

ISSN 2079-3928

Природо- пользование



2
2021

Государственное научное учреждение

«Институт природопользования
Национальной академии наук Беларусь»

Природопользование

2021. № 2

Основан в 1996 г. как сборник научных трудов.

В 2018 г. преобразован в журнал.

Выходит 2 раза в год

Главный редактор

Лысенко С. А. – доктор физико-математических наук, профессор

Редакционная коллегия

Хомич В. С. – доктор географических наук (заместитель главного редактора)

Томсон А. Э. – кандидат химических наук (заместитель главного редактора)

Высоценко А. В. – кандидат технических наук (ответственный секретарь)

Айзберг Р. Е. – член-корреспондент, доктор геолого-минералогических наук, профессор

Бровка Г. П. – доктор технических наук

Грибик Я. Г. – кандидат геолого-минералогических наук

Жогло В. Г. – доктор геолого-минералогических наук

Какарека С. В. – доктор технических наук, профессор

Камышенко Г. А. – кандидат технических наук

Курзо Б. В. – доктор технических наук

Кухарчик Т. И. – доктор географических наук

Лиштван И. И. – академик, доктор технических наук, профессор

Логинов В. Ф. – академик, доктор географических наук, профессор

Матвеев А. В. – академик, доктор геолого-минералогических наук, профессор

Струк М. И. – кандидат географических наук

Международный редакционный совет

Балтрунас В. – доктор наук (геология), профессор (Литва)

Гнушев В. А. – кандидат технических наук (Украина)

Зилитинкевич С. С. – доктор физико-математических наук, профессор (Финляндия)

Зюзин Б. Ф. – доктор технических наук, профессор (Россия)

Клавинс М. – доктор наук (химия), профессор (Латвия)

Маркс Л. – доктор наук (геология), профессор (Польша)

Руденко Л. Г. – академик НАН Украины, доктор географических наук, профессор (Украина)

Снытко В. А. – член-корреспондент РАН, доктор географических наук, профессор (Россия)

Тишкив А. А. – член-корреспондент РАН, доктор географических наук, профессор (Россия)

Черепанский М. М. – доктор геолого-минералогических наук, профессор (Россия)

Адрес

Ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск.

Тел. +375 17 215-26-32, факс +375 17 215-24-13.

info@nature-nas.by

<http://nature-nas.by/journal>

State Scientific Institution
“Institute of Nature Management
of the National Academy of Sciences of Belarus”

Nature Management

2021. № 2

Was founded in 1996 as a proceeding.
In 2018 was transformed into a journal.
Periodicity is 2 issues per year

Editor-in-Chief

Sergey Lysenko – D. Sc. (Physical and Mathematical), Professor

Editorial Board

Valery Khomich – D. Sc. (Geography) (*Associate Editor-in-Chief*)
Aleksey Tomson – Ph. D. (Chemistry) (*Associate Editor-in-Chief*)
Anna Vysochenko – Ph. D. (Technical) (*Executive Secretary*)
Roman Aizberg – Corresponding Member, D. Sc. (Geology and Mineralogy), Professor
Gennadiy Brovka – D. Sc. (Technical)
Yaroslav Gribik – Ph. D. (Geology and Mineralogy)
Sergey Kakareka – D. Sc. (Technical), Professor
Halina Kamyshenka – Ph. D. (Technical)
Boris Kurzo – D. Sc. (Technical)
Tamara Kukharchyk – D. Sc. (Geography)
Ivan Lishtvan – Academician, D. Sc. (Technical), Professor
Vladimir Loginov – Academician, D. Sc. (Geography), Professor
Aleksey Matveev – Academician, D. Sc. (Geology and Mineralogy), Professor
Mikhail Struk – Ph. D. (Geography)
Vasiliy Zhoglo – D. Sc. (Geology and Mineralogy)

International Editorial Council

Valentinas Baltrunas – D. Sc. (Geology), Professor (Lithuania)
Mikhail Cherepanskii – D. Sc. (Geology and Mineralogy), Professor (Russia)
Vladimir Gneushev – Ph. D. (Technical) (Ukraine)
Leszek Marks – Dr. Habil. (Geology), Professor (Poland)
Maris Klavins – Dr. Habil. (Chemistry), Professor (Latvia)
Leonid Rudenko – Academician, D. Sc. (Geography) (Ukraine)
Valerian Snytko – Corresponding Member, D. Sc. (Geography), Professor (Russia)
Arcadiy Tishkov – Corresponding Member, D. Sc. (Geography) (Russia)
Sergei Zilitenkevich – D. Sc. (Physical and Mathematical), Professor (Finland)
Boris Zuzin – D. Sc. (Technical), Professor (Russia)

Address

10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Republic of Belarus.
Phone: +375 17 215-26-32, fax: +375 17 215-24-13.
info@nature-nas.by.
<http://nature-nas.by/journal>

СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

ГЕОГРАФИЯ. ГЕОЭКОЛОГИЯ GEOGRAPHY. GEOECOLOGY

Лысенко С. А., Логинов В. Ф., Бондаренко Ю. А. <i>Lysenko S. A., Loginov V. F., Bondarenko Yu. A.</i>	Баланс углерода в наземных экосистемах Беларуси и его устойчивость к изменению климата <i>Carbon balance in terrestrial ecosystems of Belarus and its resilience to climate change</i>	5
Шершнёв О. В. <i>Shershnyov O. V.</i>	Тенденции и приоритеты водопользования в Республике Беларусь <i>Trends and priorities in water use in the Republic of Belarus</i>	16
Ракович В. А. <i>Rakovitch V. A.</i>	Экологические последствия промышленной эксплуатации нарушенных торфяных месторождений Брестской области и возможности их реабилитации <i>Environmental consequences of the industrial operation of the disturbed peat deposits of Brest region and the possibilities of their rehabilitation</i>	31
Ратникова О. Н., Лисицына И. П., Борш А. Т. <i>Ratnikova O. N., Lisitsyna I. P., Borsch A. T.</i>	Оценка возможных направлений использования выработанного участка торфяного месторождения Усяж (Минская область) <i>Estimation of possible direction of the use of cut-away Usyazh peatland (Minsk Region)</i>	38
Руденко Л. Г., Поливач Е. А. <i>Rudenko L. H., Polyvach K. A.</i>	Природное и культурное наследие в интерактивном атласе «Население Украины и его природное и культурное наследие» <i>Natural and cultural heritage in the interactive atlas ‘The population of Ukraine and its natural and cultural heritage’</i>	48

ГЕОЛОГИЯ. ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ GEOLOGY. MINERALS

Зуй В. И. <i>Zui V. I.</i>	Геотермическое поле белорусской части Подляско-Брестской впадины <i>Geothermal field of Belarusian part of Podlyaska-Brest Depression</i>	59
Савич-Шемет О. Г. <i>Savich-Shemet O. G.</i>	Решение задачи бинарной классификации для оценки чувствительности подземных вод Беловежской пущи к современным климатическим вариациям <i>Solving the binary classification task for the assessing of Belovezhskaya Pushcha groundwaters' sensitivity to modern climatic variations</i>	73

ГЕОТЕХНОЛОГИИ. ДОБЫЧА, ПЕРЕРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ GEOTECHNOLOGY. EXTRACTION, PROCESSING AND THE USE OF SOLID FUEL MINERALS

Лиштван И. И., Дударчик В. М., Крайко В. М., Ануфриева Е. В. <i>Lishvan I. I., Dudarchik V. M., Kraiko V. M., Anufrieva E. V.</i>	Перспективы получения основных видов торфяной продукции из сырья месторождений Славное и Есмоновский Мох <i>Prospects of the obtaining of the main types of peat products from the raw of Slavnoye and Esmonovsky Mokh peat deposits</i>	85
Бровка А. Г., Дедюля И. В., Мурашко А. А. <i>Brovka A. G., Dedyulya I. V., Murashko A. A.</i>	Зависимость прочностных характеристик глины аргиллитоподобной от количества незамерзшей воды <i>Increased efficiency of leaching of radionuclides, heavy and rare metals from soils and wastes of mountain and technological manufactures</i>	96
Бровка Г. П., Дорожок И. Н. <i>Brovka G. P., Dorozhok I. N.</i>	Повышение эффективности выщелачивания радионуклидов, тяжелых и редких металлов из почвогрунтов и отходов горно-технологических производств <i>Increased efficiency of leaching radionuclides, heavy and rare metals from soils and waste of mountain-technological manufactures</i>	106

Кунцевич В. Б., Макаренко Т. И., Агейчик И. В., Гайдукевич О. М., Калилец Л. П. <i>Kuntsevich V. B., Makarenko T. I., Ageichik I. V., Gaidukevich O. M., Kalilets L. P.</i>	Обоснование выбора технологического оборудования по добыче кускового торфа для производства активированных углей <i>Justification of the choice of technological equipment for sod peat extraction for activated charcoals production</i>	114
Томсон А. Э., Царенок А. А., Макаровец И. В., Соколова Т. В., Царюк Т. Я., Калантаров М. Г., Пехтерева В. С. <i>Tomson A. E., Tsarenok A. A., Makarovets I. V., Sokolova T. V., Tsariuk T. Ya., Kalantarov M. G., Pekhtereva V. S.</i>	Оценка радиологической эффективности применения энтеросорбционной композиционной кормовой добавки в рационе лактирующих коров <i>Estimation of the radiological efficiency of enterosorption composite forage additive application in lactating cows diet</i>	122
Наумова Г. В., Пантелей С. Н., Сенникова В. Д., Жмакова Н. А., Макарова Н. Л., Овчинникова Т. Ф., Макеенко А. А. <i>Naumova G. V., Panteley S. N., Sennikova V. D., Zhmakova N. A., Makarova N. L., Ovchinnikova T. F., Makeenko A. A.</i>	Эффективность использования гуматсодержащих отходов от производства гуминовых препаратов в прудовом рыбоводстве <i>Efficiency of use of humate-containing wastes from humic preparations production in pond fisheries</i>	129
Красноберская О. Г., Сосновская Е. Н., Стельмах Е. С. <i>Krasnoberskaya O. G., Sosnovskaya E. N., Stelmakh E. S.</i>	Влияние вида целлюлозосодержащего и влагопоглощающего материала на протекание процесса ферментации навозосодержащих смесей <i>The impact of a type of cellulose-containing and moisture-absorbing tying material on process of composting of manure-containing mixtures</i>	139

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ SCIENTIFIC REPORT

Коляда В. В. <i>Kalyada V. V.</i>	О влиянии погодно-климатических факторов на урожайность зерновых культур в Минской и Могилёвской губерниях в конце XIX – начале XX века <i>About the influence of weather and climatic factors on the grain crops yield of Minsk and Mogilev provinces in late 19th – early 20th centuries</i>	146
---	---	-----

ХРОНИКА CHRONICS

Богдасаров М. А., Кухарик Е. А. <i>Bogdasarov M. A., Kukharik E. A.</i>	V Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы наук о Земле: использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды» <i>V International scientific and practical conference ‘Actual problems of Earth sciences: use of natural resources and environmental conservation’</i>	153
---	---	-----

ЮБИЛЕЙ JUBILEE

К 80-летию профессора В. Б. Кадацкого <i>To the 80th anniversary of professor V. B. Kadatsky</i>	155
---	-----

ПАМЯТИ УЧЕНОГО IN THE MEMORY OF A SCIENTIST

Памяти организатора академической географической науки А. А. Хомича <i>In the memory of the organizer of academic geographic science A. A. Khomich</i>	157
---	-----

ГЕОГРАФИЯ. ГЕОЭКОЛОГИЯ GEOGRAPHY. GEOECOLOGY

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2021-2-5-15>

УДК 551.5+556.5

Поступила в редакцию 05.10.2021

Received 05.10.2021

БАЛАНС УГЛЕРОДА В НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ БЕЛАРУСИ И ЕГО УСТОЙЧИВОСТЬ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА

С. А. Лысенко, В. Ф. Логинов, Ю. А. Бондаренко

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. На основе многолетних данных дистанционного зондирования Земли и глобальных биофизических моделей почвенно-растительного покрова построены карты годовых потоков эмиссии и стока CO₂ для наземных экосистем Беларуси. Установлено, что нетто (чистый) сток CO₂ в наземных экосистемах Беларуси составляет около 31,4 млн т/год и наблюдается увеличение его фотосинтетической компоненты со средней скоростью около 1,16 млн т CO₂/год. Однако рост солнечной радиации и среднегодовой температуры воздуха наряду с уменьшением эффективных осадков (за вычетом испарения) формирует отрицательную компоненту тренда суммарной поглощающей способности экосистем Беларуси около 2,03 млн т CO₂/год. Наиболее сильный отрицательный климатообусловленный тренд биогенного стока углерода характерен для экосистем на юго-востоке Беларуси. Согласно климатическим моделям семейства CMIP5, наблюдавшиеся тенденции изменения биоклиматических характеристик территории Беларуси в ближайшие десятилетия сохранятся или даже усилятся. В частности, ожидается достаточно быстрое зимнее и в меньшей степени летнее потепление, сопровождающееся уменьшением суммы летних осадков на большей части страны, что повысит риск летних засух и приведет к снижению фотосинтетической компоненты биогенного стока углерода на юге Беларуси. В то же время прогнозируемые изменения климата могут оказывать положительное влияние на биопродуктивность экосистем на севере Беларуси, где все еще отмечается недостаток тепла и избыток увлажненности для местных биогеоценозов.

Ключевые слова: карбоновый след; наземные экосистемы; биогенный сток углерода; изменение климата.

Для цитирования. Лысенко С. А., Логинов В. Ф., Бондаренко Ю. А. Баланс углерода в наземных экосистемах Беларуси и его устойчивость к изменению климата // Природопользование. – 2021. – № 2. – С. 5–15.

CARBON BALANCE IN TERRESTRIAL ECOSYSTEMS OF BELARUS AND ITS RESILIENCE TO CLIMATE CHANGE

S. A. Lysenko, V. F. Loginov, Yu. A. Bondarenko

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Maps of annual CO₂ emission flows for terrestrial ecosystems of Belarus were built on the basis of long-term remote sensing of the Earth data and global biophysical land cover models. It was found that net (pure) CO₂ sink in terrestrial ecosystems of Belarus is ~31.4 million tons per year, and increase in its photosynthetic component with the rate 1.16 million tons of CO₂ per year is observed. However, increase in solar radiation and average annual temperature in addition to decrease in effective rainfall (excluding evaporation) form the negative component in total absorptive capacity of ecosystems in Belarus, which is 2.03 million tons of CO₂ per year. The strongest negative climate-related biogenic carbon sink trend is characteristic for the ecosystems in south-eastern part of Belarus. According to CMIP5 models, observed trends in change of bioclimatic characteristics in Belarus will preserve during the upcoming decades or even become stronger. In particular, rapid winter warming and slower summer warming together with the decrease in amount of summer rainfall over the most of the country are expected, which will lead to higher risk of summer droughts and de-

crease in photosynthetic component of biogenic carbon sink in southern Belarus. At the same time, projected climate change might have positive effect on bioproductivity of ecosystems in northern Belarus, where biomes are characterized by excess water supply and heat supply deficiency.

Keywords: carbon footprint; terrestrial ecosystems; biogenic carbon sink; climate change.

For citation. Lysenko S. A., Loginov V. F., Bondarenko Yu. A. Carbon balance in terrestrial ecosystems of Belarus and its resilience to climate change. *Nature Management*, 2021, no. 2, pp. 5–15.

Введение. Последние четыре-пять десятилетий отмечены беспрецедентно высокими темпами потепления на всем земном шаре. Среднегодовая глобальная температура растет практически непрерывно со второй половины 1970-х годов со средней скоростью около $0,019^{\circ}\text{C}/\text{год}$. Согласно выводам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) ООН главной причиной наблюдаемого глобального потепления является непрерывный рост содержания углекислого газа (CO_2) в атмосфере. Действительно, согласно данным инструментальных наблюдений, концентрация CO_2 в атмосфере за период с 1960 по 2020 г. увеличилась с 316 до 415 ppm, что привело парниковому эффекту около $1,46 \text{ Вт}/\text{м}^2$ (дисбалансу между приходящей от Солнца энергией и энергией, излучаемой обратно в космическое пространство) [1, 2]. По расчетам климатических моделей равновесная чувствительность климата к изменению баланса энергии на верхней границе атмосферы (радиационному форсингу) составляет от 0,4 до $1,2 \text{ К}/(\text{Вт}\cdot\text{м}^2)$ с наиболее вероятным значением $0,76 \text{ К}/(\text{Вт}\cdot\text{м}^2)$ [3, 4]. Таким образом, рост температуры, связанный с увеличением содержания CO_2 в атмосфере за 1960–2020 гг., можно оценить величиной около $1,1^{\circ}\text{C}$, что достаточно точно соответствует ее реально наблюдаемым изменениям.

В Беларуси среднегодовая температура воздуха в последние десятилетия возрастает со скоростью около $0,06^{\circ}\text{C}/\text{год}$, что примерно втрое превышает среднюю по планете скорость потепления. Если судить о потеплении по трендовой компоненте временного ряда температуры, то рост зимней температуры с 1960 по 2019 г. составил (в зависимости от метода оценивания тренда) от $3,8^{\circ}\text{C}$ до $4,2^{\circ}\text{C}$, а рост летней температуры – от $2,2^{\circ}\text{C}$ до $2,5^{\circ}\text{C}$ [5, 6].

Уже сейчас становится очевидным, что цели Парижского соглашения по удержанию глобального потепления в пределах $1,5^{\circ}\text{C}$ или даже 2°C не будут достигнуты без быстрых и крупномасштабных сокращений выбросов парниковых газов в атмосферу. Учитывая большие сложности и зачастую принципиальную невозможность для ряда государств отказаться от использования традиционных энергоносителей и осуществить декарбонизацию национальной экономики, в настоящее время осуществляется поиск иных более доступных и менее затратных способов уменьшения эмиссии парниковых газов. Одним из наиболее естественных и эффективных способов уменьшения суммарного национального углеродного следа является использование потенциала поглощения углекислого газа природными экосистемами (лесами, болотами, заброшенными землями сельскохозяйственного назначения и др.), поскольку депонирование углерода экосистемами в результате фотосинтеза может являться важной альтернативой росту концентрации CO_2 в атмосфере.

В последнее время во всем мире большое внимание уделяется оценкам баланса углерода в наземных экосистемах. Национальные оценки чистого поглощения или нетто-стока парниковых газов в экосистемах имеют не только научный интерес, но и экономико-политическое значение. В этом направлении значительные усилия уже предпринимаются в Российской Федерации, которая взяла курс на создание карбоновых полигонов и ферм. В рамках программы «Карбоновые полигоны» планируется проведение исследований по созданию технологий мониторинга и анализа способности экосистем поглощать и хранить углерод из атмосферы с целью создания национальной недискриминационной системы подсчета углеродного баланса, принимаемой международным сообществом.

В Беларуси регулярный мониторинг биогенных потоков углерода в экосистемах не осуществляется, что существенно затрудняет создание объективной доказательной базы для оценки национального углеродного баланса. Еще более неопределенным является вопрос об устойчивости биогенного стока углерода на территории Беларуси к изменению климата, имеющий важное практическое значение для разработки долгосрочного плана выполнения Беларусью обязательств по Парижскому соглашению.

В настоящей работе впервые предпринята попытка оценить биогенные потоки эмиссии и стока углерода на всей территории Беларуси, а также рассчитать климатообусловленные изменения фотосинтетической компоненты биогенного стока углерода с использованием данных дистанционного зондирования Земли и биофизических моделей почвенно-растительного покрова.

Методы исследования. Для оценки обменных потоков CO₂ между экосистемами и атмосферой использовалась эмпирическая модель годовой чистой первичной продуктивности (ЧПП), основанная на данных спутникового прибора MODIS [7]. ЧПП характеризует фотосинтетическую компоненту биогенного стока углерода, рассчитываемую как годовое количество углерода, ассимилируемого зелеными растениями из атмосферы на 1 м² подстилающей поверхности в результате фотосинтеза, за вычетом затрат на дыхание и поддержание биомассы. Модель MODIS предполагает, что скорость накопления углерода в биогеоценозах пропорциональна поглощаемой ими солнечной радиации в фотосинтетически активном интервале длин волн от 0,4 до 0,7 мкм. Для пересчета поглощенной радиации в прирост биогенного углерода используются эмпирические коэффициенты эффективности преобразования радиации растительностью, зависящие от типа растительного покрова и температурно-влажностных условий его произрастания. При расчетах среднегодовых значений ЧПП учитывается дыхание зеленой фитомассы, стволов и корней растений, а также зависимость их функции дыхания от температуры. Модель использует данные наземных и спутниковых наблюдений. В части наземных данных используются температура и дефицит влажности воздуха, в части спутниковых данных – листовой индекс и доля фотосинтетически активной радиации, которую поглощает растительность. Итоговый продукт модели (MOD17A2H) – карты среднегодовых значений ЧПП с пространственным разрешением 500 м за 2001–2020 гг.

Для классификации типов растительного покрова в пределах рассматриваемого региона использовался продукт MODIS Land Cover Type (MCD12Q1), полученный на основе годовых наблюдений прибора MODIS со спутниковых платформ Terra и Aqua. Данный информационный продукт распространяется в такой же картографической проекции (синусоидальной) и с таким же пространственным разрешением (500 м), как и вышеописанный продукт MOD17A2H, содержащий среднегодовые данные по ЧПП. Он включает в себя пять различных схем контролируемой классификации подстилающей поверхности, из которых нами использовалась глобальная схема классификации растительности IGBP. Всего в ней рассматривается 17 классов подстилающей поверхности, в том числе 11 классов естественной растительности, 3 антропогенных и мозаичных земельных класса и 3 класса, не относящихся к растительности.

Нетто-сток углерода в наземных экосистемах рассчитывается как разность между суммарным фотосинтетическим стоком углерода и суммой всех эмиссий CO₂ в результате дыхания надземной биомассы, корневого дыхания растений и деструкции органического вещества почвы. Специальных экспериментальных исследований почвенной эмиссии CO₂ для территории Беларуси не проводилось, поэтому для оценки почвенных потоков CO₂ использовалась глобальная модель почвенной эмиссии CO₂ Информационно-аналитического центра по диоксиду углерода при Министерстве энергетики США CDIAC [8]. Тип почвы в модели CDIAC привязан к типу ее растительного покрова и климатическим условиям местности, а потоки эмиссии CO₂ рассчитываются на основе эмпирических соотношений, установленных для различных типов растительности и почвенно-климатических условий.

Для оценок климатообусловленных изменений углеродного баланса в наземных экосистемах использовались среднемесячные данные реанализа Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды ERA5, которые линейно интерполировались на сетку координат, соответствующую спутниковым картам ЧПП. Влияние изменчивости климатических параметров на биопродуктивность наземных экосистем оценивалось на основе их межгодовых вариаций, имевших место в период с 2001 по 2019 г. С этой целью строились уравнения множественной линейной регрессии между среднегодовыми аномалиями ЧПП и основных биоклиматических параметров, влияющих на эффективность производственного процесса растений (температура воздуха, количество осадков, солнечная радиация на нижней границе атмосферы, запасы продуктивной влаги). Аномалии всех рассматриваемых величин отсчитывались от линейных трендов, характеризующих их систематическое изменение на протяжении анализируемого периода. Полагалось, что коэффициенты линейной регрессии между ЧПП и климатическими параметрами характеризуют чувствительности ЧПП к этим параметрам. При этом в расчетах не принимались во внимание экстремальные погодные явления, имеющие узко локализованный характер проявления (ураганы, град, заморозки и пр.) и не демонстрирующие четкой тенденции в частоте их возникновения.

Расчеты углеродного баланса и его изменений для наземных экосистем Беларуси. Фотосинтетическая компонента биогенного стока углерода определялась на основании годовых значений ЧПП, представляющих собой массу органического вещества, накапливаемую за год в растительных тканях, за вычетом того органического вещества, которое использовалось при дыхании растений. Карта годовой ЧПП для территории Беларуси приведена на рис. 1. Суммарный фотосинтетический сток углерода на всей территории Беларуси, рассчитанный по спутниковым данным MODIS, состав-

ляет 117,3 млн т/год. Из этой цифры необходимо вычесть массу органического углерода, высвобождаемого из почвы, которая по расчетам модели CDIAC составляет для территории Беларуси 108,7 млн т/год. Полученная разница пересчитывается в годовую эмиссию CO_2 с использованием коэффициента 3,664, представляющего собой отношение молекулярных весов углекислого газа и углерода. Полученная карта годовых потоков CO_2 для экосистем Беларуси представлена на рис. 2. Положительные значения потоков соответствуют эмиссии, а отрицательные – стоку CO_2 .

