Н. Бамбалов, В. В. Смирнова

СОДЕРЖАНИЕ ЛЕГКОГИДРОЛИЗУЕМЫХ ВЕЩЕСТВ В ГУМИНОВЫХ КИСЛОТАХ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ТОРФА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Выполнена сравнительная оценка содержания легкогидролизуемых веществ в выделенных из торфа препаратах ГК и без выделения их из торфа. В качестве экстрагентов ГК использованы 2 %-ные растворы водного амиака и гидроксида натрия. Показано, что особенностю фракции ГК, извлекаемой из торфа водным амиаком при температуре 96–98 °C, является существенно более высокое (в 1,8–2,6 раза) содержание легкогидролизуемых веществ по сравнению с ГК, извлекаемыми водным раствором гидроксида натрия.

В воздушно-сухом торфе ГК в надмолекулярных структурах упакованы столь плотно, что водный раствор соляной кислоты может контактировать лишь с поверхностью надмолекулярных

структур и не проникает вглубь, поэтому кислотный гидролиз идет только на поверхности надмолекулярных структур. В надмолекулярных структурах изолированных препаратов ГК, наоборот, молекулы упакованы рыхло, поэтому надмолекулярные структуры хорошо проницаемы для раствора соляной кислоты, и гидролиз ГК идет не только на поверхности, но и внутри надмолекулярных структур.

N. N. Bambalov, V. V. Smirnova

**CONTENTS OF SUBSTANCES IN HYDROLIZABLE HUMIC ACIDS
ISOLATED FROM PEAT UNDER DIFFERENT CONDITIONS**

A comparative evaluation of the content of hydrolysable substances extracted from peat HA preparations and without isolating them from the peat has been done. An 2 % solutions of aqueous ammonia and sodium hydroxide are used as a HA extractants. It has been shown that HA fraction feature extracted from peat by aqueous ammonia at a temperature of 96–98 °C is significantly higher (1.8–2.6 times) the content of readily substances compared with HA extracted with an aqueous sodium hydroxide solution.

The HA in air-dry peat in supramolecular structures are packed so tightly that an aqueous solution of hydrochloric acid may be contacted with a surface of supramolecular structures and penetrates so acidic hydrolysis is only on the surface of supramolecular structures. On the contrary in supramolecular structures of HA isolated preparations the molecules are packed loosely so well supramolecular structures permeable to hydrochloric acid hydrolysis and HA is not only on the surface but also inside the supramolecular structures.

УДК 662.613.1

**И. И. Лиштван, В. М. Дударчик, В. М. Крайко,
Е. В. Ануфриева, Е. А. Смолячкова**

КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА, КЛАССИФИКАЦИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ УТИЛИЗАЦИИ ЗОЛЫ ОТ СЖИГАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Представлены результаты исследований состава и свойств зольных отходов твердого топлива некоторых энергопредприятий республики, на основании которых были рассчитаны критерии их качества и предложены направления утилизации в производстве стройматериалов.

В настоящее время возрастает проблема утилизации золошлаковых материалов, получаемых в результате сжигания топлива тепловых электростанций. Из-за крайне низкого уровня утилизации их накопление в возрастающих объемах приводит к стремительному росту экологических, социальных и экономических издержек. Вместе с тем, по своему физико-химическому и агрегатному составу эти материалы являются уникальным ресурсом, который можно использовать в различных отраслях производства с получением значительного социального и экологического экономического эффектов.

Обоснование использования золы и шлаков, образующихся в процессе сжигания топлива на тепловых электростанциях представляет проблемную задачу. Сложность в первую очередь обусловлена непостоянством состава минеральной составляющей твердого топлива, с одной стороны, и приобретением им новых физико-химических характеристик в процессе сжигания, с другой.

Целью данных исследований является оценка качества, классификация и определение направлений утилизации зольных отходов торфопредприятий республики при переработке и сжигании торфа, в частности для производства различных видов строительных материалов.

Использование золы и топливных шлаков имеет большое народнохозяйственное значение.

По физическому состоянию отходы, образующиеся при сжигании топлива, можно разделить на три основных типа. Это:

- зола – рыхлая масса из неоплавленных или оплавленных с поверхности мелких зерен; получается при относительно низких температурах;

- шлак – спекшаяся, пористая, достаточно прочная масса, состоящая из отдельных кусков неправильной формы размером от 1–3 мм до 15–25 см; образуется главным образом на колосниковой решетке при температурах выше 1000 °C;

- шлак, получающийся после охлаждения расплавленной минеральной части топлива, плотная, высокой прочности стекловидная или закристаллизовавшаяся масса; обычно расплав-

ление достигается при температуре выше 1300 °C.

Режим сжигания определяет глубину и заченность химических процессов, происходящих в минеральной части топлива. Эти процессы до конца протекают в расплаве и достаточно полно – в котельных шлаках.

В золе химические процессы протекают в основном в твердом состоянии и могут быть прерваны на различных стадиях. Следовательно, шлаки и расплавы более однородны, чем зола, свойства которой могут колебаться в широких пределах.

Можно утверждать, что при современной технике получить при кусковом сжигании золу с постоянными свойствами практически невозможно. Кроме условий сжигания, большое влияние оказывает химический состав минеральной части топлива, который может изменяться в широких пределах.

Существенным фактором, влияющим на качество зольных отходов, является наличие в них недожога, термодеструктированного органического вещества, в составе которого могут содержаться различные поллютанты, представляющие экологическую опасность (3-й класс опасности), что является одной из причин, ограничивающих их утилизацию.

Анализ отечественных и зарубежных исследований показал, что золу и золошлаковые материалы можно использовать в различных отраслях народного хозяйства, например в сельском хозяйстве, металлургии, нефтехимической промышленности, строительной индустрии и дорожном строительстве [1–10].

Потребление материальных ресурсов при строительстве автомобильных дорог чрезвычайно велико. На возведение 1 км автомобильной дороги, в зависимости от ее категории и местных условий, требуется, например, для дорожных покрытий – 1,1–4,7 тыс. т асфальтобетона (55–235 т битума) или 1,2–4,8 тыс. м³ цементобетона (480–1700 т цемента). В связи с этим уменьшение потребности в дорожно-строительных материалах и повышение эффективности их использования остается важнейшей проблемой. Одним

из путей ее решения является применение вторичных ресурсов – отходов промышленности, которые можно использовать или в качестве непосредственно дорожно-строительного материала, или исходного продукта для его получения. К таким отходам относятся зола и шлаки – продукты сжигания твердого топлива: угля, торфа, сланцев и других горючих материалов на тепловых электростанциях (ТЭС).

В 1976–1990 гг. был разработан ряд нормативных документов, развивающих возможности использования золы и золошлаковых смесей в дорожном строительстве, что способствовало созданию автомобильных дорог с применением продуктов сжигания твердого топлива, особенно в районах, испытывающих дефицит в традиционных дорожно-строительных материалах.

Зола – твердый остаток, образующийся при сгорании топлива. Она состоит из продуктов окисления и обжига компонентов минеральной части и органических соединений топлива и некоторого количества невыгоревших его органических компонентов.

Зола делится на два класса: кислая (богатая SiO_2) и основная (богатая CaO). Если соотношение суммы оксидов Fe , Ca , Mg , Na и K к сумме оксидов Si , Al , TiO_2 менее 1 – это кислый класс, если более 1 – основный класс. Кремнистая (кислая) зола – тонкодисперсная пыль, состоящая преимущественно из сферических частиц с пуццоланическими свойствами из реакционноспособных диоксида кремния SiO_2 и оксида алюминия Al_2O_3 . Остаток содержит оксид железа Fe_2O_3 и другие соединения.

Массовая доля реакционноспособного оксида кальция CaO в применяемой золе-уносу – не менее 10 %. Богатая известью зола-уносу с содержанием реакционноспособного CaO от 10 до 15 % по массе содержит не менее 25 % реакционноспособного SiO_2 .

По способу удаления различают золу сухого отбора (зола-унос) и мокрого отбора (зола гидроудаления). В промышленных условиях при сжигании топлива с жидким шлакоудалением образуется в основном шлак – сплавленный кусковой материал, а при сухом – образуется на 80 % тонкодисперсный порошок – зола-унос. При сухом удалении золы крупные частицы улавливаются циклонами, мелкие – электрофильтрами. При этом на каждом поле электрофильтра собирается определенная фракция золы. Зола, поступающая с электрофильтров и из циклонов ТЭС, собирается в золосборниках, а затем направляется специальным пневмотранспортом в сilosные склады либо непосредственно в транспортные средства потребителей. Золошлаковая

смесь гидроудаления после очистки золосборников с помощью воды в виде золопульпы направляется в отвалы.

Зола гидроудаления имеет угловатые частицы с пористой фактурой. Частицы обычно имеют размер, сопоставимый с мелким песком вплоть до размера глинистых частиц (несколько микрон). Обычно гранулометрический состав золы гидроудаления колеблется даже в пределах одного отвала, поэтому привести какие-либо усредненные значения представляется затруднительным.

Шлаки гидроудаления обычно имеют размер частиц от 0,5 до 50 мм с преобладающей фракцией до 15–20 мм. Обычно они обладают гладкой поверхностью, но если в расплаве шлака оказались захваченные или выделяющиеся газы, поверхность шлака становится пористой. Истинная плотность золы гидроудаления колеблется от 2100 до 2700 кг/м³, шлаков – 2300–2900 кг/м³. Плотность материалов зависит от их химического состава, но обычно при увеличении содержания несгоревшего угля в частицах золы она падает, растет пористость и водопоглощение.

По плавкости (температуре начала плавления) зола подразделяется на легкоплавкую (менее 1200 °C), среднеплавкую (1200–1350 °C), тугоплавкую (1350–1500 °C) и неплавкую (более 1500 °C). Максимальные значения насыпной плотности золы и шлаков в сухом состоянии обычно на 10–25 % ниже, чем у природных каменных материалов такой же прочности, оптимальная влажность – выше за счет пористого строения и наличия частиц несгоревшего топлива.

Высокотемпературное спекание и плавление глинистых минералов резко снижают их удельную поверхность. Вследствие этого стеклофаза золы и шлаков малоактивна при обычных температурах. Повышение температуры сжигания топлива сверх допустимого предела приводит к падению активности топливной золы.

Зола и шлаки гидроудаления в основном состоят из оксидов кремния, алюминия и железа с примесями соединений кальция, магния, щелочных металлов, серы. Химический состав материалов в основном зависит от вида применяемого топлива. Химический состав золы при сгорании твердого топлива зависит от условий образования данного топлива, технологии его сжигания. Зола низкозольного торфа, бурых и окисленных углей и горючих сланцев имеет повышенное содержание CaO , каменных углей – преимущественно алюмосиликатный состав. При энергетических использованиях топлива свойства золы предопределяют технологию и режим сжигания, состав и количество флюсов.

Свойства золошлаковых материалов (ЗШМ) зависят от состава минеральной части топлива, его теплотворной способности, режима сжигания, способа их улавливания и удаления, места отбора из отвалов. При высоких температурах (1200–1600 °C) сжигания топлива минеральные примеси претерпевают изменения; в них протекают сложные физико-химические процессы: выделяется химически связанная вода силикатов и алюмосиликатов; разлагаются карбонаты; идут реакции в твердой фазе; происходят плавление, кристаллизация, силикатообразование, стеклообразование и др. Поэтому зола и шлаки имеют разный химический и минералогический составы [4–6].

В настоящее время ГОСТ 25818-91 и ГОСТ 25592-91 определили требования к химическому составу ЗШМ, применяемых для производства различных видов бетонов и строительных растворов. Нормируется содержание оксидов – CaO, MgO, SO₃, Na₂O и K₂O. Суммарное содержание щелочных оксидов Na₂O и K₂O (применительно к виду сжигаемого топлива) во избежание деформаций матрицы при их реакции с заполнителями должно находиться в пределах – 1,5–3 %. В зависимости от вида топлива и условий его сжигания в ЗШМ могут содержаться несгоревшие органические частицы. Потеря массы при прокаливании должна быть не выше 3–25 %.

Минерально-фазовый состав включает неорганическую и органическую составляющие. Неорганическая фаза, в свою очередь, состоит из следующих составляющих:

- аморфной, представленной стеклом и аморфизированным глинистым веществом;
- кристаллической, включающей слабоизмененные зерна минералов исходного топлива (кварца, полевого шпата и других термически устойчивых минералов) и кристаллические новообразования, возникшие при сжигании топлива (мульлит, гематит, алюмосиликат кальция и др.).

Стекло в золе может быть силикатного, алюмосиликатного и железисто-алюмосиликатного состава. Аморфизированные глинистые вещества – метакаолинит и слабоспекшееся аморфизированное глинистое вещество, а также спекшиеся и частично остеклованные частицы – определяют химическую активность золы, форму и характер

поверхности зольных частиц. Частицы большинства видов золы имеют сферическую форму и гладкую остеклованную фактуру поверхности. Однородность частиц различна. Более однородны частицы, состоящие полностью из стекла.

Важнейшими физическими свойствами ЗШМ являются зерновой состав, насыпная и истинная плотности, водонасыщение и способность к морозному пучению.

Зерновой состав определяется видом топлива, его подготовкой к сжиганию, режимом сжигания, способом улавливания золы, местом отбора. Топливные золы и шлаки, как правило, не способны непосредственно взаимодействовать с водой. Это характерно лишь для золы, содержащей свободные оксиды кальция и магния. Аморфные компоненты золы и шлаков обладают пуццолановой активностью, т. е. способностью связывать при обычных температурах гидроксид кальция, образуя нерастворимые соединения. При их накоплении появляется возможность гидравлического твердения вяжущих из смесей извести или портландцемента с золой или шлаком [1, 2].

Пуццолановой активностью в составе золы и шлаков обладают продукты обжига глин: аморфизированное глинистое вещество типа метакаолинита, аморфные SiO₂ и Al₂O₃ и алюмосиликатное стекло. Реакционная способность по отношению к гидроксиду кальция у них различна и зависит от температурных превращений каолинитовых глин при сжигании топлива. Обладающий большой удельной поверхностью метакаолинит Al₂O₃ × 2SiO₂ активно реагирует с Ca(OH)₂ при обычных температурах с образованием гидросиликатов кальция и гидрогеленита. Активность аморфных SiO₂ и Al₂O₃, образующихся при более высоких температурах заметно меньше, что объясняется резким снижением удельной поверхности вследствие спекания и кристаллизации новообразований – муллита, кристобаллита.

Основным критерием, определяющим способность золы и шлака проявлять вяжущие свойства, является наличие кальция в свободном или связанном виде (табл. 1).

Таблица 1. Классификация золошлаковых отходов переработки углей

Характеристика	Высоко-кальциевые	Средне-кальциевые	Низко-кальциевые (кислые)	Сверхкислые
Содержание $\text{CaO} + \text{MgO}$, %	≥ 45	30–45	20–30	10–20
Гидравлическая активность				
M_o	1,2–0,9	0,7–0,9	0,5–0,7	0,01–0,08
M_a	0,15–0,2	0,2–0,4	0,4–0,6	0,6–0,8

$$\text{Примечание: } M_o = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}; M_a = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}.$$

Наряду с этим используют следующие дополнительные критерии:

- модуль основности (гидросиликатный модуль) M_o , который представляет собой отношение суммы основных оксидов к сумме кислотных оксидов:
 $M_o = (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) : (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$;
- силикатный (кремнеземистый) модуль M_c , показывающий отношение оксида кремния, вступающего в реакцию с другими оксидами, к суммарному содержанию оксидов алюминия и железа:
 $M_c = \text{SiO}_2 : (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$;
- коэффициент качества K , характеризующий отношение оксидов, повышающих гидравлическую активность, к оксидам, снижающим ее:
 $K = (\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) : (\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2)$.

На основании многочисленных исследований топливных отходов электростанций, скрывающихся топливо различных месторождений, ЗШМ разделены на группы – активные, скрыто активные и инертные (табл. 2) [11].

К активным относятся ЗШМ поволжских сланцев, углей Канско-Ачинского угольного бассейна, ангренского угля, некоторых торфов. Об-

щее содержание оксида кальция колеблется в пределах 20–60 %, свободного оксида кальция – до 30 %. Такой состав обеспечивает высокое значение модулей основности и силикатного, а также коэффициента качества. ЗШМ от скрывающихся топлива обладают свойством самостоятельно твердеть и могут применяться как самостоятельные вяжущие.

Таблица 2. Классификация топливных отходов от скрывающихся твердого топлива

Химические свойства		ЗШМ		
		активные	скрыто активные	инертные
Показатели качества	M_o	0,5–2,8	0,1–0,5	0,1
	M_c	1,5–7,8	1,4–3,6	1,3–3,2
	K	1,0–3,6	0,5–1,3	0,4–0,9
Содержание форм кальция	$\text{CaO}_{\text{общ}}$	20–60	5–20	0,5–5,0
	$\text{CaO}_{\text{св}}$	0–30	0–2	0–1
	$\text{CaO}_{\text{сульф}}$	0,5–9,0	0,2–2,0	0,1–1,6
	$\text{CaO}_{\text{карб}}$	15–45	5–15	0–5
Возможные области использования		Самотвердеющий материал. Местное вяжущее, изделия на его основе преимущественно автоклавного твердения. Дорожное строительство	Требуется интенсифицировать твердение. Производство изделий, твердеющих при тепловой обработке с активацией. Дорожное строительство	Сырье для производства кирпича, зольного гравия, техногенного грунта. Дорожное строительство

К скрыто активным относятся ЗШМ от скрывающихся райчихинских, югославских, харанорских, черемховских, хакасских и некоторых других углей. Общее содержание оксида кальция в этих ЗШМ составляет 5–20 %, содержание свободного оксида кальция – не выше 2 %. Модуль основности составляет не более 5 %. Как правило, они используются в качестве комплексных вяжущих с активаторами.

К инертным относятся ЗШМ от скрывающихся экибастузских, подмосковных, кузнецких, донецких и других углей. Они характеризуются высоким содержанием оксидов кремния и алюминия и низким количеством оксидов кальция и магния; свободного оксида кальция содержится менее 1 %, а в некоторых ЗШМ этой группы его может не быть совсем. В основном их используют в качестве техногенных грунтов.

Пуццолановой активностью в составе золы и шлаков обладают продукты обжига глин: аморфизированное глинистое вещество типа метакаолинита – аморфные SiO_2 и Al_2O_3 , и алюмосиликатное стекло. Реакционная способность по отношению к гидроксиду кальция у них различна и зависит от температурных превращений каолинитовых глин при сжигании топлива. Метакаолинит $\text{Al}_2\text{O}_3 \times 2\text{SiO}_2$, обладающий большой удельной поверхностью активно реагирует с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ при обычных температурах с образованием гидросиликатов кальция и гидрогеленита.

Активность образующихся при более высоких температурах аморфных SiO_2 и Al_2O_3 заметно меньше, что объясняется резким снижением удельной поверхности вследствие спекания и кристаллизации новообразований – муллита, кристобаллита. Высокотемпературное спекание и плавление глинистых минералов резко снижают их удельную поверхность и, соответственно,

активность. Вследствие этого стеклофаза золы и шлаков малоактивна при обычных температурах. Повышение температуры сжигания топлива сверх допустимого предела приводит к падению активности большинства видов топливной золы.

Наиболее широкое применение среди твердых горючих ископаемых Республики Беларусь получил торф, издавна используемый в стране как топливо, доля которого к 2020 г. от общего котельно-печного топлива должна составить 4,3 %. Зола торфа на 98–99 % состоит из кремния, алюминия, железа, кальция, магния, натрия, фосфора, серы (макроэлементы), а также приблизительно из 40 микроэлементов, содержание которых не превышает десятой доли процента, оно колеблется от 10^{-2} до 10^{-7} % на сухое вещество торфа и закономерно увеличивается от верхового к низинному (исключение составляют цинк, свинец, содержание которых повышено в верховом торфе) (табл. 3) [12, 13].

Таблица 3. Состав зольной части торфа

Вид торфа	Макрокомпоненты золы					
	SiO_2	CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3	P_2O_5	SO_3
Низинный	21,3	33,5	13,4	6,7	1,3	6,3
Переходный	28,9	28,4	12,2	9,6	2,0	6,0
Верховой	44,3	23,5	7,8	9,1	3,0	5,7

Были определены макро- и микрокомпоненты золы и золошлаковых отходов некоторых предприятий. Исследования проводились Центральной лабораторией филиалом РУП «Белгеология» по ГОСТ 10537-87 «Топливо твердое. Методы определения химического анализа золы».

Наработаны экспериментальные партии проб зольных отходов торфобрикетных производств: шлак ТБЗ «Житковичский» (5 кг), зола ТБЗ «Житковичский» (6 кг), зола ТБЗ «Старобинский» ф-л Слуцкий, д. Гацук (0,6 кг), зола ТБЗ

«Усяж» (0,6 кг). Полученные партии переданы для проведения испытаний в ГП «Институт НИИСМ» в качестве добавки для производства цемента и БНТУ как добавки для производства асфальтобетонных смесей.

По полученным результатам поданы или оформляются заявки на предполагаемое изобретение, поэтому в настоящей статье остановимся на других вариантах практического использования зольных отходов.

В табл. 4 представлена влажность и потери при прокаливании исследуемых образцов.

Таблица 4. Влажность и потери при прокаливании золы твердого топлива разных видов

Образец	Предприятие	Материал	Влажность, %	Потери при прокаливании, %
1	ОАО «Житковичский торфобрикетный завод»	Шлак	0,04	0,3
2		Зола-унос	0,84	6,8
3	ОАО «Старобинский ТБЗ» Филиал по добыче торфа и производству торфяной продукции «Слуцкий»	Зола торфяной крошки	0,35	1,63
4	ОАО «Торфобрикетный завод Усяж»	Зола-унос (мелкая фракция)	0,53	0,58

Химический состав золы и шлака представлен в табл. 5. Из данных таблицы следует, что в золе сжигаемого топлива (торфа, щепы и их смесей) преобладает оксид кремния – 34,0–64,7 %;

содержание оксида железа варьирует от 2,0 до 27,0; оксида алюминия – от 3,2 до 7,7; оксида кальция – от 18,9 до 29,4 %, в сумме названные элементы составляют более 90 % всей золы.

Таблица 5. Химический состав золы твердого топлива предприятий Республики Беларусь

Предприятие	Топливо	Зольные отходы	Химический состав золы, %										
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	
Брестское республиканское унитарное предприятие электроэнергетики «Брестэнерго»	Смесь (ЩТ-01): щепа топлив. (60 %), торф топл. Гатча (40 %).	Зола	52,92	5,75	12,00	20,74	0,52	0,13	1,39	0,43	0,32	1,26	3,27
	Торф топлив. ПРУТП «Гатча-Осовский»	Зола	53,22	5,87	12,94	18,85	0,49	0,08	1,29	0,63	0,34	1,29	3,40
	Торф топлив. ТПУ «Березовское»	Зола	64,66	6,72	3,59	17,34	0,31	0,04	1,00	0,43	0,22	1,27	1,26
	Смесь (ЩТ-02): щепа топл. – 60 %, торф – 40 %	Зола	60,23	8,45	4,05	18,47	0,60	0,32	1,68	1,25	0,22	1,30	1,38
		Шлак (кусок)	49,38	3,18	1,91	24,88	8,47	1,19	6,96	1,11	0,14	2,68	0,14
		Шлак	46,21	6,25	15,02	25,64	0,77	0,28	1,96	0,68	0,38	1,76	0,26
Минское РУП электроэнергетики «Минскэнерго» Жодинская ТЭЦ	Дробленый торфобрикет	Зола	34,00	4,40	27,00	20,35	1,04	0,18	0,80	0,36	0,22	7,70	3,14
	Фрезерный торф	Зола	46,31	6,68	11,60	26,39	1,12	0,17	1,40	0,56	0,36	2,15	2,48
Березинское районное производственное управление газового хозяйства «Березино-райгаз»	Фрезерный торф	Зола	46,38	8,38	5,98	25,63	1,43	0,19	0,95	0,49	0,28	1,16	8,35
	Торфяной брикет	Зола	34,22	6,82	16,66	29,40	1,26	0,46	0,98	0,40	0,32	2,15	6,58
ОАО «Старобинский ТБЗ» Филиал «Несвижский»	Торфяной брикет	Зола	48,85	7,65	9,94	22,61	1,51	0,10	1,82	0,77	0,62	0,68	4,52
Образцы зольных отходов (№ 1–4), используемые для испытаний в НИИСМ													
ОАО «Житковичский ТБЗ»	Торф топливный	Зола (образец № 1)	59,03	6,75	12,13	12,37	0,81	0,07	1,10	0,50	0,33	0,49	0,58
		Шлак (образец № 2)	65,80	10,05	8,85	12,0	0,54	0,05	1,70	0,65	0,54	0,43	0,06
ОАО «Старобинский ТБЗ» Филиал «Слуцкий»	Торф топливный	Зола (образец № 3)	41,47	7,34	14,7	28,12	0,81	0,05	1,20	0,50	0,38	1,48	1,47
ОАО «ТБЗ Усяж»	Торф топливный	Зола (образец № 4)	41,12	7,26	17,7	26,24	0,54	1,0	1,30	0,77	0,37	2,05	1,45
	Торфяной брикет	Зола	44,24	6,63	13,28	23,52	1,28	0,16	1,42	0,48	0,38	1,34	6,60

В табл. 6 приведены результаты спектрального анализа образцов шлака и золы трех торфобрикетных заводов.