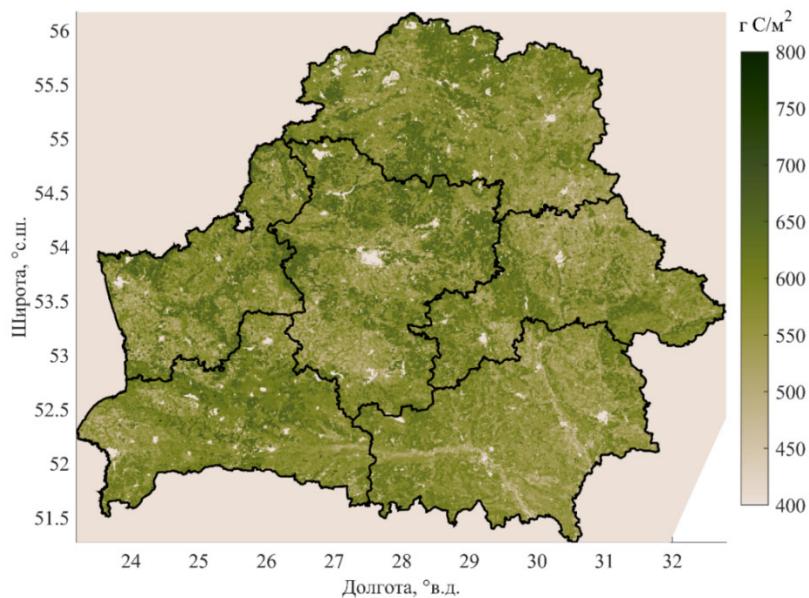


Рис. 1. Карта годовой чистой первичной продуктивности для территории Беларуси (1 г органического углерода на 1 m^2 за вычетом затрат на дыхание и поддержание биомассы)

**Fig. 1. Map of annual net primary productivity for the territory of Belarus
(1 g of organic carbon per m^2 minus costs for respiration and biomass maintenance)**

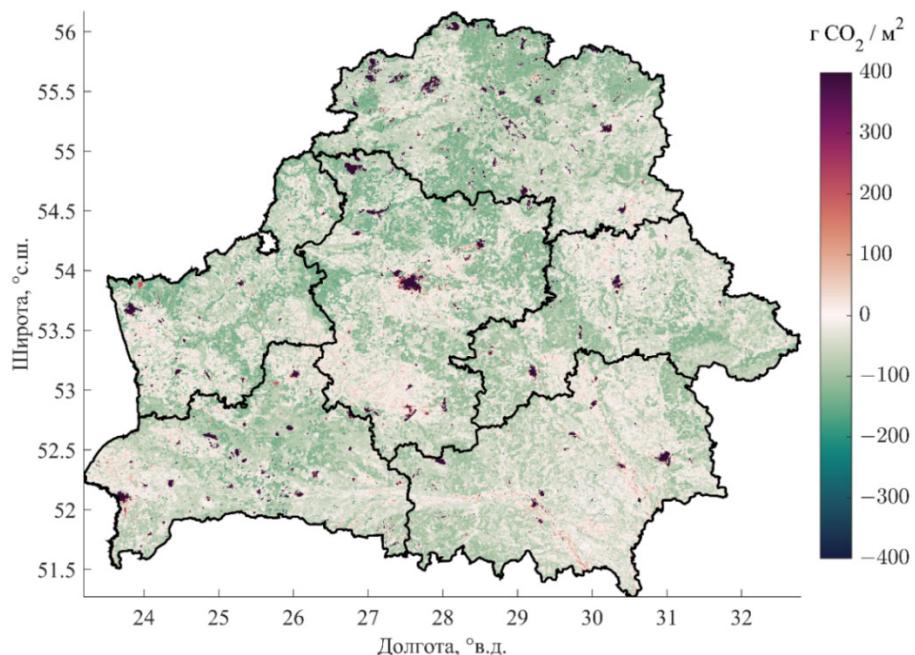


Рис. 2. Годовые потоки эмиссии и стока CO_2 для почвенно-растительного покрова Беларуси (высокие положительные значения соответствуют урбанизированным территориям)

**Fig. 2. Annual fluxes of CO_2 emissions and sinks for the land cover of Belarus
(high positive values correspond to urbanized areas)**

Согласно представленным расчетам, природные комплексы Беларуси в целом можно рассматривать как чистые поглотители CO₂. Годовой сток CO₂ в наземных экосистемах Беларуси составляет примерно 31,4 млн т/год. Таким образом, наземная растительность способна поглощать как минимум третью часть общего объема антропогенных выбросов CO₂ для территории Беларуси.

Пространственные распределения коэффициента линейного тренда и относительного среднеквадратического отклонения ЧПП для большей части Восточной Европы представлены на рис. 3. В целом для рассматриваемого региона и особенно для его высоких широт можно отметить рост ЧПП, который, вероятно, связан как с повышением содержания CO₂ в атмосфере, так и с увеличением продолжительности и теплообеспеченности вегетационного периода. В частности, на территории Республики Беларусь годовая сумма активных среднесуточных температур (превышающих 10 °C) с 1976 по 2019 г. возросла на 590 °C [5, 6]. Средняя скорость продвижения в северном направлении изолиний годовой суммы активных температур для последних трех десятилетий составила около 12 км/год. Средняя продолжительность вегетационного периода, определяемая по датам устойчивого перехода среднесуточной температуры весной и осенью через +5 °C, в последние 20 лет составила 159 дней на севере и 179 дней на юге Беларуси, тогда как в базовый климатический период – с 1961 по 1990 г. – она изменялась в диапазоне 149–165 дней.

Наблюдаемые тенденции потепления климата в целом улучшают агрометеорологические условия в северных регионах, где главным фактором, сдерживающим рост продуктивности растительных сообществ, является недостаток тепла. Положительный тренд ЧПП земель Беларуси также может формировать ряд не связанных с климатом факторов, таких как застарение и заболачивание заброшенных территорий, изменение породного состава лесов и др. В результате фотосинтетическая поглощающая способность наземных экосистем Беларуси с 2000 по 2020 г. возрастила со средней скоростью около 1,16 млн т CO₂/год. В то же время на карте тренда ЧПП (рис. 3, а) выделяются регионы с отрицательным или близким к нулю приростом биопродуктивности, что может быть связано как с региональными особенностями изменения климата, так и с антропогенными факторами. Особого внимания заслуживает регион Полесья, расположенный в пределах 50,7°–53° с. ш. и 25,5°–31,5° в. д. (серый прямоугольник на рис. 3, б). Среднеквадратическое отклонение ЧПП в этом регионе в 2–3 раза выше, чем в остальной части Восточной Европы, что свидетельствует об особой чувствительности местных биогеоценозов к изменчивости климата.

Наиболее высокие значения как абсолютных, так и относительных межгодовых колебаний ЧПП в Полесском регионе приурочены к территориям, на которых преобладает древесная растительность. Наиболее уязвимыми для засух являются влаголюбивые широколиственные породы, которые из-за высокой эвапотранспирации и низкого уровня грунтовых вод на мелиорированных территориях в настоящее время биологически ослабевают и становятся не способными противостоять учащющимся засухам. При этом во многих регионах Белорусского Полесья с легкими песчаными почвами начали проявляться признаки аридизации климата, представляющие серьезную проблему для лесного и сельского хозяйства. Зоны избыточного увлажнения с гидротермическим коэффициентом (ГТК) > 1,5 за прошедший период потепления полностью исчезли с карты Беларуси, хотя до начала потепления к этим зонам относилась большая часть Витебской области и некоторые территории Гродненской и Минской областей. В то же время с юго-востока Гомельской области и с юго-запада Брестской области наступает зона с ГТК, близким к 1, что соответствует границе степной зоны. Среднее для Беларуси значение индекса аридности, определяемого как отношение годовой суммы осадков к потенциальной испаряемости, с 1979 по 2019 г. уменьшилось примерно на 30 % и составляет около 0,8, что соответствует превышению потенциального испарения над осадками на 20 %. В современный период годовая испаряемость превалирует над осадками практически на всей территории Брестской и Гомельской областей.

Анализ пространственных распределений коэффициентов корреляции между межгодовой изменчивостью чистой первичной продуктивности биогеоценозов и характеристиками увлажненности территории Беларуси (рис. 4) показывает, что вся юго-восточная часть Беларуси в настоящий период стала относиться к зоне с избыточными ресурсами тепла и солнечной радиации, но недостающими ресурсами влаги.

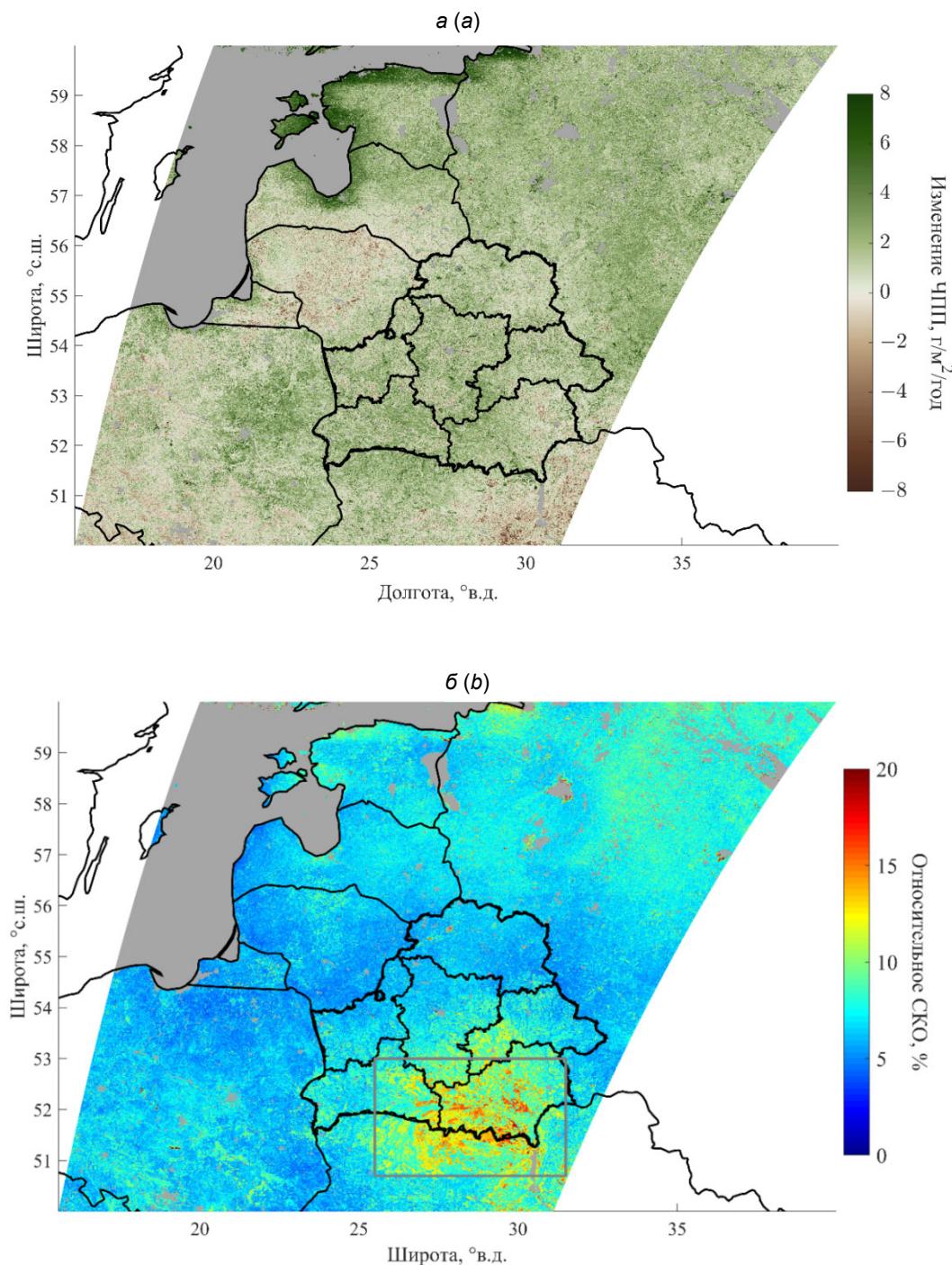


Рис. 3. Пространственные распределения линейного тренда (а) и относительного среднеквадратического отклонения (б) годовой чистой первичной продуктивности наземных экосистем

Fig. 3. Spatial distributions of linear trend (a) and relative standard deviation (b) of annual net primary productivity of terrestrial ecosystems

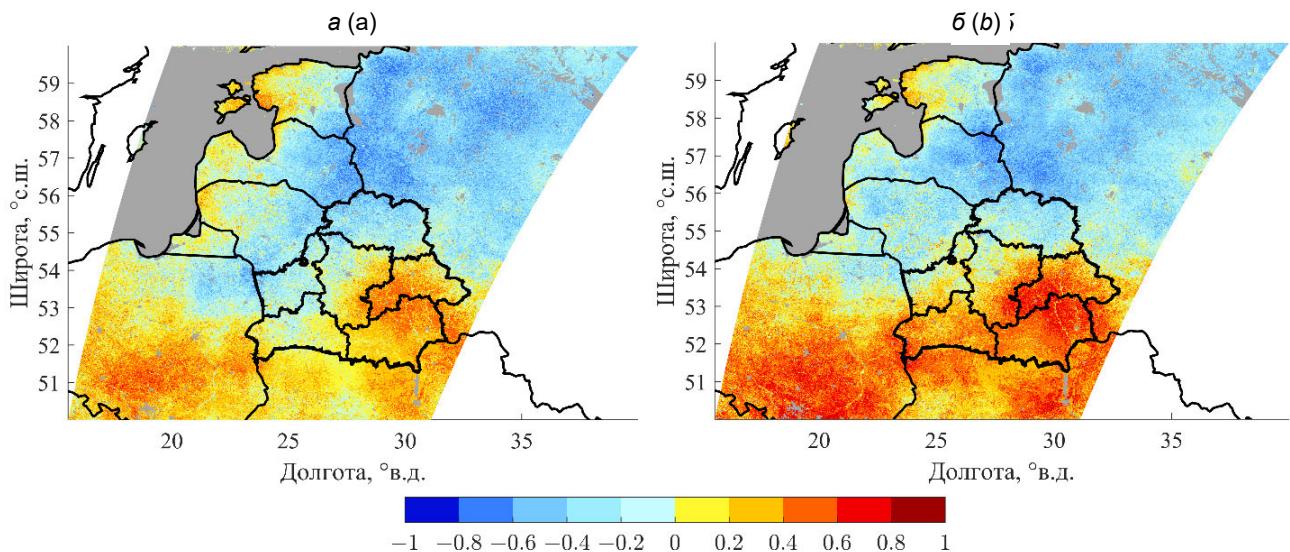


Рис. 4. Пространственные распределения коэффициентов корреляции между чистой первичной продуктивностью наземных экосистем и климатическими параметрами – годовой суммой атмосферных осадков (а) и влажностью верхнего слоя почвы толщиной 7 см в вегетационный период (б).
Положительные значения коэффициентов корреляции указывают на недостаточность современных ресурсов влаги для биогеоценозов, а отрицательные значения – на их избыточность

Fig. 4. Spatial distributions of correlation coefficients between net primary productivity of terrestrial ecosystems and climatic parameters – the annual amount of atmospheric precipitation (a) and the moisture content of the upper soil layer 7 cm thick during the growing season (b).
Positive values of the correlation coefficients indicate the inadequacy of modern moisture resources for biogeocenoses, and negative values – for their redundancy

Чтобы выделить роль климата в наблюдаемых изменениях фотосинтетической компоненты биогенного стока углерода на территории Беларуси, рассмотрим множественные регрессии между среднегодовыми аномалиями ЧПП и биоклиматическими параметрами. Для исключения ложных корреляций из всех рассматриваемых величин предварительно вычитался их линейный тренд (т. е. аномалии отсчитывались от линии тренда). Помимо этого, учитывая высокую корреляцию между годовой суммой атмосферных осадков и влажностью почвы, в регрессиях для ЧПП использовались только три биоклиматических параметра: температура воздуха, количество осадков и поток нисходящей солнечной радиации на нижней границе атмосферы. Искомыми в регрессиях являлись коэффициенты, стоящие перед биоклиматическими параметрами, которые характеризуют чувствительность ЧПП к этим параметрам. По найденным коэффициентам регрессии и коэффициентам линейных трендов биоклиматических параметров рассчитывался климатообусловленный тренд ЧПП, который пересчитывался в биогенный сток CO₂. Результаты вышеописанных расчетов представлены на рис. 5. Видно, что на территории Полесья, в отличие от остальной части Восточной Европы, изменение климата оказывает крайне негативное влияние на биопродуктивность наземных экосистем. Изменение климата вызывает снижение ЧПП практически всех растительных биомов, присутствующих в рассматриваемом регионе. Наибольший климатообусловленный тренд ЧПП отмечается для лесных насаждений, что, вероятно, связано с присутствием в их составе большого количества влаголюбивых пород, не способных эффективно противостоять усиливающейся засушливости климата.

Таким образом, Полесье в настоящее время является наиболее чувствительным к изменению климата регионом Восточной Европы. Из-за неблагоприятных климатических тенденций суммарные запасы углерода в растительном покрове Полесья снижаются со скоростью около 750 тыс. т/год, тогда как в остальной части Восточной Европы изменение климата в целом способствует накоплению углерода в надземной биомассе. В целом современные тенденции изменения климата формируют отрицательную компоненту суммарного биогенного стока CO₂ для территории Беларуси около -2,03 млн т CO₂/год.

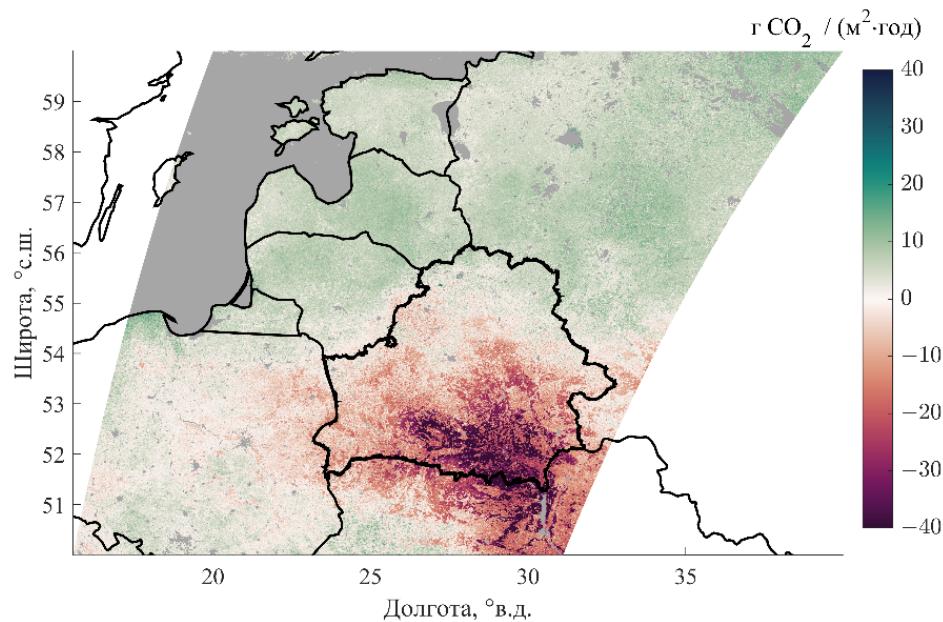


Рис. 5. Климатообусловленный тренд фотосинтетической компоненты биогенного стока CO₂

Fig. 5. Climate-related trend of the photosynthetic component of biogenic CO₂ runoff

Проекции будущих изменений климата Беларуси. Представленные выше результаты дают представление о средних значениях и изменениях углеродного баланса наземных экосистем Беларуси за прошедший период – с 2000 по 2020 г. Однако для разработки и уточнения национальных планов по сокращению эмиссии CO₂ важно понимать, какие изменения могут коснуться биосферной компоненты углеродного баланса в будущем. С этой целью рассмотрим проекции изменения климата Беларуси до 2035 г., построенные с использованием ансамбля из 21 глобальной климатической модели семейства CMIP5 в предположении умеренной антропогенной эмиссии парниковых газов, соответствующей сценарию RCP4.5.

Пространственные распределения изменений температуры и осадков для зимнего и летнего периодов, а также для всего календарного года приведены на рис. 6. Согласно климатическим моделям, будущее изменение климата в Беларуси характеризуется достаточно интенсивным повышением температуры (особенно в зимний период и на севере страны) и уменьшением годового количества атмосферных осадков (особенно летом и в восточной части Беларуси). В зимний период в соответствии с теорией парникового потепления наиболее значительный рост температуры ожидается на севере Беларуси – до 1 °C. Одновременно с этим на севере Беларуси прогнозируется небольшой рост суммы зимних осадков – до 16 мм. Рост зимних осадков на юге Беларуси незначительный. При этом для летнего периода здесь прогнозируются наиболее интенсивное потепление – до 0,6 °C, и понижение суммы осадков до 20 мм, что повышает риск летних засух.

Изменения температуры воздуха и осадков, прогнозируемые для всего календарного года, в целом близки к тем, что наблюдаются в настоящее время. Повышение среднегодовой температуры до 2035 г., согласно моделям, будет находиться в пределах 0,5–0,7 °C с максимумом на юге Беларуси. Годовая сумма осадков во всех областях Беларуси за исключением Гродненской и части Брестской области снизится до 30 мм. С учетом полученных нами оценок чувствительности ЧПП наземных экосистем Беларуси к среднегодовой температуре воздуха и осадкам можно сделать вывод, что будущие изменения климата не повлияют существенным образом на современные тенденции изменения фотосинтетической компоненты углеродного баланса. На севере Беларуси, где в настоящее время отмечается положительная связь ЧПП с температурой воздуха и отрицательная связь с осадками, будущее потепление и уменьшение увлажненности территории будут способствовать росту продуктивности экосистем, а значит и их способности поглощать CO₂ из атмосферы. На юге Беларуси, где уже сейчас отмечается избыток тепла и недостаток влаги, будущие изменения климата, вероятно, продолжат понижать нетто-сток углерода в наземных экосистемах.

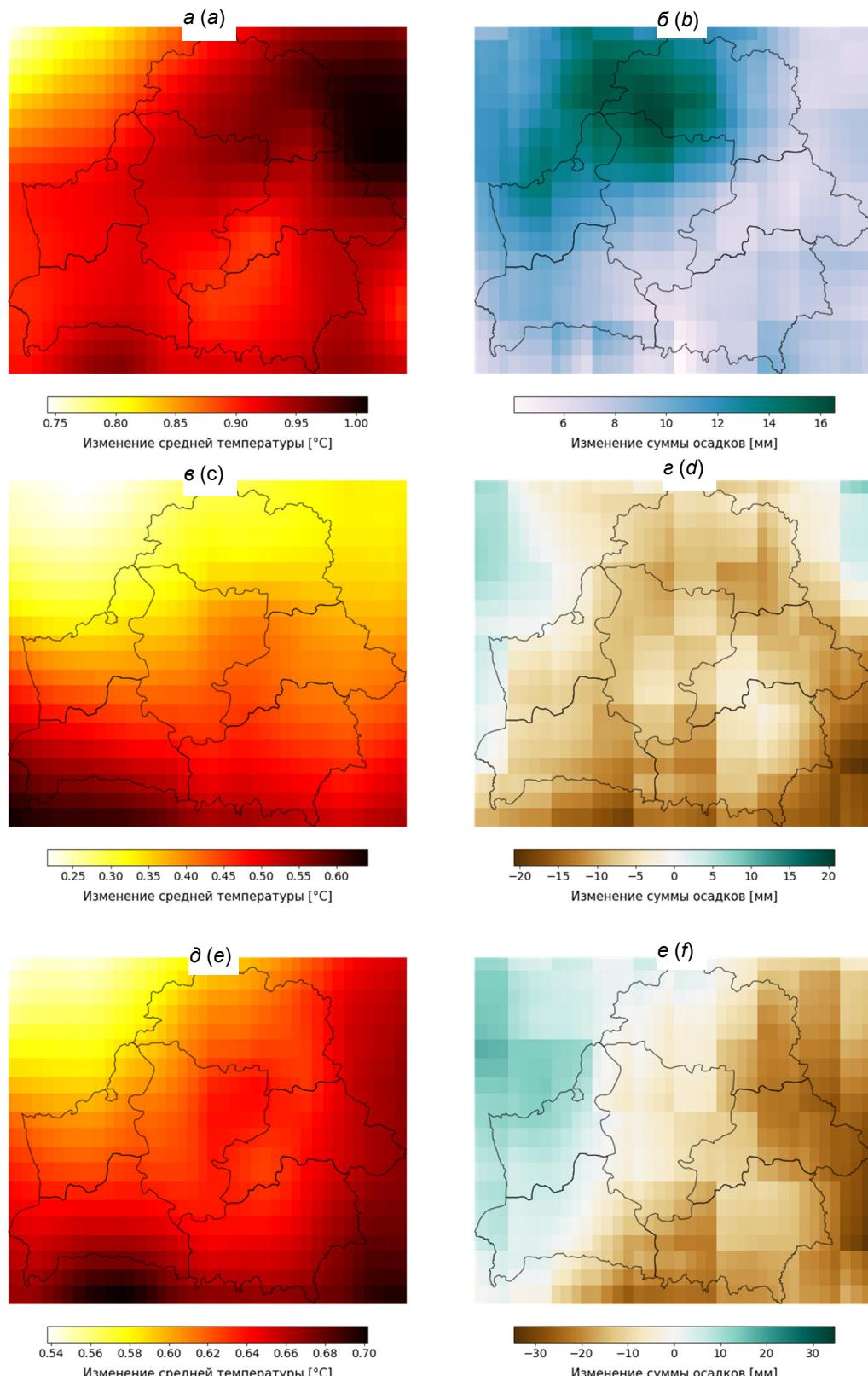


Рис. 6. Прогнозные изменения средней температуры воздуха (а, в, д) и суммы атмосферных осадков (б, г, е) за будущий период – 2021–2035 гг.: для зимы (а, б), лета (в, г) и всего календарного года (д, е)

Fig. 6. Forecast changes in the average air temperature (a, c, e) and the amount of precipitation (b, d, f) for the future period – 2021–2035: for winter (a, b), summer (c, d) and the entire calendar year (e, f)

Заключение. Представленные выше результаты в целом подтверждают кадастровые данные выбросов и стоков парниковых газов для сектора «Землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство». Наземные экосистемы Беларуси способны поглотить лишь около трети национальных антропогенных выбросов CO₂. При этом изменения климата не способствуют росту биогенного стока углерода в экосистемах, особенно на юге Беларуси, где уже сейчас наблюдается избыток среднегодового количества тепла и солнечной радиации, но существует недостаток влаги для местных биогеоценозов. Интенсивный рост температуры воздуха и солнечной радиации, наряду с уменьшением эффективных осадков (за вычетом испарения), наблюдаемые для данного региона в последние четыре десятилетия, приводят к иссушению почвы и снижению биопродуктивности местных растительных сообществ. В результате климатических изменений суммарный нетто-сток CO₂ для территории Беларуси понижается со скоростью около 2,03 млн т CO₂/год. Однако при этом стоит отметить, что ряд не связанных с климатом естественных и антропогенных процессов (изменение породного состава лесов, зарастание и заболачивание заброшенных территорий и др.) до настоящего времени компенсировали климатообусловленные потери органического углерода на территории Беларуси.

Проекции будущих изменений климата Беларуси до 2035 г. на основе глобальных численных моделей семейства CMIP5 указывают на продолжение наблюдаемых климатических изменений. В будущем еще больше может усилиться процесс аридизации климата Беларуси, сопровождающийся интенсивным потеплением и понижением годовой суммы атмосферных осадков. От ожидаемых изменений климата могут выиграть только экосистемы на севере Беларуси, пока еще не обеспеченные достаточным количеством тепла. Однако на юге Беларуси прогнозируемое быстрое потепление и уменьшение летних осадков повышают риск засух и не способствуют росту нетто-стока углерода в местных экосистемах.

Список использованных источников

1. IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani [et al.] (eds.). – Cambridge University Press, 2021. – 3949 p.
2. New estimates of radiative forcing due to well mixed greenhouse gases / G. Myhre [et al.] // Geophys. Res. Lett. – 1998. – Vol. 25, no. 14. – P. 2715–2718.
3. Knutti, R. The equilibrium sensitivity of the Earth's temperature to radiation changes / R. Knutti, G. Hegerl // Nature Geosci. – 2008. – Vol. 1. – P. 735–743.
4. Cox, P. M. Emergent constraint on equilibrium climate sensitivity from global temperature variability / P. Cox, C. Huntingford, M. Williamson // Nature. – 2018. – Vol. 553. – P. 319–322.
5. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – 1-е и 2-е изд. – Минск : Энциклопедикс, 2020. – 218 с. (1-е изд.); 264 с. (2-е изд.).
6. Лысенко, С. А. Особенности современного изменения климата в Республике Беларусь / С. А. Лысенко, И. В. Буяков // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2020. – № 3. – С. 22–41.
7. GPP and NPP (MOD17A2/A3) products NASA MODIS Land Algorithm / F. A. Heinsch [et al.] // MOD17 User's Guide. – 2015. – Version 3.0. – 28 p.
8. Raich, J. W. Global Patterns of Carbon Dioxide Emissions from Soils / J. W. Raich, C. S. Potter // Global Biogeochemical Cycles. – 1995. – Vol. 9, no. 1. – P. 23–36.

References

1. Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A. [et al.]. IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (eds.). Cambridge University Press, 2021, 3949 p.
2. Myhre G., Highwood E. J., Shine K. P., Stordal F. New estimates of radiative forcing due to well mixed greenhouse gases. *Geophys. Res. Lett.*, 1998, vol. 25, no. 14, pp. 2715–2718.
3. Knutti R., Hegerl G. The equilibrium sensitivity of the Earth's temperature to radiation changes. *Nature Geosci.*, 2008, vol. 1, pp. 735–743.
4. Cox P. M., Huntingford C., Williamson M. Emergent constraint on equilibrium climate sensitivity from global temperature variability. *Nature*, 2018, vol. 553, pp. 319–322.
5. Loginov V. F., Lysenko S. A., Mel'nik V. I. *Izmenenie klimata Belarusi: prichiny, posledstviya, vozmozhnosti regulirovaniya* [Climate change in Belarus: causes, consequences, regulation possibilities]. Minsk, 2020, 218 p. (1st ed.), 264 p. (2nd ed.). (in Russian)

6. Lysenko S. A. *Osobennosti sovremennoego izmeneniya klimata v Respublike Belarus* [Features of modern climate change in the Republic of Belarus]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya = Fundamental and Applied Climatology*, 2020, no. 3, pp. 22–41. (in Russian)
7. Heinsch F. A. [et al.]. GPP and NPP (MOD17A2/A3) products NASA MODIS Land AlgorithmMOD17 User's Guide, 2015, Version 3.0, 28 p.
8. Raich J. W., Potter C. S. Global Patterns of Carbon Dioxide Emissions from Soils. *Global Biogeochemical Cycles*, 1995, vol. 9, no. 1, pp. 23–36.

Информация об авторах

Лысенко Сергей Александрович – доктор физико-математических наук, профессор, директор, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: lysenko.nature@gmail.com

Логинов Владимир Фёдорович – академик, доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

Бондаренко Юрий Александрович – младший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси, (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: bondarenko@yandex.ru

Information about the authors

Sergey A. Lysenko – D. Sc. (Physical and Mathematical), Professor, Director, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: lysenko.nature@gmail.com

Vladimir F. Loginov – Academician, D. Sc. (Geography), Professor, Chief Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

Yuriy A. Bondarenko – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: bondarenko_rfe@gmail.com

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2021-2-16-30>

УДК 556.182:628.171(476)

Поступила в редакцию 29.09.2021

Received 29.09.2021

ТЕНДЕНЦИИ И ПРИОРИТЕТЫ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

О. В. Шершнёв

Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины, Гомель, Беларусь

Аннотация. На основании водохозяйственной статистики государственного водного кадастра Республики Беларусь выполнен анализ использования воды за период 2000–2019 гг. в целом по стране, на уровне областей и административных районов. В основу исследования положены статистические методы анализа временных рядов и относительных показателей динамики водопользования. Выявлены тенденции и приоритеты водопользования на основе сравнительного анализа следующих показателей: общего забора воды, объема добычи подземных и изъятия поверхностных вод, количества использованной воды по целям водопользования. За период 2000–2019 гг. установлены нисходящие тренды общего водоотбора и водопользования. Сокращение отбора воды составило 28 %, более чем на 30 % снизилось использование воды на хозяйствственно-питьевые и промышленные нужды. Наибольшее снижение водоотбора (от 30 до 40 %) произошло в Гомельской, Могилевской и Витебской областях. В структуре водопользования в областях, за исключением Брестской, преобладают хозяйствственно-питьевые нужды, на которые приходится до 33–54 % воды от общего объема ее использования. В большинстве административных районов (в 102 из 118 районов) основным источником водоснабжения являются подземные воды, добыча которых превышает изъятие поверхностных вод, а в 36 районах водоснабжение обеспечивается полностью за счет подземных вод. Выполнена группировка административных районов по приоритетным целям использования воды. Установлено, что в 78 районах приоритетными являются одновременно две цели водопользования, как правило, хозяйствственно-питьевые и сельскохозяйственные нужды, обеспечиваемые подземными водами. Дифференциация объемов отбора воды и приоритетов водопользования на уровне районов определяется численностью населения, степенью развития отраслей материального производства, и их потребностью в воде. Предложена унифицированная запись отображения показателей водопользования на уровне административных районов.

Ключевые слова: водопользование; водоотбор; приоритеты водопользования; поверхностные воды; подземные воды; Республика Беларусь; области; административные районы.

Для цитирования. Шершнёв О. В. Тенденции и приоритеты водопользования в Республике Беларусь // Природопользование. – 2021. – № 2. – С. 16–30.

TRENDS AND PRIORITIES IN WATER USE IN THE REPUBLIC OF BELARUS

O. V. Shershnyov

Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus

Abstract. Based on the water management statistics of the state water cadaster, the results of a study of the water use for the period 2000–2019 are presented. Research level covered the country as a whole, regions and administrative districts. The study is based on statistical methods for analyzing time-series and relative indicators of the dynamics of water use. The tendencies and priorities in water use in the administrative-territorial units of the Republic of Belarus are revealed on the basis of a comparative analysis presented in relative terms of indicators: total water abstraction, volume of groundwater extraction and withdrawal of surface water, the amount of water for water use purposes. For the period 2000–2019 downward trends in total water abstraction and water use have been established. The reduction in water abstraction was 28 %, and the use of water for domestic and drinking and industrial purposes decreased by more than 30 %. The largest decrease in water abstraction (from 30 to 40 %) occurred in the Gomel, Mogilev and Vitebsk regions. In the structure of water use among the regions, with the exception of the Brest region, domestic and drinking purposes prevail, which account for up to 33–54 % of water from the total volume of use. A comparative assessment at the level of administrative districts revealed that in most of them (in 102 out of 118 districts), groundwater is the main natural source of water supply. Groundwater abstraction exceeds surface water abstraction. In 36 districts, water supply is provided entirely from groundwater. The administrative districts were grouped according to the priority purposes of water use. It has been established that in 78 districts the priority is simultaneously two purposes of water use, as a rule, domestic and drinking and agricultural purposes,

provided by groundwater. Differentiation of water intake volumes and water use priorities at the district level is determined by the population, the degree of development of the production industries, and their purposes of water. A unified record of displaying water use indicators at the level of administrative districts is proposed.

Keywords: water use; water abstraction; water use priorities; surface water; groundwater; Republic of Belarus; regions; administrative districts.

For citation. Shershnyov O. V. Trends and priorities in water use in the Republic of Belarus. *Nature Management*, 2021, no. 2, pp. 16–30.

Введение. Водные ресурсы являются ключевым элементом в мировом промышленном производстве, сельском хозяйстве, питьевом водоснабжении и энергетике. С 1980-х годов общемировое использование водных ресурсов в среднем возрастает приблизительно на 1 % в год в результате совокупного воздействия таких факторов, как демографический рост, социально-экономическое развитие и меняющиеся модели потребления. В странах, где водные ресурсы испытывают высокую нагрузку, проживают более двух миллиардов человек. При этом прогнозируется, что уровни нагрузки на водные ресурсы будут расти и далее по мере увеличения спроса на них, а также по причине изменения климата [1]. В связи с этим вопросы оценки использования водных ресурсов по континентам и странам мира, анализ внутренних различий водопользования в пределах одной страны всегда имели актуальность как с научной, так и с практической точки зрения.

В Беларуси наряду с исследованиями по оценке ресурсов и запасов пресных поверхностных и подземных вод вопросы водопользования также рассматриваются в качестве приоритетных. С одной стороны, это обусловлено влиянием внутренних антропогенных факторов, изменением регионального климата, которые приводят к обострению водных проблем. С другой стороны, это вызвано тем, что в стране с 1990-х гг. произошли экономические и демографические перемены, оказавшие влияние на водопотребление населения, промышленности и сельского хозяйства, а в первой четверти 2000-х гг. изменилась существовавшая долгое время система показателей водопользования, что привело к перераспределению объемов воды среди целей использования.

К настоящему времени в научной литературе представлены работы, содержащие анализ использования поверхностных и подземных вод в экономике страны на различных временных этапах, прогнозы перспективной потребности в подземных водах вплоть до 2050 г. [2–7], анализ использования водных ресурсов отдельных регионов на основе водохозяйственных балансов [8, 9], оценку динамики водопотребления в Республике Беларусь в целом, по областям, крупным городам, по основным водосборам рек, по видам экономической деятельности, прогнозные оценки водопотребления на период до 2030 г. [10–14].

Вопросы приоритета источников водоснабжения и целей водопользования на уровне административных районов практически не рассматриваются. При этом очевидно существование межрегиональной дифференциации водопользования по причинам различий в численности населения и отраслевой структуре районов, а соответственно, и потребности в воде.

Решение задачи эффективного водопользования одновременно с осуществлением технических, технологических и водоохраных мероприятий должно опираться на своевременные и достоверные оценки объемов и соотношений фактического использования водных ресурсов в прошлом и настоящем, с учетом приоритетов водных объектов и целей водопользования.

Цель работы – провести анализ тенденций водопользования в Республике Беларусь и приоритетов использования воды по объему, источникам водоснабжения и целям водопользования на уровне областей и административных районов.

Материалы и методы исследования. При оценке водопользования, как правило, используются теоретический и отчетно-статистический методы.

Теоретический метод основывается на составлении баланса водопотребления и водоотведения с учетом особенностей производственных процессов, систем водоснабжения и канализации.

Отчетно-статистический метод опирается на данные государственной статистической отчетности об объемах водопотребления, водоотведения и производстве продукции. Для оценки динамики водопотребления наиболее распространенными являются статистические методы анализа временных рядов.

Оценка водопользования в Республике Беларусь базировалась на материалах государственного водного кадастра, включающего обобщенные данные статистических отчетов предприятий и организаций об использовании воды за период 2000–2019 гг. [15, 16].

Применяемые для реализации поставленной цели методы представлены тремя группами:

- эмпирические (сравнение);
- количественные (экономико-статистические, статистическая группировка);
- графические (диаграммы, картосхемы).

К первой группе методов относится метод сравнения исследуемых объектов (районов) с целью выявления сходства или различия между ними по ряду показателей (численности населения, объему добычи (изъятия) воды, количеству используемой воды по целям водопользования и др.). Это позволило получить выраженные в числовой форме количественные различия между исследуемыми объектами.

Во второй группе в качестве экономико-статистического метода применен анализ рядов динамики на основе аналитических показателей темпов прироста и темпов роста, рассчитанных базисным и цепным способами. Статистическая группировка использована для выделения и ограничения однородных групп исследуемых показателей водопользования.

Графические методы (третья группа) использованы для визуализации, анализа трендов, систематизации и обобщения результатов исследования в виде диаграмм и картосхемы.

Методическая схема проведения исследования состояла из таких этапов, как:

1) анализ интенсивности изменения во времени отбора воды на основании рядов динамики с равностоящими уровнями за периоды 2000–2019 и 2016–2019 гг. Уровни в динамическом ряду представлены абсолютными средними за год величинами, характеризующими добычу (изъятие) воды и использование воды по целям водопользования. Относительный показатель динамики (темпер прироста) рассчитан по постоянной базе сравнения. За базисные уровни приняты 2000 и 2016 г. соответственно;

2) изучение структуры и динамики водопользования за период 2000–2019 гг. на основании анализа данных раздела «Статотчетность водопользователей» Государственного водного кадастра (далее – ГВК) Республики Беларусь [15, 16]. В качестве сравниваемых группировок использованы цели водопользования, для которых построены тренды. Статистическая значимость уравнений трендов проверена с помощью коэффициента детерминации, а интенсивность динамики оценена по углу наклона тренда и цепным темпам прироста.

3) анализ водопользования на уровне административных районов (с учетом административных центров) методом статистических группировок на основании данных раздела «Статотчетность водопользователей» ГВК Республики Беларусь за 2019 г. Группированными признаками являются: цель водопользования и величина используемой воды, объем добычи подземных и изъятия поверхностных вод, общий забор воды.

Для осуществления пространственно-территориальных сравнений на уровне административных районов рассчитаны относительные показатели водопользования, выделены уровни и соответствующие им границы (табл. 1). При расчете относительного показателя общего водоотбора по административным районам за базу сравнения принимался максимальный общий забор воды за 2019 г., который пришелся на Вилейский район и составил 114,8 млн м³.

Таблица 1. Относительные показатели, используемые для анализа водопользования в пределах административных районов

Table 1. Relative indicators used to analyze water use within administrative districts

Доля от максимального общего забора воды		Доля добычи (изъятия) воды		Доля использования воды от общего водопотребления	
Характеристика уровня показателя	Значение показателя, %	Характеристика уровня показателя	Значение показателя, %	Характеристика уровня показателя	Значение показателя, %
Весьма высокая	[80; 100]	Весьма высокая (или абсолютная)	[80; 100]	Весьма высокая (или абсолютная)	[80; 100]
Высокая	[60; 80)	Высокая	[60; 80)	Высокая	[60; 80)
Средневысокая	[40; 60)	Средневысокая	[53; 60)	Средневысокая	[40; 60)
Заметная	[20; 40)	Примерно равная	[47; 53)	Заметная	[20; 40)
Незначительная (и весьма незначительная)	[0; 20)	–	–	Незначительная (и весьма незначительная)	[0; 20)

Результаты исследования и их обсуждение. В Республике Беларусь поверхностные воды отбираются для производственных нужд, гидроэнергетики, рыбо-прудового хозяйства и орошения, а подземные воды используются для питьевого водоснабжения и производства продуктов питания, лекарственных и ветеринарных средств, для кормления и поения животных.

Водный кодекс Республики Беларусь в статье 3 предусматривает приоритет использования подземных вод для питьевых нужд перед иным их использованием. Для хозяйствственно-питьевых нужд могут использоваться и поверхностные водные объекты, качество воды которых соответствует гигиеническим нормативам безопасности воды (статья 39) [17]. Так, например, современное водоснабже-

ние г. Минска осуществляется за счет как использования подземных вод, так и привлечения поверхностных вод из Вилейско-Минской водной системы.

Динамика забора воды за период 2000–2019 гг. указывает на наметившийся еще с 1992 г. нисходящий тренд ее извлечения из подземных и поверхностных источников (рис. 1). К 2019 г. общий водоотбор сократился на 28 %, или в абсолютном выражении на 520,4 млн м³ по отношению к 2000 г. Изъятие поверхностных вод уменьшилось на 31 %, а добыча подземных – на 25,5 %. Сокращение водоотбора было вызвано уменьшением потребности в воде по целям водопользования.

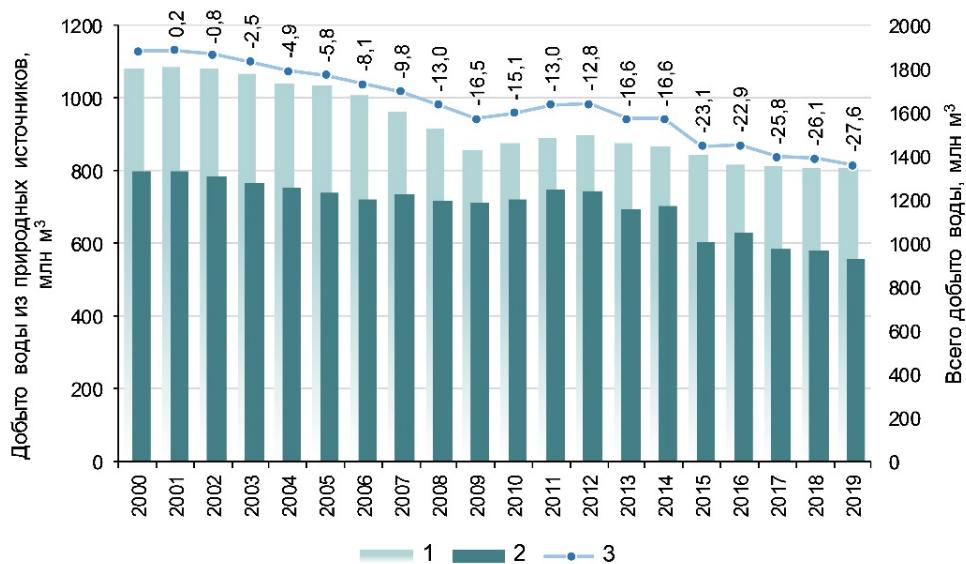


Рис. 1. Забор воды из природных источников для использования в Республике Беларусь:
1 – подземные воды; 2 – поверхностные воды; 3 – всего добыто воды (цифры над кривой – темпы прироста к базисному 2000 г.). Диаграмма составлена на основе данных ГВК Республики Беларусь [15, 16]

Fig. 1. Water abstraction from natural sources for use in the Republic of Belarus: 1 – groundwater; 2 – surface water; 3 – total water abstraction (numbers above the curve – growth rate to the base year 2000).
Diagram is based on data of the State water cadaster of the Republic of Belarus [15, 16]

С 1985 до 1995 г. в структуре общего водоотбора доминировали поверхностные воды (53–60 %), а затем до настоящего времени от 54 до 58 % добычи воды приходилось на подземные воды. Повышение доли добычи подземных вод обусловлено их более высоким качеством по сравнению с поверхностными водами и, как следствие, приоритетным использованием, прежде всего в хозяйственно-питьевом водоснабжении.

С 2016 г. в Республике Беларусь изменилась форма статистической отчетности 1-вода (Минприроды) «Отчет об использовании воды» и ряд показателей были выделены отдельно как самостоятельные цели использования воды: энергетические, лечебные, промышленные нужды. Это расширило существовавшую структуру и привело к перераспределению объемов и доли используемой воды между целями водопользования.

Несмотря на общую тенденцию снижения использования воды для всех целей по итогу к 2000 г., интенсивность трендов и их направление на определенных временных интервалах были различными (рис. 2).

Хозяйственно-питьевые нужды являются приоритетной целью в общей структуре водопользования, на которые расходовалось от 782 млн м³ (46 %) в 2000 г. до 528,7 млн м³ (43 %) в 2019 г. воды, что говорит о снижении водопотребления на 32 %. Достаточно крутым углом наклона линии нисходящего тренда указывает на общую сильную тенденцию сокращения водопользования, которая наиболее ярко проявилась с 2002 по 2009 г. (ускорение тренда) и подтверждается возрастанием цепных темпов прироста. С 2009 по 2019 г. скорость тренда замедляется, что выражается в уменьшении цепных темпов прироста. Кривая динамики становится практически горизонтальной, а цепные темпы прироста отражают колебательный характер использования воды, но с практически постоянно снижающимися темпами и в целом слабо выраженной нисходящей тенденцией. С 2016 по 2019 г. небольшие колебательные положительные и отрицательные цепные темпы прироста сохранились, а кривая динамики имела практически горизонтальное направление без выраженного движения.

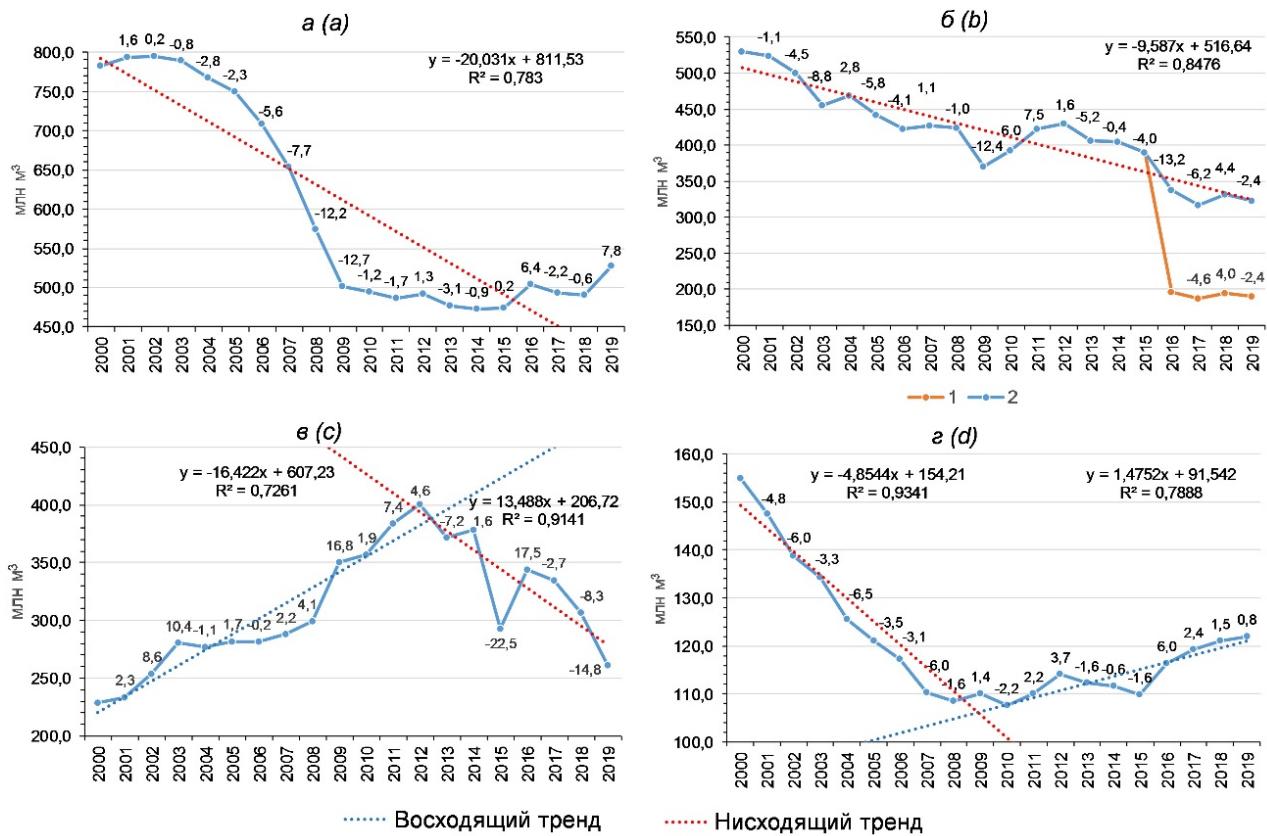


Рис. 2. Динамика использования воды в Республике Беларусь: а – хозяйственно-питьевые нужды; б – нужды промышленности; в – нужды рыболовства; г – нужды сельского хозяйства; 1 – только нужды промышленности; 2 – нужды промышленности, в том числе энергетические, производство напитков, бутилирование и прочие цели. Цифры над кривыми – цепные темпы прироста

Fig. 2. Dynamics of water use in the Republic of Belarus: a – domestic and drinking purposes; b – industrial water use; c – fishing purposes; d – agricultural purposes; 1 – industrial water use only; 2 – industrial water use, including electricity, beverage production, bottling and other purposes. Numbers above the curves – chain growth rate

Из общего объема воды, используемой для хозяйствственно-питьевых нужд в 2019 г., 91 % составляют подземные воды. Почти на 100 % они востребованы на лечебные нужды, для бутилирования и производства напитков, но по абсолютной величине (0,67–2,1 млн м³) существенно уступают хозяйствственно-питьевому водоснабжению (рис. 3).

Нужды промышленности до 2016 г. оставались второй приоритетной целью по объемам использования свежей воды, доля которой не существенно колебалась в пределах 28–31 %. К этому времени сокращение водопотребления в промышленности (с учетом бутилирования, производства напитков, энергетических и прочих целей) произошло на 39 %.