Таблица 6. Содержание микроэлементов в золе твердого топлива предприятий Республики Беларусь

Элемент	Содержание, г/т	Элемент	Содержание, г/т	Элемент	Содержание, г/т
ОАО «Житковичский ТБЗ», Шлак					
Ni	50	Ag	-	Ce	-
Co	10	Zn	< 30	Cd	-
V	100	Ge	1	P	2k
Mn	500	La	-	Sr	
Ti	1k	Yb	5	Ba	
Cr	70	U	-	As	
Pb	< 1	Th	-	Sb	
Mo	5	Tl	-	Hg	
W	-	Bi	-	Li	10
Zr	50	Be	-	Re	-
Hf	-	In	-	Cd	-
Nb	5	Ga	5	B	30
Ta	-	Sc	-	Y	30
Cu	50	Sn	-		
ОАО «Житковичский ТБЗ», Зола-унос					
Ni	30	Ag	-	Ce	-
Co	20	Zn	-	Cd	-
V	30	Ge	-	P	1k
Mn	700	La	-	Sr	< 100
Ti	1k	Yb	7	Ba	1k
Cr	50	U	-	As	-
Pb	10	Th	-	Sb	-
Mo	2	Tl	-	Hg	-
W	-	Bi	-	Li	< 10
Zr	20	Be	-	Re	-
Hf	-	In	-	Cd	-
Nb	< 3	Ga	7	B	20
Ta	-	Sc	-	Y	50
Cu	30	Sn	-		
ОАО «Старобинский ТБЗ», филиал «Слуцкий», Зола-унос					
Ni	20	Ag	-	Ce	-
Co	10	Zn	-	Cd	-
V	7	Ge	-	P	1,5k
Mn	500	La	-	Sr	-
Ti	700	Yb	3	Ba	3k
Cr	30	U	-	As	-
Pb	15	Th	-	Sb	-
Mo	1	Tl	-	Hg	-
W	-	Bi	-	Li	< 10
Zr	15	Be	-	Re	-
Hf	-	In	-	Cd	-
Nb	< 3	Ga	5	B	20
Ta	-	Sc	-	Y	50
Cu	30	Sn	-		
ОАО «ТБЗ Усяж», Зола -унос					
Ni	20	Ag	-	Ce	-
Co	7	Zn	-	Cd	-
V	10	Ge	1	P	5k
Mn	1k	La	-	Sr	< 100
Ti	700	Yb	5	Ba	2k
Cr	20	U	-	As	-
Pb	7	Th	-	Sb	-
Mo	5	Tl	-	Hg	-
W	-	Bi	-	Li	< 10
Zr	100	Be	-	Re	-
Hf	-	In	-	Cd	-
Nb	-	Ga	5	B	50
Ta	-	Sc	-	Y	50
Cu	50	Sn	-		

Как было показано, химическая активность является важным свойством золы, от которого зависит ее использование в качестве самостоятельного вяжущего или компонента комплексных вяжущих. По химическому составу зола и шлаки подразделяются на основные, кислые и нейтральные. Основная зола содержит гидравлически активные компоненты и является самостоятельным вяжущим. Кислая зола обладает свой-

ствами типичных пузцоланов и может применяться как активная минеральная добавка. Были рассчитаны критерии активности исследуемых зольных отходов:

- модуль основности (гидросиликатный модуль) M_o ,

• силикатный (кремнеземистый) модуль M_c ,

• коэффициент качества K .

Результаты представлены в табл. 7.

Таблица 7. Критерии качества зольных отходов твердого топлива некоторых энергопредприятий республики

Предприятие	Вид топлива	M_o	M_c	K
Брестское республиканское унитарное предприятие электроэнергетики «Брестэнерго»	Смесь щепа (60 %), торф (40 %).	0,39	2,98	0,51
	Торф топл. ПРУТП «Гатча-Осовский»	0,36	2,83	0,47
	Торф топл. ТПУ «Березовское»	0,27	6,27	0,38
	Смесь щепа 60 %, торф 40 %.	0,32	4,82	0,45
	Шлак	0,55	2,17	0,70
Минское РУП электроэнергетики «Минскэнерго» Жодинская ТЭЦ	Дробленый торфобрикет	0,59	1,08	0,75
	Фрезерный торф	0,56	2,53	0,73
Березинское районное производственное управление газового хозяйства «Березинорайгаз»	Фрезерный торф	0,52	3,23	0,76
	Торфяной брикет	0,78	1,46	1,08
ОАО «ТБЗ Усяж»	Торфяной брикет	0,52	2,22	0,7
ОАО «Старобинский ТБЗ» Филиал «Несвижский»	Торфяной брикет	0,47	2,78	0,64

Результаты расчетов критериев качества показали, что исследуемые зольные отходы являются, в основном, скрыто активными, требующими интенсифицировать твердение. Их можно использовать в производстве изделий, твердеющих при тепловой обработке с активизацией, а также в дорожном строительстве. Более подробное заключение о целесообразности использования того или иного вида золы будет сделано после проведения соответствующих запланированных испытаний.

Направления использования

Стекольная промышленность. Зола и шлаки, образующиеся в результате сжигания торфобрикетного сырья различных предприятий (Житковичский ТБЗ, Старобинский ТБЗ филиал «Слуцкий», ТБЗ «Усяж»), судя по анализу химического состава, представленного в табл. 6, не могут быть использованы в качестве сырьевых материалов для производства тарного, строительного и сортового стекла из-за высокого содержания оксида железа (8–18 %), нежелательных примесей P_2O_5 , SO_3 (1,5–2,0 %) и TiO_2 (0,3–0,5 %).

Показатели качества, характеризующие внешний вид стекла, приобретают одно из первостепенных значений. К таким показателям можно отнести колер стекла, количественная оценка которого характеризуется светопропусканием и доминирующей длиной волны в видимой части спектра. Эти показатели напрямую зависят от содержания в стеклах красящих примесей и малых добавок, вносимых в составы шихт. Содержание в сырье примесей оксидов железа, хрома, титана, марганца, ванадия придают стекломассе нежелательную окраску [17]. Требования по содержанию основных стеклообразующих оксидов и допустимые количества примесей в применяемых сырьевых материалах для производства стекла регламентируются ГОСТами и техническими условиями на применяемое сырье. Некоторые сырьевые материалы, производимые по техническим условиям, являются природным сырьем или отходами, образующимися при производстве других материалов [14–17].

Наиболее распространенной примесью в сырьевых материалах, а следовательно, и в

стекле являются оксиды железа. В составе листового и тарного стекла они изменяют величину показателя светопропускания, которая играет важную роль при оценке показателей качества стекла.

В процессе варки в зависимости от окислительно-восстановительных условий в расплаве стекла и в воздушной среде стекловаренной печи устанавливается равновесие между ионами $\text{Fe}^{3+} \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$. Для двухвалентного железа характерна интенсивная широкая полоса поглощения в ближней ИК-области спектра (1100 нм), коротковолновый край которой может простираться в видимую область. В УФ-области Fe^{2+} имеет слабую полосу поглощения, в то время как Fe^{3+} поглощает интенсивно, частично смещая край полосы поглощения в видимую область. В стекле присутствуют обычно ионы Fe^{2+} и Fe^{3+} , которые окрашивают стекло в различные оттенки зелено-вато-желтого, голубого или коричневого цветов. Интенсивность окрашивания стекла ионами трехвалентного железа значительно ниже, чем ионами двухвалентного железа. При высокой концентрации железа в стекле возможно образование хромофорных интенсивно красящих группировок типа $[\text{Fe}^{3+} - \text{O} - \text{Fe}^{2+}]$ [14].

Технология производства листового полированного и узорчатого стекла допускает содержание оксидов железа в стекле 0,05 и 0,2 мас. % соответственно. В производстве тарного стекла в зависимости от марок – от 0,05 до 0,4 мас. %.

Использование сырьевых материалов с повышенным содержанием P_2O_5 , SO_3 (1,5–2,0 %) и TiO_2 (0,3–0,5 %) для производства бесцветного стекла недопустимо.

Наличие TiO_2 в присутствии Fe_2O_3 приводит к окрашиванию стекла в желтый цвет и может вызвать кристаллизацию стекла. Введение титана в состав стекла делает его более тугоплавким, увеличивает вероятность возникновения неоднородности стекломассы и изменяет температурный режим варки стекла. Содержание TiO_2 в стекле не должно превышать 0,08 % для всех марок.

Обесцвечивание стекла с содержанием примесей железа более 0,03 % потребует введения окислителей, а при применении сырья с повышенным содержанием соединений серы – восстановителей. Восстановительные реакции могут привести к появлению мошки (мелкий пузырь) в стекломассе. При этом при повышенном содержании примесей оксидов железа (более 0,03 %) обязательно ухудшается колер стекла вследствие образования более интенсивных красящих ионов и комплексов с серой $[\text{Fe}^{3+} - \text{Fe}^{2+} - \text{S}^{2-} - \text{O}^2]$. В связи с этим для получения хорошего колера стекла необходимо исключить восстановительный характер шихты, до минимума свести количество SO_3 в стекле.

Легирующий эффект добавок оксида фосфора P_2O_5 (0,1–1,0 %) в стекле обусловлен увеличением прочности и жесткости структурного каркаса силикатного стекла, что проявляется в повышении гидролитической стойкости и микротвердости, понижении плотности и склонности к кристаллизации, в большей мере у составов с высоким содержанием оксидов железа. Увеличение концентрации P_2O_5 в силикатных стеклах (более 1,0 %) вызывает снижение легирующего эффекта, выражаящимся в обратном изменении свойств. Увеличение концентрации фосфора приводит к возрастанию относительного содержания двухвалентного шестикоординированного железа и образованию связей $[\text{P} - \text{O} - \text{Fe}^{2+}]$, что сопровождается возрастанием оптического поглощения в видимой и ближней ИК-области спектра. Добавки фосфатов повышают технологическую активность шихт силикатных стекол благодаря усилиению пенообразования и аморфизации спека, происходящих вследствие более раннего появления высоковязкой жидкой фазы, удерживающей от улетучивания пары воды и другие газообразные продукты реакций.

Производство керамики. В настоящее время в Республике Беларусь производится около 650 млн шт. условного керамического кирпича в год. Всего на территории республики действует более 50 предприятий по производству кирпича керамического, из которых только девять являются всесезонного действия, а остальные – сезонного. В общем объеме производства всесезонными предприятиями производится более 90 % продукции. Для изготовления указанного количества продукции используется около 2,7 млн т глины.

Все предприятия всесезонного действия изготавливают кирпич из глин требующих ввода различных добавок (отощающих, красящих, пластифицирующих, выгорающих и др.). В основном это отощающие добавки, позволяющие снизить чувствительность глин к сушке и тем самым интенсифицировать технологический процесс сушки. В качестве добавок используются добавки минерального происхождения (песок, гранитный отсев, шамот, различные шлаки и зола ТЭЦ) и органического (древесные опилки, шелуха зерновых культур, измельченная солома и т. п.).

На двух предприятиях ОАО «Минский ЗСМ» и ОАО «Радашковичский КЗ» организовано производство керамических пористых пустотелых блоков в объеме около 50 млн шт. условного кирпича в год, где в качестве порицующей добавки используются древесные опилки, что позволяет снизить плотность керамического черепка и тем самым улучшить его теплозащитные показатели. Зола твердых видов топлива так же может снижать плотность керамического черепка и улучшать теплозащитные показатели кирпича [15]. Кро-

ме этого, из золы с определенными добавками можно получить так называемые золо-керамические стеновые материалы, обладающие достаточно высокими теплозащитными показателями, невысокой по сравнению с

керамическим кирпичом прочностью (25–50 кгс/см²) [16].

Зола или зольный шлак как продукты сжигания торфа в зависимости от их природного образования имеют химический состав, представленный в табл. 8.

Таблица 8. Усредненный химический состав золы и зольных шлаков

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	ППП
41–65	6–10	8–17	12–28	0,5–0,8	1,1–1,7	0,5–0,7	0,3–0,5	0,4–2,0	0,06–1,4	0,01–6,0

В зависимости от химико-технологических свойств глины и требуемых характеристик готовой продукции количество вводимой в состав шихты золы торфа может колебаться от 5 до 20 %.

Ввод золы в состав глинистой шихты, кроме снижения коэффициента чувствительности к сушке, может улучшить реологические свойства глины, увеличив пластическую прочность и тем самым уменьшив количество дефектов (свилевых трещин), образующихся в процессе экструзии, в макроструктуре керамического черепка, что позволит повысить механическую прочность и морозостойкость кирпича [17].

Можно предположить, что наличие в золе значительного количества оксидов железа, калия и натрия, а также неокисленной органики повлияет на снижение температуры обжига и снижение расхода топлива на обжиг с повышением прочности кирпича.

Достаточно высокое содержание в золе красящих оксидов кальция и магния может изменить цвет керамического черепка кирпича, окрашивая его в более светлые цвета.

Зола с различными целями также может использоваться в производстве керамзита по пластическому способу изготовления. Одной из целей может быть опудривание глиняных гранул в процессе их формирования для снижения насыпной плотности и повышения прочности. В этой связи потребителями золы могут быть ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль» и ОАО «Лидский керамзитовый завод», общее потребление золы которыми может достигать до 15 тыс. т в год.

При экономической целесообразности в производстве керамических стеновых материалов замены используемых в настоящее время добавок, на золу торфобрикетов, потребителями могут быть как предприятия всесезонного действия, так и сезонного.

Количество потребляемой золы на получение 1 тыс. шт. условного кирпича может составлять от 160 до 670 кг. Конкретное количество золы и ее необходимость устанавливаются по результатам исследований конкретного вида глины и золы.

Таким образом, для изготовления только 1,0 млн шт. условного кирпича может потребоваться около 670 т золы.

Производство портландцементного клинкера. Подробное изложение результатов использования топливной золы в производстве цемента будет рассмотрено в специальной статье. Здесь же мы приведем только краткие выводы. Использования топливной золы в производстве цемента возможно двумя способами:

- в качестве компонента сырьевой шихты для получения портландцементного клинкера;
- добавки при получении цемента.

Лабораторные исследования с использованием топливной золы в качестве компонента сырьевой шихты для получения портландцементного клинкера проводились на примере шлака Житковичского ТБЗ. Для получения опытного образца клинкера с вводом топливной золы приготовили четырехкомпонентную сырьевую шихту следующего состава: мел, глина, шлак (исследуемый), огарки.

Все исходные компоненты предварительно высушивались и подвергались тонкому измельчению до полного прохождения через сито №008, после чего отвешивались в установленных пропорциях и тщательно перемешивались вручную в течение 30 мин. Полученная сырьевая шихта увлажнялась и использовалась для приготовления гранул диаметром 2–3 см. Полученные гранулы подвергались сушке при комнатной температуре в течение суток, а затем в сушильном шкафу при температуре 105 °C в течение 2–3 ч.

В соответствии с действующими требованиями цементных заводов (ОАО «Белорусский цементный завод», ОАО «Красносельскстройматериалы», ОАО «Кричевцементношифер») к модульным характеристикам цементного клинкера выполнены расчеты сырьевых смесей с использованием зол и шлаков торфобрикетных заводов для условий применения различных видов сырьевых компонентов и топлива.

На примере шлака Житковичского ТБЗ в лабораторных условиях проведены исследования и подтверждена возможность получения клинкера качественного минералогического состава при введении в сырьевую смесь торфобрикетной золы.

На основании анализа химического состава золы торфобрикета различных предприятий проведена оценка возможности ее использова-

ния в качестве активной минеральной добавки при помоле цемента, согласно СТБ ЕН 197-1-2007. Установлено, что шлак Житковичского ТБЗ не соответствует требованиям к шлаку, зола Житковичского ТБЗ может использоваться в качестве известковой золы-уноса. Соответствие золы Старобинского ТБЗ и ТБЗ «Усяж» требованиям к активным минеральным добавкам может быть установлено только на основании дополнительных длительных физико-механических испытаний. При этом отмечается, что все представленные шлаки и виды золы могут быть применены в качестве инертной минеральной добавки в составах цементов. Возможность их введения при помоле цемента в количестве до 5 % подтверждена результатами лабораторных исследований на примере золы Старобинского ТБЗ и клинкера ОАО «Кричевцементношифер».

Таким образом, предприятия цементной и керамической отраслей промышленности стройматериалов в состоянии утилизировать весь объем образующегося зольного остатка от сжигания торфобрикета в республике. Все представленные шлаки и виды золы могут быть применены в каче-

стве инертной минеральной добавки в составах цементов. При этом следует учитывать, что реализация данного направления потребует решения вопросов централизованного сбора, усреднения качественных характеристик и доставки золы на цементные и керамические заводы.

Отечественный и зарубежный опыт применения золы и золошлаковых смесей подтвердил возможность использования топливных отходов ТЭС в дорожном строительстве. Зола используется во всех элементах дорожных конструкций, в асфальтобетонных покрытиях в качестве минерального порошка. На основании проведенных исследований установлена возможность использования торфяной золы, образующейся на промышленных предприятиях Республики Беларусь, в асфальтобетонных смесях. Практическая реализация результатов исследований обеспечит дополнительный источник минерального сырья для изготовления асфальтобетонных покрытий, соответствующих современным стандартам, уменьшение или полное исключение захоронения ЗШМ, что благоприятно отразится на окружающей среде и здоровье людей.

Л и т е р а т у р а

1. **Волженский, А. В.** Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов / А. В. Волженский, И. А. Иванов, Б. Н. Виноградов. М., 1984.
2. **Волженский, А. В.** Минеральные вяжущие вещества / А. В. Волженский, Ю. С. Буров, В. С. Колокольников. 2-е изд., переработ. М., 1973.
3. **Гончарова, Л. В.** Дисперсность и химико-минералогический состав зол уноса и пути их активации / Л. В. Гончарова, В. И. Барапова, М. П. Панюкова // Труды Союздорнии. Вып. 82 : Применение полимерных материалов в дорожном строительстве. М., 1975. С. 110–117.
4. **Сокальская, М. Б.** Использование зол уноса тепловых электростанций в битумоминеральных смесях / М. Б. Сокальская, Б. В. Маркин // Труды Союздорнии. Вып. 82 : Применение полимерных материалов в дорожном строительстве. М., 1975. С. 179–182.
5. **Сотникова, В. Н.** Материалы, применяемые для приготовления активированных минеральных порошков / В. Н. Сотникова // Труды Союздорнии. Вып. 56: Вопросы строительства асфальтобетонных покрытий с применением активированных минеральных материалов. М., 1972. С. 21–29.
6. **Технические указания** по использованию зол уноса и золошлаковых смесей от сжигания различных видов топлива для сооружения земляного полотна и устройства дорожных оснований и покрытий автомобильных дорог ВСН 185-75 Минтрансстрой. М., 1976.
7. **Петрашевский, Р. И.** Комплексное использование торфяных зол в дорожном строительстве / Р. И. Петрашевский // Материалы VI Всесоюзного совещания по основным направлениям научно-технического прогресса в дорожном строительстве. Вып. 7 «Применение каменных материалов и укрепленных грунтов в дорожных одеждах». Союздорнии. М., 1976. С. 23–28.
8. **Золошлаковые** материалы и золоотвалы / В. Г. Пантелеев и [др.]. М., 1978.
9. **Русаков, Н. В.** Эколого-гигиенические проблемы опасности отходов производства и потребления / Н. В. Русаков // 2-й международный конгресс по управлению отходами. М., 2001. С. 360–361.
10. **Дворкин, Л. И.** Строительные материалы из отходов промышленности : учебно-справочное пособие / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. Ростов-на-Дону, 2007.
11. **Путилин, Е. И.** Применение зол уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог / Е. И. Путилин, В. С. Цветков М., 2003.
12. **Лиштван, И. И.** Основные свойства торфа и методы ее определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. Минск, 1975.
13. **Лиштван, И. И.** Физико-химические основы технологии торфяного производства / И. И. Лиштван и [др.]. Минск, 1983.
14. **Химическая** технология стекла и ситаллов / Под редакцией Н. М. Павлушкина. М., 1983.
15. **Освоение** производства стеновой поризованной керамики и расширение объемов производства // Строительный рынок. № 21–22. 2006.
16. **Саибулатов, С. Ж.** Золокерамические стеновые материалы / С. Ж. Саибулатов. Алма-Ата, 1982.

17. **Васильков, С. Г.** Использование зол ТЭС в производстве керамических стеновых материалов и пористых заполнителей. Обзорная информация / С. Г. Васильков. М., 1972.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 24.02.2014 г.

**И. И. Лиштван, В. М. Дударчик, В. М. Крайко,
Е. В. Ануфриева, Е. А. Смолячкова**

**КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА, КЛАССИФИКАЦИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ
УТИЛИЗАЦИИ ЗОЛЫ ОТ СЖИГАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА**

Представлены результаты исследований состава и свойств зольных отходов твердого топлива отдельных энергопредприятий республики. Приведены результаты исследований макро- и микрокомпонентного состава исследуемых зольных отходов, по которым рассчитаны их критерии качества (гидросиликатный модуль M_o , силикатный (кремнеземистый) модуль M_c , коэффициент качества K). На основании полученных результатов проведена классификация по направлениям использования.

Дан сравнительный анализ возможности утилизации золошлаковых отходов в производстве некоторых видов стройматериалов, включая получение цемента. Более подробно рассмотрена возможность использования зольных отходов торфопредприятий Республики Беларусь в стекольной и керамической промышленности.

**I. I. Lishtvan, V. M. Dudarchik, V. M. Kraiko,
E. V. Anufrieva, E. A. Smoljachkova**

**THE QUALITY CRITERIA CLASSIFICATION AND
DIRECTIONS OF ASH DISPOSAL OF SOLID FUELS**

The results of the composition and properties of ash waste of solid fuel utilities of separate republic studies have been presented. The results of studies of macro- and micro component of the investigated ash wastes which calculate their quality criteria (hydrosilicate module M_o silicate (siliceous) module M_c , quality factor K) have been given. Based on these results, the classification of the directions of use has been held.

A comparative analysis of the possibility of disposing of ash waste in the production of certain types of building materials, including cement production has been given. The possibility of using waste ash peat enterprises of the Republic of Belarus in the glass and ceramics industries has been considered in more detail.

УДК 631.811:635.9

**Г. В. Наумова¹, В. А. Тимофеева², Л. А. Головченко², Н. Л. Макарова¹,
Т. Ф. Овчинникова¹, Н. А. Жмакова¹, П. М. Юферев³**

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РЕГУЛЯТОРА РОСТА РАСТЕНИЙ МАЛЬТАМИН В ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ ДЕКОРАТИВНЫХ КУЛЬТУР

Приведены результаты испытаний регулятора роста растений Мальтамин, получаемого на основе природного растительного сырья – ростков солода, на декоративных культурах: древесных, кустарниковых, цветочных растениях и газонных травах.

Неотъемлемой частью современных технологий, применяемых в растениеводстве, является использование регуляторов роста растений, что позволяет ускорить рост и развитие последних, повысить урожайность культур и качество продукции, устойчивость растений к болезням и неблагоприятным условиям среды, улучшить приживаемость саженцев и рассады.

Проблема обеспечения сельского хозяйства Республики Беларусь вышеупомянутыми препаратами будет в значительной степени решена разработкой и применением отечественных регуляторов роста растений.

В Институте природопользования НАН Беларуси разработана серия эффективных биологически активных препаратов для растениеводства на основе местного природного сырья. Одним из наиболее перспективных препаратов является Мальтамин продукт гидролитической переработки отхода пивоваренного производства – ростков солода, способ получения которого защищен патентом Республики Беларусь [1].