Кривая, отражающая использование воды на нужды промышленности, имеет колебательный характер, с сокращением и периодическим возрастанием, но при этом общий тренд сильный нисходящий (рис. 2). Линия тренда пробивается в противоположную сторону кривой использования воды (2009–2012 гг.), что указывает на смену тренда. Однако длительность положительного тренда была весьма незначительной и он снова сменился нисходящим. С 2016 г. объемы использования воды еще больше сократились, кривая приобрела практически горизонтальное направление без выраженной тенденции с ежегодными небольшими положительными и отрицательными колебаниями цепных темпов прироста.

В 2016–2019 гг. с учетом изменения статотчетности доля используемой в промышленности воды составляла 15–16 %, а вторым по объему водопотребления (21–24 %) стало рыболовство. При этом использование подземных вод в промышленности практически не изменялось, находясь на уровне 58,1–58,7 млн м³ в год, или 29–31 % от общего объема воды, востребованной на нужды промышленности.

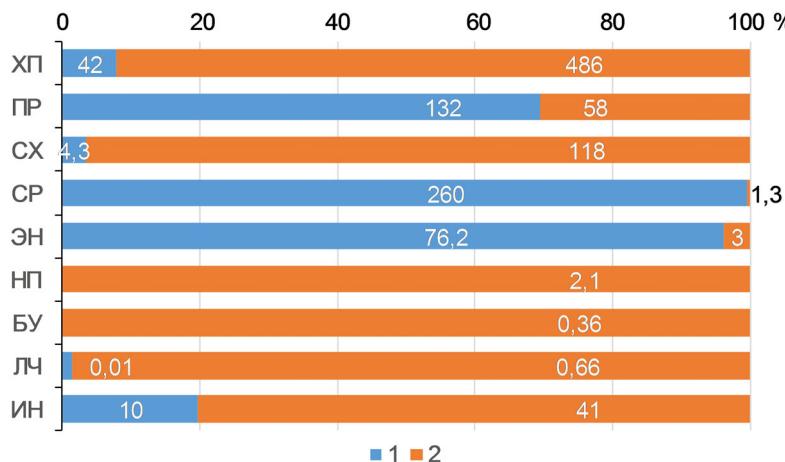


Рис. 3. Использование воды (млн м³) в Республике Беларусь в 2019 г.

Цели водопользования: ХП – хозяйственно-питьевые нужды; ПР – нужды промышленности; СХ – нужды сельского хозяйства (кроме рыбоводства); СР – нужды сельского хозяйства (только рыбоводство); ЭН – энергетические нужды; НП – для производства алкогольных, безалкогольных, слабоалкогольных напитков и пива (кроме бутилирования пресных и минеральных вод); БУ – бутилирование пресных и минеральных вод; ЛЧ – лечебные (курортные, оздоровительные) нужды;

ИН – прочие цели; 1 – использовано поверхностных вод; 2 – использовано подземных вод.
Диаграмма составлена на основе данных ГВК Республики Беларусь [15]

Fig. 3. Water use (mln m³) in the Republic of Belarus in 2019.

Water use purposes: ХП – domestic and drinking; ПР – industrial water use; СХ – agricultural (except fishing); СР – agricultural (only fishing); ЭН – electricity; НП – for the production of alcoholic, non-alcoholic, low-alcohol beverages and beer (except for bottling fresh and mineral waters); БУ – bottling of fresh and mineral waters; ЛЧ – medical (spa, wellness) purposes; ИН – other purposes; 1 – surface water use; 2 – groundwater use.

Diagram is based on data of the state water cadaster [15]

Значительная часть воды тратилась на нужды рыбоводства, где доля ее использования за все время колебалась от 13,5 до 28,0 %, что было обусловлено как сокращением использования поверхностных вод для других целей, так и увеличением собственного водопотребления, в отдельные годы достигавшего 350–400 млн м³. Несмотря на то что в 2019 г. по отношению к 2000 г. темп прироста составил +14 %, установлено два тренда: с 2000 по 2012 г. тренд восходящий, с замедлением с 2003 по 2007 г. цепных темпов прироста и возрастанием объема использования воды на 75 %; после 2012 г. тренд нисходящий, со снижением к 2019 г. водопотребления на 35 % (см. рис. 2).

На сельскохозяйственное орошение и водоснабжение расходовалось от 160 млн м³ (2000 г.) до 122 млн м³ (2019 г.) воды, что составляло 8–9 % от общего ее объема, предназначенного на все цели. До 98 % использованной в сельском хозяйстве воды приходится на подземные воды.

В динамике использования воды можно выделить два тренда с минимумом в 2010 г. (см. рис. 2). Первый тренд сильный нисходящий (линия тренда крутая). Цепные темпы прироста всегда отрицательные, периодически возрастающие и снижающиеся. Второй тренд с небольшим периодом сокращения цепных темпов прироста в целом имеет плавный восходящий характер и указывает на возрастание использования воды с небольшими темпами прироста.

За весь исследуемый период доля воды, используемой для орошения, в основном составляла от 3 до 5 %, лишь в редкие годы возрастающая до 6–13 % от всего объема ее использования на сельскохозяйственные нужды. Весьма незначительное использование воды на орошение (3–6 млн м³) предопределено в целом благоприятными климатическими условиями для ведения сельского хозяйства, его специализацией и малыми орошаемыми площадями, занимающими до 25 тыс. га, или 0,4 %, в составе пахотных земель [18].

Водообеспечение энергетических нужд на 96–97 % осуществляется за счет поверхностных водных источников. В 2016–2019 гг. доля расходования воды в энергетике составляла 6,2–6,7 % от общего объема воды, затраченного на все цели.

В течение 2016–2019 гг. прослеживается замедление темпов снижения потребления воды на все цели. Происходит периодическое повышение либо уменьшение использования воды, по итогу приведшее к возрастанию (на 4,8 %) ее использования на хозяйствственно питьевые нужды и сокращению в энергетике (−2,5 %) и промышленности (−3,1 %). Потребление воды на сельскохозяйственные

нужды проявляло тенденцию ежегодного роста в пределах 1–3 млн м³, что привело к увеличению расходования воды на 4,3 %.

В разрезе областей в структуре общего забора воды, за исключением отдельных лет в Брестской области (2009–2012 гг., 2014 г.), Гомельской области (2000–2002 гг.) и Минской области (2009–2011 гг., 2013 г.), доминируют подземные воды. Наибольшая их доля за 2016–2019 гг. приходится на Могилёвскую (75–77 %) и Гомельскую (63–71 %) области. В остальных областях доля подземных вод в общем заборе воды колеблется от 51 до 62 % (рис. 4).

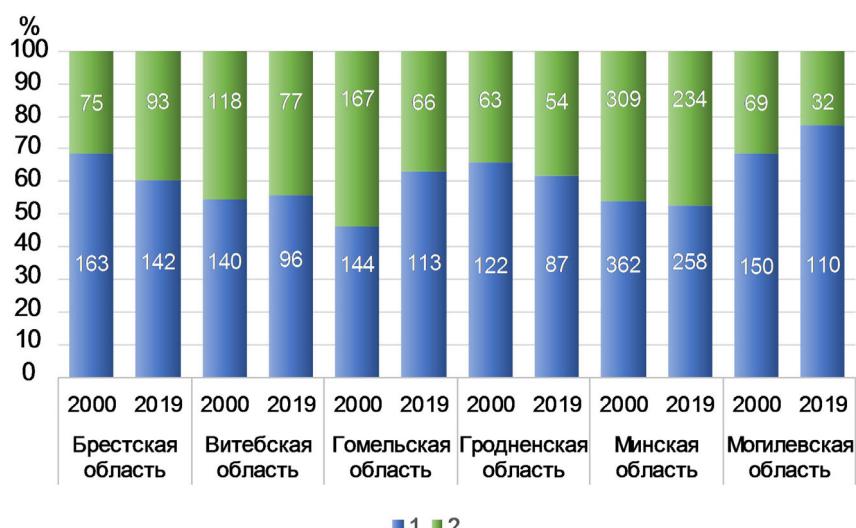


Рис. 4. Забор воды из природных источников для использования по областям, млн м³: 1 – подземные воды; 2 – поверхностные воды. Диаграмма составлена на основе данных ГВК Республики Беларусь [15, 16]

Fig. 4. Water abstraction from natural sources for use by regions, mln m³: 1 – groundwater; 2 – surface water. Diagram is based on data of the state water cadaster of the Republic of Belarus [15, 16]

Снижение общего забора воды на протяжении рассматриваемого периода времени наблюдалось во всех областях страны, но с видимыми различиями по объему.

Наибольшее сокращение произошло в Гомельской (–43 %) и Могилёвской (–35 %) областях, прежде всего, за счет более чем двукратного снижения изъятия поверхностных вод, а в Витебской области (–33 %) – в результате падения добычи подземных вод на 32 %.

Минимальное снижение общего забора воды (–1,0 %) относится к Брестской области. При этом изъятие поверхностных вод к 2019 г. по отношению к базовому увеличилось на 25 %, а добыча подземных вод уменьшилась на 13 %. В то же время с 2012 г. наблюдается тенденция постепенного сокращения изъятия поверхностных вод, которое к 2019 г. составило –44,6 %.

Характерные для страны в целом приоритеты водопользования среди областей заметно различаются (рис. 5).

В большинстве областей первой по приоритету целью водопользования выступают хозяйствственно-питьевые нужды, с долей использования воды от 33 % в Витебской области до 54 % в Минской области и г. Минске. И только в Брестской области большая часть воды (42 %) расходуется на рыбоводство, а хозяйствственно-питьевые нужды выступают вторым по значимости водопотребителем (28 %). При этом объем воды, используемой в рыбоводстве (83 млн м³), является вторым в стране после Минской области, превышая даже затраты воды на хозяйствственно-питьевые нужды во всех областях, кроме Минской области (включая г. Минск).

Второй расходной составляющей в структуре водопользования являются нужды промышленности в Гомельской (24 %), Гродненской (27 %) и Могилёвской (18 %) областях, нужды рыбоводства в Минской области (23 %), нужды энергетики в Витебской области (26 %) и хозяйствственно-питьевые нужды в Брестской области.

Практически во всех областях, кроме Витебской области, меньше всего воды (0,4–5,0 %), не считая использования воды для бутилирования и производства напитков, расходуется на энергетические нужды. В Витебской области минимальная доля водопотребления приходится на нужды рыбоводства, составляя около 7 % от общего объема использованной воды.

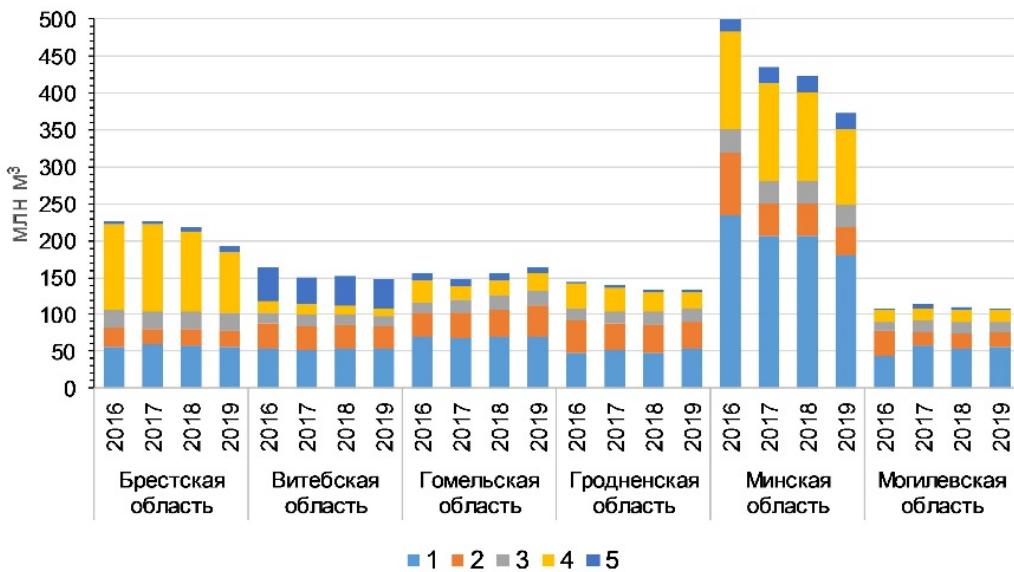


Рис. 5. Использование воды по областям: 1 – хозяйственно-питьевые нужды; 2 – нужды промышленности; 3 – нужды сельского хозяйства (кроме рыбоводства); 4 – нужды сельского хозяйства (только рыбоводство); 5 – энергетические нужды.
Diagram is based on data of the state water cadaster of the Republic of Belarus [15]

Fig. 5. Water use by regions: 1 – domestic and drinking purposes; 2 – industrial water use; 3 – agricultural purposes (except fishing); 4 – agricultural purposes (only fishing); 5 – electricity.
Diagram is based on data of the state water cadaster of the Republic of Belarus [15]

За 2016–2019 гг. среди областей более всего сократилось потребление воды на нужды рыбоводства. Наиболее значительно уменьшились объемы потребляемой воды в Брестской (33 млн м³), Минской (29 млн м³) и Гродненской (11 млн м³) областях. Это привело к снижению доли поверхностной воды в общем заборе воды, но не отразилось на структуре приоритетов водопотребления в стране в целом и в разрезе данных областей.

Таким образом, за период 2000–2019 гг. наибольшее сокращение использования воды произошло для хозяйствственно-питьевых и промышленных нужд. Его причины на том или ином временном этапе могли быть обусловлены следующими факторами [11, 14, 15, 19]:

– в хозяйствственно-питьевом водоснабжении: убылью населения, внедрением и расширением приборного учета использования воды в жилом секторе городов и развитием тенденций, направленных на сбережение воды в сфере жилищно-коммунального хозяйства;

– в промышленном водоснабжении: сокращением производственных мощностей водоемных предприятий, снижением доли водоемных производств в промышленности, внедрением водосберегающих технологий.

Для установления территориальных различий водопользования на уровне административных районов были проанализированы абсолютные и относительные показатели забора воды из водных объектов и объемов ее использования по целям водопользования.

Наибольший общий водоотбор (114,8 млн м³) в 2019 г. приходился на Вилейский район, а меньше всего воды (0,64 млн м³) было добыто и изъято в Краснопольском районе. В пределах этого диапазона значений районы по общему водоотбору объединены в 5 групп (см. табл. 1, рис. 6).

Большинство районов (102 из 118 районов) характеризуется незначительным и весьма незначительным забором воды (0,64–22,3 млн м³ в год), суммарная величина которого составляет 538,3 млн м³, или 39,5 % от общереспубликанской. Основная часть этого объема воды расходуется на хозяйствственно-питьевые и сельскохозяйственные цели, в меньшей степени – для удовлетворения нужд рыбоводства (Малоритский, Поставский, Чашникский, Житковичский, Петриковский и Осиповичский районы) и промышленности (Мозырский, Речицкий, Волковысский, Борисовский и Смолевичский районы).

На 9 районов с заметной величиной общего забора воды приходится 309,3 млн м³ в год, или около 23 % от общереспубликанской величины ее извлечения. В водоотборе незначительно преобладают (54 %) поверхностные воды, которые расходуются преимущественно на нужды рыбоводства (Ганцевичский, Лунинецкий, Пинский, Любанская, Солигорский и Червенский районы) и промышленности (Светлогорский, Солигорский, Брестский и Лунинецкий районы). Наиболее значительные объемы подземных вод (до 20 млн м³) обеспечивают хозяйствственно-питьевые нужды в районах с высокой чис-

ленностью населения (380–400 тыс. чел.), большая часть которого (90 %) концентрируется в областных центрах (г. Бресте и Витебске).

Наименее распространеными являются три группы с общим забором воды от средневысокого до весьма высокого, включающие от двух до трех административных районов. В них общий водоотбор составляет 143–224 млн м³ в год, или 11–17 % от общереспубликанского. Такие объемы воды востребованы, прежде всего, для обеспечения хозяйственно-питьевых, промышленных и энергетических нужд. Преимущественно это районы с административными центрами, имеющими развитую производственную и социальную инфраструктуру, высокую численность населения (г. Минск, Гомель, Гродно, Могилёв, Полоцк, Новополоцк). Часть отбираемой воды расходуется на рыбохозяйственные и сельскохозяйственные нужды. В Гродненском, Полоцком, Березовском и Вилейском районах от 54 до 97 % от общего забора воды принадлежит поверхностным водам.

По приоритету природного источника воды в большинстве районов (в 102 из 118 районов) добыча подземных вод преобладает над изъятием поверхностных. В 36 административных районах водоотбор осуществляется полностью за счет подземных вод с объемом добычи 104 млн м³, что составляет всего 13 % от общей добычи подземных вод в стране (рис. 6).

За счет поверхностных вод водоснабжение осуществляется в 82 районах. Лишь в 14 из них изъятие поверхностных вод преобладает над добычей подземных, но при этом их доля составляет 80,5 % (447 млн м³) от общего извлечения поверхностных вод в стране. В двух районах – Пинском и Чашникском – доли поверхностного и подземного водоотбора практически равнозначны.

Различия в приоритетах использования подземных вод по группам районов обусловлены целями водопользования и наличием источников, удовлетворяющих по количеству и качеству воды задачам водоснабжения. В большинстве районов за счет подземных вод на 70–100 % обеспечивается хозяйственно-питьевое и сельскохозяйственное водоснабжение. В промышленности доля подземных вод может составлять до 30 % от общего объема используемой воды. Отбор поверхностных вод по отношению к подземным возрастает в районах, где приоритетами водопользования выступают нужды рыбоводства, промышленности и энергетики.

Для выявления приоритетов по целям водопользования в пределах административных районов выполнено определение доли использования воды в общей структуре водопользования. В качестве приоритетной принята цель водопользования с заметным и выше уровнем использования воды от общего водопотребления (табл. 1). По данному показателю административные районы образуют три группы с одной, двумя и тремя приоритетными целями водопользования (см. рис. 6).

Группа с одним приоритетом водопользования представлена 19 районами и включает два целевых направления – хозяйственно-питьевые нужды и рыбоводство.

Приоритет хозяйственно-питьевого водоснабжения объединяет 12 районов, которые на 70–100 % обеспечиваются за счет подземных вод, для чего используется до 54–87 % воды от всего объема, предназначенного на различные нужды. Для девяти из них общий забор воды является весьма незначительным (0,64–3,5 млн м³) и незначительным (12–18 млн м³) и относится к территориям с численностью населения от 9,5–43 тыс. до 135–150 тыс. чел. соответственно. В четырех районах (Брестском, Витебском, Гомельском, Минском) доля общего забора воды увеличивается до заметного, средневысокого и весьма высокого, составляя от 33 млн до 110 млн м³. В целом величина водоизвлечения возрастает в районах, в которых прослеживаются процессы урбанизации и субурбанизации. Несмотря на то что центрами многих районов являются многофункциональные города: столица и областные центры (г. Минск, Гомель, Брест, Витебск), большие города – районные центры (г. Орша, Барановичи) высокая численность населения, проживающего в них, предопределяет приоритет (60–70 %) хозяйственно-питьевого водопользования, на которое расходуется от 0,3 до 170 млн м³ воды. Промышленные или сельскохозяйственные цели водоснабжения в таких районах характеризуются незначительной долей использования воды (8–18 %) от общего водопотребления.

В семи районах основным потребителем воды выступает рыбоводство. Общий забор воды в районах изменяется от незначительного (12–17 млн м³) до заметного (24–43 млн м³) и средневысокого (47 млн м³). При этом от 77 до 92 % отбора приходится на поверхностные источники. На нужды рыбоводства расходуется от 10 до 38 млн м³ или от 70 до 90 % воды от общего количества на все цели водопользования. Основными потребителями воды являются крупные рыбоводные предприятия, осуществляющие выращивание рыбы в аквакультуре (прудовое, садковое и индустриальное рыбоводство) в распоряжении которых находится до 23,5 тыс. га искусственных прудов (например, ОАО «Опытный рыбхоз «Селец» – 2359,5 га, ОАО «Рыбхоз «Локтыши» – 2448,2, ОАО «Рыбхоз «Новинки» – 967,45, ОАО «Опытный рыбхоз «Белое» – 1600, ОАО «Рыбхоз «Тремля» – 1436 га).

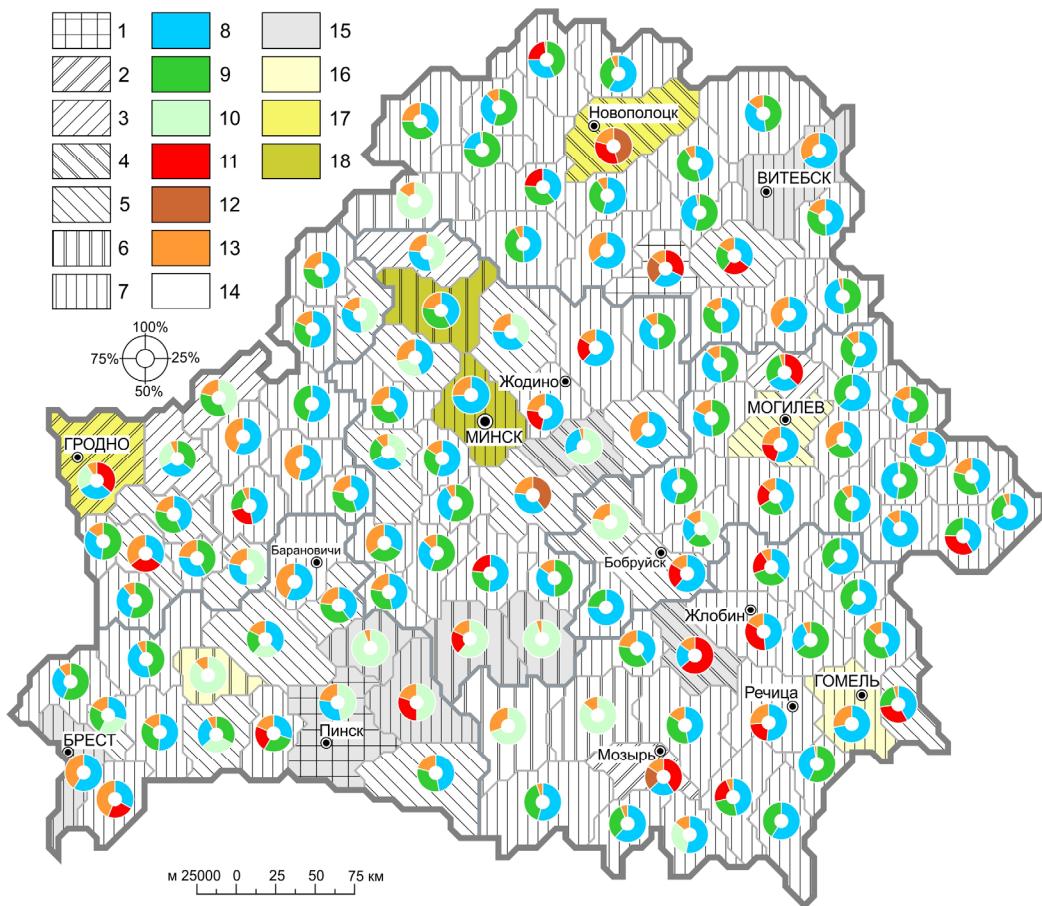


Рис. 6. Приоритеты использования воды по административным районам Республики Беларусь в 2019 г.

Приоритет природного источника воды, %: 1 – 47–53 % примерно равная добыча (изъятие) подземных (поверхностных) вод; 2 – 53–60% средневысокое изъятие поверхностных вод; 3 – 53–60% средневысокая добыча подземных вод; 4 – 60–80% высокое изъятие поверхностных вод; 5 – 60–80% высокая добыча подземных вод; 6 – 80–100% весьма высокое (или абсолютное) изъятие поверхностных вод; 7 – 80–100% весьма высокая (или абсолютная) добыча подземных вод.

Приоритетные цели водопользования: 8 – хозяйственно-питьевые нужды; 9 – нужды сельского хозяйства (кроме рыбоводства); 10 – нужды сельского хозяйства (только рыбоводство); 11 – нужды промышленности; 12 – энергетические нужды; 13 – все остальные цели.

Общий водоотбор, млн м³: 14 – 0,64–22 (незначительный и весьма незначительный); 15 – 23–44 (заметный); 16 – 47–50 (средневысокий); 17 – 71,3–71,8 (высокий); 18 – 110–115 (очень высокий)

Fig. 6. Water use priorities at district level of the Republic of Belarus in 2019.

Priority of a natural water source, %: 1 – 47–53 % approximately equal water groundwater abstraction (surface water intake); 2 – 53–60 % medium-high surface water intake; 3 – 53–60% medium-high groundwater abstraction; 4 – 60–80% high surface water intake; 5 – 60–80% high groundwater abstraction; 6 – 80–100% very high (or absolute) surface water intake; 7 – 80–100% very high (or absolute) groundwater abstraction; priority water use purposes: 8 – domestic and drinking; 9 – agricultural (except fishing); 10 – agricultural (only fishing); 11 – industrial water use; 12 – electricity; 13 – other purposes; total water abstraction, mln m³: 14 – 0,64–22 (insignificant and very insignificant); 15 – 23–44 (considerable); 16 – 47–50 (medium-high); 17 – 71,3–71,8 (high); 18 – 110–115 (very high)

Вторую группу составляют 78 районов, в которых приоритетными являются обе цели водопользования одновременно.

В 56 районах этой группы в качестве приоритетных целей выступают хозяйствственно-питьевые и сельскохозяйственные нужды. На каждую из них расходуется от 0,1 млн до 3,1 млн м³, или 30–76 % воды от общего объема ее использования на различные нужды. Разница по объему использования воды между двумя приоритетными направлениями, как правило, составляет 0,1–0,5 млн м³. Численность населения районов изменяется от 9,3 до 84,5 тыс. чел., но в основном (44 района) варьирует от 9,3 до 31 тыс. чел. Несмотря на наличие отдельных промышленных городов (Кобрин, Мосты, Вилейка, Клецк), районы преимущественно ориентированы на развитие сельского хозяйства. Имеющиеся про-

мышленные предприятия не относятся к высоководоемким, поэтому использование воды для промышленных целей составляет незначительную долю (1,5–18 %) от общего водопотребления.

За исключением Вилейского района, приоритетным источником водоснабжения для большинства районов на 90–100 % являются подземные воды, а общий забор воды обычно весьма незначителен – от 0,7 до 6,9 млн м³. В Вилейском районе весьма высокий объем водоотбора (115 млн м³) на 97 % обеспечивается поверхностными водами. Вода Вилейского водохранилища предназначена для увеличения обводнения р. Свислочи с целью водоснабжения г. Минска.

Две небольшие группы образуют районы, в которых приоритетными являются две цели водопользования: хозяйственно-питьевые и промышленные нужды, а также нужды рыбоводства и хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Приоритеты хозяйственно-питьевого и промышленного водопользования представлены в восьми районах. Как правило, они характеризуются достаточно высокой численностью населения (от 68 до 400 тыс. чел), с его наибольшей концентрацией в областных и районных центрах (г. Могилёв, Жлобин, Речица, Светлогорск, Волковыск, Борисов, Бобруйск), городах областного подчинения (г. Жодино). При этом районы имеют высокий промышленный потенциал, включающий в том числе высоко водонефтяные производства (химические, нефтехимические, металлургические, металло- и деревообработки, текстильные, пищевые).

За исключением Светлогорского района, приоритетным источником водоснабжения на 70–96 % служат подземные воды, а общий забор воды характеризуется незначительным объемом (9–22 млн м³), возрастая до средневысокого (50 млн м³) в Могилёвском районе (за счет г. Могилёва). В Светлогорском районе водоснабжение обеспечивается благодаря заметным объемам воды (25,2 тыс. м³), на 70 % изымаемых из поверхностных водных объектов, которые расходуются на нужды промышленности.

В девяти районах в качестве двух приоритетных целей водопользования выступают нужды рыболовства и хозяйственно-питьевого водоснабжения. В семи районах, кроме Пинского и Червенского, в общем объеме извлекаемой воды преобладают подземные воды. За счет более широкого привлечения поверхностных вод для нужд рыболовства доля добычи подземных вод составляет 55–73 %, а используются они преимущественно для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Она возрастает до 91–99 % в Наровлянском и Молодечненском районах, в которых хозяйственно-питьевое водоснабжение превалирует над рыболовственным водопользованием. При этом общий забор воды в этих районах является весьма незначительным (1,8 тыс. м³) и незначительным (15,3 тыс. м³) соответственно.

Водоснабжение Пинского района осуществляется за счет незначительного объема воды (22,7 тыс. м³) и примерно равного соотношения добываемых подземных и извлекаемых поверхностных вод. В Червенском районе заметный объем забора воды (37 тыс. м³) на 65 % обеспечивается поверхностными водами.

В единичных случаях представлены районы, в которых в качестве одновременно двух приоритетных целей водопользования выступают: энергетические и промышленные нужды, энергетические и хозяйственно-питьевые нужды и др.

В 21 административном районе приоритетными являются одновременно три цели водопользования. В большинстве случаев они представлены сочетанием хозяйственно-питьевых, сельскохозяйственных и промышленных нужд. Численность населения районов изменяется от 19,6 тыс. до 38,8 тыс. чел., возрастая в отдельных районах (Рогачёвский, Слуцкий) до 54–89 тыс. чел. Несмотря на наличие ряда промышленных и многофункциональных городов (г. Добруш, Рогачёв, Слуцк, Костюковичи), районы ориентированы на развитие сельского хозяйства.

Потребности в воде обеспечиваются преимущественно за счет весьма незначительного водоотбора, составляющего от 1,7 тыс. до 6,5 тыс. м³. Приоритетным источником водоснабжения являются подземные воды, доля которых в общем заборе воды изменяется от 58 до 100 %.

На каждую из трех приоритетных целей водопользования расходуется от 0,5 тыс. до 4,3 тыс. м³, или 20–50 % воды от общего ее объема, предназначенного на различные нужды. Разница по объему потребления воды между приоритетными направлениями в основном составляет 0,2–0,7 тыс. м³.

Для полного отображения всех анализируемых показателей водопользования нами предлагается унифицированная запись в виде псевдоформулы

$$Q_d / Q_i \text{ПЗ(ПВ)}^{15^{(91)}} \frac{ХП9^{(64)}}{ПР3^{(20)}} \text{ЭН}^{(7)} \text{СХ(СР)}^{(5)} \text{ИН}^{(4)} (\text{ЛЧ,БУ,НП}),$$

где Q_d – добыча (изъятие) воды, млн м³, Q_i – использование воды, млн м³; приоритет природного источника воды: ПЗ (ПВ) – подземные (поверхностные) воды; цели водопользования: ХП – хозяйственно-питьевые нужды, ПР – нужды промышленности, ЭН – энергетические нужды, СХ – нужды сельского хозяйства, кроме рыболовства (СР – нужды только рыболовства), ИН – прочие цели,

в том числе: ЛЧ – лечебные (курортные, оздоровительные) нужды, БУ – бутилирование пресных и минеральных вод, НП – для производства алкогольных, безалкогольных, слабоалкогольных напитков и пива (кроме бутилирования пресных и минеральных вод).

В начале формулы через косую черту с наклоном вправо записывается соотношение общего водоотбора и использования воды в млн м³. Далее, через запятую приводится аббревиатура приоритетного источника забора воды с указанием объема добычи (изъятия) воды в млн м³, а справа надстрочным числом в скобках его относительная величина в процентах. Затем записывается дробь, в числителе которой указывается первая по приоритету цель водопользования, доля которой составляет 60 % и более от общего объема использования воды на все нужды. В знаменателе указываются приоритетные цели использования воды, доля которых составляет более 20 %. При отсутствии соответствующих уровней использования воды в числителе или знаменателе ставится прочерк. Цели водопользования записываются принятыми аббревиатурами с числом, характеризующим объем использования воды в млн м³, справа от которого надстрочным числом в скобках показывают долю использования воды в процентах. Численные значения округляют до единиц целой части. В случае если значение меньше единицы, округление производится до десятых.

За дробью в порядке убывания следуют цели водопользования с незначительной долей использования воды (менее 20 %). Для них надстрочным числом в скобках указывается только доля использования воды. Цели, для которых доля использования воды составляет менее 1 %, записываются в строчку в скобках, через запятую без указания объема и доли использования воды. Цели водопользования с долей использования воды 0 % – не указываются.

Такая форма выражения комплекса показателей водопользования более компактна по сравнению с графическим отображением (в виде диаграмм, диаграмм-линий), особенно при анализе долговременных данных как в пределах одного, так и группы субъектов водопользования. Она позволяет наглядно представить структуру водопользования и проводить количественный сравнительный анализ использования воды в абсолютных и относительных величинах при беглом изучении набора данных (табл. 2).

Таблица 2. Пример унифицированной записи показателей водопользования

Table 2. Example of a unified record of water use indicators

Административный район	Форма записи показателей водопользования
Борисовский	$Q_{\text{д}} 17 / Q_{\text{и}} 14, \text{П}315^{(91)} \frac{\text{ХП9}^{(64)}}{\text{ПР3}^{(20)}} \text{ЭН}^{(7)} \text{СХ}^{(5)} \text{ИН}^{(4)} (\text{ЛЧ}, \text{БУ}, \text{НП})$
Жлобинский	$Q_{\text{д}} 10 / Q_{\text{и}} 9, \text{П}38^{(81)} \frac{—}{\text{ХП}^{(50)} \text{ПР3}^{(34)}} \text{СХ}^{(11)} \text{ИН}^{(3)} \text{ЭН}^{(2)} (\text{ЛЧ})$
Петриковский	$Q_{\text{д}} 15 / Q_{\text{и}} 15, \text{П}В13^{(86)} \frac{\text{CP13}^{(86)}}{—} \text{ХП}^{(7)} \text{СХ}^{(5)} \text{ИН}^{(1)} (\text{ПР}, \text{ЭН}, \text{ЛЧ})$
Барановичский	$Q_{\text{д}} 16 / Q_{\text{и}} 15, \text{П}314^{(86)} \frac{—}{\text{ХП8}^{(53)}} \text{CP}^{(15)} \text{СХ}^{(15)} \text{ИН}^{(10)} \text{ПР}^{(6)} \text{ЭН}^{(2)} (\text{ЛЧ}, \text{БУ}, \text{НП})$
Поставский	$Q_{\text{д}} 12 / Q_{\text{и}} 12, \text{П}В10^{(82)} \frac{\text{CP10}^{(83)}}{—} \text{ХП}^{(9)} \text{СХ}^{(4)} \text{ИН}^{(2)} \text{ПР}^{(1)} (\text{ЭН})$
Бобруйский	$Q_{\text{д}} 18 / Q_{\text{и}} 16, \text{П}313^{(75)} \frac{\text{ХП10}^{(61)}}{\text{ПР4}^{(23)}} \text{ИН}^{(7)} \text{ЭН}^{(6)} \text{СХ}^{(3)} \text{БУ}^{(1)} (\text{ЛЧ}, \text{НП})$

Из табл. 2 следует, что представленные районы характеризуются незначительным общим забором воды. В водоснабжении населения и экономики четырех районов высокая (75 %) и весьма высокая (81–91 %) доля отбираемой воды приходится на подземные воды, а из всех целей водопользования до 50–64 % воды расходуется на хозяйствственно-питьевые нужды. В трех из них второй приоритетной целью с заметной долей использования воды (20–34 %) являются нужды промышленности. Незначительные объемы воды обеспечивают энергетику, сельское хозяйство и прочие цели.

В Петриковском и Поставском районах приоритетным источником водоснабжения выступают поверхностные воды, доля которых составляет от 82 до 86 % от общего забора воды. Для этих же районов приоритетной целью водопользования является рыбоводство с долей расходования воды 83–86 % от общего объема ее использования на все цели. В незначительной степени вода востребована для хозяйствственно-питьевых (7–9 %), сельскохозяйственных, промышленных и иных нужд, на ряд из которых (энергетические, лечебные) приходится менее 1 % воды.

Заключение. Анализ динамики водоотбора в Республике Беларусь за период 2000–2019 гг. выявил общую тенденцию постоянного снижения забора воды, до 60 % которой добывается из подземных источников.

Из всех целей водопользования до 96 % использованной воды приходится на хозяйствственно-питьевые, рыбохозяйственные, промышленные, сельскохозяйственные и энергетические нужды. Более 30 % составило сокращение водопотребления на хозяйствственно-питьевые и промышленные нужды. В 2019 г. хозяйствственно-питьевые нужды оставались приоритетной целью в структуре водопользования страны, на которые расходовалось до 43 % от общего объема использованной воды.

Сокращение общего забора воды и приоритет использования подземных вод, характерные для страны в целом, прослеживаются на областном и районном уровнях.

Наибольшее сокращение забора воды за 2000–2019 гг. произошло в Гомельской (–43 %), Могилёвской (–35 %) и Витебской (–33 %) областях, в результате как существенного снижения изъятия поверхностных вод на 53–60 % в Гомельской и Могилёвской областях, так и падения добычи (–32 %) подземных вод в Витебской области. Минимальное снижение общего водоотбора (–1,0 %) относится к Брестской области, в основном в связи с сокращением на 13 % добычи подземных вод. За 2016–2019 гг. наибольшая доля добычи подземных вод приходится на Могилёвскую (75–77 %) и Гомельскую (63–71 %) области.

За исключением Брестской области, хозяйствственно-питьевые нужды являются основным потребителем воды с долей использования 33–54 %. Значительные объемы воды направлены на нужды рыбоводства в Брестской (83 млн м³) и Минской (104 млн м³) областях, составляя 42 и 23 % от общего использования воды соответственно. На нужды промышленности больше всего воды расходуется в Гомельской (42 млн м³) и Гродненской (37 млн м³) областях, в которых они выступают второй по приоритету целью водопользования. В Витебской области вторые по объему затраты воды приходятся на энергетические нужды, составляя 41 млн м³, или 52 % от общего использования воды на эти нужды в стране.

В 102 из 118 административных районов водоснабжение обеспечивается за счет незначительных и весьма незначительных объемов общего забора воды, не превышающего 23 млн м³ в год. В 36 административных районах водоотбор осуществляется полностью за счет подземных вод, с объемом добычи 104 млн м³, что составляет лишь 13 % от общей добычи подземных вод в стране.

Вместе с подземными водами в 82 районах вторым источником водоснабжения являются поверхностные воды. Только в 14 административных районах они имеют приоритетное значение, где используются для нужд рыбоводства, промышленности и энергетики.

В 78 районах приоритетными являются одновременно две цели водопользования. Наибольшее распространение получили хозяйствственно-питьевые и сельскохозяйственные нужды, обеспечиваемые подземными водами. В меньшей степени представлены районы с приоритетами использования воды на хозяйствственно-питьевые и промышленные нужды, а также рыбоводство и хозяйственно-питьевые нужды.

Приоритет одной цели водопользования установлен в 19 районах. В 12 из них основной целью использования воды являются хозяйствственно-питьевые нужды, на которые расходуется от 0,3 до 170 млн м³ воды, или 54–87 % от всего объема воды, предназначенного на все цели водопользования. В 7 районах приоритетом использования воды пользуются нужды рыбоводства, на которые расходуется от 70 до 90 % воды от общего количества на все цели водопользования.

Межрегиональные различия на уровне районов по объему забора воды и приоритетам водопользования обусловлены различной численностью населения, уровнем урбанизации, структурой и специализацией отраслей экономики, ее состоянием, наличием водоемных производств и их потребностью в воде, степенью внедрения водосберегающих технологий.

Полученные результаты исследования могут учитываться при разработке планов водопользования, направленных на оптимизацию и повышение эффективности использования водных ресурсов.

Список использованных источников

1. The United Nations World Water Development Report 2019: leaving no one behind [Electronic resource] / UNESCO, 2019. – 186 p. Available at: <https://en.unesco.org/themes/water-security/wwap/wwdr/2019> (accessed 3 July 2021).
2. Использование и охрана подземных вод Белоруссии / А. Х. Альтшуль [и др.] // Водные ресурсы Белоруссии и их охрана. – Минск : БГУ, 1982. – С. 11–31.
3. Белецкий, С. С. Современное использование подземных вод / С. С. Белецкий, И. М. Корниенко // Подземные воды Белоруссии, их использование и охрана. – Минск : БелНИГРИ, 1982. – С. 62–71.
4. Гудак, С. П. Обеспеченность народного хозяйства Белоруссии хозяйственно-питьевой водой / С. П. Гудак, [и др.] // Подземные воды Белоруссии, их использование и охрана. – Минск : БелНИГРИ, 1982. – С. 49–62.
5. Курило, К. А. Прогноз обеспеченности Беларуси запасами пресных подземных вод на перспективу / К. А. Курило // Природные ресурсы. – 2000. – № 4. – С. 34–46.
6. Лавров, А. П. Ресурсы и перспективы использования подземных вод БССР / А. П. Лавров, С. С. Белецкий // Режим, баланс и ресурсы подземных вод. – Минск : БелНИГРИ, 1974. – С. 40–56.
7. Широков, В. М. Водные ресурсы Белорусской ССР и их хозяйственное использование / В. М. Широков, А. И. Свистунов // Водные ресурсы Белоруссии и их охрана. – Минск : БГУ, 1982. – С. 4–11.
8. Пеньковская, А. М. Оценка влияния водопользования на поверхностные водные объекты Беларуси / А. М. Пеньковская, Е. Н. Попова, Е. Б. Петренко // Природные ресурсы. – 2018. – № 1. – С. 5–22.
9. Пеньковская, А. М. Водохозяйственное районирование и водохозяйственный баланс реки Вилии / А. М. Пеньковская, А. Г. Гриневич, И. А. Булак // Природные ресурсы. – 2011. – № 1. – С. 42–50.
10. Широков, В. М. Водохозяйственный баланс бассейна Днепра / В. М. Широков, А. М. Пеньковская, В. Н. Плужников. – Минск : БГУ, 1980. – 128 с.
11. Волчек, А. А. Использование водных ресурсов в Республике Беларусь / А. А. Волчек, Т. Е. Зубрицкая // Вестник БГТУ. Сер. : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2014. – № 2. – С. 29–33.
12. Волчек, А. А. Проблемы водопотребления в Республике Беларусь / А. А. Волчек, Т. Е. Зубрицкая // Вестник БГТУ. Сер. : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2016. – № 2. – С. 7–10.
13. Волчек, А. А. Использование водных ресурсов Беларуси и их дифференциация по основным водосборам / А. А. Волчек, Т. Е. Зубрицкая // Водное хозяйство России. – 2017. – № 5. – С. 16–33.
14. Волчек, А. А. Динамика распределения водных ресурсов Беларуси между секторами экономики / А. А. Волчек, Т. Е. Зубрицкая // Вестник БГТУ. Сер. : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 6–9.
15. Государственный водный кадастровый реестр. Водные ресурсы, их использование и качество (за 2019 год). – Минск : Минприроды Республики Беларусь ; Минздрав Республики Беларусь ; РУП «ЦНИИКИВР», 2019. – 221 с.
16. Статотчетность водопользователей» [Электронный ресурс] // Государственный водный кадастровый реестр. – Режим доступа: <http://178.172.161.32:8081/watstat/data/>. – Дата доступа: 07.07.2021.
17. Водный кодекс Республики Беларусь: 30 апреля 2014 г., № 149-З [Электронный ресурс] / принят Палатой представителей 2 апр. 2014 г. ; одобр. Советом Респ. 11 апр. 2014 г. // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=Hk1400149&p1=1>. – Дата доступа: 02.08.2021.
18. Сельское хозяйство Республики Беларусь : стат. сб. – Минск : Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2021. – 179 с.
19. Состояние природной среды Беларуси : экол. бюл. 2013 г. – Минск, 2014. – 364 с.

References

1. The United Nations World Water Development Report 2019: leaving no one behind [Electronic resource] / UNESCO, 2019, 186 p. Available at: <https://en.unesco.org/themes/water-security/wwap/wwdr/2019> (accessed July 3, 2021).
2. Al'tshul' A. H., Beleckij S. S., Gudak S. P., Usenko V. S. Ispol'zovanie i ohrana podzemnyh vod Belorussii [Use and protection of groundwater of Belarus]. *Vodnye resursy Belorussii i ih ohrana* = Water resources of Belarus and their protection. Minsk, 1982, pp. 11–31. (in Russian)
3. Beleckij S. S., Kornienko I. M. Sovremennoe ispol'zovanie podzemnyh vod [Modern use of groundwater]. *Podzemnye vody Belorussii, ih ispol'zovanie i ohrana* = Underground waters of Belarus, their use and protection. Minsk, 1982, pp. 62–71. (in Russian)
4. Gudak S. P., Ol'hovik V. A., Shtakovskaya A. Ya., e.a. Obespechennost' narodnogo hozyajstva Belorussii hozyajstvenno-pit'evoj vodoj [Provision of the national economy of Belarus with domestic and drinking water]. *Podzemnye vody Belorussii, ih ispol'zovanie i ohrana* = Underground waters of Belarus, their use and protection. Minsk, 1982, pp. 49–62. (in Russian)
5. Kurilo K. A. Prognoz obespechennosti Belarusi zapasami presnyh podzemnyh vod na perspektivu [Prognosis of the population supply with ground water in Belarus]. *Prirodnye resursy* = Natural Resources, 2000, no. 4, pp. 34–46. (in Russian)

6. Lavrov A. P., Beleckij S. S. *Resursy i perspektivi ispol'zovaniya podzemnyh vod BSSR* [Resources and prospects for the use of underground waters of the BSSR]. *Rezhim, balans i resursy podzemnyh vod = Groundwater regime, balance and resources*. Minsk, 1974, pp. 40–56. (in Russian)
7. Shirokov V. M., Svistunov A. I. *Vodnye resursy Belorusskoj SSR i ih hozyajstvennoe ispol'zovanie* [Water resources of the Belarusian SSR and their economic use]. *Vodnye resursy Belorussii i ih ohrana = Water resources of Belarus and their protection*. Minsk, 1982, pp. 4–11. (in Russian)
8. Pen'kovskaya A. M., Popova E. N., Petrenko E. B. *Ocenka vliyaniya vodopol'zovaniya na poverhnostnye vodnye ob'ekty Belarusi* [Assessment of the impact of water use on surface water objects of Belarus]. *Prirodnye resursy = Natural Resources*, 2018, no. 1, pp. 5–22. (in Russian)
9. Pen'kovskaya A. M., Grinevich A. G., Bulak I. A. *Vodoohozyajstvennoe rajonirovanie i vodoohozyajstvennyj balans reki Vili* [Water management districts and water economy balance of the River Viliya]. *Prirodnye resursy = Natural Resources*, 2011, no. 1, pp. 42–51. (in Russian)
10. Shirokov V. M., Pen'kovskaya A. M., Pluzhnikov V. N. *Vodoohozyajstvennyj balans bassejna Dnepra* [Water management balance of the Dnieper basin]. Minsk, 1980, 128 p. (in Russian)
11. Volchek A. A., Zubrickaya T. E. *Ispol'zovanie vodnyh resursov v Respublike Belarus'* [Use of water resources in Republic of Belarus]. *Vestnik BrGTU. Seriya: Vodoohozyajstvennoe stroitel'stvo, teploenergetika i geoekologiya = Bulletin of BrSTU. Series: Water management, heat power engineering and geoecology*, 2014, no. 2, pp. 29–33. (in Russian)
12. Volchek A. A., Zubrickaya T. E. *Problemy vodopotrebleniya v Respublike Belarus'* [Problems of water supply in Belarus]. *Vestnik BrGTU. Seriya: Vodoohozyajstvennoe stroitel'stvo, teploenergetika i geoekologiya = Bulletin of BrSTU. Series: Water management, heat power engineering and geoecology*, 2016, no. 2, pp. 7–10. (in Russian)
13. Volchek A. A., Zubrickaya T. E. *Ispol'zovanie vodnyh resursov Belarusi i ih differenciaciya po osnovnym vodosoboram* [Use of water resources of Belarus and their differentiation by main catchments]. *Vodnoe hozyajstvo Rossii = Water management of Russia*, 2017, no. 5, pp. 16–33. (in Russian)
14. Volchek A. A., Zubrickaya T. E. *Dinamika raspredeleniya vodnyh resursov Belarusi mezhdu sektorami ekonomiki* [Dynamics of distribution of water resources of Belarus between sectors of economy]. *Vestnik BrGTU. Seriya: Vodoohozyajstvennoe stroitel'stvo, teploenergetika i geoekologiya = Bulletin of BrSTU. Series: Water management, heat power engineering and geoecology*, 2019, no. 2, pp. 6–9. (in Russian)
15. *Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Vodnye resursy, ih ispol'zovanie i kachestvo (2019)* [State water cadaster. Water resources, their use and quality]. Minsk, 2019, 221 p. (in Russian)
16. *Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Razdel «Statotchetnost' vodopol'zovatelej»* [State water cadaster. Section 'Statistics of water users']. Available at: <http://178.172.161.32:8081/watstat/data/> (accessed 7 July 2021). (in Russian)
17. *Vodnyj kodeks Respubliki Belarus'* [Water Code of the Republic of Belarus]. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=Hk1400149&p1=1> (accessed 2 August 2021). (in Russian)
18. *Sel'skoe hozyajstvo Respubliki Belarus': stat. sbornik* [Agriculture of the Republic of Belarus: statistical yearbook]. Minsk, 2021, 179 p. (in Russian)
19. *Sostoyanie prirodnoj sredy Belarusi: ekol. byul.*, 2013. [State of the natural environment of Belarus: environmental bulletin, 2013]. Minsk, 2014, 364 p. (in Russian)

Информация об авторе

Шершнёв Олег Владимирович – кандидат географических наук, доцент, Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины (ул. Советская, 104, 246019, г. Гомель, Беларусь). E-mail: natstudy@yandex.ru

Information about the author

Oleg V. Shershnyov – Ph. D. (Geography), Docent; Associate professor, Francisk Skorina Gomel State University (104, Sovetskaya Str., 246019, Gomel, Belarus). E-mail: natstudy@yandex.ru

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2021-2-31-37>

УДК 553.97

Поступила в редакцию 01.11.2021

Received 01.11.2021

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАРУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ РЕАБИЛИТАЦИИ

В. А. Ракович

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Приведены результаты оценки воздействия выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений всех административных районов Брестской области на окружающую среду, включая их гидрологический режим и прилегающих территорий, загрязнение поверхностных и подземных вод продуктами разложения торфа, эмиссию диоксида углерода в атмосферу и изменение ландшафтов.

Обоснованы направления использования выработанных торфяных месторождений с учетом их природно-генетических особенностей, современного состояния, интересов и перспектив развития административных районов, экономического и экологического эффектов использования.

Выявлены сельскохозяйственные земли на выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождениях непригодные по своим природно-генетическим свойствам для возделывания сельскохозяйственных культур. Установлены причины непригодности таких земель для сельского хозяйства: подтопление, подстилание сапропелем, мергелем и другими карбонатными породами. Обнаружено, что 3795,5 га сельскохозяйственных земель на выработанных торфяных месторождениях непригодны для этой цели и подлежат экологической реабилитации.

Ключевые слова: выбывшее из промышленной эксплуатации торфяное месторождение; воздействие на окружающую среду; направление использования; экологическая реабилитация; Брестская область.

Для цитирования. Ракович В. А. Экологические последствия промышленной эксплуатации нарушенных торфяных месторождений Брестской области и возможности их реабилитации // Природопользование. – 2021. – № 2. – С. 31–37.

ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF THE INDUSTRIAL OPERATION OF THE DISTURBED PEAT DEPOSITS OF BREST REGION AND THE POSSIBILITIES OF THEIR REHABILITATION

V. A. Rakovitch

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. The results of assessing the impact of peat deposits retired from industrial exploitation of all administrative districts of the Brest region on the environment, including their hydrological regime and adjacent territories, pollution of surface and ground waters with products of peat decomposition, emission of carbon dioxide into the atmosphere and changes in landscapes are presented.

The directions of the use of depleted peat deposits are substantiated, taking into account their natural and genetic characteristics, the current state, interests and prospects for the development of administrative regions, the economic and environmental effects of use.

Agricultural lands on peat deposits retired from industrial exploitation, unsuitable in their natural and genetic properties for the cultivation of agricultural crops, have been revealed. The reasons for the unsuitability of such lands for agriculture have been established: flooding, underlining with sapropel, marl and other carbonate rocks. It was found that 3,795.5 hectares of agricultural land on depleted peat deposits are unsuitable for this purpose and have to be environmental rehabilitated.

Keywords: peat deposit retired from industrial exploitation; environmental impact; direction of use; ecological rehabilitation; Brest Region.

For citation. Rakovitch V. A. Environmental consequences of the industrial operation of the disturbed peat deposits of Brest region and the possibilities of their rehabilitation. *Nature Management*, 2021, no. 2, pp. 31–37.

Введение. В Брестской области выработанные торфяные месторождения и участки используются в основном в сельском и лесном хозяйстве. Однако не всегда инвестиции в сельскохозяйственную рекультивацию дают ожидаемый экономический эффект вследствие того, что не все торфяные месторождения по своим природным характеристикам (геоморфологическим, геологическим, гидрологическим, агрохимическим и др.) пригодны для создания на них сельскохозяйственных земель [1]. Неэффективное использование выработанных торфяных месторождений в сельском хозяйстве приводит к их зарастанию древесно-кустарниковой растительностью, и такие территории в Брестской области уже появились. Помимо экономических потерь от недобора сельскохозяйственной продукции, зарастание сельскохозяйственных земель на выработанных торфяных месторождениях древесно-кустарниковой растительностью усиливает степень их пожароопасности.

Существующая многолетняя практика использования выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений не всегда соответствует современным методам хозяйствования и природопользования, поэтому отдельные территории нуждаются в пересмотре направления использования с учетом новых научных знаний. Сложившаяся ситуация объясняется тем, что решения о направлении использования выработанных торфяных месторождений принимались на стадии проектирования промышленной разработки без достаточного научного обоснования.

Цель исследования – обосновать наиболее целесообразные направления использования выработанных торфяных месторождения или их участков с учетом их природно-генетических особенностей, современного состояния, интересов и перспектив развития административных районов, экономического и экологического эффектов использования.

Материалы и методы исследования. В качестве исходных материалов для исследований использованы кадастровый справочник «Торфяной фонд Белорусской ССР», «Схема рационального использования и охраны торфяных ресурсов БССР на период до 2010 года», материалы геологических разведок и проекты на разработку торфяных месторождений, картосхемы особо охраняемых природных территорий, материалы космической съемки, нормативные документы, данные, полученные от землестроительной службы районов. Современное состояние выработанных торфяных месторождений изучено полевыми изысканиями.

При научном обосновании рекомендаций по изменению направлений использования выработанных торфяных месторождений дана оценка их воздействия на окружающую среду, которая осуществлялась на основе ряда научных разработок [2–6], а также оценка продуктивности сенокосов.

Воздействие каждого выработанного торфяного месторождения на окружающую среду оценивали по таким показателям, как: площадь, на которую распространяется осушающее действие, влияние на подземные воды и водоприемники, пожароопасность, эмиссия диоксида углерода в атмосферу, преобразование ландшафта.

Для оценки воздействия выработанных торфяных месторождений, в том числе и сельскохозяйственных угодий, на поверхностные и подземные воды взяты минимальные величины годового стока растворенных веществ, равные 0,45 т/га органических и 0,55 т/га минеральных веществ [5–6], с учетом того, что эти территории используются для возделывания луговых трав.

Остаточный слой торфа выработанных торфяных месторождений минерализуется под воздействием микроорганизмов с образованием диоксида углерода, поступающего в атмосферу. При оценке этого вида воздействия выработанных торфяных месторождений на окружающую среду использован национальный коэффициент эмиссии диоксида углерода, равный 7,7 т/га, обоснованный для торфяных почв, находящихся под пластом многолетних трав [2, 4], поскольку на таких территориях рекомендуется создавать только луговые угодья, а для лесных земель – коэффициент эмиссии, равный 1,1 т/га [4].

Для осущенных зон торфяных месторождений, прилегающих непосредственно к выработанным участкам, принят коэффициент эмиссии, равный 5,0 т/га, потому что в этих зонах уровни грунтовых вод постепенно повышаются по мере удаления от выработанных участков, что снижает интенсивность минерализации торфа в осущенном слое.

Результаты исследований. В Брестской области выявлено 3795,5 га сельскохозяйственных земель на выработанных торфяных месторождениях, направление использования которых не соответствует их природно-генетическим свойствам: в Барановичском – 99 га, Березовском – 88, Брестском – 297, Ганцевичском – 35, Дрогичинском – 55, Жабинковском – 1806, Ивановском – 166,5, Ивацевичском – 214, Каменецком – 111, Кобринском – 68, Ляховичском – 14, Малоритском – 95, Пинском – 198, Пружанском – 315, Столинском – 234 га. В Лунинецком районе такие земли переведены в другие категории и виды и в составе сельскохозяйственных земель отсутствуют (табл. 1).

Таблица 1. Распределение площадей выработанных торфяных месторождений по административным районам Брестской области, га

Table 1. Distribution of the areas of developed peat deposits by administrative districts of the Brest region, ha

Административный район	Площадь в нулевой границе залежки	Площадь выработанных месторождений	Выработанные торфяные месторождения, переданные сельскому хозяйству			Сельскохозяйственные земли несельскохозяйственного назначения		Переданы для других целей	
			всего	пригодные	непригодные	под древесно-кустарниковой растительностью	под болотом	лесному хозяйству	под водоем
Барановичский	11 647	5078	570	471	99	447,5	107	713,5	25
Берёзовский	17 127	3232	88	—	88	—	367	2231	66
Брестский	2602	881	758,7	461,7	297	—	—	33	84,3
Ганцевичский	26 744	1522	451	416	35	—	—	487	—
Дрогичинский	13 625	1852	55	—	55	—	172	1459	166
Жабинковский	3688	2112	1826	20	1806	—	—	5	—
Ивановский	10 088	1804	965,5	799	166,5	22,7	362,5	—	70
Ивацевичский	37 151	3420	355	141	214	—	195	2709	141
Каменецкий	7383	2200	1125,2	1014,2	111	380	337,1	263	94,7
Кобринский	20 947	2254	529	461	68	—	253	315	260
Лунинецкий	30 745	1018	213	213	—	—	46	153	325
Ляховичский	21 498	3163	94	80	14	—	165	2548	25
Малоритский	4725	817	422	327	95	51	39,2	140	159,8
Пинский	39 395	2800	839	641	198	87	204	7	414
Пружанский	28 477	2070	918	603	315	92	229	260	405
Столинский	57 120	2353	334	100	234	—	—	1161	136
<i>Итого:</i>	<i>332 962</i>	<i>36 576</i>	<i>9543,4</i>	<i>5747,9</i>	<i>3795,5</i>	<i>1080,2</i>	<i>2476,8</i>	<i>12 484,5</i>	<i>2371,8</i>

Таблица 2. Воздействие выработанных торфяных месторождений Брестской области на окружающую среду**Table 2. Impact of the developed peat deposits of the Brest Region on the environment**

Административный район	Площадь, га			Эмиссия диоксида углерода в атмосферу, т/год		Геохимический сток, т/год	
	в нулевых границах залежи	выработанной части	воздействия на гидрологический режим месторождения и прилегающей территории	с выработанной части	с подсущенных зон, прилегающих к выработанным участкам	органических веществ	минеральных веществ
Барановичский	11 647	5078	5792	9577	2328	2352	2869
Берёзовский	17 127	3232	3732	3280	413	1639	1996
Брестский	2602	881	1099	3920	808	391	478
Ганцевичский	26 744	1522	2134	4524	959	793	966
Дрогичинский	13 625	1852	1851	1630	203	817	1086
Жабинковский	3688	2112	2116	2224	127	1044	1272
Ивановский	10 088	1804	2300	7270	1223	866	1056
Ивацевичский	37 151	3420	4317	4619	911	1779	2168
Каменецкий	7383	2200	2097	8640	999	872	1062
Кобринский	20 947	2254	2072	4958	720	913	1111
Лунинецкий	30 745	1018	975	3902	778	333	407
Ляховичский	21 498	3163	3860	3929	559	1717	2090
Малоритский	4725	817	649	2681	552	230	279
Пинский	39 395	2800	2457	6460	867	1050	1281
Пружанский	28 477	2070	1818	6656	1187	714	869
Столинский	57 120	2353	3083	4166	829	1210	1475
<i>Итого:</i>	332 962	36 576	40 352	74 507	13 463	16 720	20 465

Остальные сельскохозяйственные земли на выработанных торфяных месторождениях используются в качестве сенокосов. Общая площадь сенокосов, подлежащих улучшению, составляет 5747,9 га, в том числе: в Барановичском – 471 га, Брестском – 461,7, Ганцевичском – 416, Жабинковском – 20, Ивановском – 799, Ивацевичском – 141, Каменецком – 1014,2, Кобринском – 461, Лунинецком – 213, Ляховичском – 80, Малоритском – 327, Пинском – 641, Пружанском – 603, Столинском – 100 га – всего 3795,5 га. В Берёзовском и Дрогичинском районах сенокосов нет, так как все сельскохозяйственные земли на выработанных торфяных месторождениях переведены в лесные земли, земли под повторное заболачивание и под водоемы.

Осушение и разработка торфяных месторождений оказывают сильное воздействие на окружающую среду, и если после завершения добычи торфа выработанные торфяные месторождения остаются в осущенном состоянии, то независимо от направлений их использования – сельскохозяйственного, лесохозяйственного – продолжают оказывать негативное воздействие на компоненты природной среды: поверхностные и подземные воды, водоприемники, атмосферу, ландшафты и биологическое разнообразие.

В результате добычи торфа природные и природно-хозяйственные функции торфяных месторождений коренным образом изменяются, либо полностью прекращаются [2].

Вместо аккумуляции торфа, энергии, биогенных элементов и воды, происходят процессы обезвоживания торфяной залежи, разложения и минерализации органического вещества торфа с геохимическим выносом биогенных элементов за пределы торфяных месторождений.

Болотные ландшафты прекращают свое существование, а вместо них образуются антропогенно нарушенные, деградированные и пожароопасные территории. В связи с уничтожением местообитаний уничтожаются или вытесняются болотные и околоводные виды растений и животных.

Вместо перехода биогенных элементов из биологического круговорота в геологический происходит процесс обратного перехода биогенных элементов из геологического круговорота вещества в биологический, и этот процесс продолжается до полной минерализации остаточного слоя торфа.

Вместо обогащения атмосферы кислородом и очистки ее от избытка диоксида углерода происходят изъятие из атмосферы кислорода на биохимическое окисление остаточного слоя торфа и эмиссия в нее диоксида углерода в результате минерализации органического вещества.

Формирующийся на выработанных торфяных месторождениях гидрологический режим не обеспечивает выполнение их естественной водорегулирующей функции, поэтому она существенно ослабляется или полностью утрачивается, а осушающее действие сохранившихся каналов продолжает распространяться на прилегающие территории. Размеры зон влияния зависят от типа торфяного месторождения, его положения в рельефе, характера и гранулометрического состава грунтов, подстилающих остаточную торфяную залежь, и прилегающих территорий.

Осущеные слои остаточных торфяных залежей являются теплоизоляторами, вследствие чего усиливается негативное влияние атмосферных засух и заморозков, поэтому микроклимат как на выработанных торфяных месторождениях, так и на прилегающих к ним территориях становится более контрастным.

Как известно, все выработанные торфяные месторождения в осущенном состоянии являются пожароопасными территориями независимо от направлений их использования, причем наиболее опасны торфяные месторождения в заброшенном состоянии. Основной причиной возникновения пожаров является человеческий фактор и лишь в единичных случаях – природные явления, например, удар молнии или самовозгорание неиспользованных штабелей торфа. Факторами, влияющими на вероятность возникновения пожаров на выработанных торфяных месторождениях, являются: продолжительность периодов без дождей, уровни грунтовых вод, влажность и температура воздуха, ботанический состав и степень разложения торфа, а также степень покрытия поверхности растениями.

В табл. 2 представлены данные о воздействии выработанных торфяных месторождений Брестской области на окружающую среду, в том числе их значительное осушающее воздействие на прилегающие территории. Так, общая площадь выработанных торфяных месторождений составляет 36 576 га, а осушающее действие каналов распространяется на площадь 40 352 га, т. е. общая осущеная площадь больше суммарной площади выработанной части всех торфяных месторождений области на 10,3 %. Это объясняется тем, что прилегающие к выработанным торфяным месторождениям суходольные территории в Брестской области сложены рыхлыми минеральными породами, в основном песками и в меньшей степени супесями.

Суммарное поступление водорастворимых веществ в гидрографическую сеть (каналы, реки озера, водохранилища) с выработанных участков болот Брестской области составляет 37 185 т в год, в том числе 16 720 т органических и 20 465 т минеральных веществ (см. табл. 2). При поступлении в водоприемники эти довольно значительные количества разнообразных веществ изменяют химический состав вод и повышают их евтрофиацию, что в конечном итоге негативно сказывается на функционировании экосистем рек и водоемов.

По Брестской области суммарное количество диоксида углерода, выделяемого выработанными торфяными месторождениями, ежегодно составляет 87 970 т, в том числе 74 507 т с выработанных участков и 13 463 т с осущеных, но невыработанных зон торфяных месторождений, прилегающих

к выработанным участкам (см. табл. 2). Кроме этого, диоксид углерода выделяется в больших количествах при торфяных пожарах, однако этот вид воздействия выработанных торфяных месторождений не учитывался, ввиду случайности возникновения на них пожаров.

Ландшафты с выработанными торфяными месторождениями находятся в постоянном развитии. Наиболее динамичными компонентами таких ландшафтов являются глубина остаточного слоя торфа, уровни грунтовых вод и растительный покров.

На выработанных торфяных месторождениях, используемых в сельском и лесном хозяйстве, уменьшение глубины остаточного слоя торфа происходит ежегодно в связи с процессами минерализации органического вещества, а иногда и ветровой эрозии. У торфяных почв, используемых для возделывания многолетних трав, ежегодное уменьшение торфяного слоя составляет 1 см в год, если мощность торфяного слоя более 0,3 м, и 0,7 см в год, если мощность торфяного слоя менее 0,3 м [2, 4]. Постепенно на таких полях формируется мозаичная структура почвенного покрова, что ведет к неравномерности обеспечения растений питательными веществами и водой, а в конечном итоге – к снижению урожаев.

В перспективе, в течение ближайших 30–40 лет, произойдет перемешивание оставшейся части торфяного слоя с подстилающими грунтами, почвы полностью утратят торфяной слой и трансформируются в категории органоминеральных и постторфяных минеральных почв [2]. Многие из таких земель будет экономически невыгодно использовать в сельском хозяйстве из-за падения урожаев еще до полного разрушения торфяного слоя, поэтому уже в ближайшее время отдельные участки начнут выводиться из-под сельскохозяйственного использования, когда бонитет почв уменьшится до 23 баллов и ниже. Наиболее вероятно, что такие участки будут переведены в лесные земли с посадкой лесных пород или с повторным заболачиванием территорий. Таким образом, в недалекой перспективе сельскохозяйственные земли на выработанных торфяных месторождениях трансформируются в другие земли по экономическим причинам.

Материалы космической съемки и полевые обследования показывают, что неиспользуемые площади выработанных торфяных месторождений Брестской области либо заросли древесно-кустарниковой растительностью, либо избыточно увлажнены. Это означает, что начался процесс трансформации луговых угодий в лугово-кустарниковые. Зарастание луговых угодий кустарником связано с многолетними периодами времени, в течение которых не производилось выкашивание или сведение кустарника другими способами. В перспективе эти участки трансформируются в лесные угодья, если кустарник не будет сведен, а луговые угодья не будут улучшены.

Гидрологический режим таких ландшафтов имеет тенденцию к изменению в сторону подъема уровней грунтовых вод в связи с зарастанием каналов осушительной сети и их обмелением вследствие понижения поверхности торфяной почвы. Как правило, это происходит на землях, используемых под пастбища, лесные угодья, а также на заброшенных участках выработанных торфяных месторождений.

Следовательно, ландшафты с выработанными торфяными месторождениями, находящимися в осущенном состоянии, медленно будут преобразовываться в лесные или лесоболотные экосистемы независимо от характера использования этих территорий.

Коренное или поверхностное улучшение сенокосов на выработанных торфяных месторождениях позволит поднять их продуктивность с 7–10 до 32–34 ц/га кормовых единиц, что даст существенный ежегодный экономический эффект, величина которого в каждом хозяйстве будет зависеть от многих причин: обеспеченности основными средствами, себестоимости продукции, земельной ренты и др. Кроме прямого агрономического и экономического эффекта будет иметь место экономия органического вещества почвы за счет увеличения поступлений в нее свежего органического вещества и формирования мощной дернины, ослабляющей влияние внешней среды на торфяной слой, а также экономия азота почвы и удобрений за счет введения бобовых компонентов в состав травосмесей. Все это будет способствовать увеличению продолжительности сельскохозяйственного использования земель на выработанных торфяных месторождениях и получению на них сельскохозяйственной продукции на площади 5747,9 га.

Заключение. Выполнена оценка современного состояния и использования всех выработанных торфяных месторождений Брестской области и научно обоснованы рекомендации по направлениям их использования.

Для повышения продуктивности сенокосов на выработанных торфяных месторождениях рекомендуется выполнить их коренное или поверхностное улучшение на площади 5747,9 га.

Выявлены сельскохозяйственные земли, расположенные на выработанных торфяных месторождениях, непригодные для возделывания сельскохозяйственных культур, на площади 3795,5 га. Для таких территорий рекомендуется изменить направление использования с сельскохозяйственного на природоохранное с проведением мероприятий по экологической реабилитации. Это позволит прекратить нерациональное использование финансовых средств, семян, удобрений, горюче-смазочных материалов и т. д. на сельскохозяйственное использование непригодных для этого земель.

Ожидаемый экологический эффект по всем административным районам Брестской области заключается в прекращении ежегодной эмиссии диоксида углерода в атмосферу в количестве 4175 т

в год и в возобновлении поглощения CO₂ из атмосферы в количестве 2676 т в год. Уменьшится поступление с выработанных торфяных месторождений в поверхностные и подземные воды ежегодно не менее 1708 т органических и 2088 т минеральных веществ.

На выработанных торфяных месторождениях после экологической реабилитации произойдет возобновление болотных ландшафтов и местообитаний болотного биологического разнообразия, восстановятся и вырастут леса, улучшится микроклимат, снизится пожароопасность территорий.

Естественно, что реализация рекомендаций может быть растянута во времени в связи с разной экономической ситуацией в хозяйствах с выработанными торфяными месторождениями, но их выполнение в полном объеме обеспечит выход на указанные экологические показатели.

Исследования выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений Брестской области выполнены в ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси» в соответствии с приказом Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь от 25.03.2011 № 79 и Государственной научно-технической программой «Природные ресурсы и окружающая среда».

Список использованных источников

1. Причины низкой продуктивности сельскохозяйственных земель на выработанных торфяных месторождениях / Н. Н. Бамбалов [и др.] // Земля Беларуси. – 2010. – Вып. 4. – С. 30–37.
2. Бамбалов, Н. Н. Роль болот в биосфере // Н. Н. Бамбалов, В. А. Ракович. – Минск, 2005. – 208 с.
3. Особенности формирования стока и зон влияния осушенных и выработанных участков болот на прилегающие территории / Тановицкая Н. И. [и др.] // Природопользование. – 2009. – Вып. 16. – С. 95–100.
4. Оценка воздействия выработанных торфяных месторождений на окружающую среду / Н. Н. Бамбалов [и др.] // Природопользование. – 2009. – Вып. 15. – С. 108–115.
5. Крайко, В. М. Состав торфяно-болотных вод и методы их очистки при освоении торфяных месторождений: дис. ... канд. техн. наук / В. М. Крайко. – Минск, 1985.
6. Лиштван, И. И. Мелиорация торфяных месторождений и качество поверхностных вод / И. И. Лиштван, В. М. Крайко // Современные проблемы изучения, использования и охраны природных комплексов Полесья : тез. докл. Междунар. науч. конф. – Минск, 1998. – С. 114.

References

1. Bambalov N. N., Matusevich L. V., Meerovsky A. S. *Prichiny nizkoy produktivnosti selskokhozyaystvennykh zemel na vyrabotannykh torfyanykh mestorozhdeniyakh* [The Reasons of low productivity of agricultural areas on the peat deposits after peat cutting]. *Zemlya Belarusi = The Earth of Belarus*. 2010, issue 4, pp. 30–37 (in Russian)
2. Bambalov N. N., Rakovich V. A. *Rol' bolot v biosfere* [The role of wetlands in the biosphere]. Minsk, 2005, 208 p. (in Russian)
3. Tanovitskaya N. I., Shevtsov N. V., Sokolovsky G. V., Kozulin A. V. *Osobennosti formirovaniya stoka i zon vliyaniya osushennykh i vyrabotannykh uchastkov bolot na prilegayushchiye territorii* [Features of formation of runoff and zones of influence of drained and developed areas of wetlands on adjacent territories]. *Prirodopolzovanie = Nature Management*, 2009, issue 16, pp. 95–100 (in Russian)
4. Bambalov N. N., Rakovich V. A., Tanovitskaya N. I., ea. *Osobennosti formirovaniya stoka i zon vliyaniya osushennykh i vyrabotannykh uchastkov bolot na prilegayushchiye territorii* [Assessment of the environmental impact of peat deposits]. *Prirodopolzovanie = Nature Management*, 2009, issue 15, pp. 108–115 (in Russian).
5. Kraiko V. M. *Sostav torfyano-bolotnykh vod i metody ikh ochistki pri osvoyenii torfyanykh mestorozhdeniy. Dis. kand. tekhn. nauk* [The composition of peat bog waters and methods of their purification during the development of peat deposits. Ph. D. tech. sci. dis.]. Minsk, 1985 (in Russian)
6. Lishtvan I. I., Kraiko V. M. *Melioratsiya torfyanykh mestorozhdeniy i kachestvo poverkhnostnykh vod* [Reclamation of peat deposits and the quality of surface waters]. *Tez. dokl. Mezhdunar. nauch. konf. "Sovremennyye problemy izucheniya, ispolzovaniya i okhrany prirodykh kompleksov Polesia"* [Proc. report Int. sci. conf. "Modern problems of studying, using and protecting natural complexes of Polesie"]. Minsk, 1998, p. 114 (in Russian)

Информация об авторе

Ракович Вячеслав Александрович – кандидат технических наук, заведующий лабораторией биогеохимии и агроэкологии, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: mire4@tut.by

Information about the author

Viatcheslav A. Rakovitch – Ph. D. (Technical), Head of Lab. of Biogeochemistry and Agroecology, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: mire4@tut.by

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫРАБОТАННОГО УЧАСТКА ТОРФЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ УСЯЖ (МИНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

О. Н. Ратникова, И. П. Лисицына, А. Т. Борш

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Болота играют важную роль в обеспечении устойчивости биосферы. При освоении торфяного месторождения для добычи торфа происходят существенные изменения болотной экосистемы: понижение уровня грунтовых вод, уничтожение растительного покрова, понижение поверхности торфяной залежи, миграция животных и др. Эти антропогенные преобразования приводят к нарушению всех биосферных функций, присущих болоту только в естественном состоянии.

В результате исследований проанализирована общая экологическая обстановка на территории Логойского района Минской области, оценено количество освоенных на нем торфяных месторождений, мелиорированных площадей, а также природоохраных объектов района, и с учетом геоморфологических и гидрологических особенностей болота и качественных характеристик оставшейся торфяной залежи определено дальнейшее наиболее рациональное направление использования выработанного участка торфяного месторождения. Установлено, что последующее сельскохозяйственное использование выработанного участка торфяного месторождения Усяж бесперспективно и с течением времени ведет к необратимым экологическим и экономическим последствиям.

Рекомендовано после окончания эксплуатации торфяной залежи провести процедуру изменения направления его использования на природоохранное согласно действующему законодательству; выработать оставшийся слой торфяной залежи на максимально возможную глубину и провести мероприятия по экологической реабилитации. Природоохранное направление использования реабилитированной территории приведет к восстановлению биосферных и природно-хозяйственных функций болота, а также к улучшению экологической обстановки на территории Логойского района.

Ключевые слова: торфяное месторождение; болото; торф; торфяная залежь; выработанный участок; направление использования.

Для цитирования. Ратникова О. Н., Лисицына И. П., Борш А. Т. Оценка возможных направлений использования выработанного участка торфяного месторождения Усяж (Минская область) // Природопользование. – 2021. – № 2. – С. 38–47.

ESTIMATION OF POSSIBLE DIRECTION OF THE USE OF CUT-AWAY USYAZH PEATLAND (MINSK REGION)

О. Н. Ratnikova, I. P. Lisitsyna, A. T. Borsh

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. Bogs play an important role in biosphere sustainability ensuring. During the development of a peatland for peat extract, significant changes occur in the bog ecosystem: a decrease in groundwater level, vegetation cover destruction, a decrease in peat deposit surface, animals migration, etc. These anthropogenic transformations lead to disruption of all biospheric functions inherent to a bog only in a natural state.