Препарат представляет собой многокомпонентную смесь, в химическом составе которой присутствуют меланоидины, органические кислоты, аминокислоты, соединения фенольной природы и другие вещества (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав биологически активного препарата Мальтамин

Компонент	Содержание компонентов	
	% в препарате	% от органических веществ
Органические вещества	4,80	100,0
Редуцирующие вещества	0,02	0,42
Меланоидины	3,30	68,75
Пектинги	0,25	5,21
Органические кислоты	0,71	14,79
Аминокислоты	0,13	2,71
Фенольные соединения	0,12	2,50

Мальтамин широко испытан и разрешен к применению на основных культурах, возделываемых в республике. Он безвреден для окружающей среды и человека, относится к малоопасным веществам (4-й класс опасности). Применение Мальтамина при предпосевной обработке семян, поливе и опрыскивании вегетирующих растений позволяет повысить урожайность зерновых на 10–15 %, овощей – на 18–32, картофеля – на 12–18 % и получить экологически чистые продукты с высоким содержанием углеводов, витаминов и белка, снизить количество нитратов в овощах, корнеплодах и зеленных культурах на 45–50 % [2].

В настоящее время все большее распространение среди дачников, в городском и парковом озеленении находит выращивание разнообразных декоративных культур. Многие из них являются трудноприживляемыми и медленнорастущими растениями, в связи с чем возникает потребность применения регуляторов роста при их выращивании.

В 2012–2013 гг. лабораторией защиты растений ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» проведены исследования эффективности применения Мальтамина на древесных лиственных и кустарниковых, цветочных растениях и газонных травах. В опытах использовали образец препарата, выпущенный в промышленных условиях ЗАО «Белнефтесорб» по технологии Института природопользования НАН Беларуси.

Результаты опытов обработаны с помощью статистического пакета Statistica 6,0 методом сравнения вариантов. Полученные различия статистически достоверны.

Испытание биологической эффективности применения регулятора роста Мальтамин на древесных культурах проведено в посевном отделении питомника «Бровки» УП «Минскзеленстрой» (д. Бровки Минского района) на сеянцах каштана конского обыкновенного.

Площадь делянок 200 м²; количество растений – 310 шт. Посадочный материал – однолетние сеянцы, способ посадки – по 18 растений в ряд на гряде (ширина гряды – 1 м, междурядья – 15 см). Почва дерново-подзолистая, сугли-

нистая. Содержание гумуса составляет 2,1–2,3 %; pH – 5,8–6,0; содержание общего азота – 0,300–0,403 %; P₂O₅ – 15–18 мг/ 100 г почвы; K₂O – 16,5–21 мг/ 100 г почвы.

Обработка растений препаратом осуществлялась в двух вариантах – путем их опрыскивания или полива, каждый вариант в 4-кратной повторности. В качестве эталона использовали регулятор роста растений Оксидат торфа, применение которого на данных культурах разрешено.

При опрыскивании растений препараты использовали в дозе 10,0 мл/м²; норма расхода рабочей жидкости – 0,5 л/м²; при поливе растений под корень – 100,0 мл/м², норма расхода рабочей жидкости – 5 л/м². Растения обрабатывались препаратами трижды, первая обработка осуществлялась в период распускания листьев, последующие – в фазу активного роста с интервалом 15 дней.

Сеянцы каштана характеризуются медленным ростом в первый год вегетации, поэтому в качестве критерия биологической эффективности

препаратов использовали показатель прироста растений после применения регуляторов роста.

В табл. 2 представлены результаты биологической эффективности действия Мальтамина при трехкратной обработке сеянцев.

Прирост сеянцев каштана после опрыскивания Мальтамином составил 4,7 см (контроль – 3,9 см) или 20,5 %. Полив растений раствором этого препарата обеспечил прирост сеянцев на 5,3 см (на 35,9 % выше контрольных), тогда как при поливе Оксидатом торфа прирост составлял 25,6 %, а при опрыскивании растений – 23,1 %. Таким образом, биологическая эффективность регулятора роста Мальтамин при опрыскивании растений была на уровне эталона, а более эффективным оказался полив растений Мальтамином.

Изучено также влияние препаратов на устойчивость сеянцев к заболеванию бурой пятнистостью.

В табл. 3 представлены результаты учета развития этой болезни на листьях после трех обработок растений регуляторами роста.

Таблица 2. Биологическая эффективность применения Мальтамина на каштане конском обыкновенном

Вариант	Способ обработки	Высота растений, см		Прирост растений	
		до обработки	после 3-х обработок	прирост, см	% к контролю
Мальтамин	Опрыскивание	4,6	9,3	4,7	120,5
	Полив	4,7	10,0	5,3	135,9
Оксидат торфа (эталон)	Опрыскивание	5,6	10,4	4,8	123,1
	Полив	5,3	10,2	4,9	125,6
Контроль		4,8	8,7	3,9	
HCP ₀₅			1,2	0,9	

Таблица 3. Биологическая эффективность Мальтамина в повышении устойчивости растений каштана конского обыкновенного к бурой пятнистости (*Phyllosticta sphaeropsoidea* Ell.)

Вариант	Способ обработки	Развитие болезни после трех обработок, %	Снижение развития болезни по отношению к контролю, %
Мальтамин	Опрыскивание	28,1	34,5
	Полив	30,8	31,8
Оксидат торфа (эталон)	Опрыскивание	38,2	24,4
	Полив	36,7	25,9
Контроль		62,6	–
HCP ₀₅		7,5	

Выявлено повышение устойчивости сеянцев каштана к бурой пятнистости листьев после обработки регуляторами роста. Отмечено снижение развития бурой пятнистости на листьях сеянцев каштана: при опрыскивании Мальтамином – на 34,5 %, Оксидатом торфа – на 24,4 %; при поливе растений Мальтамином – на 31,8 %, Оксидатом торфа – на 25,9 %.

Таким образом, применение Мальтамина способствует не только ускорению роста сеянцев каштана, но и снижению развития бурой пятнистости. С целью защиты сеянцев от этой болезни эффективно опрыскивание растений регулятором роста Мальтамин (2 %) при появлении первых признаков ее развития.

В питомнике «Бровки» были проведены также испытания биологической эффективности регулятора роста Мальтамин при его использовании на кустарниковом растении бирючина (табл. 4). Площадь делянок составляла 200 м²; количество растений – 250 шт. Посадочный материал – однолетние сеянцы; способ посадки – по 15 растений в ряд на гряде (ширина гряды – 1 м, междуурядья – 15 см). Препарат использовали для полива и опрыскивания растений в той же концентрации, что и для древесных растений. В качестве критерия биологической эффективности использовали показатель прироста растений после применения регуляторов.

Трехкратная обработка сеянцев бирючины Мальтамином ускорила рост и развитие растений. Прирост сеянцев после опрыскивания составил 19,1 см (превысил контроль на 7,9 %), после полива – 26,1 см (превысил контроль на 47,5 %).

В варианте применения Мальтамина в виде полива под корень отмечена стимуляция образования боковых побегов. Их в среднем сформировалось 7,6 шт. на 1 растение (на 18,1 % больше, чем в контроле).

В варианте опрыскивания сеянцев раствором Мальтамина количество сформировавшихся боковых побегов на 1 растение оставалось на уровне контроля (6,3 и 6,4 шт. соответственно). По показателю длины боковых побегов варианты способов обработки практически не отличались.

Испытание биологической эффективности регулятора роста Мальтамина на цветочных культурах проведено на опытных участках Центрального ботанического сада в мелкоделяночных опытах на культуре тагетеса. Этапоном являлся регулятор роста растений Оксидат торфа. Площадь опытной делянки – 20 м², повторность 4-кратная, количество растений – 40, способ посадки – рядками на гряде шириной 1 м. При опрыскивании растений препараты использовали в дозе 10,0 мл/м²; норма расхода рабочей жидкости – 0,5 л/м², при поливе растений под ко-

рень – 100,0 мл/м², норма расхода рабочей жидкости – 5 л/м². В качестве критерия биологической эффективности использовали показатель прироста растений и продуктивность цветения после применения регуляторов.

В табл. 5 представлены результаты биологической эффективности действия препаратов при трехкратной обработке растений.

Применение регулятора Мальтамина способствовало увеличению прироста растений: при опрыскивании – на 44,1 %, при поливе – на 66,1 % по сравнению с контролем. В варианте с эталоном (Оксидат торфа) отмечено увеличение прироста по сравнению с контролем при опрыскивании – на 18,6 %, при поливе – на 23,7 %.

На растениях опытных вариантов и эталона цветки формировались на 8–10 дней раньше, чем на растениях в контроле. Обработка сеянцев тагетеса Мальтамином повысила продуктивность цветения растений (количество цветков на одном растении) при опрыскивании растений – в среднем до 12,1 шт./растение (на 10 % больше контроля), при диаметре цветка до 3,3 см; при поливе растений – в среднем до 18,3 шт./растение (на 30 % больше контроля), при диаметре цветка до 3,9 см. В варианте применения эталона (Оксидат торфа) отмечено увеличение продуктивности цветения по сравнению с контролем при опрыскивании – на 23,6 %, при поливе – на 16,7 %.

Таким образом, применение регулятора роста растений Мальтамин при выращивании растений однолетней цветочной культуры тагетес ускоряло рост и развитие растений; способствовало повышению их декоративности. Препарат изменял габитус растения, листовые пластины приобретали темно-зеленую окраску, ускорялась дифференциация соцветий, увеличился размер цветков.

Испытание биологической эффективности Мальтамина на рост и развитие газонных трав изучено на злаковой смеси, состоящей из райграса пастбищного (35 %), мятыника лугового (15 %) и овсяницы красной (50 %). Испытание проведено в условиях мелко-деляночного опыта.

В качестве критерия биологической эффективности препаратов использовали показатель прироста растений после применения регуляторов (табл. 6).

Установлена эффективность применения Мальтамина при создании и эксплуатации газона, его влияние на рост газонных трав. Обработка посевных газонных трав Мальтамином стимулировала активный рост и развитие растений: повысилась интенсивность роста злаков, ускорилась и увеличилась их кустистость. Зеленая биомасса с 1 м² после первой обработки Мальтамином составила: при опрыскивании – 289,8 г/м² (на 28,2 % больше контроля), при поливе – 119,8 г/м² (на 19,8 % больше контроля).

Таблица 4. Влияние Мальтамина на рост и развитие сеянцев бирючины

Вариант	Концентрация	Способ обработки	Высота растений, см				Количество боковых побегов на 1 раст./шт.		Длина боковых побегов	
			до обработки	после обработки	прирост	% к контролю	после обработки	% к контролю	см	% к контролю
Мальтамин	2,0	Опрыскивание	30,2	49,3	19,1	107,9	6,3	98,5	12,7	113,4
		Полив	33,7	59,8	26,1	147,5	7,6	118,1	12,9	115,2
Контроль			27,3	45,0	17,7		6,4		11,2	
HCP ₀₅				8,7	4,9		1,4		1,9	

Таблица 5. Влияние регуляторов роста на рост и развитие сеянцев тагетеса

Вариант	Способ обработки	Высота растений, см				Количество цветков на одно растение		Диаметр цветка	
		до обработки	после обработки	прирост	% к контролю	штук	% к контролю	см	% к контролю
Мальтамин	Опрыскивание	6,0	14,5	8,5	144,1	12,1	123,5	3,3	110,0
	Полив	6,3	16,1	9,8	166,1	18,3	186,7	3,9	130,0
Оксидат торфа (эталон)	Опрыскивание	5,8	12,8	7,0	118,6	11,9	121,4	3,7	123,3
	Полив	6,2	13,5	7,3	123,7	15,4	157,1	3,5	116,7
Контроль		6,5	12,4	5,9		9,8		3,0	
HCP ₀₅			1,5	1,1		1,9		0,4	

Таблица 6. Влияние регуляторов роста на рост и развитие газонной травы

Вариант	Способ обработки	Выход биомассы		Длина листьев		Длина корней	
		г/м ²	% к контролю	см	% к контролю	см	% к контролю
Мальтамин	Опрыскивание	289,8	128,2	28,2	110,6	8,8	122,3
	Полив	270,8	119,8	26,9	105,5	9,6	133,7
Контроль		270,8		25,5		7,2	
HCP ₀₅		9,8		3,4		0,8	

Замеры высоты растений и длины корней через 16 дней после трех обработок и трех скашиваний подтвердили эффективность применения Мальтамина. Длина листьев при опрыскивании была на 10,6 % больше контроля, при поливе – на 5,5 %. Длина корней в вариантах применения Мальтамина при опрыскивании была на 22,3 %, при поливе – на 33,7 % больше контроля.

Обработка растений регулятором роста растений Мальтамин способствовала быстрому отрастанию газона после посева, ускорению вступления трав в фазу кущения и обеспечила активный рост корневой системы растений смеси газонных трав; повысила декоративность – газон приобрел насыщенную зеленую окраску и устойчивость к полеганию.

По результатам проведенных биологических испытаний Мальтамина на декоративных культурах, с учетом его эффективности и экологической безопасности для окружающей среды и человека, Главная государственная инспекция по семеноводству, карантину и защите растений включила этот биологически активный препарат в Государственный Реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь, его использованию на декоративных лиственных древесных растениях и кустарниках, цветочных культурах и газонных травах при выращивании в питомниках, в городских насаждениях и для розничной продажи населению.

Л и т е р а т у р а

1. Патент РБ № 3425. 1998.
2. Экологически безопасные препараты растительного происхождения и перспективы их использования в овощеводстве / Г. В. Наумова [и др.] // Овощеводство на рубеже третьего тысячелетия : материалы Междунар. научн.-практ. конф. Самохваловичи, 2000. С. 159–162.

¹ Институт природопользования НАН Беларуси,

² Центральный ботанический сад НАН Беларуси,

³ ЗАО «Белнефтесорб»

Поступила в редакцию 04.03.2014 г.

**Г. В. Наумова, В. А. Тимофеева, Л. А. Головченко, Н. Л. Макарова,
Т. Ф. Овечинникова, Н. А. Жмакова, П. М. Юферев**

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РЕГУЛЯТОРА РОСТА РАСТЕНИЙ МАЛЬТАМИН В ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ ДЕКОРАТИВНЫХ КУЛЬТУР

Изучена биологическая эффективность применения регулятора роста растений Мальтамин при выращивании декоративных культур.

Испытания на древесных культурах и кустарниках, проведенные на сеянцах каштана конского и бирючины, показали, что трехкратная обработка растений Мальтамином ускоряет их рост (на 20,5–47,5 %) и увеличивает количество боковых побегов. Установлено повышение устойчивости сеянцев каштана к бурой пятнистости листьев, развитие которой уменьшается при опрыскивании Мальтамином на 34,5 %, при поливе под корень – на 31,8 %.

Применение Мальтамина при выращивании цветочных культур (тагетес) и газонных трав (смесь злаков) ускоряет их рост и развитие и способствует повышению декоративности растений.

По результатам испытаний Главная государственная инспекция по семеноводству, карантину и защите растений разрешила использование Мальтамина на этих культурах.

*G. V. Naumova, V. A. Timofeeva, L. A. Golovchenko,
N. L. Makarova, T. F. Ovchinnikova, N. A. Zhmakova, P. M. Uferev*

**THE EFFECTIVENESS OF PLANT GROWTH REGULATOR MALTAMIN USAGE IN
GROWING TECHNOLOGY OF ORNAMENTAL CROPS**

The biological effectiveness of the plant growth regulator Maltamin usage in growing ornamental crops has been studied.

Tests on wood and bushes cultures performed on Aesculus seedlings and privet, showed that three-time processing plants of Maltamin accelerates their growth (by 20,5-47,5%) and increases the number of lateral shoots. It has been found that an increase of chestnut seedlings stability development to brown leaf spot of which is reduced by Maltamin spraying on 34.5% by watering the roots on 31.8%.

For growing flower crops (tagetes) and turf grasses (a mixture of cereals) the Meltamin usage accelerates their growth and development and promotes ornamentals.

According to test results of the State Inspection on Seed, Plant Protection authorized the Maltamin usage on these crops.

УДК 353.97:553.973

Т. Я. Кашинская, Н. В. Шевченко

МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ГУМИНОВЫХ ТОРФЯНЫХ И САПРОПЕЛЕВЫХ ПРЕПАРАТОВ

Изучено содержание биологически значимых микроэлементов в составе образцов торфа и сапропеля Гомельского Полесья и гуминовых препаратов, полученных на их основе. Оценена биологическая активность выделенных препаратов. Предложены методы обогащения микроэлементного состава сапропелевых гуминовых препаратов.

Эффективное освоение природных ресурсов означает создание технологий, позволяющих полно реализовывать потенциальные возможности сырья. Наличие разнообразных химических соединений в составе торфа и сапропеля дает основание рассматривать последние как ценный материал для самых разных отраслей промышленности.

Торф и сапропель находят широкое применение в сельском хозяйстве непосредственно в нативном виде и в качестве сырья для получения препаратов, использование которых повышает урожайность и качество сельскохозяйственной продукции.

Совершенствование технологий возделывания сельскохозяйственных культур невозможно без использования биологически значимых для растений микроэлементов в соответствии с потребностями растений, агрохимическими свойствами почвы и запланированным уровнем урожайности. В оптимальном диапазоне концентраций микроэлементы в биологических организмах выполняют жизненно важные функции, к тому же могут косвенно участвовать в защите от болезней и вредителей, активно регулируют физиологические процессы в живых организмах, являются компонентами ферментов, витаминов и гормонов. Отсутствие их (как и избытка) вызывает угнетение деятельности всех важнейших систем и органов живого организма, ведет к заболеваниям, снижает продуктивность [6].

Так, медь участвует в процессе фиксации азота, в углеводном и белковом обменах, влияет на устойчивость к заболеваниям и неблагоприятным погодным условиям. Недостаток поступления меди ведет к нарушению процессов превращения азота в растениях.

Марганец оказывает влияние на дыхание и азотный обмен в растениях, на фотосинтез и образование хлорофилла. Его влияние особенно значимо для ростовых процессов, от которых зависит нарастание биомассы растений.

Многочисленные функции в растительном организме выполняет цинк. Он входит в состав ряда ферментов и усиливает их активность. Недостаток цинка вызывает существенные нарушения в липоидном и углеводном обменах, в расте-

ниях задерживается образование ростовых веществ – ауксинов, что приводит к задержке роста растений и уменьшению количества хлорофилла в листьях.

Микроэлементы влияют не только на продуктивность растений. Некоторые заболевания человека или животных связаны с недостатком или избытком микроэлементов, которые поступают в организм с продуктами питания и кормами. Так, кобальт обладает большим физиологическим действием, входит в состав витамина В₁₂, при недостатке его в продуктах питания животные заболевают анемией. Поэтому оптимизация содержания микроэлементов в растениях является актуальной задачей для сельскохозяйственного производства.

Кроме микроэлементов, одним из биологических резервов повышения продуктивности сельскохозяйственных растений, являются стимуляторы роста, т. е. вещества, выполняющие роль адаптогенов, которые влияют на жизненные процессы в растениях, но не являются источниками питания. В группе таких веществ предпочтение отдается биологически активным препаратам природного происхождения, в частности получаемым на основе гуминовых веществ. Препараты биологического происхождения имеют преимущества, поскольку свободно включаются в естественные природные цепи превращений, легко расщепляются до простых химических соединений. Физиологическая активность гуминовых соединений возрастает при отклонении от оптимальных условий, которыми для сельскохозяйственных культур являются погодно-климатические условия [10].

Для повышения эффективности использования питательных элементов из почвы и удобрений, усиления иммунитета растений к неблагоприятным факторам среды и повышения качества получаемой сельскохозяйственной продукции все чаще применяются гуминовые препараты. Способы применения гуминовых препаратов различны: обработка посевного материала, некорневое опрыскивание растений, внесение в почву в виде растворов. Гуматы используются как в чистом виде, так и в сочетании с гербицидами, фунгицидами, минеральными удобрениями.

ми, в том числе микроэлементами. Спектр их применения чрезвычайно широк и включает практически все сельскохозяйственные культуры, производимые как на крупных аграрных предприятиях, так и в личных подсобных хозяйствах. Разнообразно сырье для производства гуминовых препаратов. Это может быть и бурый уголь, и торф, и сапропель.

Поскольку в составе торфа, а особенно сапропеля обнаруживаются практически все жизненно важные микроэлементы, то представляло теоретический и практический интерес исследование процесса растворения микроэлементов при получении гуминовых препаратов, тем более что нередко сапропели, согласно [7], включают все необходимые для растений и животных микроэлементы в количествах, приближающихся к сбалансированным для потребления, чем во многом и объясняется востребованность сапропелей в сельском хозяйстве.

Способы выделения гуминовых кислот основаны на их способности образовывать водорастворимые соли с одновалентными катионами натрия, калия и аммония. Водные растворы гидроксидов этих элементов и аммония и служат средой для извлечения гуминовых веществ и продуктов их превращений из гумифицированного сырья.

При получении гуминовых препаратов различного целевого назначения, как правило, производят то или иное модифицирование гуминового комплекса сырья для увеличения выхода и усиления полезных свойств препаратов.

В проявлении биологической активности гуминовых веществ важная роль отводится функциональным группам, в первую очередь карбоксильным и фенольным гидроксилам, которые определяют ионообменные и сорбционные свойства этих соединений. Наибольшей физиологической активностью обладают ароматизированные фракции торфяных гуминовых кислот, содержащие больше фенольных гидроксидов и хиноидных группировок [3]. Использование аммиака в качестве щелочного реагента для выделения гуминовых кислот является более эффективным, чем едкого натра, как по урожайности, так и по качеству растениеводческой продукции.

Разработана технология термохимического модифицирования аммиаком гуминовых веществ торфа, что существенно увеличивает выход гуминовых веществ, концентрацию получаемого продукта [1, 8]. К тому же гуминовый препарат приобретает ряд ценных качественных свойств, позволяющих эффективно использовать его в различных направлениях. Технология проста, осуществляется на стандартном химическом оборудовании, применяются доступные и дешевые химические реагенты. Процесс получения такого гуминового препарата включает в себя обработку торфа водным раствором аммиака

при температуре 120–140 °C в реакторе типа автоклав, разделение суспензии аммонизированного торфа с получением в фугате раствора гумата аммония. Такая обработка торфа аммиаком при повышенных температуре и давлении приводит не только к образованию гуматов аммония, но и модифицирует органическое вещество гуминовых кислот, существенно увеличивая содержание азота как путем включения его в состав конденсированных структур при замене кислорода на азот в гетероциклах, так и путем синтеза при взаимодействии аммиака с углеводным комплексом торфа новых азотсодержащих гетероциклов [8]. Сопоставление знаний о происходящих при термохимическом модифицировании торфа изменениях в его гуминовом комплексе, в результате обработки водным раствором аммиака при повышенных температуре и давлении, с химическими характеристиками гуминовых веществ, проявляющих повышенную биологическую активность, дает возможность на основе такого термохимического модифицирования получать эффективный биостимулятор. Кроме того, препарат обогащен другими, помимо гуминовых кислот, биологически активными веществами: меланоидинами, пектинами и аминокислотами, обладает высокой комплексообразующей способностью и обменной емкостью. Эта эффективная в случае торфа технология получения гуминовых препаратов нами опробована при использовании в качестве сырья сапропелей, было показано, что из сапропелей всех классов методом термобарохимической обработки водным раствором аммиака можно получать гуминовые препараты [5].

В соответствии с вышеизложенным, изучено содержание микроэлементов в составе гуминовых препаратов, полученных на основе торфа и сапропеля. В табл. 1 представлены общетехнические характеристики использованных для исследования образцов торфа и сапропеля. Поскольку основу препаратов составляют гуминовые вещества, для отобранных образцов торфа и сапропеля был определен выход гуминовых кислот, согласно ГОСТ 9517-94 на определение гуминовых кислот в составе твердых топлив. Сущность метода заключается в обработке аналитической пробы торфа или сапропеля, высушенной до воздушно-сухого состояния и измельченной до размеров частиц менее 1 мм, щелочным раствором пирофосфата натрия, последующей экстракции пробы раствором гидроксида натрия, осаждении гуминовых кислот избытком минеральной кислоты и определении массы полученного осадка (см. табл.2).

Выделение гуминового препарата производили 1 %-ным раствором аммиака в автоклаве при температуре 130 °C в течение 2 ч при соотношении торф либо сапропель: раствор аммиака 1 : 10, считая на абсолютно сухое вещество. По-

лученную суспензию после охлаждения разделяли на лабораторной центрифуге (фактор разделения – 2000, продолжительность центрифугирования – 20 мин). Определяли выход и концентрацию полученного гуминового препарата (табл. 2).

В образцах торфа и сапропеля, как и в составе гуминовых препаратов, полученных на их

основе, было определено содержание микроэлементов с помощью оптико-эмиссионного спектрометра с индуктивно связанный плазмой *Optima 3000 DV*. Для определения содержания микроэлементов в гуминовых препаратах последние обезвоживали сушкой в сушильном шкафу при 105 °C. В табл. 3 и 4 представлены полученные результаты.

Таблица 1. Общетехническая характеристика образцов торфа и сапропеля

Образец	Объект	Глубина отбора, м	Вид торфа, класс сапропеля	Степень разложения, %	Влажность, %	Зольность, %
1	Т.м. «Урочище Берин»	0,1–0,5	Пушицево-сфагновый	20	81,0	6,2
2	Т.м. «Урочище Берин»	0,5–1,0	Пушицевый	45–50	85,8	3,2
3	Т.м. «Урочище Берин»	1,0–1,7	Сосново-пушицевый	50–55	85,2	2,9
4	Т.м. «Милашевичи» Т.уч. Прибыловичи	0,4–0,8	Тростниково-осоковый	35–40	71,0	14,1
5	Сев.-зап. т. уч. т.м. «Топиловское»	0,5–1,0	Осоковый	20	65,1	3,4
6	Сапропель, оз. Прибыловичи	0,2–0,8	Кремнеземистый	–	82,6	53,1
7	Сапропель, оз. Дикое	0–1,0	Органический	–	89,3	31,3

Таблица 2. Содержание гуминовых кислот в образцах торфа и сапропеля и характеристика гуминовых препаратов, полученных на их основе

Образец	Вид торфа, тип сапропеля	Содержание гуминовых кислот, % о.в.	Характеристика гуминового препарата		
			Концентрация, % с.в.	Выход, % с.в.	Зольность, %
1 (торф)	Пушицево-сфагновый	37,5	5,2	58,1	1,20
2 (торф)	Пушицевый	54,4	4,5	50,1	1,21
3 (торф)	Сосново-пушицевый	42,0	4,7	52,3	1,29
4 (торф)	Тростниково-осоковый	53,3	5,5	61,2	7,36
5 (торф)	Осоковый	50,3	4,5	50,1	2,80
6 (сапропель)	Кремнеземистый	13,6	1,0	11,1	8,03
7 (сапропель)	Органический	–	2,4	26,3	12,20

Как свидетельствуют данные, торф также имеет богатый микроэлементный состав. Причем в зависимости от пробы торфа содержание микроэлементов в ней может быть на уровне или даже выше, чем в пробах сапропеля. Так, содержание хрома в составе торфа существенно ниже относительно кремнеземистого сапропеля, но в случае тростниково-осокового торфа (проба № 4) близко к содержанию в органическом сапропеле (проба № 7). В кремнеземистом сапропеле содержание кобальта на порядок выше, чем в торфах, но относительно органического сапропеля, который содержит в 3 раза меньше этого элемента, чем кремнеземистый сапропель, осоковый торф (проба № 5) имеет в своем составе в 2 раза меньшее количество кобальта. Содер-

жание никеля в органическом сапропеле близко таковому в тростниково-осоковом (проба № 4) и осоковом (проба № 5) торфах. По содержанию меди осоковый торф (проба № 5) в 1,5 раза пре-восходит как кремнеземистый, так и органический сапропель, а ее содержание в составе тростниково-осокового торфа (проба № 4) в 3 раза выше, чем в составе обоих образцов сапропеля. По молибдену исследованные виды торфа и сапропели практически идентичны. Единственный микроэлемент, по содержанию которого исследуемые образцы торфа не достигают количества, присущих пробам сапропеля, является мышьяк (содержание в сапропелях в 3–8 раз выше), но данный элемент не является биологически значимым и требуемым для растений и животных.

Таблица 3. Содержание микроэлементов в образцах торфа и гуминовых препаратах, полученных на их основе

Химический элемент	Содержание, мг/кг с.в.									
	Проба № 1 (пушицево-сфагновый торф, R – 20 %)		Проба № 2 (пушицевый торф, R – 50–55 %)		Проба № 3 (сосново-пушицевый торф, R – 50–55 %)		Проба № 4 (тростниково-осоковый торф, R – 35–40 %)		Проба № 5 (осоковый торф, R – 20 %)	
	Торф	Гуминовый препарат	Торф	Гуминовый препарат	Торф	Гуминовый препарат	Торф	Гуминовый препарат	Торф	Гуминовый препарат
Хром	2,69	3,46	2,20	3,90	2,07	2,16	6,70	5,62	4,88	4,27
Марганец	14,24	18,85	6,78	4,00	8,66	5,34	269,4	127,5	26,27	19,24
Кобальт	0,47	0,89	0,37	0,32	0,35	0,47	2,01	1,72	3,58	3,62
Никель	1,83	2,82	2,80	6,40	2,22	3,10	7,18	7,89	7,86	7,16
Медь	3,65	9,03	3,10	2,40	2,98	3,29	20,10	5,53	10,05	3,25
Цинк	15,49	35,23	1128	718,9	7,85	11,65	15,13	12,43	14,83	15,06
Мышьяк	1,62	4,73	0,33	0,28	0,30	0,42	5,55	3,99	4,68	4,46
Стронций	11,35	15,48	13,39	8,10	21,47	15,59	70,74	46,62	47,17	31,51
Кадмий	0,26	0,37	0,08	0,06	0,10	0,08	0,23	0,07	0,16	0,55
Молибден	0,46	1,00	0,43	0,38	0,15	0,15	0,55	0,73	0,40	0,57
Селен	0,64	0,91	0,44	0,60	0,87	1,22	1,53	2,63	1,09	0,87

Таблица 4. Содержание микроэлементов в образцах сапропеля и гуминовых препаратах, полученных на их основе

Химический элемент	Содержание, мг/кг с.в.				
	Проба № 6 (кремнеземистый сапропель)			Проба № 7 (органический сапропель)	
	Сапропель	Гуминовый препарат	Гуминовые кислоты	Сапропель	Гуминовый препарат
Хром	14,55	13,72	1,51	8,12	3,2
Марганец	487,9	78,20	17,60	564	99,8
Кобальт	18,21	16,46	3,42	6,21	4,5
Никель	28,21	44,48	7,99	8,60	39,4
Медь	6,83	28,41	6,85	6,21	6,8
Цинк	114,8	57,81	154,1	120	149
Мышьяк	12,87	14,60	6,75	25,8	13,9
Стронций	40,68	12,93	6,75	—	—
Кадмий	0,24	0,49	0,12	0,57	0,1
Молибден	0,96	5,19	0,63	0,48	1,5
Селен	1,58	3,62	0,43	0,43	2,0

Обращает на себя внимание высокое содержание марганца в составе сапропелей, но, видимо, марганец в основном находится в минеральной форме, так как в гуминовый препарат переходит небольшая его доля (~ шестая часть) (см. табл. 4). Еще меньше марганца растворяется при обработке сапропеля гидроксидом натрия при комнатной температуре (содержание марганца в составе гуминовых веществ, выделенных по стандартной методике в 4,5 раза меньше, чем в гуминовом препарате, полученном термобарохимической обработкой сапропеля водным раствором аммиака). Богат марганцем и тростниково-осоковый торф (проба № 4), содержание марганца в его составе только приблизительно в 2 раза ниже, чем в сапропеле (см. табл. 3). Но в отличие от последних марганец при получении гуминового препарата термобарообработкой водным раствором аммиака в основном переходит в состав гуминового препарата, и последний, полученный из этого торфа, содержит на порядок больше марганца по сравнению с остальными торфяными гуминовыми препаратами и на 25–60 % больше по сравнению с гуминовыми препаратами, полученными из сапропелей.

Необходимо отметить также высокое содержание цинка в составе пущевого торфа (проба № 2) – на порядок даже большее, чем в составе образцов сапропеля. При этом при получении гуминового препарата цинк растворяется в аммиаке и переходит в состав гуминового препарата (см. табл. 3). Форма нахождения цинка в составе сапропелей, по-видимому, может быть разной, поскольку в случае кремнеземистого сапропеля в составе гуминового препарата его содержание в 2 раза меньше, чем в составе исходного образца, тогда как в случае органического сапропеля в гуминовом препарате, полученном на его основе, содержание цинка даже выше, чем в исходном сапропеле (см. табл. 4), при практически равном его содержании в составе двух типов сапропеля.

Были проведены испытания биологической активности выделенных гуминовых препаратов. Биологическая активность стимуляторов роста растений может быть определена различными способами. Мы оценивали биологическую активность выделенных гуминовых препаратов по установлению энергии прорастания и всхожести семян различных культур, замоченных в разбавленных растворах исследуемых препаратов согласно [2], и методом водных культур по показателям накопления массы корней и проростков.

Энергию прорастания определяли по количеству проросших семян для ржи и ячменя на 3-и сутки, кукурузы на 4-е сутки, всхожесть – по количеству проросших семян на 7-е сутки.

Применение гуминовых препаратов, полученных из сосново-пущевого торфа (проба № 3), из кремнеземистого (проба № 6) и органи-

ческого (проба № 7) сапропелей, в концентрации 0,01 % для замачивания семян ячменя существенно увеличивает энергию прорастания и всхожесть семян (на 40–60%). Препарат, полученный из пущево-сфагнового торфа (проба № 1), напротив, в данной концентрации угнетает семена ячменя (см. табл. 5).

Заметное воздействие на энергию прорастания и всхожесть семян кукурузы, определенную как отношение количества проросших семян при замачивании в испытуемом растворе к количеству проросших при замачивании в воде, оказалось использование для этих целей 0,01 %-ных растворов. Но не все гуминовые препараты были в одинаковой мере эффективны. По уровню положительного воздействия особенно выделяются гуминовые препараты, полученные на основе пущевого (проба № 2) и сосново-пущевого (проба № 3) торфов. Из гуминовых препаратов, полученных на основе сапропеля, заметное влияние на энергию прорастания и всхожесть семян кукурузы оказывает только препарат, полученный из органического сапропеля, но его воздействие значительно меньше, чем воздействие вышеперечисленных торфяных гуминовых препаратов (см. табл. 5).

Для испытания биологической активности препаратов использовали также метод водных культур на проростках озимой ржи. Для этого семена замачивали в воде в течение суток, далее наклонувшиеся семена раскладывали в бумажные рулончики и прорашивали в термостате при температуре 22–24 °C трое суток. Проростки с достаточной длиной корней высаживали в стеклянные сосуды вместимостью 0,5 л, закрытые полиэтиленовыми крышками с отверстиями, по 12 проростков на сосуд. Повторность опыта четырехкратная. В качестве питательной среды применяли стандартную смесь Прянишникова (контрольный вариант) следующего состава: NH_4NO_3 – 0,12 г/л; $\text{CaHPO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ – 0,103; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,06; KCl – 0,08; FeCl_2 – 0,012; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 0,177 г/л; вода дистиллированная.

В опытных вариантах к стандартной среде Прянишникова добавляли препараты до достижения концентрации 0,005 %.

Растения выращивали 14 сут при температуре 22–25 °C в фитотроне с фотoperиодом 12/12, после чего определяли массу их корневой и надземной частей.

Как свидетельствуют полученные данные (см. табл. 6), положительный эффект от применения гуминовых препаратов наблюдается только на росте корней. Наиболее существенную прибавку обеспечивает гуминовый препарат, полученный из сосново-пущевого торфа с R – 50–55 % (торф № 3), увеличивая прирост корней практически на 70 %. Следующим по эффективности является гуминовый препарат, выделенный из кремнеземистого сапропеля (проба № 6). Он увеличивает прирост корней на 25 %.

Таблица 5. Влияние гуминовых препаратов на энергию прорастания и всхожесть семян

Вариант опыта	Ячмень		Кукуруза	
	Энергия прорастания	Всхожесть	Энергия прорастания	Всхожесть
	Проценты к контролю			
Препаратор из торфа № 1 (пушицево-сфагновый, R – 20 %)	53,8	51,2	97,0	108,0
Препаратор из торфа № 2 (пушицевый, R – 45–50 %)	92,4	95,1	130,3	127,0
Препаратор из торфа № 3 (соснovo-пушицевый, R – 50–55 %)	138,5	148,7	133,3	124,3
Препаратор из кремнеземистого сапропеля	161,5	148,7	100,0	97,3
Препаратор из органического сапропеля	146,1	160,9	112,1	124,3

Таблица 6. Оценка биологического действия гуминовых препаратов методом водных культур на озимой ржи

Вариант опыта	Стебли		Корни	
	г/растение	Процент к контролю	г/растение	Процент к контролю
Питательная среда – фон (контроль)	0,1807	100	0,0253	100
Фон + ГП из торфа № 1 (пушицево-сфагновый, R – 20 %)	0,1643	90,9	0,0272	107,5
Фон + ГП из торфа № 2 (пушицевый, R – 45–50 %)	0,1214	67,2	0,0236	93,3
Фон + ГП из торфа № 3 (соснovo-пушицевый, R – 50–55 %)	0,1688	93,4	0,0429	169,6
Фон + ГП из сапропеля кремнеземистого № 6	0,1533	84,8	0,0319	126,1
Фон + ГП из сапропеля органического № 7	0,1417	78,3	0,0253	116,6

Сопоставление данных о содержании биологически значимых микроэлементов в составе гуминовых препаратов, полученных из торфа и сапропеля, с их биологической активностью, оцененной как по влиянию на энергию прорастания и всхожесть семян ячменя и кукурузы, так и на рост растений ржи методом водных культур, не позволяет сделать вывод о существовании тесной связи между этими параметрами: наиболее активный препарат, выделенный из соснovo-пушицевого торфа (проба № 3), не превосходит остальные гуминовые препараты по содержанию микроэлементов.

Тем не менее нами были проведены исследования по поиску путей увеличения содержания микроэлементов в составе гуминовых препаратов за счет увеличения их растворимости при выделении последних из сапропелевого сырья.

Микроэлементы в сапропелях входят в кристаллическую решетку отдельных минералов, обнаруживаются в железо-марганцевых конкрециях, находятся в сорбированном гелями кремнезема, глинозема, гидрооксидами железа состоянии, образуют комплексы с гуминовыми веществами. Это обуславливает различную прочность их связи с веществом сапропелей: легкообменные (отщепляются под действием слабых

кислот) составляют 5–15 % от валового содержания, с гумусовым комплексом связано от 4 до 45 % разных микроэлементов [4].

Для аналитических целей проводились работы по поиску и оценке эффективности различных методов извлечения микроэлементов из донных отложений. При этом, как правило, используются минеральные кислоты (соляная, азотная, хлорная, плавиковая) и их различные смеси [9]. Эталоном служит плавиковая, как наиболее агрессивная кислота, способная перевести практически все минеральные вещества в растворимое состояние.

Получение гуминовых препаратов производится обработкой сырья щелочными растворами. В соответствии с этим обогащение гуминовых препаратов микроэлементами означает использование каких-то приемов, позволяющих облегчить переход микроэлементов в щелочной раствор, либо удержание последних в растворенном состоянии в щелочной среде.

Проведенные нами ранее исследования показали, что для получения гуминового препарата многоцелевого назначения (стимулятора роста, красителя, антикоррозионного средства) из сапропелей можно использовать эффективную в случае торфа технологию термобаротермической обработки водным раствором аммиака

[5]. В соответствии с этим для получения гуминовых препаратов, обогащенных микроэлементами, из сапропелевого сырья была выбрана данная технология. Тем более что многие из интересных для сельского хозяйства микроэлементов образуют растворимые комплексы с аммиаком, что позволяет надеяться на их переход в состав гуминовых препаратов при получении последних обработкой аммиачным раствором. Кроме того, для увеличения растворимости микроэлементов при создании гуминовых препаратов применяли добавки различных комплексообразователей, образующих достаточно прочные растворимые в щелочной среде соединения с микроэлементами: этилендиаминтетрауксусной кислоты динатриевая соль (трилон Б), аминоуксусная кислота (гликоколь), лимонная кислота, моноэтаноламин. К тому же эти соединения разрешены к применению в составе продуктов бытовой химии.

Поскольку многие микроэлементы являются элементами переменной валентности, а их растворимость часто связана с определенным валентным состоянием, то был использован такой, часто применяемый для перевода в растворимое состояние прием, как предварительная обработка материала окисляющими агентами. Нами был использован пероксид водорода.

Так как микроэлементы часто входят в состав карбонатных минералов, то для их растворения нами была предпринята попытка предварительной обработки сапропеля соляной кислотой. А далее этот продукт после нейтрализации избыточной кислотности использовать для выделения гуминового препарата.

Для сравнения также использован метод получения гуминового препарата обработкой сапропеля гидроксидом калия.

В качестве объекта исследования использован органический сапропель оз. Дикое.

В табл. 7 представлены данные об условиях выделения гуминовых препаратов и содержании микроэлементов в их составе. Вводимые добавки составляли 10 % от массы сапропеля, используемой для выделения гуминовых препаратов (в пересчете на сухое вещество).

Выделение гуминового препарата из образца сапропеля предварительно обработанного соляной кислотой, не произошло, гуминовые вещества остались в твердом остатке. Но полученный раствор также был выпарен, и проанализирован сухой остаток на содержание микроэлементов.

Анализ данных табл. 7 свидетельствует о том, что более эффективным с точки зрения обогащения гуминовых препаратов микроэлементами является использование аммиачного раствора, а не раствора едкой щелочи. Содержание большинства микроэлементов (Mn, Zn, Co, Mo,

Se, Ni) в составе гуминовых препаратов, выделенных аммиаком, заметно выше, чем в составе гуминовых препаратов, выделенных раствором гидроксида калия. Введение в состав аммиачного раствора трилона Б при выделении гуминового препарата существенно увеличивает растворимость марганца (с 99,8 до 427,0 мг/кг).

Предварительная обработка сапропеля пероксидом водорода перед выделением гуминового препарата стандартным методом положительного влияния не оказывает, а даже сокращает содержание меди, кобальта и молибдена в составе препарата по сравнению с таковым, выделенным в тех же условиях и без предварительной обработки. Введение же трилона Б в аммиачный раствор при выделении гуминового препарата из сапропеля, предварительно обработанного пероксидом водорода, оказалось наиболее эффективным приемом с точки зрения обогащения гуминового препарата микроэлементами (максимальное содержание марганца, кобальта, много меди, цинка, селена).

Добавка в аммиачный раствор при получении гуминового препарата лимонной кислоты увеличивает в его составе в 2 раза только содержание марганца, содержание же остальных микроэлементов (Cu, Mo, Co) примерно во столько же раз ниже по сравнению с эталонным раствором (см. вариант 1, табл. 7). Введение в экстракционный раствор аминоуксусной кислоты (гликоколя) позволяет практически полностью перевести имеющуюся в составе сапропеля медь в растворимое состояние.

Таким образом, анализ экспериментального материала позволяет сделать следующие выводы.

1. Для обогащения гуминовых препаратов микроэлементами в качестве экстрагента предпочтительно использовать аммиачный раствор.

2. Введение в экстрагирующий раствор комплексона трилона Б при получении гуминового препарата способствует растворению марганца.

3. Добавка аминоуксусной кислоты (гликоколь) обеспечивает практически полный переход меди из сапропеля в состав гуминового препарата.

4. Эффективным приемом обогащения сапропелевых гуминовых препаратов микроэлементами является предварительная обработка сапропеля пероксидом водорода с дальнейшим выделением гуминового препарата аммиачным раствором с добавкой трилона Б.

Методом водных культур при выращивании кукурузы определена ростстимулирующая активность гуминовых препаратов, выделенных различными способами из сапропеля. Условия получения препаратов отражены в табл. 7. В табл. 8 приведены полученные результаты.

Таблица 7. Условия получения гуминовых препаратов и содержание микроэлементов в их составе

Вариант опыта	Условия получения гуминовых препаратов			Содержание микроэлементов, мг/кг с.в.										
	Экстрагент	Добавка	Предварительная обработка сапропеля	Mn	Cu	Co	Mo	Zn	Se	Ni	Pb	Cr	Cd	As
1	NH ₄ OH	—	—	99,8	6,8	4,5	1,5	149,2	2,0	39,4	9,8	3,2	0,1	13,9
2	NH ₄ OH	Трилон Б	—	427,0	3,4	2,9	0,69	91,3	1,3	7,85	6,6	2,0	0,03	8,7
3	NH ₄ OH	—	H ₂ O ₂	107,0	2,7	2,7	0,87	52,6	1,3	8,2	230,0	3,1	0,48	11,9
4	NH ₄ OH	Трилон Б	H ₂ O ₂	545,0	13,5	8,3	0,82	294,0	1,1	13,3	29,5	3,5	0,64	10,7
5	NH ₄ OH	Лимонная кислота	—	229,0	3,1	2,2	0,84	28,6	0,5	8,9	3,7	5,9	0,1	4,4
6	NH ₄ OH	Моноэтаноламин	—	66,7	1,5	1,5	0,40	19,3	0,35	4,4	2,0	2,1	0,05	3,7
7	NH ₄ OH	Гликоколь	—	114,0	46,8	2,7	0,9	75,9	1,6	31,8	7,5	3,8	<0,025	4,9
8	KOH	—	—	71,9	7,2	2,5	1,3	15,6	1,5	10,7	3,7	3,0	74,4	16,6
9	NH ₄ OH	—	HCl	84,4	0,7	0,75	0,15	19,1	0,35	4,4	<0,25	0,25	0,1	2,0

Таблица 8. Биологическая активность гуминовых препаратов

Вариант опыта		Стебли, проценты к контролю	Корни, проценты к контролю	Урожайность, проценты к контролю
Фон (контроль)		100	100	100
Фон + 0,01 % ГП (обр. № 1)		140	99	131
Фон + 0,005 % ГП (обр. № 1)		108	107	107
Фон + 0,01 % ГП (обр. № 2)		133	114	131
Фон + 0,005 % ГП (обр. № 2)		118	117	118
Фон + 0,001% ГП (обр. № 2)		113	108	112
Фон + 0,01 % ГП (обр. № 7)		125	86	116
Фон + 0,005 % ГП (обр. № 7)		96	103	97

Анализ данных (см. табл. 8) свидетельствует о том, что увеличение содержания микроэлементов в составе гуминовых препаратов существенно не увеличивает их биологическую активность. Так, ростстимулирующая активность препарата, примененного в 0,01 %-ной концентрации, полученного по стандартной методике, практически совпадает с таковой для гуминового препарата, полученного с добавлением трилона Б и, соответственно, содержащего повышенное количество микроэлементов, а особенно марганца. Препарат, обогащенный медью благодаря добавке гликоколя при его выделении, в концентрации 0,01 % заметно менее стимулирует рост кукурузы по сравнению с двумя другими исследованными, а в концентрации 0,005 % даже сдерживает развитие кукурузы.

Выводы

1. Изучен микроэлементный состав гуминовых препаратов, полученных на основе различных видов торфа и сапропеля, отобранных в Гомельском Полесье.

2. Показано, что выделенные методом термобаротермической обработки водным раствором аммиака гуминовые препараты в большей мере насыщены микроэлементами, чем выделенные раствором едкой щелочи.

3. Проведенные испытания биологической активности гуминовых препаратов, оцененной как по энергии прорастания и всхожести семян ячменя и кукурузы, так и по приросту биомассы ржи

и кукурузы, выращенной методом водных культур, показали отсутствие заметной связи между ростстимулирующей активностью торфяных и сапропелевых гуминовых препаратов и их микроэлементным составом.

4. Изучена возможность увеличения растворимости микроэлементов при получении гуминовых препаратов на основе сапропеля введением в экстракционный раствор различных комплексообразователей и азотсодержащих органических оснований (трилона Б, лимонной кислоты,monoэтаноламина, гликоколя). Показано, что в наибольшей степени содержание биологически значимых микроэлементов в составе гуминовых препаратов увеличивает введение в реакционную смесь трилона Б (количество Mn увеличивается в 4–5 раз), применение гликоколя приводит к 2-х кратному увеличению меди в вышеуказанном составе.

5. Проведенные испытания полученных из сапропеля гуминовых препаратов показали, что обогащение последних микроэлементами не приводит к заметному увеличению их биологической активности, оцененной по приросту биомассы кукурузы, выращенной методом водных культур, что, по-видимому, связано с тем, что и стандартная технология термобаротермической обработки сапропеля водным раствором аммиака при выделении гуминовых препаратов обеспечивает насыщение препаратов достаточным количеством биологически значимых микроэлементов.