As a result of the research, the general ecological situation of Logoisk district of Minsk region was analyzed, a number of developed peat deposits, reclaimed areas, as well as environmental objects of the region were estimated, and, taking into account the geomorphological and hydrological features of the bog and qualitative characteristics of remaining peat deposit, the further more rational direction of the developed section use of the peat deposit was determined. It has been established that the subsequent agricultural use of the worked-out area of Usyazh peatland is futile and, over time, leads to irreversible environmental and economic consequences.

It is recommended after the end of the peat deposit exploitation: to carry out the procedure of changing the direction of its use to nature protection in accordance to the current legislation; to develop the remaining layer of peat deposits to maximum possible depth and take measures for environmental rehabilitation. The nature conservation direction of the use of the rehabilitated territory will lead to the restoration of the biosphere and natural and economic functions of the bog, as well as stabilization of the ecological situation in Logoisk district.

Keywords: peatland; bog; peat; peat deposit; cut-away peatland area; direction of use (sections).

For citation. Ratnikova O. N., Lisitsyna I. P., Borsh A. T. Estimation of possible direction of the use of cut-away Usyazh peatland (Minsk Region). *Nature Management*, 2021, no. 2. pp. 38–47.

Введение. Болота играют важную роль в обеспечении устойчивости биосферы. Одной из основных их функций является регулирование и поддержание благоприятного регионального гидрологического режима для устойчивого функционирования естественных экологических систем и обеспечения сохранения водных ресурсов за счет накопления в болотах запасов пресной воды, обеспечения водного питания рек и озер.

Сохранившиеся в Республике Беларусь в естественном состоянии болота выполняют газорегуляторную функцию – ежегодно выводят из атмосферы около 900 тыс. т диоксида углерода и выделяют в атмосферу 630 тыс. т кислорода. В болотах Республики Беларусь накоплено и сохраняется около 500 млн т углерода [1].

Торфяники являются важным объектом промышленного и сельскохозяйственного использования. Добыча торфа продолжает вносить существенный вклад в обеспечение энергетической и экономической безопасности Республики Беларусь. В течение последних пяти лет ежегодно добывалось 1,7–3,2 млн т торфа, которые использовались в основном в энергетике [1].

За период промышленной разработки торфяных месторождений для добычи торфа осушено около 300 тыс. га болот, из них 281,5 тыс. га относятся к выбывшим из промышленной эксплуатации, 17,6 тыс. га отведено для добычи торфа [1].

Вместе с тем с увеличением антропогенной нагрузки на естественные болотные экологические системы и нерациональным использованием отдельных участков осущенных земель с торфяными почвами отмечаются процессы их деградации.

При освоении торфяного месторождения для добычи торфа происходят существенные изменения болотной экосистемы: понижение уровня грунтовых вод, уничтожение растительного покрова, понижение поверхности торфяной залежи, миграция животных и др. Эти антропогенные преобразования приводят к нарушению всех биосферных функций, присущих болоту только в естественном состоянии. После окончания процесса добычи торфа на выработанных участках возникает эрозионно- и пожароопасная обстановка, идет интенсивная минерализация органического вещества торфа [2].

Основная часть. В 1941 г. в 35 км от Минска на торфяном месторождении Усяж началось строительство брикетного завода. Однако Великая отечественная война 1941–1945 гг. помешала планам белорусских инженеров и производственников. В 1944 г. после окончания военных действий, на богатой торфом земле Смолевичского района Минской области было возобновлено строительство предприятия. В 1952 г. выпущены первые торфяные брикеты – с этого периода и стала отсчитываться история предприятия.

В 1949 г. добыты первые 21 тыс. т торфа для производства брикетов. В 1972–1980 гг. проведена реконструкция прессового отделения, а также осуществлено строительство новой ремонтной базы с вводом в эксплуатацию нового здания ремонтно-механического цеха. За время работы организацией выпущено 6,5 млн т брикетов, добыто 14,7 млн т фрезерного торфа.

В настоящее время у ОАО «ТБЗ Усяж» находится во временном пользовании земельный участок, расположенный между поселками Черняховский и Трубичино, общей площадью 102,98 га. Земельный участок был предоставлен распоряжением Президента Республики Беларусь от 01.02.2007 г. № 43 р. п. во временное пользование для добычи торфа из земель ОАО «Косино». Срок пользования земельным участком – до 1 декабря 2021 г. Проектом на добычу после окончания срока эксплуатации был предусмотрен возврат участка для использования в сельском хозяйстве. Однако проектом не были учтены агрохимические характеристики торфяной залежи и подстилающих пород, генетические и гидрологические особенности болота.

В настоящее время рассматривается вопрос об изменении направления использования выработанного участка в системе каналов У4–У7 сырьевой базы ОАО «ТБЗ Усяж» с сельскохозяйственного на природоохранное, в первую очередь из-за отказа принятия этих земель прежним землепользователем. В связи с этим возникла необходимость выполнения исследований и разработки научно обоснованного выбора направления использования выработанного участка торфяного месторождения Усяж.

Для решения этого вопроса была проанализирована общая экологическая обстановка на территории Логойского района, оценено количество освоенных торфяных месторождений, мелиорированных площадей, а также природоохранных объектов района, и с учетом геоморфологических и гидрологических особенностей болота и качественных характеристик оставшейся торфяной залежи определено дальнейшее наиболее рациональное направление использования выработанного участка торфяного месторождения.



Рис. 1. Ситуационная схема расположения выработанного участка в системе каналов У4–У7 торфяного месторождения Усяж

Fig. 1. Situational layout of the cut-away peatland in the system of channels U4–U7 of the Usyazh peatland

Торфяное месторождение Усяж расположено в Смолевичском и Логойском районах Минской области (по справочнику торфяного фонда издания 1979 г. кадастровый номер 527) (рис. 1). Торфяное месторождение детально разведано Белпромпроектом в 1945 г., а дополнительные изыскания произведены Белторфпроектом в 1954 г.

Площадь торфяного месторождения в нулевой границе составляет 4020 га, в том числе: в разрабатываемый фонд входит 371 га; в эксплуатационный фонд – 3649 га, из них более 2057 га выработанных участков, на которых проведены мероприятия экологической реабилитации [3].

Торфяное месторождение разделено реками Усяжа и Деряженка на три части. Торфяная залежь месторождения относится к низинному типу.

Доразведка выполнена РУП «Белниитопроект» в 2004 г. на площади 124,2 га. Землепользователями участка являются ОАО «Косино» Логойского района Минской области; в период до передачи этих площадей ОАО «ТБЗ Усяж» участок использовался под сельхозугодия [4].

Строительный проект по подготовке участка в системе каналов У4–У7 предусматривал добычу фрезерного торфа для производства брикетов с использованием бункерных скреперных уборочных машин и другого оборудования.

В мае 2021 г. проведено исследование участка в системе каналов У4–У7. Отключение насосной станции в 2020 году и обильные осадки весной 2021 года (в мае выпало 129 мм осадков, что составило 222 % климатической нормы) привели к подтоплению полей в системе каналов У4–У6 на исследуемом участке, кроме образовавшихся водоемов происходит зарастание болотной растительностью низинного типа. На полях в системе каналов У6–У7 наблюдается более интенсивное зарастание, однако моховой и травяной ярусы находятся в угнетенном состоянии, преобладают кустарники и кустарнички. На полях в системе каналов У7–У8 растительность вовсе отсутствует, на дневную поверхность выходят подстилающие породы.

Согласно геоморфологическому районированию, болото Усяж расположено на Минской краевой ледниковой возвышенности Белорусской гряды [5].

Нижний ярус на абсолютных высотах 220–180 м представлен пологоволнистой водно-ледниковой и моренной равниной. Нижний ярус в основном распахан. Участки леса, кроме сосны, включают ель, дуб и богатый кустарниковый подлесок. Самый низкий ярус (в котором располагается исследуемый участок) с высотами менее 180 м занимают долины рек, понижения спущенных озер, днища эрозионных врезов (рис. 2) [5].



Рис. 2. Рельеф исследуемой территории (ru-ru.topographic-map.com)

Fig. 2. The relief of the research area (ru-ru.topographic-map.com)

Характерную особенность рельефу придают лёссовидные породы. Лёссовидные суглинки и супеси залегают непосредственно на моренных и водно-ледниковых отложениях и по возрасту относятся к позднему поозерью или раннему позднеледниковому. Благодаря значительной распаханности эти районы отличает интенсивная древняя и современная эрозия. На склонах балок и речных долин образуются молодые эрозионные рытвины, а на плакорах – суффозионные западины. Заметную роль в облике возвышенности играют техногенные формы, представленные карьерами, выемками по добыче торфа и др. [5].

Через высокие участки Минской возвышенности проходит Черноморско-Балтийский водораздел. Истоки рек днепровского и неманского бассейнов начинаются в наиболее высоких точках рельефа, располагаясь близко друг к другу своими верховьями. К днепровской системе относятся притоки Березины – реки Свислочь, Плиса, Гайна и Усяжа. Реки небольшие, но глубина вреза достигает 15–20 м. Хорошо развиты пойма и надпойменная терраса [5].

В целом исследуемое болото Усяж имеет вытянутую с юго-запада на северо-восток продолговатую форму. Особенности геоморфологического положения оказали влияние на условия водно-минерального питания, образования и развития болота. Данное болото образовалось на месте древнего, выработанного ледником понижения, по которому проложили свое русло воды реки Усяжи и ее притоков [4, 6].

Река Усяжа и ее притоки, с одной стороны, способствовали отводу сточных и грунтовых вод, а с другой – накоплению их во время половодий и зазолению поверхности месторождения минеральными частицами. Благодаря богатому водно-минеральному питанию повсеместно отложились низинные виды торфа повышенной зольности с прослойками мергеля и сапропеля на отдельных участках месторождения. Ниже торфа и донных отложений залегают мелкие и пылеватые пески и супеси.

Торфяное месторождение Усяж относится к низинному типу залежи. Водное питание осуществляется поверхностными сточными и грунтовыми водами, а также атмосферными осадками. Подстилающими грунтами являются мелкозернистый песок с прослойками пылеватых песков и супесей.

По данным детальной разведки 1954 г., торфяная залежь исследуемой части в системе каналов У4–У7 месторождения характеризуется следующими показателями [4, 6]:

- торф низинного типа, тростникового вида;
- степень разложения – 34 %;
- средняя глубина выработки торфяной залежи – 1,44 м;

- влажность – 78,4 %;
- зольность – 14,5 %;
- пнистость – 0,12 %;

– подстилающие породы – мелкозернистый песок с прослойками пылеватых песков и супесей, а также сапропель малой мощности. На участке в системе каналов У6–У7 при полевом обследовании обнаружена выкидка сапропеля.

Болото Усяж имеет одновременно несколько источников питания: поверхностно-сточное питание водами, стекающими с примыкающих склонов; атмосферные осадки, выпадающие непосредственно на поверхность болота; постоянное питание грунтовыми водами [6]. До осушения пойменный болотный массив частично заливался при разливе реки Усяжи, получая питание за счет речных вод. Разгрузка верхних горизонтов подземных вод осуществляется на уровне местных эрозионных базисов – реки Усяжи и ее притоков (Деряженка, Домелька, Каменка).

На самом торфяном месторождении грунтовые воды залегают близко от дневной поверхности, поток грунтовых вод направлен в сторону и параллельно реке Усяже, играющей дренирующую роль.

Основным водоприемником является река Усяжа (бассейн реки Березины). Длина составляет 45 км. Площадь водозабора – 473 км². Река берет свое начало с водохранилища Острошицкий Городок в Минском районе (до 1978 г. истоком считалась река Веснянка), устье находится за 3 км на северо-восток от д. Юрьева Смолевичского района Минской области. Протекает в верховье по юго-восточным склонам Минской возвышенности, в низовье – по Верхнеберезинской равнине. Долина в верхнем течении трапециевидная (ширина – 0,5–2,0 км), в нижнем – невыразительная. Пойма в верхнем и среднем течении высокая, луговая, местами под пашней (ширина – 0,2–1,0 км), в нижнем течении – почти полностью осушена, торфянистая (ширина – 1,5–5,0 км). Русло от д. Прилепы Смолевичского района Минской области на протяжении 6,1 км вниз по течению канализировано, на остальном протяжении умеренно извилистое (ширина – 4–7 м), в низовье (ширина – 10–25 м) – блуждающее. Берега крутые (высота – 1,5–2,0 м), местами обрывистые (высота – 3–5 м), в среднем и нижнем течении река принимает сток с мелиоративных каналов [6].

Через весь участок с северо-запада на юго-восток протекало канализированное русло реки Деряженка с шириной по верху 5,0–8,0 м, глубиной 1,7–2,5 м. В последующем оно было засыпано и сток перебросили по ограждающему с юга каналу Н1 в реку Усяжу. Средняя глубина составила 2,5–3,0 м. На стадии предварительного осушения был возможен самотечный сброс воды с полей добычи в канал Н1, в дальнейшем перешли на схему осушения с помощью насосной станции с отводом сточных вод по магистральному каналу М3. Водосборная площадь исследуемого участка составляет более 500 га [4, 6].

После освоения торфяного месторождения для добычи торфа условия его водного питания существенно изменились. В результате строительства и ввода в эксплуатацию мелиоративных систем на водосборе торфяного месторождения Усяж произошли следующие изменения:

- исток реки Деряженка, который до осушения находился на расстоянии 1,1 км от северо-западной границы исследуемого участка, в пределах нулевой границы торфяного месторождения Усяж, в настоящее время канализирован, пойма распахана;
- в результате гидротехнической мелиорации русла рек Усяжа, Деряженка, Каменка и Домелька были канализированы, в несколько раз увеличилась густота гидрографической сети, что привело к изменению условий формирования стока (рис. 3);
- в результате осадки и выработки торфяной залежи (до 2,2 м) на поверхности полей добычи образовался специфический рельеф, изменяющий характер и условия стока;
- снизился уровень грунтовых вод как на исследуемом участке, так и на прилегающих территориях;
- сократились сроки затопления пойм рек Усяжи и ее притоков в результате регулирования русла рек-водоприемников, что привело к уменьшению потерь на испарение и одновременно увеличило аккумулирующую способность глубины аэрации;
- произошло полное или частичное исчезновение редких и находящихся под угрозой видов болотной флоры и фауны;
- в осушеннем состоянии после добычи торфа исследуемая территория находится в пожароопасной обстановке.



Рис. 3. Современная гидрологическая сеть участка в системе каналов У4–У7 торфяного месторождения Усяж

Fig. 3. Modern hydrological network of the site in the system channels U4-U7 of the Usyazh peatland

Как правило, площадь осушающего воздействия выработанных торфяных месторождений превосходит площадь самих выработанных участков, так как их осушительные системы оказывают воздействие на прилегающие территории. Осушительная система участка в системе каналов У4–У7 торфяного месторождения Усяж при площади около 103 га, на которой выполнена разработка торфяной залежи, оказывает осушающее воздействие на площади 134 га [7].

В Логойском районе расположено 37 торфяников с площадью в нулевой границе 21 652 га, что составляет 9,0 % территории района; в естественном состоянии сохранилось 810 га болот (3,7 % от общей площади торфяников или 0,3 % площади района) [3]. По другим данным [8], площадь болот и заболоченных земель – 1765 га, из них площадь болот с нарушенным гидрологическим режимом – 1262 га. Природоохранные объекты на территории торфяных месторождений Логойского района составляют лишь 0,1 %.

Неэффективность использования и масштабное освоение (более 50 %) торфяных месторождений в сельском, лесном и водном хозяйствах обуславливает неудовлетворительную экологическую ситуацию в районе расположения исследуемого участка, наблюдается деградация озерно-болотных комплексов. В Логойском районе гидротехническая мелиорация затронула около 96,2 % площадей торфяников, из них 86,7 % осушено для ведения сельского и лесного хозяйства, 9,5 % – для добычи торфа.

Большая часть территории района освоена и используется в сельском и лесном хозяйствах. 29,3 % всей территории района используется в сельскохозяйственном направлении, из которых торфяно-болотных почв – 9839 га, деградированных – 962 га [7]. Лесистость района составляет 50,3 %.

Исследования показали, что использование выработанного участка торфяного месторождения Усяж в сельскохозяйственном, лесохозяйственном и водохозяйственном направлениях бесперспективно и приводит к следующим негативным экологическим последствиям.

1. Годовая эмиссия диоксида углерода в атмосферу достигает 7,7 т/га [9] и обоснована для торфяных почв, находящихся под пластом многолетних трав, поскольку на таких территориях рекомендуется создавать только луговые угодья – сенокосы или пастбища. Для осущенных зон болот, прилегающих непосредственно к выработанным участкам, принят коэффициент эмиссии, равный 5,0 т/га, потому что в этих зонах уровни грунтовых вод постепенно повышаются по мере удаления от выработанных участков, что снижает интенсивность минерализации торфа на осушеннной территории. Годовая эмис-

сия диоксида углерода, выделяемого с выработанного участка торфяного месторождения Усяж, ежегодно составляет около 131 т [7]. Кроме того, диоксид углерода выделяется в больших количествах при торфяных пожарах. Однако этот вид воздействия выработанных торфяных месторождений не учитывался в расчетах ввиду случайности возникновения пожаров.

2. На выработанном участке, находящемся в осушеннем состоянии и неэффективно используемом в сельском хозяйстве, остаточный слой торфа разлагается под воздействием микроорганизмов с образованием водорастворимых и газообразных продуктов. Из водорастворимых органических соединений наиболее распространены фульвокислоты и органические кислоты, в меньшей степени – фенолы, углеводы, аминокислоты, альдегиды и ряд других, из минеральных – соединения кальция, магния, железа, фосфора, микроэлементов, а также ионы аммония, хлора, нитратов, сульфатов.

По многолетним данным [7, 10], ежегодно с 1 га торфяных почв в каналы осушительных сетей поступает 0,45 т органических и 0,55 т минеральных веществ, включая неиспользованную растениями часть удобрений, доля которых составляет до 30–40 % от их количества, внесенного в почву.

С выработанного участка в системе каналов У4–У7 торфяного месторождения, находящегося в осушеннем состоянии, в течение годового биоцикла в каналы может поступать около 46,4 т органических и 56,7 т минеральных веществ. При поступлении в водоприемники эти довольно значительные количества разнообразных веществ изменяют химический состав вод и повышают их эвтрофикацию, что в конечном итоге негативно сказывается на функционировании экосистем водоприемников (река Усяжа).

Для выработанного участка торфяного месторождения, используемого под посадку леса, вынос водорастворимых веществ принят таким же, поскольку процессы разложения торфа здесь тоже имеют место, однако воды с облесенных выработанных участков чище, чем с используемых в сельском хозяйстве, так как они не содержат минеральных удобрений и пестицидов. Часть водорастворимых веществ с нисходящим током поступает в подземные воды. Соотношение между этими двумя потоками зависит от гранулометрического состава грунтов, подстилающих остаточный слой торфа: чем более водопроницаемы подстилающие торфяную залежь грунты, тем больше продуктов распада торфа поступает в подземные воды и, наоборот, с уменьшением их водопроницаемости убывает количество водорастворимых веществ, поступающих в подземные воды.

3. На выработанном участке торфяной залежи, который имеет мозаичную картину подстилания породами различной водопроницаемости (песок, гравий, сапропель), невозможно создать стабильный водно-воздушный режим с хорошей аэрацией и окислительно-восстановительным потенциалом в пределах 400–750 мВ, необходимый для произрастания сельскохозяйственных культур и лесонасаждений, вследствие чего образуются долго незаражающие пустоты, насаждения с низким бонитетом и др.

4. На выработанных участках торфяных месторождений при длительном сельскохозяйственном использовании (более 20–30 лет) оставшейся 0,5 м слой торфяной залежи деградирует за счет уплотнения и усадки, а скорость его разрушения значительно ускоряется при перемешивании с подстилающими породами, которые впоследствии выходят на дневную поверхность. Потери органического вещества составляют 3,6–22,9 (в среднем 9,8) т/га в год [2, 7].

5. Средняя глубина выработки торфяной залежи на исследуемом участке составляет 1,4 м, максимальная – 2,2 м. В результате добычи образуются искусственные депрессии. В более глубоких из них после обводнения образуются мелководные водоемы, которые спустя 3–4 года их существования зарастут болотной растительностью в результате всплыивания затопленного торфа. Это оказывает негативное влияние на эксплуатацию водоема, так как растворенное органическое вещество ухудшает санитарно-техническое состояние и качество воды. Организация глубоководного водоема на бывших участках добычи торфа фрезерным способом потребует значительных финансовых средств. Строительство мелководных водоемов нерентабельно, так как такие пруды достаточно быстро зарастают болотной растительностью.

6. Сохранение современного режима интенсивного осушения на площади торфяного месторождения Усяж и значительное увеличение мелиорированных земель для сельскохозяйственных нужд будут сопровождаться дальнейшей дестабилизацией гидрологического режима прилегающих территорий.

Для оценки экономических показателей в рамках исследований проанализировали два направления использования исследуемого участка: сельскохозяйственное и природоохранное. Для расчета условно взяли десятилетний период, так как для процессов восстановления функций болот потребуется время. Технико-экономический расчет произведен по ценам, принятым из доступных интернет-источников, по состоянию на июнь 2021 г.

В сельском хозяйстве, согласно действующему законодательству, осушенные земли с торфяными почвами необходимо использовать преимущественно для выращивания многолетних трав и выпаса животных. В большинстве случаев продуктивность сенокосов на выработанных площадях составляет

8–10 ц/га кормовых единиц, но не превышает 15 ц/га [2, 7]. В случае использования исследуемого участка объем сена составит 926,82 ц в год, или 926,8 т за 10 лет использования. Рыночная стоимость сена колеблется в пределах 250–420 руб/т в зависимости от вида кормов. При выращивании многолетних трав на исследуемом участке прибыль составит около 250–400 тыс. руб.

Однако в расчете не учтены затраты на биологическую рекультивацию, которая необходима для восстановления плодородия рекультивируемых земель. Оставшаяся торфяная залежь не обладает эффективным плодородием, не содержит живые корневые системы и аэробные микроорганизмы [2].

При природоохранном использовании исследуемого участка необходимо провести работы по экологической реабилитации для восстановления на нем ряда природно-хозяйственных и биосферных функций – создать условия для рекреации, сохранения качества питьевой воды, поддержания водного баланса, восстановления видового разнообразия объектов животного и растительного мира, поддержания естественного баланса прилегающих территорий. С точки зрения их доступности для пользования большая часть из них не является ограниченной и не поддается точному ценовому расчету.

При использовании рассматриваемого участка в природоохранном направлении не регламентируется мощность остаточного слоя торфа. В случае же передачи земель для ведения сельского хозяйства остаточный слой торфа должен быть не менее 0,5 м [3]. Поэтому изменение направления использования позволит доработать предприятию оставшийся 0,3–0,5-метровый слой торфяной залежи и увеличить количество добычи торфа в объеме 308,7 тыс. м³, или 63,4 тыс. т торфа (условной 40%-й влаги). Согласно данным торфопредприятий, стоимость 1 т торфа – 8,41 руб., следовательно, чистый доход для предприятия составит 533 тыс. руб.

Стоимость экологической реабилитации в среднем в республике составляет около 152 руб. за 1 га. Для восстановления исследуемого участка необходимо затратить около 16 тыс. руб. Проведенные мероприятия по экологической реабилитации позволят снизить негативное воздействие на объекты животного мира и среду их обитания. Изменение направления использования с сельскохозяйственного на природоохранное позволит увеличить видовое разнообразие птиц открытых пространств и численность ряда видов лесных птиц в связи с улучшением кормовых условий из-за увеличения древесно-кустарниковой растительности. Ожидается: появление на гнездовании видов птиц, биотически связанных с тростниками зарослями и низинными болотами, таких как большая выпь, болотный лунь, бекас; увеличение численности кряквы и тростниковой овсянки.

Для расчета стоимостной оценки экологических услуг использовали методику А. В. Неверова [11], которая позволила оценить не только основной продукт природопользования (торф), но и депонирование двуокиси углерода естественными болотными экосистемами. Для исследуемого участка стоимостная оценка составила 18 тыс. руб.

Ресурсную стоимостную оценку объектов животного мира и видового разнообразия восстановленного участка проводили в соответствии с Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 07.02.2008 г. № 168. Согласно расчетам, доход составит около 40 тыс. руб.

Как показывают расчеты, общий доход от прямого и косвенного десятилетнего использования исследуемого участка в природоохранном направлении может составить около 575 тыс. руб., что существенно превышает соответствующие показатели от использования этого участка в сельском хозяйстве. Стоит отметить, что доход от данного направления использования будет с каждым годом увеличиваться за счет расширения экологических услуг: сорбционной (водоочистительной) функции, воспроизводства лесной, кустарниковой растительности дикорастущих лекарственных и пряно-ароматических растений, а также воспроизводства водных ресурсов. Сельскохозяйственное же использование с течением времени приведет к уменьшению продуктивности сенокосов и деградации оставшегося слоя торфа.

Выводы. На основании полевых исследований, изучения материалов детальных разведок и строительных проектов разных лет, а также технико-экономических расчетов, выполнены: сравнительная оценка возможных направлений использования выработанного участка с учетом генезиса, геоморфологии месторождения, качественных характеристик остаточного слоя торфа и подстилающих грунтов, гидрологических характеристик исследуемых площадей; анализ современной экологической обстановки района расположения торфяного месторождения Усяж.

1. Установлено, что дальнейшее сельскохозяйственное использование выработанного участка в системе каналов У4–У7 торфяного месторождения Усяж бесперспективно и с течением времени ведет к необратимым экологическим и экономическим последствиям.