Литература

1. Гаврильчик, А. П. Превращение торфа при добыче и переработке / А. П. Гаврильчик. Минск, 1992.
2. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести.
3. Драгунов, С. С. Химические характеристики гуминовых кислот и их физиологическая активность / С. С. Драгунов // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Днепропетровск, 1980. С. 5–22.
4. Евдокимова, Г. А. Химический состав и биологическая активность сапропелей / Г. А. Евдокимова, О. М. Букач, А. Л. Дудка // Химия твердого топлива. 1998. № 1. С. 16–215.
5. Кашинская, Т. Я. Получение гуминовых препаратов на основе торфяного и сапропелевого сырья / Т. Я. Кашинская, Б. В. Курзо, Н. В. Шевченко // Природопользование. Минск, 2012. Вып. 21. С. 256–262.
6. Лапа, В. В. Применение удобрений и качество урожая / В. В. Лапа, В. Н. Босак. Минск, 2006.
7. Лопотко, М. З. Сапропели в сельском хозяйстве / М. З. Лопотко, Г. А. Евдокимова, П. Л. Кузмичкий. Минск, 1992.
8. Маль, С. С. Углеводы и азотсодержащие вещества торфа / С. С. Маль. Минск, 1982.
9. Романова, Г. И. Сравнительная оценка методов извлечения микроэлементов из разных отложений / Г. И. Романова // Гидрохимические материалы. 1988. Т. 103. С. 124–134.
10. Христева, Л. А. Действие физиологически активных кислот на растения при неблагоприятных внешних условиях / Л. А. Христева // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Днепропетровск, 1973. С. 5–23.

T. Я. Кашинская, Н. В. Шевченко

**МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ГУМИНОВЫХ
ТОРФЯНЫХ И САПРОПЕЛЕВЫХ ПРЕПАРАТОВ**

На оптико-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой Optima 3000 DV определено содержание микроэлементов (*Mn, Co, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Cd, Mo, Se*) в составе образцов торфа и сапропеля, отобранных в Гомельском Полесье, и гуминовых препаратах, полученных на их основе. По энергии прорастания и всхожести семян ячменя и кукурузы и по приросту биомассы ржи и кукурузы, выращенной методом водной культуры, оценена биологическая активность торфяных и сапропелевых гуминовых препаратов.

Изучена возможность увеличения растворимости микроэлементов при получении гуминовых препаратов на основе сапропеля введением в экстракционный раствор комплексообразователей и азотсодержащих органических оснований (трилона Б, гликоколя, лимонной кислоты,monoэтаноламина).

T. J. Kashinskaja, N. V. Shevchenko

**MICROELEMENT COMPOSITION OF
HUMIC PEAT AND SAPROPEL PREPARATIONS**

*The content of trace elements (*Mn, Co, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Cd, Mo, Se*) in the composition of samples of peat and sapropel selected Polessye in Gomel, and humic preparations derived from them has been determined on optical emission spectrometry with inductively coupled plasma Optima 3000 DV. The biological activity of peat and sapropel humic substances has been assessed by vigor and germination of barley and maize and rye biomass growth and corn grown by water culture.*

The possibility of increasing the solubility of trace elements in the preparation of humic substances on the basis of sapropel introduction of complexing extraction solution and nitrogen-containing organic bases (Trilon B, glykokol, citric acid, monoethanolamine) has been studied.

Ю. А. Пономаренко

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭДТА И ЭДТА ЖЕЛЕЗО 3-КОМПЛЕКСОН МОНОНАТРИЕВОЙ СОЛИ В КОМБИКОРМАХ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

Приведены результаты исследований по применению различных доз ЭДТА и ЭДТА железо 3-комплексон мононатриевой соли в составе комбикормов для сельскохозяйственной птицы на современном высокопродуктивном кроссе цыплят-бройлеров. В научных опытах и производственной проверке показана высокая эффективность применения новых добавок, способствующих увеличению продуктивности и получения мяса, обогащенного железом.

Недостаток железа в организме животных и человека может привести к развитию анемии, нарушению газообмена, клеточного дыхания. Рекомендуемая дневная норма его потребления с рационом питания для мужчин составляет 10 мг/сут., женщин – 18 мг/сут., а для беременных и кормящих – 38 и 33 мг/сут. соответственно. Усвояемость данного элемента составляет лишь 10 %, поэтому для покрытия потребности организма в железе его необходимо потреблять в 10 раз больше. Исходя из этого, в качестве функциональных ингредиентов следует использовать сырье, содержащее железо в биологически доступной форме. В литературе имеется информация по обогащению железом муки, хлебобулочных, кондитерских изделий, макарон, молока и молочных продуктов, сыра, растворимого кофе, картофельного пюре, напитков.

В настоящее время для обогащения продуктов питания различными соединениями железа накапливается опыт по использованию сернокислого закисного железа, восстановленного железа, фосфата оксида железа, фумарата железа, лактата железа, комплексов железа с фруктозой и ксилитом, глицерофосфата железа, карбоната железа. Однако сведения о накоплении железа в мясе птицы в зависимости от кормовых факторов практически отсутствуют.

Цель работы. Изучение влияния добавок на зоотехнические показатели цыплят-бройлеров, качество мяса и обогащение его

железом, выявление оптимальной дозы введения этилендиаминтетрауксусной кислоты динатриевой соли и этилендиаминтетрауксусной кислоты железо 3-комплексон мононатриевой соли в комбикорма цыплят-бройлеров.

Материал и методика исследований. Работа по определению оптимальной дозы ЭДТА была выполнена на цыплятах-бройлерах кросса «Гибро» совместно со специалистами РУСПП «Смолевичская бройлерная птицефабрика».

Контрольные и опытные группы птицы комплектовали по принципу групп-аналогов (одинаковых по происхождению, возрасту, общему развитию). Птицу, предназначенную для опытов, индивидуально взвешивали и распределяли по группам методом случайной выборки по 100 голов [2].

Подопытную птицу содержали на глубокой подстилке при рекомендуемых параметрах выращивания. Нормы посадки, фронт кормления и поения, температурный, влажностный, световой режимы соответствовали рекомендациям ВНИТИП [9].

Кормили птицу сбалансированными по питательности комбикормами. Доступ к воде и корму был свободным. Опытные комбикорма цыплят получали с суточного возраста и до завершения откорма.

Схема опыта по выявлению оптимальных доз ЭДТА и ЭДТА железо 3-комплексон мононатриевой соли в комбикормах цыплят-бройлеров представлена в табл. 1.

Таблица 1. Схема опыта по выявлению оптимальной дозы добавок

Группа	Особенность кормления
Контрольная	Полнорационный комбикорм (ПК) (по нормам ВНИТИП, 2006 г.)
1-опытная	ПК + 10 г ЭДТА на 1 т комбикорма
2-опытная	ПК + 50 г ЭДТА на 1 т комбикорма
3-опытная	ПК + 100 г ЭДТА на 1 т комбикорма
4-опытная	ПК + 10 г ЭДТА железо 3-комплексон мононатриевой соли на 1 т комбикорма
5-опытная	ПК + 50 г ЭДТА железо 3-комплексон мононатриевой соли на 1 т комбикорма
6-опытная	ПК + 100 г ЭДТА железо 3-комплексон мононатриевой соли на 1 т комбикорма

Для кормления использовали сухие полнорационные комбикорма, питательность которых соответствовала рекомендациям по кормлению сельскохозяйственной птицы. Недостаток лизина и метионина в рационах восполняли за счет синтетических аминокислот. Комбикорма готовили методом весового дозирования. Смешивание происходило в течение 30 мин при ступенчатом вводе микродобавок. Витамины, микроэлементы и другие биологически активные вещества добавляли в комбикорма в виде премикса по нормам ВНИТИП 2006 г. В качестве наполнителя премикса использовали пшеничные отруби с размером частиц не более 1,2 мм и влажностью не выше 10 % [8].

Во всех группах цыплята-бройлеры получали комбикорма с одинаковым составом и питательностью. Комбикорма отличались только

введением в них дополнительно добавки ЭДТА или ЭДТА железо 3-комплексон мононатриевой соли в различных количествах.

При проведении производственной проверки была определена экономическая эффективность выращивания цыплят-бройлеров при включении в комбикорма оптимальных уровней ЭДТА и ЭДТА железо 3-комплексон мононатриевой соли.

Схема производственной проверки на цыплятах-бройлерах представлена в табл. 2.

Результаты исследований и их обсуждение. Различные дозы добавок ЭДТА и ЭДТА железо 3-комплексон мононатриевой соли, введенные в комбикорма в различных количествах, оказали положительное влияние на динамику живой массы и основные зоотехнические показатели цыплят-бройлеров, что показано в табл. 3.

Таблица 2. Схема производственной проверки эффективности добавок в рацион птицы

Вариант	Количество голов, шт.	Особенность кормления					
Базовый	1000	Полнорационный комбикорм (ПК) (по нормам ВНИТИП, 2006 г.)					
Новый 1	-»-	ПК + 50 г ЭДТА на 1 т комбикорма					
Новый 2	-»-	ПК + 50 г ЭДТА железо 3-комплексон мононатриевой соли на 1 т комбикорма					

Таблица 3. Зоотехнические показатели в зависимости от дозы ЭДТА и железо 3-комплексон мононатриевой соли

Показатель	Контрольная	Группа					
		Опытная					
		1	2	3	4	5	6
Сохранность цыплят, %	98	98	98	98	98	98	98
Живая масса цыплят, г в возрасте:							
сутки	42,5±0,6	42,5±0,6	42,5±0,7	42,5±0,5	42,7±0,6	42,5±0,6	42,5±0,5
28 дней	950±12	988±14	1019±15	1018±15	980±13	1011±14	1012±14
40 дней (в среднем)	2050±30	2084±32	2190±34	2112±32	2085±31	2208±35	2088±31
в том числе петушков	2307±34	2352±35	2457±36	2370±35	2360±33	2470±37	2365±35
в том числе курочек	1793±28	1816±29	1923±32	1854±29	1810±29	1946±33	1811±27
Среднесуточный прирост живой массы цыплят за 40 дней, г	50,2	51,0	53,7	51,7	51,1	54,1	51,1
Расход корма на 1 кг прироста, кг	1,75	1,70	1,65	1,67	1,72	1,65	1,70
Индекс продуктивности	287	300	325	310	297	328	301

Среди затрат на производство мяса при интенсивном выращивании цыплят-бройлеров наибольший удельный вес составляют затраты на корма: их доля обычно находится в пределах 65–75 % общей себестоимости продукции [1]. Отсюда следует, что практическое использование кормовых рационов определяет экономический эффект, получаемый при выращивании и откорме бройлеров, поэтому определялся и расход корма на единицу продукции.

Различные уровни ЭДТА и ЭДТА железо 3-комплексон мононатриевой соли в комбикормах оказали влияние на переваримость сырого протеина, жира, клетчатки, использование азота, кальция, фосфора, доступность лизина, метио-

нина, линолевой кислоты.

Переваримость протеина, содержащегося в комбикорме, составляла 89,2–91,3 %, а бройлерами 2-й и 5-й групп была наивысшей (по 91,3 %), что больше на 2,1 % по сравнению с контролем. Переваримость жира составляла 75,0–77,3 %, а цыплятами 2-й и 5-й групп была наивысшей (77,2 и 77,3 %), что больше на 2,2 и 2,3 % по сравнению с контролем. Переваримость клетчатки составляла 11,1–12,3 %, а цыплятами 2-й и 5-й групп была наивысшей (12,3 %), что больше на 1,2 % по сравнению с контролем.

Для изучения состояния обмена белков большое значение имеет определение азотистого баланса, или разницы между количеством

азота, поступившего в организм с кормом, и выделенного в виде конечных продуктов азотистого обмена. Использование азота комбикорма составляло 45,2–47,1 %, а цыплятами 2-й и 5-й опытных групп было наивысшим (47,0 и 47,1 %) соответственно, что больше на 1,8 и 1,9 %, чем цыплятами контрольной группы.

Использование кальция комбикорма составляло 32,0–34,2 %, а цыплятами 2-й и 5-й опытных групп было также наивысшим – по 34,2 %, что больше на 2,2 %, чем в контроле; использование фосфора составляло 28,1–28,3 %, а цыплятами 2-й и 5-й опытных групп – по 28,3 %, что на 0,2 % больше, чем в контроле.

Доступность лизина, метионина, линолевой кислоты комбикорма для цыплят 2-й и 5-й опытных групп была наивысшей и составила соответственно по 88,3; 87,2; 93,0 %, что соответственно больше на 2,2; 2,0; 1,9 процента, чем в контроле.

Учитывая важную роль добавок, было изучено общее содержание жира, насыщенных и ненасыщенных жирных кислот по окончании опытов в гомогенате съедобных частей тушек цыплят-бройлеров.

Отмечена тенденция незначительного снижения содержания общего жира в гомогенате съедобных частей тушек опытных цыплят 28 дневного возраста с 10,4 % (контрольная группа) до 10,2–10,3 % (опытные группы), в 40-дневном возрасте с 13,5 до 13,3–13,4 %.

Количество насыщенных жирных кислот в гомогенате тушек 28-дневных цыплят понизилось с 30,5 % (контрольная группа) до 30,3–30,4 % (опытные группы) в том числе количество пальмитиновой кислоты на 0,1–0,2 %, стеариновой на 0,1 %, а количество ненасыщенных жирных кислот увеличивалось с 69,5 % до 69,6–69,7 % соответственно, в том числе количество олеиновой С_{18:1} увеличивалось на 0,1–0,2 %, линолевой на 0,1–0,2 %. Количество линоленовой, и арахидоновой кислот от птицы контрольной группы составило соответственно 1,7 и 0,4 %, от опытной птицы содержание этих кислот на 0,1 % было больше.

Количество насыщенных жирных кислот в гомогенате тушек 40-дневных цыплят понизилось с 30,0 % (контрольная группа) до 29,7–29,8 % (опытные группы), в том числе количество пальмитиновой кислоты на 0,2–0,3 %, стеариновой на 0,1–0,2 %, а количество ненасыщенных жирных кислот увеличилось с 70,0 % до 70,2–70,3 % соответственно, в том числе количество олеиновой увеличилось на 0,2–0,3 %, линолевой на 0,1–0,2 %. Количество линоленовой, и арахидоновой кислот в контрольной группе составило соответственно 1,6 и 0,4 %, что на 0,1 % меньше, чем их содержание в опытных группах.

Наивысшая предубойная живая масса цыплят-бройлеров была во 2-й и 5-й группах и

составила соответственно 2157 и 2175 г, что на 138 и 156 г, или на 6,8 и 7,7 % больше, чем у цыплят контрольной группы.

Масса потрошеных тушек 2-й и 5-й групп была наивысшей (соответственно 1521 и 1544 г), что на 108 и 131 г, или на 7,6 и 9,3 % больше, чем тушки контрольной группы.

Убойный выход потрошеных тушек изменился от 70,0 до 71,0 %, а во 2-й и 5-й группах был наивысшим – 70,5 и 71,0 %, что на 0,5 и 1,0 % больше, чем в контрольной группе.

Выход мяса первой категории составлял 92–94 % и был наивысшим во 2-й и 5-й группах (по 94 %), что на 2 % больше, чем в контрольной группе.

Выход съедобных частей к потрошеной тушке изменялся от 81,4 до 81,8 % во 2-й и 5-й опытных группах был наивысшим (по 81,8 %), что на 0,4 % больше, чем в контрольной группе.

Выход мышц к потрошеной тушке изменился от 56,5 до 57,5 % и был выше во 2-й и 5-й группах (по 57,5 %), что на 1 % больше, чем в контрольной группе.

Выход грудных мышц к потрошеной тушке изменялся от 22,7 до 24,1%, а во 2-й и 5-й группах был наивысшим и составил соответственно 24,0 и 24,1 %, что на 1,3 и 1,4 % больше, чем в контрольной группе.

Соотношение внутреннего жира к потрошеной тушке не изменялось и во всех группах составило по 1,5 %.

Содержание сухого вещества мяса цыплят-бройлеров изменилось от 32,60 до 32,72 %, а во 2-й и 5-й группах было наивысшим (соответственно 32,71 и 32,72 %), что на 0,11 и 0,12 % больше, чем у контрольной группы.

Содержание протеина изменилось от 20,10 до 20,38 %, а наивысшее содержание протеина отмечалось во 2-й и 5-й группах (20,36 и 20,38 %), что на 0,26 и 0,28 % больше, чем в контрольной группе.

Количество жира в мясе цыплят опытных групп составляло 5,70 %, что на 0,01 % меньше, чем в контрольной группе.

Зола в мясе птицы составляла от 1,23 до 1,26 %, а во 2-й и 5-й группах была наивысшей, по (1,26 %), что на 0,03 % выше, чем в контрольной группе.

Содержание железа в мясе цыплят-бройлеров – 1,5–2,4 мг%, при этом в контрольной группе этот показатель был самым наименьшим (1,5 мг%). В группах цыплят-бройлеров, которым дополнительно с комбикормом вводили ЭДТА данный показатель составил 1,6–1,8 мг%, что превышало содержание железа у цыплят контрольной группы на 6,7–20 %. При использовании ЭДТА железо 3-комплексон мононатриевой соли показатель был наивысшим и составлял 2,0–2,4 мг%, что превышало на 33,3–60,0 % содержание железа в контрольной группе.

Дегустационная оценка жареного мяса 2-й и 5-й групп была наивысшей (соответственно 4,79 и 4,80 баллов), что на 0,10 и 0,11 баллов выше, чем оценка контрольной группы.

Потери при жарении мяса были наименьшими во 2-й и 5-й группах (35,1 и 35,0 %), что на 1,0 и 1,1 % ниже, чем в контрольной группе.

Анализ химического состава и дегустационной оценки мяса цыплят-бройлеров показал, что при оптимальном введении в комбикорма ЭДТА и ЭДТА железо З-комплексон мононатриевой соли в количествах 50 г на т комбикорма содержание сухого вещества, сырого протеина, золы в мясе цыплят-бройлеров, а также дегустационная оценка жареного мяса были наивысшими, а потери по жарке наименьшими.

Наибольшее количество насыщенных жирных кислот в липидах грудной мышцы обнаружено у цыплят контрольной группы (38,04 %), а наименьшее – во 2-й и 5-й группах цыплят-бройлеров (по 36,80%). Разность между контрольной и опытными группами составила 1,24 %.

По уровню содержания пальмитиновой кислоты также можно отметить, что наименьшее количество ее содержалось у цыплят во 2-й и 5-й группах (по 33,95 % или на 1,13 % меньше, чем в контрольной группе).

Количество мононенасыщенных кислот практически не изменялось и составило 40,20 % в контрольной группе, в опытных группах – 40,17–40,18 %, что на 0,02–0,03 % меньше, чем в контроле. Уровень олеиновой кислоты в грудной мышце цыплят-бройлеров также значительно не изменился (35,19 % в контрольной группе и 35,16–35,17 % в опытных группах, что на 0,02–0,03 % меньше, чем в контроле).

Уровень полиненасыщенных жирных кислот в грудной мышце цыплят 2-й и 5-й групп был наивысшим (по 23,03 %) и превышал уровень контрольной группы на 1,27 %.

Применение добавок в кормлении цыплят-бройлеров привело к увеличению содержания линолевой кислоты с 19,10 % (контрольная группа) до 20,20 % (2-я и 5-я группы), что на 1,10 % больше, чем в контрольной группе.

Соотношение ненасыщенных и насыщенных жирных кислот при использовании добавок увеличилось с 1,63 (контрольная группа) до 1,72 (2-я, 3-я, 5-я, 6-я опытные группы), что на 0,09 больше, чем в контрольной группе.

При оптимальном введении в комбикорма ЭДТА и ЭДТА железо З-комплексон мононатриевой соли в количествах 50 г/т комбикорма содержание насыщенных жирных кислот, в том числе пальмитиновой, было наименьшим, а содержание полиненасыщенных жирных

кислот и линолевой кислоты было наибольшим.

Соотношение пальмитиновой и олеиновой кислот в контрольной группе составляло 1,00, в опытных 0,97–0,98, что на 0,02–0,03 меньше, чем в контроле.

Наибольшее количество насыщенных жирных кислот в липидах печени было отмечено у цыплят контрольной группы (33,03 %), а наименьшее – у цыплят 2-й и 5-й опытных групп (31,61 и 31,62 %). Разность между контрольной и опытной группами составила 1,42 и 1,41 % соответственно.

По уровню содержания пальмитиновой кислоты также можно отметить, что наименьшее количество ее было в печени цыплят 2-й и 5-й опытных групп и составило 30,51 и 31,50 % или на 1,56 и 1,57 % меньше, чем в контрольной группе.

Количество мононенасыщенных кислот в контрольной группе – 40,25 % в опытных группах – 40,12–40,30 %, наибольшее количество этих кислот было в печени цыплят 2-й и 5-й групп. Уровень олеиновой кислоты в том числе в липидах печени контрольной птицы составлял 37,16 % в контрольной группе и 37,14–37,38 % в опытных группах. Разность – 0,02–0,22 %.

Уровень полиненасыщенных жирных кислот в липидах печени цыплят-бройлеров 2-й и 5-й групп был наивысшим (28,09 и 28,08%) и превышал уровень контрольной группы на 1,37 и 1,36 %.

Результаты исследований показывают, что применение добавок в кормлении цыплят-бройлеров привело к увеличению содержания линолевой кислоты в липидах печени бройлеров с 15,12 % (контрольная группа) до 16,39 % (2-й и 5-й группы), что на 1,27 % больше, чем в контрольной группе. Соотношение ненасыщенных и насыщенных жирных кислот при использовании добавок в кормлении цыплят-бройлеров увеличилось с 2,03 (контрольная группа) до 2,16 (2-я, 3-я и 5-я группы). Соотношение пальмитиновой и олеиновой кислот в контрольной группе составляло 0,86 в опытных 0,82–0,85.

Была выполнена оценка экономической эффективности применения новых добавок в рационах птицы. При этом учитывали основные факторы, определяющие эффективность производства мяса цыплят-бройлеров: сохранность поголовья, живая масса во время убоя, среднесуточный прирост живой массы цыплят-бройлеров, затраты корма на прирост, убойный выход, мясные качества, производственные затраты. Анализ этих факторов позволяет судить о рентабельности производства. Показатели, полученные при производственной проверке представлены в табл. 4.

Таблица 4. Основные показатели производственной проверки эффективных кормовых добавок

Показатель и единица измерения	Вариант		
	базовый	новый 1	новый 2
Посажено суточных цыплят-бройлеров, гол.	1000	1000	1000
Сдано на убой, гол.	975	987	986
Сохранность, %	97,5	98,7	98,6
Живая масса суточного цыпленка, г	40,1	40,1	40,1
Живая масса всего поголовья суточных цыплят, кг	40,1	40,1	40,1
Средняя живая масса одной головы в конце выращивания, г	2020	2158	2155
Живая масса сданной птицы на убой, кг	1969,5	2129,9	2124,8
Прирост живой массы, кг	1929,4	2089,8	2084,7
Срок выращивания, дней	36	36	36
Среднесуточный прирост живой массы, г/гол.	53,6	58,1	57,9
Убойный выход, %	68,9	69,5	69,5
Получено мяса, кг	1357,0	1480,3	1476,7
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	1,70	1,65	1,65
Производственные затраты, тыс. бел. руб.	4020	4010	4010
в т. ч. стоимость кормов, тыс. бел. руб.	2814	2807	2807
Себестоимость 1 кг мяса, тыс. бел. руб.	2,96	2,71	2,72
Экономический эффект, тыс. бел. руб.	–	370	354
Экономический эффект, дол. США (курс 2,900 тыс. бел. руб. за 1 дол. США на февраль 2010 г.)	–	128	122
Экономический эффект на один сданный на убой бройлер, дол. США	–	0,13	0,12

Производственная проверка показала, что введение в состав комбикормов ЭДТА и ЭДТА железо 3-комплексон мононатриевой соли в количестве по 50 г/т комбикорма оказало положительное влияние на результаты выращивания и другие зоотехнические показатели цыплят-бройлеров. При этом повысилась:

- сохранность цыплят-бройлеров на 1,2 и 1,1 %;
- средняя живая масса одной головы в конце выращивания на 138 и 135 г;
- живая масса сданной птицы на убой и прирост живой массы на убой на 160,4 и 155,3 кг;
- среднесуточный прирост живой массы на 4,5 и 4,3 г/гол;
- убойный выход на 0,6 %;
- количество мяса на 123,3 и 119,7 кг;

Введение в состав комбикормов ЭДТА и ЭДТА железо 3-комплексон мононатриевой соли в количестве по 50 г/т комбикорма благоприятно повлияло на снижение следующих показателей:

- затрат корма на 1 кг прироста живой массы на 0,05 кг;
- производственных затрат в расчете на 1000 голов посаженных суточных цыплят – на 10 тыс. бел. рублей;

• стоимости кормов в расчете на 1000 голов посаженных суточных цыплят – на 5 тыс. бел. рублей;

• себестоимости 1 кг мяса, на 0,25 и 0,24 тыс. бел. рублей.

Экономический эффект рассчитывали по следующей формуле:

$\mathcal{E} = (C_b - C_n) \times A_n$, где C_b и C_n – себестоимость 1 кг мяса в базовом и новом вариантах, руб.; A_n – количество произведенной продукции в новом варианте, кг.

Экономический эффект при введении в состав комбикормов ЭДТА следующий:

$\mathcal{E} = (2,96 - 2,71) \times 1480,3 = 370$ тыс. бел. руб. или 128 дол. США, а в расчете на одного цыпленка, сданного на убой, и – 375 бел. руб., или 0,13 дол. США.

Экономический эффект при введении в состав комбикормов ЭДТА железо 3-комплексон мононатриевой соли составил:

$\mathcal{E} = (2,96 - 2,72) \times 1476,7 = 354$ тыс. бел. руб. а в расчете на одного цыпленка, сданного на убой, – 359 бел. руб., или 0,12 дол. США.

Таким образом проведенные исследования показали целесообразность использования ЭДТА и ЭДТА железо 3-комплексон мононатриевой соли в комбикормах цыплят-бройлеров.

Л и т е р а т у р а

1. **Комбикорма** и кормовые добавки : справочное пособие / В. А. Шаршунов [и др.]. Минск, 2002.
2. **Методика** проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы : Рекомендации / Всерос. н.-и. и технол. ин-т птицеводства ; разраб. : Имангулов Ш. А. [и др.]. Сергиев Посад, 2000.
3. **Методика** проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы. Рекомендации / Всерос. н.-и. и технол. ин-т птицеводства ; под общ. ред. В. И. Фисинина, Ш. А. Имангулова. Сергиев Посад, 2004.
4. **Методические** рекомендации по проведению анатомической разделки и органолептической оценки качества мяса сельскохозяйственной птицы / ВАСХНИЛ ; разраб. : В. С. Лукашенко [и др.]. М., 1984.
5. **Методические** рекомендации по проведению научных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы / Всерос. н.-и. и технол. ин-т птицеводства ; разраб. : И. А. Егоров, [и др.] ; под общ. ред. В. И. Фисинина, И. А. Егорова. Сергиев Посад, 1992.
6. **Пономаренко, Ю. А.** Птица набирает высоту и популярность / Ю. А. Пономаренко // Белорусское сельское хозяйство. 2012. № 3. С. 69–70.
7. **Пономаренко, Ю. А.** Птицеводство Беларуси: итоги и перспективы / Ю. А. Пономаренко // Продукт.by. 2012. № 11. С. 16–18.
8. **Рекомендации** по кормлению сельскохозяйственной птицы / Всерос. науч.-иссл. и технол. ин-т птицеводства ; разраб. Ш. А. Имангулов [и др.] ; под общ. ред. В. И. Фисинина [и др.]. Сергиев Посад, 2006.
9. **Ресурсосберегающая** технология производства мяса бройлеров : метод. рекомендации / Всерос. н.-и. и технол. ин-т. Птицеводства ; разраб. : Т. А. Столляр [и др.]. Сергиев Посад, 1999.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 12.03.2014 г.

Ю. А. Пономаренко**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭДТА И ЭДТА ЖЕЛЕЗО З-КОМПЛЕКСОН МОНОНАТРИЕВОЙ СОЛИ В КОМБИКОРМАХ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ**

Недостаток железа в организме животных и человека может привести к развитию анемии и нарушению ряда других физиологических и биохимических функций. Однако сведения о накоплении железа в мясе птицы в зависимости от кормовых факторов практически отсутствуют.

Проведенные научно-производственные испытания позволили выявить высокую эффективность введения в рацион птицы вышеназванных добавок. Под их влиянием не только увеличивалась продуктивность, но и улучшалось качество мяса. Содержание железа в мясе цыплят-бройлеров составляло 1,5–2,4 мг%, при этом в контрольной группе данный показатель был самым наименьшим и составлял 1,5 мг%. В группах цыплят-бройлеров, которым дополнительно с комбикормом вводили этилендиаминетрауксусной кислоты динатриевую соль показатель составил 1,6–1,8 мг%, что превышало содержание железа у цыплят контрольной группы на 6,7–20 %. При использовании этилендиаминетрауксусной кислоты железо З-комплексон мононатриевой соли показатель был наивысшим и составлял 2,0–2,4 мг%, что превышало на 33,3–60,0 % содержание железа в контрольной группе.

Производственная проверка показала, что экономический эффект при введении в состав комбикормов ЭДТА составил в расчете на одного цыпленка, сданного на убой, 0,13 дол. США. Экономический эффект при введении в состав комбикормов ЭДТА железо З-комплексон мононатриевой соли составил в расчете на одного цыпленка, сданного на убой, 0,12 дол. США.

U. A. Ponomarenko

**THE EFFICIENCY OF EDTA AND EDTA IRON 3 KOMPLEKSONAM
MONOSODIUM SALT USAGE IN BROILER CHICKEN FEEDS**

The lack of iron in animals and humans bodies can lead to anemia and disturbance of other physiological and biochemical functions. However, the information about the accumulation of iron in poultry feed, depending on the factors are virtually absent. The conducted research and production tests revealed to the high efficiency of aforementioned additives administration in the diet of birds. Under their influence not only productivity increased but also the quality of the meat improved. The iron content in the meat of broiler chickens was 1.5–2.4 mg%, while in the control group this figure was the lowest and was 1.5 mg%. In groups of broiler chickens, which were administered in addition to forage EDTA disodium salt indicator was 1.6–1.8 mg%, which exceeded the iron content in the control group of chickens on 6.7–20%. When using the iron-EDTA chelator of 3-monosodium salt, the highest rate was 2.0–2.4 mg% and was that exceeded at 33.3–60.0% iron content in the control group.

A production test showed that the economic effect when administered EDTA in the animal feed was per chicken, surrendered to the slaughter, 0.13 USA dollars. The economic effect of the introduction of the fodder EDTA iron chelator 3-monosodium salt was per chicken, surrendered to the slaughter, 0.12. USA dollars.

Ю. А. Пономаренко

СЕМЕНА РАПСА И ПРОДУКТЫ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ В КОРМЛЕНИИ ПТИЦЫ

В Республике Беларусь ежегодно увеличиваются валовые сборы семян рапса. Расчеты показывают, что белковое сырье (рыбная мука, соевый, подсолнечный шрот и жмых) закупаемое за валюту можно с успехом и без потерь продуктивности сельскохозяйственной птицы и качества продукции птицеводства заменить семенами рапса и продуктами его переработки. Приведены результаты исследований по питательности и показателям безопасности семян рапса и продуктов его переработки.

Семена рапса содержат 40–50 % жира и 20–28 % сырого протеина, 17,75 МДж/кг обменной энергии для птицы. По сумме полезных веществ (жир + протеин) рапс превосходит сою и другие бобовые культуры. Наиболее перспективны в кормлении двунутлевые сорта рапса, в которых содержание эруковой кислоты в масле не превышает 2 %, глюказинолатов – 0,6–1,0 % [4].

Сейчас во всех странах, занимающихся возделыванием рапса, созданы высокоурожайные двунутлевые сорта с пониженным содержанием глюказинолатов и без эруковой кислоты, адаптированные для всех рапсосеющих регионов. Разработаны и апробированы зональные технологии возделывания культуры. Селекционеры работают над выведением желтосемянных (трехнуглевых) сортов рапса с более тонкими оболочками, меньшим уровнем клетчатки, но повышенным – жира. В жмыхе и шроте таких сортов больше белка [4].

Цель настоящей работы – изучение питательной ценности, и показателей безопасности семян рапса и продуктов его переработки и норм ввода их в комбикорма для сельскохозяйственной птицы.

Мы провели исследования на показатели питательности, качества и безопасности рапса

фуражного, шрота, жмыха и масла рапсового в ГУ «Центральная научно-исследовательская лаборатория хлебопродуктов».

Питательная ценность. Усредненную питательную ценность этого сырья (в натуральном веществе) приводим в табл. 1.

По содержанию жира рапс фуражный превосходят сою в 2,4 раза, по концентрации обменной энергии для птицы – на 31 %, по уровню метионина он превосходит сою на 36 %, а метионина + цистина – на 35 %.

В числе углеводов основную часть занимает сахароза. В зрелых семенах рапса низкое содержание крахмала, а сырой клетчатки 4,9 %, что на 43 % меньше, чем в сое.

Шрот рапсовый получают по схеме: форпрессование – экстракция из предварительно обработанных семян – тостирование. Шрот используется для производства комбикормов. Возможно, его введение непосредственно в рацион животных. Рапсовый шрот не уступает по количеству незаменимых аминокислот соевому. Он богаче метионином и цистином. Правда, лизина в нем меньше, чем в сое, но больше, чем в подсолнечном.

Таблица 1. Показатели питательности семян рапса и продуктов его переработки

Показатель	Рапс фуражный	Шрот рапсовый		Жмых рапсовый		Масло рапсовое
		1-й сорт	2-й сорт	1-й сорт	2-й сорт	
Обменная энергия:						
для птицы, МДж/100 г	1,775	1,11	1,1	1,059	0,99	3,764
для птицы, ккал/100 г	424	265	263	253	237	900
Сухое вещество, %	92	90	900	91	91	99,75
Сырой протеин, %	23,3	33,3	25,2	33,67	25,48	–
Сырой жир, %	40,5	2,7	3,15	10,92	11,38	99,55
Сырая клетчатка, %	4,9	14,4	22,5	10,4	20,93	–
Сырая зола, %	4,1	6,3	9	7,28	9,1	–
БЭВ, %	19,2	33,3	31,15	24,57	24,11	–
Сахар, %	5,8	8,8	7,5	9,2	9	–
Крахмал, %	1,5	2,7	2,3	1,9	1,85	–
Линолевая кислота, %	2,47	0,03	0,03	4,2	4,2	15,40

Окончание табл. 1

Показатель	Рапс фуражный	Шрот рапсовый		Жмых рапсовый		Масло рапсовое
		1-й сорт	2-й сорт	1-й сорт	2-й сорт	
<i>Незаменимые аминокислоты (валовое содержание), %:</i>						
Лизин	1,24	1,91	1,45	1,62	1,22	—
Метионин	0,6	0,89	0,67	0,79	0,59	—
Метионин + цистин	1,32	1,54	1,17	1,68	1,06	—
Треонин	1,1	1,55	1,17	1,46	1,1	—
Триптофан	0,19	0,44	0,33	0,43	0,32	—
Аргинин	1,5	2,08	1,57	2,04	1,53	—
<i>Незаменимые аминокислоты (усвояемые птицей), %:</i>						
Лизин	0,89	1,52	1,16	1,3	0,98	—
Метионин	0,44	0,7	0,53	0,62	0,46	—
Метионин + цистин	0,94	1,3	0,98	1,26	0,8	—
Треонин	0,83	1,24	0,94	1,17	0,88	—
Триптофан	0,14	0,33	0,25	0,31	0,23	—
Аргинин	1,14	1,52	1,15	1,49	1,12	—
<i>Макроэлементы, %:</i>						
Кальций	0,39	0,7	0,72	0,8	0,82	—
Фосфор общий	0,59	0,9	0,92	1	1,03	—
Фосфор доступный	0,23	0,36	0,37	0,4	0,41	—
Калий	1,32	1,25	1,25	1,15	1,2	—
Магний	0,33	0,50	0,50	0,45	0,45	—
Сера	0,91	1,4	1,4	1,26	1,26	—
Натрий	0,03	0,07	0,07	0,07	0,07	—
Хлор	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	—
Баланс электролитов (DEB), мг·экв/100г	33,74	33,40	33,40	30,56	31,84	—

Примечание: «—» – данные отсутствуют.

Рапсовый жмых получают при отжиме рапсового масла из семян рапса на шнековых прессах. Выход жмыха – 62–66 %. Энергетическая его ценность значительно ниже, чем семян. После отжима в нем остается 7–12 % жира и 37–38 % сырого протеина. От шрота жмыха отличается более высоким содержанием жира и вследствие этого – повышенным уровнем обменной энергии. По содержанию кальция, фосфора, магния, меди и марганца рапсовые шрот и жмых превосходят соевый. Доступность в них кальция составляет 68 %, фосфора – 75, магния – 62, марганца – 54, меди – 74, цинка –

44 %. Содержание жизненно необходимых микроэлементов и витаминов представляем в табл. 2.

Некоторые образцы жмыха рапсового содержали повышенное количество цинка, который превышал на 64 % его допустимое количество.

Условно жизненно необходимые и токсичные микроэлементы не должны превышать показатели, приведенные в табл. 3, а в скобках указаны фактические показатели, полученные в наших исследованиях.

Таблица 2. Жизненно необходимые микроэлементы и витамины, мг/кг

Микроэлемент	Семена рапса	Шрот рапсовый	Жмых рапсовый	Масло рапсовое
Железо	200	274	153–170	1,38
Медь (30)	2,0–6,8	4,0–6,1	4–18	0,04–3,64
Цинк (50)	25,2–43,2	49–50	39–82	0,87–0,94
Марганец	55,3	62	48–59	–
Кобальт (1)	0,15	0,19	0,4–0,9	–
Йод (2)	0,3	0,57	0,4	–
A, тыс.М.Е./кг	–	–	–	0,52–1,76
D, тыс.М.Е./кг	3	2,5	3,0	–
E, мг/кг	18,8	18,0	60	221–262
B ₁	1,8	2,2	125	–
B ₂	3	3,4	29,8	–
B ₃	9	8,3	9,2	–
B ₄	1200	6700	5600	–
B ₅	32	159	126	–
B ₆	6	8	18	–

Примечание: «—» – данные отсутствуют; в скобках даны предельные допустимые дозы.

Таблица 3. Условно жизненно необходимые и токсичные микроэлементы, мг/кг

Микроэлемент	Рапс фуражный	Шрот рапсовый	Жмых рапсовый	Масло рапсовое
Фтор	10	10	10	—
Никель	1	1	1	—
Хром	0,5	0,5	0,5	—
Мышьяк	0,5 (0,01–0,10)	0,5 (*)	0,5 (0,03–0,10)	1,0 (*)
Кадмий	0,4 (0,02–0,10)	0,4 (0,03–0,06)	0,4 (0,04–0,09)	0,3 (< 0,003)
Сурьма	0,5	0,5	0,5	—
Ртуть	0,02 (*)	0,02 (*)	0,02 (*)	0,1 (*)
Свинец	0,5 (0,17–0,47)	0,5 (<0,25)	0,5 (0,25–0,58)	3,0 (< 0,1–0,25) (2,04–3,36)
Цезий-137, Бк/кг	(2,45–4,11)	—	(2,53–3,68)	—
Стронций-90, Бк/кг	(2,33–5,72)	—	(<2,79–3,56)	—

* Не обнаружено, «—» – данные отсутствуют.

Количество токсических микроэлементов в рапсе фуражном и продуктах его переработки соответствовало допустимому пределу, за исключением нескольких образцов жмыха рапсового, в которых было незначительное превышение по свинцу.

Показатели безопасности. ДДТ, ДДЭ, ДДД, гептахлор, ГХЦГ (альфа, бета, гамма),

2,4 Д, алдрин, гексахлорбензол в рапсе фуражном и продуктах переработки не обнаружены.

Допустимое содержание изотиоцианатов, нитратов, нитритов, кислотное и перекисное числа и число омыления представлены в табл. 4, в скобках приводятся фактические показатели наших исследований.

Таблица 4. Показатели безопасности семян рапса и продуктов его переработки

Показатель	Рапс фуражный	Шрот рапсовый	Жмых рапсовый	Масло рапсовое
Массовая доля изотиоцианатов в а.с.обезж., %	0,8 (0,3–1,5)	0,8 (0,12–0,27)	0,8 (0,12–0,27)	—
массовая доля эруковой кислоты в масле, %	3,0 (0,2–6,8)	3,0 (0,2–6,8)	3,0 (0,2–6,8)	3,0 (0,2–6,8)
Содержание нитратов, мг/кг	1500 (425–1671)	1500 (250–1400)	1500 (260–2239)	—
Содержание нитритов, мг/кг	2,0 (не обнаружено)	5,0 (–)	5,0 (0,04–2,0)	—
Кислотное число, мг КОН/г	4,0 (0,4–8,0)	<40,0 (–)	<40,0 (5,3–39,7)	20 (2,6–4,0)
Перекисное число, % J ₂	— (0,004–0,12)	<0,3 (0,01–0,21)	<0,3 (0,01–0,21)	0,2 (3,6–10,0)
Число омыления мг КОН/г	—	—	—	172–196
Дезоксиниваленол (вомитоксин)	1 (< 0,2)	1 (< 0,2)	1 (< 0,2–0,5)	—
Зеараленон	1 (< 0,05)	1 (< 0,05)	1 (< 0,05–0,1)	—
Охратоксин А	0,05 (0,001–0,014)	0,05 (<0,005)	0,05 (<0,005–0,1)	—
Афлатоксин B ₁ (G ₁)	0,025 (0,002–0,005)	0,025 (0,002–0,007)	0,025 (<0,002–0,05)	*
T-2 токсин, мг/кг	0,1 (0,05)	0,1 (0,08–0,10)	0,1 (<0,05–0,16)	—

* Не обнаружено, «—» – данные отсутствуют.

В отдельных образцах рапса фуражного и жмыха рапсового содержание нитратов превышало норму соответственно на 11 %, и 49 %. Содержание нитритов находилось в пределах нормы. Превышение по кислотному числу в некоторых образцах рапса фуражного составляло 2 раза. Отмечаем также превышение в отдельных образцах масла рапсового перекисного числа.

Содержание микотоксинов в фуражном рапсе и продуктах переработки не превышало предельно допустимое содержание, кроме

нескольких образцов жмыха рапсового в которых было установлено превышение по охратоксину А (содержание составляло < 0,005–0,1 мг/кг, при допустимом содержании 0,05 мг/кг), афлатоксину B₁ (G₁) (содержание составляло от < 0,002 до 0,05 мг/кг, при допустимом содержании 0,025 мг/кг) и T-2 токсину (содержание составляло < 0,05–0,16 мг/кг, при допустимом содержании 0,1 мг/кг).

Основной сдерживающий фактор использования семян рапса и продуктов его переработки – содержание глюказиноталов,

которое зависит от погодных условий выращивания и репродукции семян, и эруковая кислота (в жире). Сухая солнечная погода способствует накоплению глюказинолатов в семенах и зеленой массе рапса.

В наших исследованиях массовая доля глюказинолатов в фуражном рапсе составила в абсолютно сухом обезвоженном веществе 0,31–1,5 %, массовая доля эруковой кислоты в масле семян – 0,2–6,8 % [5].

Однако сами глюказинолаты имеют низкую токсичность и не представляют опасности для сельскохозяйственных животных и птицы. Под действием фермента мирозиназы, содержащегося в семенах рапса, глюказинолаты гидролизуются с образованием изотиоцианатов, различных циклических соединений, нитрилов и других веществ, которые отрицательно влияют на функции щитовидной железы, печени, кишечника [2].

Выводы и предложения производству.

Учитывая высокие цены на соевый шрот и все возрастающий объем производства семян рапса канолового сорта («00» сорта) без глюказинолатов и эруковой кислоты, изучение кормовой ценности этого продукта для птицы имеет большое народнохозяйственное значение. Для этого, а также для определения допустимых уровней ввода его в комбикорма для сельскохозяйственной птицы проведены опыты на сельскохозяйственной птице.

Наши исследования показали что, при наличии гликозинолатов в количестве 0,8 % и эруковой кислоты в жире 5–6 % маслосемена рапса и продукты его переработки можно применять в рационах кур промышленного стада и цыплят-бройлеров (до 5 % от массы корма). В сухом веществе семян современных сортов рапса уровень глюказинолатов невысок (0,3–1,5 %), а содержание эруковой кислоты не выше 3 %. В исследованиях массовая доля глюказинолатов в фуражном рапсе составила в абсолютно сухом обезвоженном веществе 0,31–1,5 %, массовая доля эруковой кислоты в масле семян – 0,2–6,8 % [3].

Более глубокие исследования, проведенные на птицефабриках Республики Беларусь, показали, что жмых и шрот рапсовый,

с содержанием изотиоцианатов не более 0,3 % на абсолютно сухое вещество может использоваться в рационах в следующих количествах:

- ремонтного молодняка кур яичных кроссов с 5 до 10 недель до 5 %;

- ремонтного молодняка кур яичных кроссов с 10 до 17 недель, кур яичных кроссов с 17 недель и старше до 7 %;

- цыплят бройлеров до 10 дней до 2 %, с 11 по 24 дня до 8, с 25 дней и до убоя до 12 % [2].

Жмых и шрот рапсовый, с содержанием изотиоцианатов 0,3–0,8 % на абсолютно сухое вещество может использоваться в рационах в следующих количествах:

- кур яичных кроссов с 17 до 60 недель и старше до 5 %;

- цыплят бройлеров с 11 по 24 дня до 5 %, с 25 дней и до убоя до 8 %.

Масло рапсовое с содержанием эруковой кислоты не более 3 % может использоваться в рационах в следующих количествах:

- ремонтного молодняка кур яичных кроссов до 10 недель, ремонтный молодняк кур мясных кроссов до 6 недель до 2 %;

- ремонтного молодняка кур яичных кроссов с 10 до 17 недель, куры яичных кроссов с 17 недель и старше, ремонтный молодняк кур мясных кроссов с 6 до 15 недель, куры мясных кроссов с 15 недель и старше, цыплята бройлеры до 10 дней до 3 %;

- цыплята бройлеры с 11 дня до убоя до 5 % [2].

Вышеназванные нормы ввода жмыха, шрота и масла рапсового в комбикорма внесены в «Классификатор сырья и продукции комбикормовой промышленности» и действуют в Республике Беларусь [1].

Но к сожалению в настоящее время семена рапса в производстве комбикормов используются недостаточно, их стараются переработать на шрот, жмых и масло, а затем вводить их в комбикорма, а это дополнительные затраты на процессинг. Исследования показывают возможность использования семян рапса напрямую без переработки на шрот, жмых и масло в производстве комбикормов.

Л и т е р а т у р а

1. Классификатор сырья и продукции комбикормовой промышленности / А. П. Ковалев [и др.]. ; Департамент по хлебопродуктам Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. Минск, 2010.

2. Пономаренко, Ю. А. Безопасное использование фуражного рапса, продуктов его переработки в кормлении птицы / Ю. А. Пономаренко, Л. Ф. Кабашникова // Молекулярные, мембранные и клеточные основы функционирования биосистем : Десятый съезд Белорусского общественного объединения фотобиологов и биофизиков, Минск, 19–21 июня 2012 г : сборник статей Международной научной конференции : в 2 ч. / Институт биофизики и клеточной инженерии, Белорусский государственный университет,

Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований ; редкол. : И. Д. Волотовский [и др.]. Минск, 2012. Ч. 2. С. 197–200.

3. Пономаренко, Ю. А. Качество и безопасность фуражного рапса и продуктов его переработки / Ю. А. Пономаренко // Инновационные разработки и их освоение в промышленном птицеводстве : материалы XVII Международной конференции, [Сергиев Посад, 2012] / Всемирная научная ассоциация по птицеводству, Российское отделение, НП «Научный центр по птицеводству» ; Всемирная научная ассоциация по птицеводству, Российское отделение, НП «Научный центр по птицеводству» ; ред. В. И. Фисинин. Сергиев Посад, 2012. С. 250–253.

4. Пономаренко, Ю. А. Питательность, качество и безопасность фуражного рапса и продуктов его переработки / Ю. А. Пономаренко // Кормопроизводство. 2012. № 3. С. 29–31.

5. Пономаренко, Ю. А. Рапс и продукты его переработки для птицеводства / Ю. А. Пономаренко // Комбикорма. 2012. № 4. С. 57–59.

Институт природопользования НАН Беларусь

Поступила в редакцию 12.03.2014 г.

Ю. А. Пономаренко

СЕМЕНА РАПСА И ПРОДУКТЫ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ В КОРМЛЕНИИ ПТИЦЫ

В Республике Беларусь ежегодно увеличиваются валовые сборы семян рапса. Расчеты показывают, что белковое сырье (рыбная мука, соевый, подсолнечный шрот и жмых) закупаемое за валюту можно с успехом и без потерь продуктивности сельскохозяйственной птицы и качества продукции птицеводства заменить семенами рапса и продуктами его переработки. Приведены результаты исследований по питательности и показателям безопасности семян рапса и продуктов его переработки.

Семена рапса содержат 40–50 % жира и 20–28 % сырого протеина, 17,75 МДж/кг обменной энергии для птицы. По сумме полезных веществ (жир + протеин) рапс превосходит сою и другие бобовые культуры. Наиболее перспективны в кормлении двунутлевые сорта рапса, в которых содержание эруковой кислоты в масле не превышает 2 %, глюказинолатов – 0,6–1,0 %.

Мы провели исследования на показатели питательности, качества и безопасности рапса фуражного, шрота, жмыха и масла рапсового в ГУ «Центральная научно-исследовательская лаборатория хлебопродуктов».

Выходы и предложения производству. Учитывая высокие цены на соевый шрот и все возрастающий объем производства семян рапса канолового сорта («00» сорта) без глюказинолатов и эруковой кислоты, изучение кормовой ценности этого продукта для птицы имеет большое народнохозяйственное значение. Для этого, а также для определения допустимых уровней ввода его в комбикорма для сельскохозяйственной птицы проведены опыты на сельскохозяйственной птице.

U. A. Ponomarenko

RAPSEED AND ITS PRODUCTS IN POULTRY FEEDING

Belarus annually increase the gross yield of rapeseed. Calculations show that the protein materials (fish flower, soybean meal, sunflower meal and cake) purchased for the currency can be successfully and without loss of productivity of poultry and poultry products to replace the quality of rapeseeds and products of its processing. The results of studies on the nutritional quality and safety parameters of rapeseed and its products are given.

Rapeseed contains 40-50% of fat, and 20–28 % of crude protein 17.75 MJ/kg of metabolizable energy for poultry. On the sum of nutrients (fat + protein) rape superior soya and other legumes. An twozeroth canola varieties where the content of erucic acid in the oil is less than 2 %, glucosinolates – 0.6–1.0 % are the most promising in feeding. We have conducted a study on indicators of nutritional quality and safety of rapeseed feed, meal, cake and rapeseed in PG «Central Research Laboratory of bakeries».

Conclusions and production suggestions. Taking into consideration the high price of soybean meal and the ever-increasing volume of rapeseed canola varieties («00» varieties) without glucosinolates and erucic acid, the studying of the nutritional value of this product for poultry has great economic importance. The experiments on agricultural bird have been conducted for this, and for determining an acceptable levels putting it into feed for poultry.

УДК 661.183; 665.36

**А. Р. Цыганов, К. Г. Боголицын, А. Э. Томсон, Т. В. Соколова,
В. П. Стригуцкий, В. С. Пехтерева, С. Б. Селянина, Л. Н. Парфенова,
М. В. Труфанова, М. В. Богданов, Е. В. Мальцева**

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИТУМОВ ТОРФА, СФОРМИРОВАВШЕГОСЯ В УСЛОВИЯХ УМЕРЕННО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО И СУБАРКТИЧЕСКОГО КЛИМАТА

Методами газожидкостной хроматографии и хромато-масс-спектрометрии охарактеризован химический состав соединений, извлекаемых органическими растворителями различной природы из однотипных по степени разложения и глубине залегания образцов верхового торфа, отобранных на не подвергнутых антропогенному воздействию месторождениях Республики Беларусь, севера России и Западной Сибири. Исследован процесс обезбитуминирования верхового торфа субарктической зоны России органическими растворителями с варьированием методов экстракции. Установлено, что региональные особенности торфа субарктического региона выражаются в низком содержании экстрактивных веществ и меньшем разнообразии индивидуальных низкомолекулярных соединений.

Торф как природный возобновляемый источник органических веществ способен, по мнению исследователей, при условии его комплексной переработки в ближайшем будущем составить конкуренцию нефти и газу [7]. В России сосредоточено до 60 % мировых ресурсов торфа, при этом северо-запад страны относится к поясу интенсивного торфонакопления и именно торфяно-болотные экосистемы являются здесь основными биогеоценозами [13]. Если в мировом сообществе наблюдается стабильный рост добычи торфа и производства продуктов на его основе [15], то в России его использование постоянно снижается [5, 7]. Общая площадь торфяных месторождений Республики Беларусь составляет 2 396 тыс. га с запасом торфа около 4,1 млрд т. Развитие северного региона России и Республики Беларусь невозможно без эффективного использования возобновляемых ресурсов и, в частности, торфянников. При этом особенности макро- и микрокомпонентного состава торфа европейского севера России до настоящего времени охарактеризованы недостаточно полно, поскольку исследования торфяных залежей в этом регионе проводились ранее в основном методами, принятыми в геологии и болотоведении [7, 13].

Предшественниками торфа являются растения болотных экосистем, поэтому, базируясь на представлениях, разработанных для химии растительных соединений [4, 6, 11], логично предполагать, что влияние геоклиматических факторов оказывается, прежде всего, на содержании и составе экстрактивных веществ торфа. Причем данные соединения относятся к биологически активным и востребованы многими отраслями промышленности, в том числе

медициной и косметологией [8], а анализ компонентного состава торфяных почв предусматривает их обезбитуминирование, под которым понимают экстракцию органическими растворителями с целью извлечения экстрактивных смолистых веществ (восков, стеринов и других спиртов, парафинов, смол, жирных кислот и пр.), называемых в химии торфа «битумами» [1–4].

Для экстракции битумов предложено использовать бензол, гексан, этанол, этоксиэтан, этилацетат и др., а также смешанные растворители [4, 11]. Поскольку извлекающая способность органических растворителей по отношению к соединениям различных классов не одинакова, то региональные особенности состава экстрактивной части природных торфяных матриц могут сказываться на применимости используемых растворителей для обезбитуминирования.

Представляло интерес провести сравнительную характеристику процесса экстракции торфа, сформированного в различных геоклиматических условиях.

В качестве объектов использовали репрезентативные образцы верхового торфа мохового типа, отобранные с глубины 50–70 см на не подверженных антропогенному влиянию торфяниках Архангельской области (Субарктика), Томской области (Западная Сибирь) и Республики Беларусь (зона умеренно континентального климата). Экстракцию проводили на воздушно-сухих образцах торфа с размером частиц не более 2 мм.

Для сравнительной характеристики состава экстрактивной части образцы торфа обрабатывали этоксиэтаном, широко используемым в химии растительных соединений для

определения содержания и состава экстрактивных смолистых веществ, вследствие его высокой извлекающей способности в отношении большинства подобных соединений и низкой температуре кипения, что позволяет предотвратить термические изменения в составе выделяемых компонентов. Помимо того, получаемые экстракты в незначительной степени загрязнены гуминовыми соединениями.

Битумы фракционировали по аналогии с жирорастворимой частью растительных тканей путем экстракции, разделяя на свободные кислоты и воска, а последние далее после омыления гидроксидом натрия – на нейтральные соединения и связанные кислоты. В отличие от методов фракционирования путем осаждения, принятых при изучении состава битумов торфа [1, 3, 4], экстракция позволяет исключить неопределенность, связанную с тем, что часть выделяемых фракций, как показано на примере других природных матриц, остается за счет ограниченной растворимости в маточном растворе [6, 12]. Фракцию свободных кислот при переработке торфа идентифицируют как смолы, а сложные эфиры спиртов (неомываемых соединений) и органических кислот – как торфяной воск [14]. Состав выделенных фракций характеризовали методами газожидкостной хроматографии (ГЖХ) и хромато-масс-спектрометрии (ХМС).

Сравнение содержания извлекаемых этоксиэтаном веществ (в пересчете на органическое вещество) в образцах торфа, отобранных на торфяных месторождениях Республики Беларусь – 5,8 %, 4,8 % – в образцах из Западной Сибири и 3,4 % в торфе субарктического региона, позволяет констатировать пониженную битуминозность последнего.

Исследование компонентного состава свободных кислот (рис. 1, 2) показало, что они представлены преимущественно C_{10} – C_{26} – одноосновными предельными алифатическими кислотами, доля которых составляет 83–92 %. Из непредельных кислот количественно определены только олеиновая, тетрокозеновая и двухосновная азелайновая.

Аналогичная тенденция отмечается и в составе связанных жирных кислот. Преобладание предельных соединений в жирнокислотной части торфа регионов с умеренным климатом отмечалось ранее [10]. При сравнении компонентного состава исследованных экстрактов торфа разных регионов выделяется повышенное содержание в образцах торфа субарктической зоны предельных соединений в связанных кислотах, с преобладанием в их числе пальмитиновой кислоты (с числом атомов углерода C_{16} и выше).

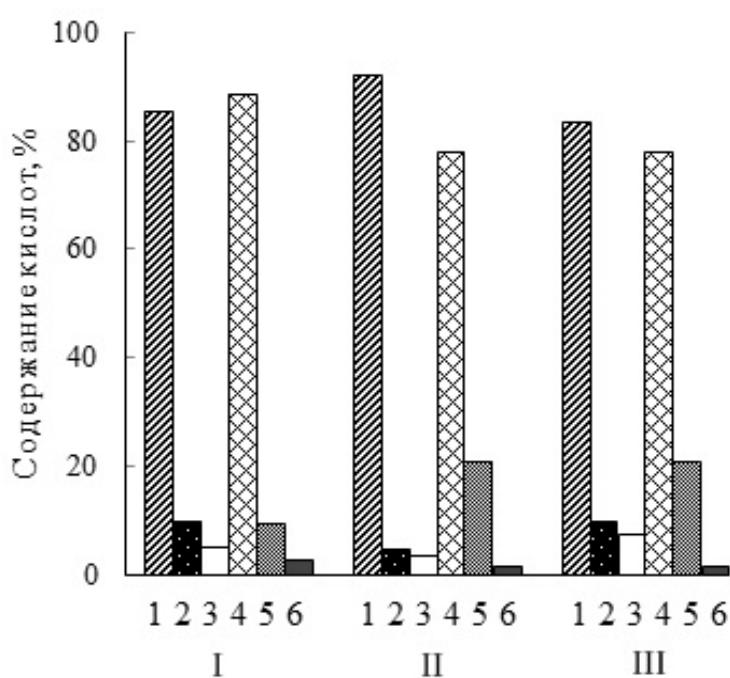


Рис. 1. Состав фракций свободных кислот: предельных (1); непредельных одноосновных (2); непредельных двуосновных (3); связанных кислот: предельных (4); непредельных одноосновных (5); непредельных двуосновных (6)

I – Архангельская область; II – Республика Беларусь, III – Западная Сибирь

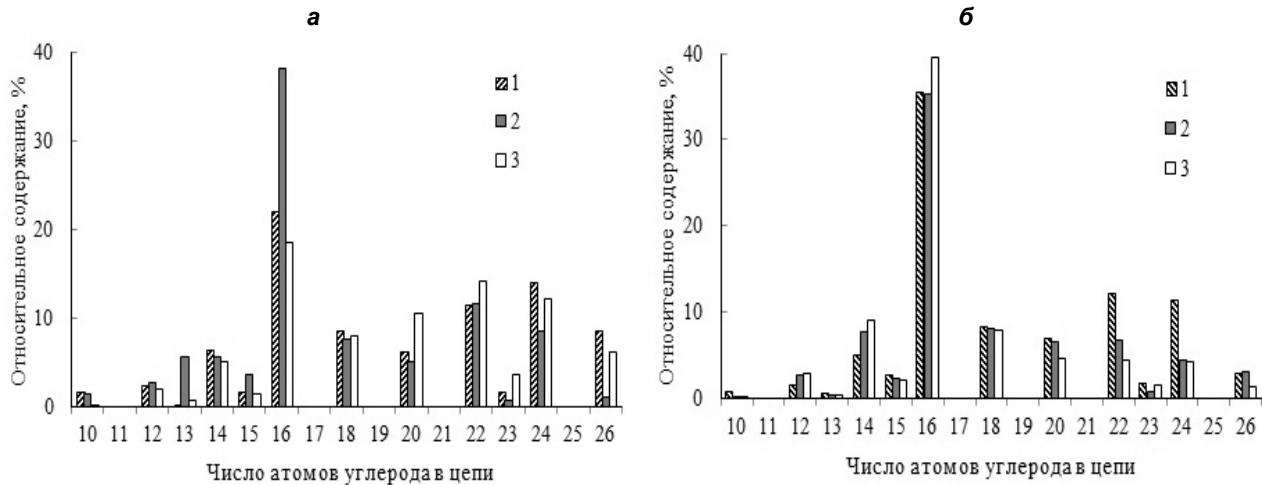


Рис. 2. Относительное содержание соединений с различным числом атомов углерода в цепи во фракциях: а – свободных жирных кислот; б – связанных жирных кислот, выделенных из экстрактов торфа различной зональности:
1 – Архангельская область, 2 – Республика Беларусь, 3 – Западная Сибирь

В составе нейтральной фракции выделены спирты нормального строения с C_{14} – C_{27} , токоферол, стигмастерин и ситостерин, а также алифатические углеводороды C_{15} – C_{29} . Следует отметить, что в составе битумов торфа субарктической зоны методами ГЖХ и ХМС определено 36 соединений из группы неомыляемых, а в торфе умеренно континентального климата – 47–49.

Изучение извлекающей способности органических растворителей по отношению к экстрактивным смолистым веществам торфа Субарктической зоны проводили при температуре 25 °C методом настаивания при непрерывном перемешивании (рис. 3, а), при температуре кипения растворителей методом дефлегмации с настаиванием в аппарате

Сокслета (рис. 3, б). В качестве экстрагентов были выбраны растворители, используемые для извлечения битумов как в химии торфа, так и в технологических процессах [4, 8, 9]: этанол, гексан, этоксиэтан, этилацетат, тетрахлорэтилен.

Зависимость, представленная на рис. 3, наглядно демонстрирует, что в ряду изученных растворителей извлекающая способность этоксиэтана наиболее высока, несмотря на то, что этанольный экстракт должен содержать и водорастворимые компоненты, и часть гуминовых веществ. Близкую к этоксиэтану извлекающую способность имеет этилацетат, что, по-видимому, объясняется высоким содержанием сложных эфиров в экстрактивных веществах образцов торфа субарктической зоны.

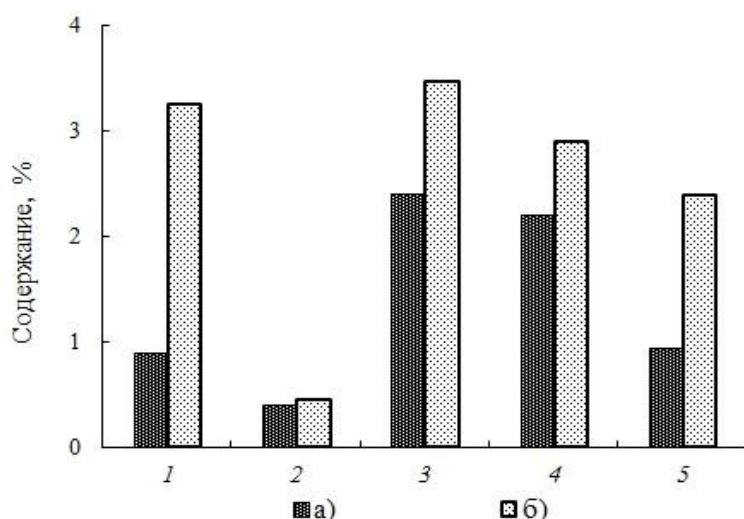


Рис. 3. Зависимость содержания битумов (%), извлекаемых из торфа:
а – при 25 °C; б – при температуре кипения экстрагента:
1 – этанолом; 2 – гексаном; 3 – этоксиэтаном; 4 – этилацетатом; 5 – тетрахлорметиленом

Это предположение подтверждается выпадением хлопьевидного осадка воскоподобных веществ при охлаждении экстрактов и хорошо согласуется с приведенными в табл. 1 данными, характеризующими содержание функциональных групп в выделенных битумах.

Таким образом, максимально полно извлечь битумы из торфа субарктического региона позволяет экстракция этоксиэтаном методом дефлегмации с настаиванием. Учитывая этот факт, а также низкую температуру кипения данного растворителя ($34,5^{\circ}\text{C}$) и, следовательно, незначительное влияние термического воздей-

ствия на извлекаемые компоненты при экстракции и отгонке экстрагента, можно констатировать, что при изучении состава экстрактивных веществ торфа предпочтительно использовать именно данный метод. Вместе с тем, при промышленном обезбитуминировании торфа по технологическим причинам вышеупомянутый растворитель применять затруднительно. Более пригодным в этом случае представляется этилацетат, обладающий близкой к этоксиэтану извлекающей способностью, но имеющий значительно более высокую температуру кипения (77°C).

Таблица 1. Содержание функциональных групп в битумах торфа, выделенных различными растворителями

Экстрагент	Содержание, %		
	-COOH свободных	-COOH связанных	-OH спиртовых
Этанол	4,3–4,7	11,3–13,2	4,3–5,0
Гексан	3,6–5,2	9,6–13,3	3,6–5,0
Этоксиэтан	4,6–4,9	11,2–12,3	4,2–4,8
Этилацетат	4,3–4,8	11,4–12,8	4,3–4,9

Установлено, что региональные особенности торфа субарктического региона выражаются в низком содержании экстрактивных веществ и меньшем разнообразии индивидуальных низкомолекулярных соединений.

Показано, что при варьировании температуры экстракции и природы растворителя, для обезбитуминирования торфа в исследовательских целях следует применять метод дефлегмации этоксиэтаном, а в технологических – более пригоден этилацетат. При этом удается выделить битумы с

высоким содержанием биологически ценных торфяных восков.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (проект № 12-03-90018-Бел_а), БРФФИ (проекты Х 12Р-147, Х 14Р-233), Программы МиМФИ УрО РАН (проект № 12-С-5-1017), Программы ОФИ УрО РАН «Арктика» (проект № 12-5-3-008-АРКТИКА), Программы Президиума РАН № 4 (проект № 12-П-5-1021) с использованием оборудования ЦКП «Критические технологии РФ в области экологической безопасности Арктики» (ИЭПС, ИФПА УрО РАН).

Л и т е р а т у р а

1. Бамбалов, Н. Н. Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения / Н. Н. Бамбалов. Минск, 1984.
2. Белькевич, П. И. Торфяной воск и сопутствующие продукты / П. И. Белькевич и [др.]. Минск, 1977.
3. Белькевич, П. И. Воск и его технические аналоги / П. И. Белькевич, Н. Г. Голованов. Минск, 1980.
4. Белькевич, П. И. Битумы торфа и бурого угля / П. И. Белькевич, Н. Г. Голованов, Е. Ф. Долидович. Минск, 1989.
5. Инишева, Л. И. Болотные экосистемы – их настоящее и будущее / Л. И. Инишева, Е. А. Головацкая // Самоорганизация и динамика геоморфосистем : материалы XXVII Пленума Геоморфологической комиссии РАН. Томск, 2003. С. 204–205.
6. Ковернинский, И. Н. Комплексная химическая переработка древесины / И. Н. Ковернинский [и др.]. Архангельск, 2002.
7. Косов, В. И. Торф (ресурсы, технологии, геоэкология) / В. И. Косов [и др.]. СПб., 2007.
8. Лиштван, И. И. Физика и химия торфа : учебное пособие / И. И. Лиштван [и др.]. М., 1989.
9. Лиштван, И. И. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. Минск, 1976.
10. Никитин, В. М. Химия древесины и целлюлозы / В. М. Никитин, А. В. Оболенская, В. П. Щеглов. М., 1978.
11. Перминова, И. В. Анализ, классификация и прогноз свойств гумусовых кислот : дис. ... д-ра хим. наук / И. В. Перминова. М., 2000.
12. Селянина, Л. И. Переработка низкокачественного сульфатного мыла / Л. И. Селянина, С. Б. Селянина. Архангельск, 2008.

13. Соколов, О. М. Торфяные ресурсы Архангельской области и их использование / О. М. Соколов, В. Р. Ивко. Архангельск, 2000.
14. Шинкеева, Н. А. Характеристика группового состава органического вещества отдельных репрезентативных торфов таежной зоны Западной Сибири / Н. А. Шинкеева, С. Г. Маслов, В. С. Архипов // Вестник ТГПУ, 2009, Вып. 3 (81). С. 116–119.
15. International Peat Society [Electronic resource]. Mode of access : <http://www.peatsociety.org>.

**Институт природопользования НАН Беларуси,
Институт экологических проблем Севера УрО РАН,
Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова,
Институт химии нефти СО РАН**

Поступила в редакцию 27.02.2014 г.

**A. R. Цыганов, К. Г. Боголицын, А. Э. Томсон, Т. В. Соколова,
В. П. Стригуцкий, В. С. Пехтерева, С. Б. Селянина,
Л. Н. Парфенова, М. В. Труфанова, М. В. Богданов, Е. В. Мальцева**

**СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИТУМОВ ТОРФА,
СФОРМИРОВАВШЕГОСЯ В УСЛОВИЯХ
УМЕРЕННО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО И СУБАРКТИЧЕСКОГО КЛИМАТА**

Статья посвящена оценке влияния геоклиматических факторов на состав и свойства торфа Субарктической зоны России. Авторами высказана гипотеза о существенном влиянии климатических условий на накопление экстрактивной составляющей торфа. Выполнена сравнительная характеристика процесса экстракции низкомолекулярных соединений органическими растворителями различной природы из однотипных по степени разложения, глубине залегания и отсутствию антропогенного воздействия образцов верхового торфа Республики Беларусь, севера России и Западной Сибири. Методами газожидкостной хроматографии и хромато-масс-спектрометрии охарактеризован состав извлекаемых соединений. Исследован процесс обезбитуминирования верхового торфа субарктической зоны России органическими растворителями с варьированием методов экстракции. Установлено, что региональные особенности торфа субарктического региона выражаются в низком содержании экстрактивных веществ и меньшем разнообразии индивидуальных низкомолекулярных соединений по сравнению с экстрактами, выделенными из образцов торфа, сформировавшегося в условиях умеренно континентального климата.

**A. R. Tsyganov, K. G. Bogolitsyn, A. E. Tomson, T. V. Sokolova,
V. P. Strigutskiy, V. S. Pekhtereva, S. B. Selyanina,
L. N. Parfenova, M. V. Trufanova, M. V. Bogdanov, E. V. Maltseva**

**STRUCTURAL FEATURES OF BITUMENS PEAT FORMED
IN TEMPERATE CONTINENTAL AND SUBARCTIC CLIMATE**

The article devotes the influence geoclimatic factors on the composition and properties of Russia subarctic zone peat. The authors hypothesis about a significant influence of climatic conditions on the accumulation of peat extractive component. The comparative characteristic of the extraction process of low molecular weight compounds with organic solvents of different nature of the degree of decomposition of the same type, depth and a lack of human and human impact peat samples of the Russian North, Siberia and Western Belorussia. The composition extracted compounds described by gas-liquid chromatography and gas chromatography-mass spectrometry. The debitumination process of peat subarctic zone of Russia by organic solvents with varying methods of extraction was studied. The regional characteristics of peat sub-Arctic region are expressed in the small amount of extractives and less diversity of individual small molecules was found.

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

В. Ф. Логинов, О. Г. Савич-Шемет

СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ДНЕВНЫХ И НОЧНЫХ ТЕМПЕРАТУР АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Скорость потепления климата зимой несколько замедлилась. Если раньше потепление было больше выражено ночью в холодный период, то в последнее десятилетие повышение температуры заметнее проявляется днем и в теплый период. Выявлены сезонные особенности в изменении дневных иочных температур.

В подавляющем числе работ изучение изменений климата чаще всего базируется на анализе его среднемесечных, сезонных и среднегодовых характеристик. В последние десятилетия анализе метеорологических характеристик используется суточное разрешение [1, 2]. Такой подход позволяет изучать «тонкие» свойства изменений климата и тем самым уменьшать уровень научной неопределенности влияния различных факторов на климат.

В представленной работе сделана попытка уточнить ранее полученные результаты с использованием данных наблюдений, полученных за последние годы.

Методы и методика исследований. В основу работы положены данные 1961–2010 гг. инструментальных наблюдений за дневной иочной температурой атмосферного воздуха на метеорологических станциях Волковыск, Пружаны, Василевичи, Марьина Горка, Минск суточного разрешения. Использованы известные методы статистического анализа линейных трендов очной и дневной температур.

Цель данной работы. Выявить современные сезонные особенности в изменении дневных и очных температур на территории Республики Беларусь.

Результаты и их обсуждение. Для максимально полного учета действия аэрозолей при анализе изменений дневных и очных температур были рассмотрены два подпериода: 1961–1995 и 1996–2010 гг. Выбор последних осуществлен с учетом:

- разной интенсивности потока прямой солнечной радиации ввиду большой аэрозольной замутненности атмосферы в первый подпериод, когда наблюдалось несколько крупных вулканических извержений (Агунг, Толбачик, Фуэго, Сент-Хеленс, Эль-Чичон, Пинатубо) [3]; в течение второго подпериода (1996–2010 гг.) крупных вулканических извержений не наблюдалось;

- практически двукратного (1,88 раза) роста содержания углекислого газа в 1996–2010 гг. по сравнению с 1961–1995 гг. [3].

Результаты исследования изменений дневных и очных температур выявили более интенсивный рост очной температуры зимой (табл. 1). Данный факт хорошо согласуется с исследованиями прошлых лет (с использованием массива данных 1961–1996 гг.) как для территории Республики Беларусь, так и за рубежом, где показано, что наблюдаемое увеличение среднесуточной температуры происходит в большей мере за счет увеличения минимальных очных температур, а дневные растут намного медленнее [2–4].

Влияние парниковых газов на климат в меньшей степени зависит от времени суток, чем воздействие аэрозолей [3]. В связи с этим полезным представляется провести сравнительный анализ поведения очных зимних и дневных температур в теплый период года. В последнем случае вклад аэрозолей в изменение температуры должен быть выше.

Из табл. 1 виден рост дневной и очной температур в период с 1996 по 2010 г. по сравнению с периодом 1961–1995 гг. во всех сезонах года на всех метеорологических станциях. Он обусловлен уменьшением содержания аэрозолей в атмосфере (меньшей мутностью атмосферы) и ростом содержания парниковых газов. Вклад последнего фактора в увеличение температуры по сравнению с аэрозолями, как минимум, в 1,5 раза больше [3] и особенно существен зимой и очью (табл. 2). Это согласуется с теорией парникового потепления климата, поскольку наиболее сильное возрастание температуры в высоких широтах в холодное время года обуславливается вкладом положительной обратной альбедной связи и воздействием сильной гравитационной устойчивости, создаваемой выхолаживанием вблизи земной поверхности, которое подавляет конвекцию и перенос длинноволнового излучения, приводя к вызванной ростом содержания углекислого газа, концентрации нагревания в тонком приповерхностном слое. Росту температуры способствует частое появление ее инверсионного распределения именно зимой и очью. Летом роль перечисленных процессов мала.

Таблица 1. Дневные и ночные температуры для определенных периодов времени и сезонов года и их разности (Δt)

Показатель (среднее значение за период)	Температура атмосферного воздуха, °C							
	дневная				ночная			
	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Волковыск								
1961–1995 гг.	-1,1	11,4	22,3	10,9	-6,4	2,3	11,6	3,8
1996–2010 гг.	-0,4	12,8	23,6	11,4	-5,4	2,9	12,7	4,4
Δt , °C	0,7	1,3	1,3	0,5	1,1	0,5	1,1	0,5
Пружаны								
1961–1995 гг.	-0,8	11,8	22,7	11,3	-6,6	2,3	11,5	3,6
1996–2010 гг.	-0,3	12,9	23,9	11,7	-5,7	2,6	12,3	4,0
Δt , °C	0,5	1,1	1,2	0,5	0,9	0,3	0,8	0,4
Василевичи								
1961–1995 гг.	-1,8	12,3	23,6	11,1	-8,0	2,4	11,9	3,1
1996–2010 гг.	-0,6	13,4	24,8	11,6	-6,5	2,6	12,7	3,5
Δt , °C	1,2	1,1	1,2	0,5	1,5	0,2	0,8	0,4
Марьина Горка								
1961–1995 гг.	-2,5	11,1	22,4	10,0	-8,5	1,7	11,3	2,7
1996–2010 гг.	-1,6	12,3	23,7	10,7	-6,7	2,4	12,7	3,5
Δt , °C	0,9	1,1	1,3	0,6	1,8	0,7	1,4	0,7
Минск								
1961–1995 гг.	-2,5	10,7	21,9	9,8	-8,0	1,7	11,9	3,2
1996–2010 гг.	-1,5	11,8	23,2	10,3	-6,2	2,6	13,4	3,9
Δt , °C	1,0	1,2	1,3	0,6	1,9	1,0	1,5	0,7
Гомель								
1961–1995 гг.	-2,3	11,8	23,4	10,7	-8,2	2,9	12,8	3,2
1996–2010 гг.	-1,4	13,1	25,0	11,4	-6,4	3,8	14,4	4,2
Δt , °C	0,9	1,3	1,6	0,7	1,8	0,9	1,6	1,0
Вилейка								
1961–1995 гг.	-2,3	10,7	22,0	9,9	-7,9	1,5	11,4	3,0
1996–2010 гг.	-1,5	11,8	23,3	10,2	-6,6	1,7	12,6	3,8
Δt , °C	0,8	1,1	1,3	0,3	1,4	0,2	1,2	0,7
Витебск								
1961–1995 гг.	-3,4	10,1	21,6	9,0	-9,3	1,2	11,5	2,4
1996–2010 гг.	-2,4	11,4	23,1	9,8	-7,4	2,2	13,0	3,4
Δt , °C	1,0	1,3	1,5	0,8	1,9	1,0	1,5	1,0
Брест								
1961–1995 гг.	-0,1	12,6	23,2	11,9	-5,4	3,2	12,4	4,4
1996–2010 гг.	0,5	13,7	24,4	12,4	-4,4	4,0	13,6	5,0
Δt , °C	0,6	1,1	1,2	0,5	1,0	0,8	1,2	0,6

Таблица 2. Разность изменений (Δt) ночных и дневных температур для разных сезонов года

Станция	Зима			Весна			Лето			Осень		
	Температура атмосферного воздуха											
	Дневная	Ночная	Δt , °C	Дневная	Ночная	Δt , °C	Дневная	Ночная	Δt , °C	Дневная	Ночная	Δt , °C
Волковыск	0,7	1,1	0,4	1,3	0,5	-0,8	1,3	1,1	-0,2	0,5	0,5	0,0
Пружаны	0,5	0,9	0,4	1,1	0,3	-0,8	1,2	0,8	-0,4	0,5	0,4	-0,1
Василевичи	1,2	1,5	0,3	1,1	0,2	-0,9	1,2	0,8	-0,4	0,5	0,4	-0,1
Марьина Горка	0,9	1,8	0,9	1,1	0,7	-0,4	1,3	1,4	0,1	0,6	0,7	0,1
Вилейка	0,8	1,4	0,6	1,1	0,2	-0,9	1,3	1,2	-0,1	0,3	0,7	0,4
Минск	1,0	1,9	0,9	1,2	1,0	-0,2	1,3	1,5	0,2	0,6	0,7	0,1
Гомель	0,9	1,8	0,9	1,3	0,9	-0,4	1,6	1,6	0,0	0,7	1,0	0,3
Витебск	1,0	1,9	0,9	1,3	1,0	-0,3	1,5	1,5	0,0	0,8	1,0	0,2
Брест	0,6	1,0	0,4	1,1	0,8	-0,2	1,2	1,2	0,0	0,5	0,6	0,1

Из табл. 2 следует, что более высокий рост дневных температур наблюдается в теплые сезоны года, поскольку в данном случае влияние аэрозольного загрязнения на температуру сильнее, и роль радиационных по сравнению с циркуляционными факторами возрастает. «Чистая атмосфера» в теплое время года в период 1996–2010 гг. и могла обусловить больший рост температур в дневное время. Также видно, что минимальная разность изменений (Δt) ночных и дневных температур теплого периода года в абсолютных значениях характерна для крупных городов (Минска, Гомеля, Витебска, Бреста) (табл. 3), что обусловлено, возможно, гораздо большим аэрозольным загрязнением в больших городах по сравнению с сельскими станциями.

Аэрозоли способствуют дополнительному нагреванию атмосферы в городах. Однако для некоторых станций изменение ночных и дневных температур не укладывается в предложенную схему, что требует дополнительных исследований.

Дальнейшему исследованию подверглись нормированные значения дневных температур $\left(\frac{Y_i - \bar{Y}}{\sigma^2} \right)$. Было проведено вычисление мощности линейных трендов $\left(\frac{\sigma_{\text{тр}}^2}{\sigma^2} \cdot 100 \% \right)$ дневных

температур теплого сезона для двух периодов 1961–1995 и 1996–2010 гг. (табл. 4).

Таблица 3. Средние значения разностей ночных и дневных температур для крупных городов и сельской местности (малых городов)

Станции	Зима	Весна	Лето	Осень
Крупные города	0,520	-0,760	-0,200	0,060
Сельская местность (малые города)	0,775	-0,275	0,050	0,175

Таблица 4. Доля дисперсии (мощность), выбираемая линейными трендами дневных температур теплого сезона для периодов 1961–1995 и 1996–2010 гг.

Станция	Мощность линейных трендов двух периодов, %		Отношение мощности линейных трендов температуры первого и второго периодов
	1961–1995 гг.	1996–2010 гг.	
Волковыск	24,4	31,4	1,29
Пружаны	17,4	22,9	1,32
Василевичи	15,3	34,5	2,25
Марьина Горка	18,2	27,7	1,52
Минск	23,6	34,5	1,46
Гомель	21,5	49,3	2,29
Вилейка	21,4	26,8	1,25
Витебск	23,3	40,7	1,75
Брест	21,1	31,1	1,47

Анализ изменения мощности линейного тренда для теплого сезона года (весна, лето) из (см. табл. 4) показал, что в последние годы (1996–2010 гг.) скорость роста дневных температур летом и весной увеличилась по сравнению с предыдущим периодом 1961–1995 гг.

Таким образом, при переходе от периода 1961–1995 к периоду 1996–2010 гг. повышение дневных температур в теплый период года (весна, лето) оказалось более сильным, чем повышение ночных зимних температур, что говорит о смене характера потепления климата.

Скорость потепления климата зимой несколько замедлилась по сравнению с предыдущим периодом. Если раньше потепление было сильнее выражено ночью и в холодный период, то в последнее десятилетие повышение температуры заметнее проявляется днем и в теплый период. Выявленные сезонные особенности в изменении дневных и ночных температур позволяют говорить о том, что наши знания причин изменения климата остаются пока недостаточными и требуют дополнительных исследований.

Литература

1. Логинов, В. Ф. Практика применения статистических методов при анализе и прогнозе природных процессов / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, П. В. Шведовский. Брест, 2004.
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. Karl, T. R. Global Warming: evidence for asymmetric diurnal temperature change / T. R. Karl [et al.] // Geophys. Res. Lett. 1991. Vol. 18. P. 2253–2256.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 28.02.2014 г.

В. Ф. Логинов, О. Г. Савич-Шемет

**СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ДНЕВНЫХ И НОЧНЫХ ТЕМПЕРАТУР
АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

Выявленная ранее скорость потепления климата зимой несколько замедлилась в последние десятилетия. При переходе от периода 1961–1995 гг. к периоду 1996–2010 гг. повышение дневных температур теплого периода оказалось более сильным, чем повышениеочных зимних температур. Выявленные сезонные особенности в изменении дневных иочных температур позволяют говорить о смене характера потепления.

V. F. Loginov, O. G. Savich-Shemeth

**SEASONAL CHANGES FEATURES OF DAY AND NIGHT TEMPERATURE
OF AIR IN THE TERRITIIRY OF BELARUS**

The previously identified rate of warming in winter has slowed in recent decades. In the transition from the 1961–1995 period to the 1996–2010 period the increase in daytime temperatures of warm period has proved to be more stronger than increasing of winter night temperatures. The identified seasonal patterns in the change of day and night temperatures allow to speak about changing in the nature of warming.

Исследования проблем природопользования молодыми учеными Беларуси

26–27 марта 2014 г. Советом молодых ученых Института природопользования Национальной академии наук Беларусь была проведена научная конференция молодых ученых «Приро-

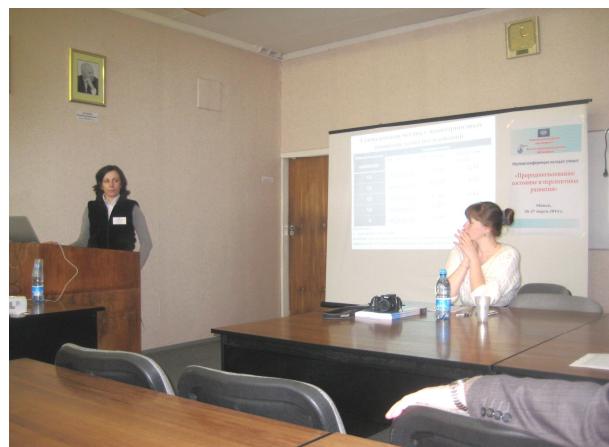
допользование: состояние и перспективы развития». Конференция проводилась с целью обмена знаниями и опытом между молодыми учеными в области природопользования.



В зале заседаний во время научной конференции молодых ученых

В работе конференции приняли участие более 30 молодых ученых Института природопользования НАН Беларусь, Полесского аграрно-экологического института НАН Беларусь, Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины, Центрального научно – исследовательского института комплексного использования водных ресурсов, географического факультета БГУ, Института почвоведения и агрохимии НАН Беларусь, Гродненского государственного аграрного университета.

По просьбе оргкомитета с приветственным словом к участникам конференции выступил директор Института природопользования НАН Беларусь член-корреспондент А. К. Карабанов, который отметил роль и перспективы молодых ученых в решении проблем природопользования.



Выступление с докладом м.н.с. Т. Д. Ярмошук

Опытом проведения исследований и знаниями с молодыми учеными поделились академики Н. Н. Бамбалов, И. И. Лиштван, В. Ф. Логинов, д.г.н. В. С. Хомич. Академик В. Ф. Логинов выступил с сообщением на тему «Раздумья о причинах паузы (провала) в развитии современной науки», которое вызвало острую дискуссию.

На семинаре был рассмотрен широкий круг вопросов по двум направлениям: технологические аспекты использования природно-ресурсного потенциала Беларусь и геоэкологические аспекты природопользования.

Исследование свойств и способов получения новых продуктов из торфа для сельского хо-



Участники конференции

зяйства, животноводства охраны окружающей среды были рассмотрены в докладах А. В. Краковецкого, Л. Ю. Цвирко, Н. С. Першай, особенности функционирования болот и перспективные направления освоения торфяных ресурсов – Т. Д. Ярмошук и Т. И. Макаренко. Пути улучшения и использования нарушенных земель были представлены в докладах О. Н. Ратниковой и С. С. Пунченко.



Академик Н. Н. Бамбалов вручает Диплом участника конференции м.н.с. Л. Ю. Цвирко

Доклады О. Ю. Круковской, Ю. Г. Кокош, М. И. Козыренко, А. Ч. Паца и Ю. А. Романкевич были посвящены оценке и путям снижения загрязнения атмосферного воздуха, почв, растительности и водоемов в городах. Региональные аспекты природопользования были изложены в докладах А. С. Акушко, Т. Г. Флерко и Е. Н. Гордеюк.



**Вручение Диплома участника конференции
м.н.с. А. А. Яновскому**

Методические аспекты исследований автоматизированной оценки состояния поверхности торфяников и современной динамики разломов отражены в докладах А. А. Яновского и П. В. Шаблыко.

Участники конференции отметили высокий уровень организации мероприятия. По итогам конференции лучшие доклады были отмечены дипломами. Материалы конференции были опубликованы в сборнике: «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: СтройМедиаПроект, 2014. – 136 с.

*Председатель Совета молодых ученых
Н. С. Першай*

К 60-летию со дня рождения Г. А. Камышенко

***Галина Анатольевна
Камышенко***

*кандидат технических наук,
ученый секретарь
Института природопользования
НАН Беларусь*

С юбилеем Вас!

19 мая исполнилось 60 лет со дня рождения кандидата технических наук, ученого секретаря Института природопользования НАН Беларуси Камышенко Галины Анатольевны.

После окончания в 1976 г. математического факультета Белорусского государственного университета Г. А. Камышенко получила распределение в Академию наук Беларуси, с которой связала всю свою трудовую деятельность. Работала в Институте ядерной энергетики АН Беларуси, Институте геохимии и геофизики АН Беларуси. В Институте природопользования НАН Беларуси (до 2008 г. – Институт проблем использования природных ресурсов и экологии) работает с 1990 г., пройдя путь от старшего инженера до ученого секретаря института (с 2007 г.).

Хорошая математическая подготовка Галины Анатольевны и специализация в области разработки программного обеспечения «пришли к двору» в природоведческих академических учреждениях, где она широко использовала современные средства обработки и представления данных, включая ГИС-технологии, спектрально-временной анализ и др. в геоморфологических, геэкологических и агрометеорологических исследованиях.

Работая в Институте геохимии и геофизики АНБ в лаборатории динамики ландшафтов, руководство которой осуществлял академик А. В. Матвеев, принимала активное участие в исследованиях современной динамики рельефа Беларуси. Под руководством доктора географических наук Г. И. Сачка ею были проработаны вопросы моделирования рельефа, эрозии почв, разработан комплекс программ для деления большой совокупности выборок на классы, зарегистрированный в Государственном фонде алгоритмов и программ СССР и БССР (1989). Отдельные программы и сейчас активно используются при выполнении научных геэкологических исследований. С использованием средств ЭВМ выполнено типологическое и индивидуальное районирование территории Беларуси по комплексу геолого-геоморфологических данных, морфометрическим показателям, эрозионным и



современным тектоническим процессам. Впервые для указанных работ были широко использованы математические методы, что повысило объективность в выделении таксонов. Результаты исследований данного периода опубликованы в коллективной монографии «Современная динамика рельефа Белоруссии» (1991).

После перевода в 1990 г. в Институт проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси основными для Г. А. Камышенко стали вопросы статистического анализа данных и моделирования продуктивности геосистем, разрабатываемые в лаборатории устойчивости геосистем, переименованной позже в лабораторию моделирования геосистем.

Значительная роль в становлении Г. А. Камышенко как ученого принадлежит доктору географических наук Г. И. Сачку – известному ученыму, плодотворно работавшему в области геологии, географии и геэкологии, внесшему значительный вклад в развитие теории и методологии системно-структурного анализа, изучение функционирования природных и природно-антропогенных геосистем. Под руководством Г. И. Сачка разработана базовая модель эрозии почв, выполнена ее программная реализация с использованием цифрового моделирования рельефа и визуализации картографических материалов, что нашло отражение в совместной брошюре «Крупномасштабное картографическое моделирование эрозии почв» (1994).

В лаборатории моделирования геосистем, возглавляемой Г. И. Сачком, при активном участии Г. А. Камышенко разработаны и реализованы оригинальные программные модули информационно-моделирующей системы «Биогеоцено-

тическое разнообразие Беларуси», систематизированы материалы по параметризации биоразнообразия, территориальной структуры и функционирования региональной геоэкосистемы страны, парциальных (лесных, болотных, луговых, сельскохозяйственных) геоэкосистем в форме базы данных. Начальные результаты исследований нашли отражение в совместных брошюрах «Имитационное моделирование травяных экосистем (лугов) Беларуси» (1994), «Энергетический анализ агросистем Витебской области» (1994) и коллективной монографии «Биогеоценотическое разнообразие Беларуси. Информационно-моделирующая система» (1996). Прерванные по ряду объективных причин работы над моделями лесных, болотных и сельскохозяйственных геоэкосистем были возобновлены в 2001 г. и доведены до уровня «работающего прототипа». Г. А. Камышенко была завершена разработка компьютерных средств моделирования структуры и функционирования геоэкосистем, сформирована информационная модель региональной геоэкосистемы, выполнены первые региональные оценки биопродуктивности, динамики растительного вещества (биомассы) и связанных с ней химических элементов. В сочетании с другими разработками они стали концептуальной основой кандидатской диссертации Г.А. Камышенко, успешно защищенной в 2003 г.

Итогом разработки современных методов, подходов и технологий оценки состояния геоэкосистем на разных уровнях их организации стала совместная с Г. И. Сачком монография «Биогенный круговорот в геоэкосистемах Беларуси (модельный аспект)» (2004).

Следующим этапом научной деятельности Г. А. Камышенко стали исследования в области агрэкологии. Совместно с Г. И. Сачком были разработаны и реализованы методы геоэкологической оценки факторов урожайности сельскохозяйственных культур, позволившие выявить пространственно-временные закономерности изменения агроклиматических характеристик и продуктивности культур на территории Беларуси. По материалам исследований опубликована совместная монография «Факторы и модели изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур Беларуси» (2006).

В последние годы научная деятельность Г. А. Камышенко связана с решением проблемных вопросов в области агрометеорологии. Ею впервые для Беларуси построена модель урожайности, обобщающая обширную статистическую информацию о территориально-временных особенностях изменчивости продуктивности комплекса основных сельскохозяйственных культур, возделываемых на территории республики. Проанализирована динамика изменения температурно-влажностного режима территории Белару-

си как предиктора урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур, исследовано изменение теплообеспеченности периода активной вегетации растений, выполнена оценка последствий изменений погодно-климатических условий для растениеводства страны, включая изменчивость продуктивности основных возделываемых культур, устойчивость и эффективность сельскохозяйственного производства. Результаты исследований в области агрометеорологии обобщены и опубликованы в монографии «Погодные условия Беларуси и урожайность сельскохозяйственных культур», изданной в 2013 г.

По результатам исследований Г. А. Камышенко самостоятельно и в соавторстве опубликовано 117 научных работ, среди которых 5 монографий и 3 брошюры, 53 статьи в научных периодических журналах. Полученные результаты Галина Анатольевна стремится довести до практического применения. Материалы по продуктивности и динамике запасов древостоя используются при подготовке Первого национального сообщения Республики Беларусь, результаты исследований в области агрометеорологии внедрены в Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Республиканский гидрометеорологический центр, используются в учебном процессе на кафедре общего землеведения и гидрометеорологии географического факультета Белорусского государственного университета.

Новые грани таланта Г. А. Камышенко раскрылись с назначением ее на должность ученого секретаря института (2007). Математический склад ума, дисциплинированность, высокая работоспособность и доброжелательность Галины Анатольевны позволили ей проявить себя способным организатором, знающим научные проблемы по тематике проводимых в институте научных исследований, умеющим решать поставленные задачи, качественно и оперативно выполнять поручения руководства, осуществлять контроль за выполнением в установленные сроки постановлений Президиума НАН Беларуси, решений Отделения химии и наук о Земле.

Коллеги Галины Анатольевны высоко ценият ее вклад в научно-организационную работу и выполнение показателей социально-экономического и научно-инновационного развития института. Много внимания ею уделяется своеестественному и качественному выполнению государственных научных программ, по которым институт является головной организацией. В настоящее время Галина Анатольевна обеспечивает научно-организационное сопровождение государственной программы научных исследований «Химические технологии и материалы, природно-ресурсный потенциал» в части подпрограммы «Природно-ресурсный потенциал» и раздела «Природопользование-2»; осуществляет кон-

троль за ходом реализации государственной комплексной целевой научно-технической программы «Природные ресурсы и экология» на 2011–2015 гг. в пределах компетенции Национальной академии наук Беларусь.

Г. А. Камышенко является ученым секретарем ученого совета института, научного совета по подпрограмме «Природно-ресурсный потенциал», научно-технического совета по государственной программе «Мониторинг полярных районов Земли и обеспечение деятельности арктических и антарктических экспедиций на 2011–2015 годы», членом редколлегии сборника научных трудов «Природопользование».

Успешно сочетая научную и организационную работу, отвечает за обеспечение послевузовского образовательного процесса в аспирантуре при Институте. Являясь ответственной за работу аспирантуры, полностью разделяет проблемы аспирантов, стараясь каждому помочь разрешить возникшие проблемные вопросы. Делится своими знаниями и научным опытом с молодыми кадрами, ежегодно осуществляя руководство производственной практикой студентов факультета естествознания УО «Белорусский го-

сударственный педагогический университет им. М. Танка».

Научные и организационные заслуги Г. А. Камышенко были неоднократно отмечены руководством Института и Национальной академии наук Беларусь. В 2011 г. в связи с Днем белорусской науки награждена нагрудным знаком «Юбілейны медаль «У гонар 80-годдзя Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» за плодотворную деятельность по укреплению научно-технического потенциала страны, повышение эффективности научных исследований. В 2012 г. в связи с 80-летием создания Института природопользования НАН Беларусь награждена Почетной грамотой НАН Беларусь за разработку и внедрение в практику математических методов геоэкологических исследований, создание модели урожайности сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата. В 2014 г. в связи с 60-летием удостоена Благодарности Председателя Президиума НАН Беларусь за развитие научных исследований в области агрометеорологии, внедрение полученных результатов в производство и учебный процесс, плодотворную организационную деятельность.

Коллеги и друзья искренне поздравляют Галину Анатольевну с юбилеем и желают дальнейших творческих успехов в научной и организационной деятельности.

А. К. Карабанов, В. Ф. Логинов, А. В. Матвеев,
В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик

Научное издание
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Сборник научных трудов
Выпуск 25

Редактор *A. B. Новикова*
Компьютерная верстка *H. B. Данькова, T. N. Козловская*
Переводчик M. Ю. Козловская

Подписано в печать 19.06.2014. Формат 60×90/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. 27,67. Уч.-изд. л. 20,14.
Тираж 110 экз. Заказ № 802.

Издатель и полиграфическое исполнение
Государственное предприятие «СтройМедиаПроект»
Свидетельство о государственной регистрации № 1/43 от 03.10.2013
ЛП № 02330/71 от 23.01.2014
Ул В. Хоружей, 13/61, 220123, г. Минск