2. Рекомендовано после окончания эксплуатации торфяной залежи:

- провести процедуру изменения направления его использования на природоохранное согласно действующему законодательству;

– выработать оставшийся слой торфяной залежи на максимально возможную глубину и провести рекультивацию исследуемого участка;

– выполнить проектно-изыскательские работы и разработать проект по экологической реабилитации выработанного участка;

– провести комплекс работ и мероприятий согласно проекту по экологической реабилитации, восстановить исследуемый участок до близкого к естественному состоянию, обеспечивающему восстановленным болотом выполнение биосферных функций.

В дальнейшей перспективе природоохранное направление использования реабилитированной территории приведет к восстановлению биосферных (аккумулятивной, биологической, ландшафтной, межкруговоротной, газорегуляторной, гидрологической, геохимической, климатической) и природно-хозяйственных функций болота (ресурсно-сыревой, информационно-исторической, культурно-реакционной), а также улучшению экологической обстановки на территории Логойского района.

Список использованных источников

1. Kozulin, A. Developing a national strategy for the conservation and sustainable use of peatlands in the Republic of Belarus [Electronic resource] / A. Kozulin, N. Tanovitskaya, N. Minchenko. – Mode of access: <http://mires-and-peat.net/pages/volumes/map21/map2105.php>. – Date of access: 25.05.2021.
2. Бамбалов, Н. Н. Роль болот в биосфере / Н. Н. Бамбалов, В. А. Ракович. – Минск : Беларуская навука, 2005. – 208 с.
3. Схемы рационального использования торфяных месторождений и охраны торфяных болот Республики Беларусь на период до 2030 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования ; науч. ред. Н. Н. Бамбалов. – Минск : Беларуская навука, 2016. – 167 с. – № регистрации проекта международной технической помощи в Министерстве экономики Респ. Беларусь 2/12/000571 от 30.11.2012.
4. Строительный проект подготовки площадей для добычи фрезерного торфа на торфяном месторождении Усяж в системе каналов У4–У7 Смолевичского района Минской области / Бел. концерн по топливу и газификации «Белтопгаз», РУП «Белниитопроект» ; исп. И. И. Высоцкий ; объект № 2000-04/1 ; инв. № 29883. – Минск, 2005. – 141 с.
5. Матвеев, А. В. Рельеф Белоруссии / А. В. Матвеев, Б. Н. Гурский, Р. И. Левицкая. – Минск : Университетское, 1988. – 320 с.
6. Строительный проект: Рекультивация площадей для добычи фрезерного торфа на торфяном месторождении Усяж в системе каналов У4–У7 Смолевичского района Минской области / ПНИРУП «Белгипротопгаз» ; исп.: А. В. Осипов [и др.] ; 2536-92/11-ПЗ. – Минск, 2020. – 20 с.
7. Разработать научно обоснованные мероприятия для каждого административного района по использованию всех выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений Гродненской, Минской и Могилёвской областей / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования ; науч. ред. Н. Н. Бамбалов. – Минск : Беларуская навука, 2016. – 150 с. – ГР № 20090805.
8. Торфяники Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.peatlands.by>. – Дата доступа: 02.06.2021.
9. Руководство по проектированию и изысканиям объектов мелиоративного и водохозяйственного строительства (РПИ-82) / Министерство мелиорации и водного хозяйства БССР. – Белгипроводхоз, 1985. – Ч. 9. – 75 с.
10. Бамбалов, Н. Н. Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения / Н. Н. Бамбалов. – Минск : Наука и техника, 1984. – 175 с.
11. Порядок проведения стоимостной оценки экосистемных услуг и определение стоимостной ценности биологического разнообразия : ТКП 17.02-10-2013 (02120). – Введ. 01.06.2013. – Минск : Минприроды, 2013. – 23 с.

References

1. Kozulin A., Tanovitskaya N., Minchenko N. Developing a national strategy for the conservation and sustainable use of peatlands in the Republic of Belarus. Available at: <http://mires-and-peat.net/pages/volumes/map21/map2105.php> (accessed 25 May 2021).
2. Bambalov N. N. *Rol' bolot v biosfere* [The role of swamps in the biosphere]. Minsk, 2005, 208 p. (in Russian)
3. *Shemy ratsyonal'nogo ispol'zovaniya torfyanyh mestorozhdeniy i ohrany torfyanyh bolot Respybliki Belarus' na period do 2030 g.* [Schemes for the rational use of peat deposits and the protection of peat bogs in the Republic of Belarus for the period up to 2030]. NAN Belarusi, Institut prirodopol'zovaniya [NAS of Belarus, Institute of Nature Management (sci. ed. N. N. Bambalov)]. Minsk, 2016, 167 p. Registration no. of the int. technical assistance project in the Ministry of Economy of the Republic of Belarus 2/12/000571 from 30.11.2012. (in Russian)
4. *Stroitel'nyy proekt podgotovki ploschadey dlya dobchi frezernogo torfa na torfyanom mestorozhdenii Usyazh v sisteme kanalov U4–U7 Smolevichskogo rayona Minskoy oblasti* [Construction project for the preparation of areas for the extraction of milled peat at the Usyazh peat deposit in the U4–U7 canal system of the Smolevichi district of the Minsk region]. Bel. koncern po toplivu i gazifikacii «Beltopgas», RUP «Belniitopproekt» [Bel. Concern for fuel and gasification 'Beltopgas', RUE 'Belniitopproekt', executed by director I. I. Vysotsky]. Object no. 2000-04/1 Inv. no. 29883. Minsk, 2005, 141 p. (in Russian)
5. Matveev A. V. *Rel'ef Belorussii* [Relief of Belarus]. Minsk, University Publ., 1988, 320 p. (in Russian)

6. *Stroitel'nyy proekt: Rekyl'tivaciya ploschadey dlya dobyschi frezernogo torfa na torfyanom mestorozhdenii Usyazh v sisteme kanalov U4–U7 Smolevichskogo rayona Minskoy oblasti* [Construction project: Reclamation of areas for the extraction of milled peat at the Usyazh peat deposit in the U4–U7 system of the Smolevichi district of the Minsk region]. PNIRUP Belgiprotogaz, executed by A. V. Osipov [et al.], 2536-92/11. Minsk, 2020, 20 p. (in Russian)
7. *Razrabotat' naychno obosnovannye meropriyatiya dlya kazhdogo administrativnogo rayona po ispol'zovaniyu vseh vybyvshih iz promyshlennoy ekspluatatsii torfyanyh mestorozhdenii Grodzenskoy, Minskoy i Mogilevskoy oblastey* [Develop scientifically based measures for each administrative region for the use of all retired peat deposits of Grodno, Minsk and Mogilev regions]. NAN Belarusi. Institut prirodopol'zovaniya [NAS of Belarus, Institute of Nature Management (sci. ed. N. N. Bambalov)]. Minsk, 2016, 150 p. SR no. 20090805. (in Russian)
8. *Torfyaniki Belarusi* [Peatlands of Belarus]. Available at: <https://www.peatlands.by> (accessed 2 June 2021) (in Russian)
9. *Rukovodstvo po proektirovaniyu i izyskaniyam ob'ektor meliorativnogo i vodoohozyastvennogo stroitel'stva (RPI-82). chast' 9* [Guidelines for the design and survey of land reclamation and water management construction (RPI-82), part 9]. Ministerstvo melioratsyi i vodnogo hozyastva BSSR [Ministry of Land Reclamation and Water Management of the BSSR]. Belgiprovodkhoz Publ., 1985, 75 p. (in Russian)
10. Bambalov N. N. *Balanc organicheskogo veschestva torfyanyh pochv i metody ego izucheniya* [Balance of organic matter of peat soils and methods of its study]. Minsk, Science and Technology Publ., 1984, 175 p. (in Russian)
11. *TCP 17.02-10-2013 (02120). Poryadok provedeniya stoimostnoy otsenki ekosistemnyh uslug i opredeleniya stoimostnoy tsennosti biologicheskogo raznoobraziya* [Technical code of good practice 17.02-10-2013 (02120). Procedure for valuation of ecosystem services and determination of the value of biological diversity]. Minsk, Ministry of Natural Resources Publ., 2013, 23 p. (in Russian)

Информация об авторах

Ратникова Ольга Николаевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: 306peatlands@mail.ru

Лисицына Ирина Петровна – младший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: i_lisitsyna@list.ru

Борш Анна Тадеушевна – младший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: anna.borsch.1992@mail.ru

Information about the authors

Olga N. Ratnikova – Ph. D. (Technical), Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (F. Skoriny Str., 10, 220076, Minsk, Belarus). E-mail: 306peatlands@mail.ru

Irina P. Lisitsyna – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (F. Skoriny Str., 10, 220076, Minsk, Belarus). E-mail: i_lisitsyna@list.ru

Anna T. Borsh – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (F. Skoriny Str., 10, 220076, Minsk, Belarus). E-mail: anna.borsch.1992@mail.ru

ПРИРОДНОЕ И КУЛЬТУРНОЕ НАСЛЕДИЕ В ИНТЕРАКТИВНОМ АТЛАСЕ «НАСЕЛЕНИЕ УКРАИНЫ И ЕГО ПРИРОДНОЕ И КУЛЬТУРНОЕ НАСЛЕДИЕ»

Л. Г. Руденко, Е. А. Поливач

Институт географии НАН Украины, Киев, Украина

Аннотация. В докладах Римского клуба, принятом Порядке дня на ХХI век, Глобальных целях развития до 2030 года акцентировано основное внимание на опасных тенденциях развития Общества, которые могут привести к исчезновению жизни на планете Земля. Особое внимание обращается на сохранение качества природной среды.

Целью данного исследования является рассмотрение значимости, взаимосвязи и взаимозависимости природного и культурного наследия в русле общих тенденций сохранения природы и цифровизации различных сфер деятельности человека.

В сложных исследованиях геопространства, как известно, должна обеспечиваться интеграция его результатов, что в нынешних условиях достигается путем геокодирования данных, автоматической их обработки, хранения и визуализации. Признанным направлением является применение атласных электронных систем. В Украине за последние 5 лет выполнено исследование, касающееся инвентаризации и оценивания природного и культурного наследия на фоне формирования украинского этноса, начиная с каменного и медно-бронзового веков. Отсутствие в законодательном поле Украины понятия «природное наследие» обусловило проведение анализа международного опыта и принятие соответствующих классификаций.

Результатами исследования явился интерактивный атлас «Население Украины и его природное и культурное наследие», содержащий около 4 гигабайт различной информации, которая сфокусирована на 98 векторных картах (366 информационных слоев), текстах, фотографиях и таблицах.

Ключевые слова: природное наследие; культурное наследие; Атлас; картографирование; интерактивный атлас.

Для цитирования. Руденко Л. Г., Поливач Е. А. Природное и культурное наследие в интерактивном атласе «Население Украины и его природное и культурное наследие» // Природопользование. – 2021. – № 2. – С. 48–58.

NATURAL AND CULTURAL HERITAGE IN THE INTERACTIVE ATLAS "THE POPULATION OF UKRAINE AND ITS NATURAL AND CULTURAL HERITAGE"

L. H. Rudenko, K. A. Polyvach

Institute of Geography, National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine

Abstract. The reports of The Club of Rome, the Agenda 21, Global Development Goals 2030 focus on dangerous trends in the development of Society, which can lead to the disappearance of life on planet Earth. Particular attention is paid to the preservation of the quality of the natural environment.

The purpose of this study is to consider the significance, interconnectedness, and interdependence of natural and cultural heritage in line with the general trends of nature conservation and digitalization of various spheres of human activity.

In complex studies of Geospace, as you know, the integration of its results should be ensured, which in current conditions is ensured by geocoding data, automatic processing, storage, and visualization. A recognized direction is the use of electronic atlas systems. In Ukraine, over the past 5 years, a study has been carried out concerning the inventory and assessment of natural and cultural heritage against the background of the formation of the Ukrainian ethnos, starting from the Stone and Copper-Bronze Ages. The absence of the concept of "natural heritage" in the legislative field of Ukraine has led to the analysis of international experience and the adoption of appropriate classifications.

The research resulted in an interactive atlas "The Population of Ukraine and its Natural and Cultural Heritage", containing about 4 gigabytes of various information, which is focused on 98 vector maps (366 information layers), texts, photos, and tables.

Keywords: natural heritage; cultural heritage; Atlas; mapping; interactive atlas.

For citation. Rudenko L. H., Polyvach K. A. Natural and cultural heritage in the interactive atlas "The population of Ukraine and its natural and cultural heritage". *Nature Management*, 2021, no. 2, pp. 48–58.

Введение. Сохранение природного и культурного наследия (ПиКН) является важнейшей современной задачей при определении стратегии устойчивого развития как на глобальном, так и на национальном и местном уровнях. Будучи стержневой составляющей окружающей среды, ПиКН стимулирует экономическое развитие, обеспечивает экологическую стабильность и выполняет базовые социальные функции в обществе.

Понятия «культурное наследие» и «природное наследие» как свидетельство неделимости, взаимообусловленности и равнозначности объектов культуры и природы были введены в международное право и научный обиход наряду с принятием на Генеральной конференции ЮНЕСКО в 1972 г. Конвенции об охране всемирного культурного и природного наследия (далее – Конвенции об охране ВКПН).

Как следствие, сознавая природное и культурное разнообразие мира и признавая, что все культуры и цивилизации могут способствовать устойчивому развитию и выступать в качестве решающих факторов его обеспечения, в принятой в сентябре 2015 г. мировыми лидерами на Генеральной Ассамблее ООН «Повестке дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» активизация усилий по охране и сохранению мирового ПиКН выделена в отдельную задачу.

Об их особой значимости для благополучия и устойчивого развития Европы говорится и в ряде документов, которые закладывают основы принципиально новой культурной и природоохранной политики, нацеленной на безусловное сохранение ПиКН. На сегодня Советом Европы принято пять документов, которые можно охарактеризовать как конвенции о «наследии» – Конвенция об охране дикой флоры, фауны и природных сред обитания в Европе (Берн, 1979), Конвенция об охране архитектурного наследия Европы (Гранада, 1985), Европейская конвенция об охране археологического наследия (Валлетта, 1992), Европейская конвенция о ландшафтах (Флоренция, 2000), Рамочная конвенция Совета Европы о значении культурного наследия для общества (Фаро, 2005).

Особая значимость природного наследия для Европы задекларирована в нескольких документах: «Мaaстихтской декларации Евросети», принятой в 1993 г. на Общеевропейской конференции «Сохранение европейского природного наследия: курс на Европейскую экологическую сеть»; Всеевропейской стратегии сохранения биологического и ландшафтного разнообразия, утвержденной на 3-й Всеевропейской конференции министров по охране окружающей среды в Софии в 1995 г. и др. В этих документах подчеркнуто, что сохранение европейского природного наследия и передача его грядущим поколениям как одна из основных предпосылок обеспечения устойчивого развития – общая ответственность всех европейских стран и регионов, задача, которую можно с успехом решить только в европейском контексте.

С этой целью в мире и Европе в частности реализуется несколько важных международных инициатив, представляющих различные механизмы, формы и инструменты выявления и сохранения ценных природных объектов и территорий, которые ассоциируются с природным наследием: «NATURA-2000», «Изумрудная» сеть Европы», «Список Всемирного природного наследия», «Список водно-болотных угодий международного значения», «Всемирная сеть биосферных резерватов ЮНЕСКО», «Глобальная сеть геологических парков ЮНЕСКО», «Зеленый список природоохранных территорий МСОП», «Список для птиц и биоразнообразия (IBAs)», «Список важных ботанических территорий (IPA)» и т. д.

Проблемы выявления и сохранения ПиКН тесно связаны с картографированием и являются стимулом его развития. В частности, в Рекомендациях по охране на национальном уровне культурного и природного наследия, также принятых в 1972 г., указано, что каждое государство – член Конвенции должно как можно скорее составить перечень объектов охраны своего культурного и природного наследия, в том числе ценностей, которые, не имея исключительного значения, неотделимы от среды и способствуют ее характерности. Результаты переписи культурного и природного наследия должны содержаться в надлежащей форме и постоянно обновляться. Государства-члены должны подготовить карты и как можно более полную документацию, включающие сведения о данном культурном и природном наследии, с тем чтобы обеспечить действительное признание культурного и природного наследия на всех уровнях планирования [1].

Картографирование как общепринятый и международный язык коммуникации и общения выступает важным фактором популяризации наследия каждой страны, ее культурного развития и интеграции в мировое сообщество. Именно поэтому ЮНЕСКО рассматривает картографирование в качестве важнейшего инструмента сохранения культурного (материального и нематериального) и природного наследия мира [2].

Изучение территориальной организации общества и особенностей его ПиКН как одной из важных составляющих в выработке стратегии устойчивого (сбалансированного) развития Украины и ее регионов, тесно связаны с формированием эффективных механизмов обеспечения органов управления различного уровня и общества в целом необходимой информацией. Одним из наиболее важных элементов

такого механизма является построение системы информационного обеспечения сферы сохранения наследия и создания соответствующих картографических произведений – атласов, карт, картосхем и планов.

В русле выполнения этой задачи и последовательного осуществления деятельности по развитию национальной инфраструктуры геопространственных данных, Институт географии НАН Украины в 2020 г. завершил разработку тематического интерактивного электронного атласа «Население Украины и его природное и культурное наследие» (далее – Атлас).

Впервые на основе собранной, систематизированной и наглядно представленной основательной и всесторонней информации показана целостная картина наследия страны. Создание Атласа также засвидетельствовало переход к новому этапу развития отечественного тематического картографирования ПиКН, обусловленного применением современных геоинформационных, мультимедийных и интерактивных технологий, которые создали широкий спектр новых возможностей для картографирования и, как следствие, обусловили переход к разработке электронных атласов и атласных информационных систем.

Приведенные положения обусловили цель данного исследования, которая заключается в изложении основных концептуальных и методических подходов к тематическому изучению природного и культурного наследия Украины и результатов их картографического отображения в электронном атласе «Население Украины и его природное и культурное наследие».

Материалы и результаты исследования.

Природное наследие в Атласе «Население Украины и его природное и культурное наследие». Анализ имеющихся в юридической практике и научной литературе определений понятия «природное наследие» дает основание заключить, что однозначной трактовки его сущности не существует, более того, не разработана установившаяся типология объектов природного наследия.

Наиболее общее и предметное содержание понятия наследия дано в Конвенции об охране ВКПН, в статье 2 которой указывается, что под «природным наследием» понимаются:

- природные памятники, созданные физическими и биологическими образованиями или группами таких образований, имеющие выдающуюся универсальную ценность с точки зрения эстетики или науки;
- геологические и физиографические образования и строго ограниченные зоны, представляющие ареал подвергающихся угрозе исчезновения видов животных и растений, имеющих выдающуюся универсальную ценность с точки зрения науки или сохранения;
- природные достопримечательные места или строго ограниченные природные зоны, имеющие выдающуюся универсальную ценность с точки зрения науки, сохранения или природной красоты [3].

Если объекты полностью или частично соответствуют определению как культурного, так и природного наследия, то их рассматривают как «смешанное культурно-природное наследие».

По состоянию на конец 2021 г. Список объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО включал 1154 наименований, из них 218 природного и 39 смешанного культурно-природного наследия. В основном это природоохранные территории разных размеров и статуса – национальные и природные парки, природные резерваты, памятники природы, заказники, охранные зоны заповедников, национальных и природных парков, участки дикой природы, государственные леса, частные природные территории, экологические станции, этнографические резерваты и т. п. Несколько объектов списка представляют водно-болотные угодья международного значения.

Теоретическую базу понятийного аппарата природного наследия активно разрабатывают и в географической науке. По мнению Ю. Л. Мазурова, природное наследие – это объекты и явления среды естественного происхождения, имеющие особую экологическую, оздоровительную, рекреационную, эстетическую и научную ценность. Представление о природном наследии проецируется, прежде всего, на особо охраняемые природные территории – земные и водные пространства с особо важными экологическими функциями, имеющие законодательно установленный режим особой охраны [4].

А. А. Чибилев, акцентируя внимание на научно-познавательном значении, предлагает под природным наследием понимать «совокупность информации, содержащейся в природных объектах, необходимую для познания природных процессов и явлений, сохранения природного разнообразия и эстетики окружающих ландшафтов, поддержания экологического равновесия в конкретных регионах [5]. С точки зрения практики ученый предлагает рассматривать природное наследие как совокупность уникальных, редких и исчезающих природных объектов – ландшафтов, экосистем и биологических популяций (редких видов биоты и их среды обитания) [6].

М. Е. Кулешова подчеркивает, что природное наследие – осмысленный и присвоенный человеком природный капитал, включая составляющие его генофонд, ценофонд и геофонд, т. е. биологическое и ландшафтное разнообразие планеты. Наследие – едино, и его разделение оправдано лишь тем, что действующие системы управления опираются на отраслевые принципы [7].

В Украине термин «природное наследие» не приобрел соответствующего отображения в законодательном поле, однако Законом Украины «Об охране окружающей природной среды» отмечено, что природные территории и объекты, имеющие большую экологическую ценность как уникальные и типичные природные комплексы, подлежат особой государственной охране. Развитие системы природоохранных территорий провозглашено одним из главных направлений государственной экологической политики.

В «Общегосударственной программе формирования национальной экологической сети Украины на 2000–2015 годы» особо отмечается, что богатство природных ландшафтов является достоянием Украинского народа, его природным наследием и должно служить нынешнему и будущему поколениям. Программой также предусматривалась подготовка заявок о признании ценностей природных территорий Украины на международном уровне, прежде всего в пределах ее природно-заповедного фонда, и составление национального перечня объектов природного наследия [8]. Однако последняя задача так и не была выполнена, поскольку до сих пор не разработана соответствующая законодательная и нормативно-правовая база.

В научной среде термин «природное наследие» используют, в частности, в геологической науке: памятники природы и любые другие природоохранные объекты, геологическая ценность которых преобладающая и определяющая, отождествляют с геологическим наследием [9].

Таким образом, разработка компонентной структуры и базы данных раздела «Природное наследие Украины» в Атласе имела определенные трудности понятийного характера. Поэтому, опираясь на результаты предварительно проведенных исследований, при разработке Атласа было принято, что под природным наследием Украины подразумевается совокупность уникальных, редких, исчезающих или типичных объектов (территорий, акваторий) и явлений среды природного или природно-антропогенного происхождения, имеющих особую экологическую, научную, информационную, познавательно-образовательную, оздоровительную, рекреационную и эстетическую ценность, охваченных существующими и перспективными правовыми формами и механизмами особой охраны на международном, национальном, региональном и местном уровнях или требующих их применения [10].

Природному наследию Украины посвящены следующие карты, которые размещены в составе нескольких разделов Атласа: «Наиболее популярные природные достопримечательности Украины («Семь природных чудес Украины»)»; «Природоохранные территории международного значения»; «Природно-заповедный фонд общегосударственного значения»; «Природно-заповедный фонд местного значения»; «Геологическое наследие»; «Перспективные к заповеданию объекты и территории»; «Развитие системы природно-заповедного фонда»; «Виды растений, занесенные в Красную книгу Украины»; «Виды животных, занесенные в Красную книгу Украины».

Структура и содержание этих тематических карт построена таким образом, чтобы охватить все разнообразие понятий, характеризующих природно-заповедную сферу Украины.

Карта «Природоохранные территории международного значения» включает территории и объекты, которые создаются для выполнения подписанных Украиной международных конвенций, несмотря на отсутствие закрепления этого термина в национальном законодательстве:

– объекты и номинанты в Список Всемирного наследия ЮНЕСКО согласно Конвенции об охране ВКПН;

– водно-болотные угодья международного значения (объекты и номинанты для внесения в «Рамсарский список водно-болотных угодий международного значения»);

– объекты Всемирной сети биосферных резерватов ЮНЕСКО, которые создаются в рамках Программы «Человек и Биосфера» и в соответствии с положениями Севильской стратегии развития биосферных резерватов (1995) как инструмент сохранения биологического разнообразия и устойчивого использования его компонентов в мировом масштабе;

– территории особого природоохранного значения (ТОПЗ) – объекты и номинанты для внесения в Изумрудную сеть Европы (The Emerald Network), которая формируется в рамках Бернской конвенции об охране дикой флоры и фауны и природных сред обитания в Европе на территории стран, которые не являются членами Европейского Союза, в то время как страны ЕС формируют экологическую сеть NATURA-2000.

Карты «Природно-заповедный фонд общегосударственного значения» и «Природно-заповедный фонд местного значения» посвящены природно-заповедному фонду Украины (далее – ПЗФ) и представленным по установленным согласно законодательству категориям. ПЗФ занимает центральное место в системе территорий и объектов особой правовой охраны и охватывает участки суши и водного пространства с природными комплексами и объектами, имеющие особую экологическую, научную, эстетическую и экономическую ценность и выделенные с целью сохранения природного разнообразия, генофонда животного и растительного мира, поддержания общего экологического

баланса и фонового мониторинга окружающей природной среды. ПЗФ охраняется как национальное достояние, в отношении которого устанавливается особый режим охраны, воспроизводства и использования. Украина рассматривает этот фонд как составную часть мировой системы природных территорий и находящихся под особой охраной объектов. По природной уникальности, экологической, научной, эстетической ценности и подчиненности территории и объекты ПЗФ могут быть международного, общегосударственного, регионального и местного значения [11].

ПЗФ имеет в своем составе по результатам данных статистического учета по состоянию на 1 января 2020 г. 8512 территорий и объектов общей площадью 4,4 млн га в пределах территории Украины и 0,4 млн га в пределах акватории Черного моря.

Основу системы объектов ПЗФ Украины составляют природоохранные и научно-исследовательские учреждения общегосударственного значения (природные заповедники и национальные природные парки) или международного значения (биосферные заповедники), занимающие наибольшие по размерам территории и имеющие строгие режимы правовой охраны.

В ходе разработки карт раздела на основе материалов Минприроды Украины (проектов создания, положений, картосхем и т. п.) была сформирована база данных объектов и территорий ПЗФ по категориям: природные заповедники, биосферные заповедники, национальные природные парки, региональные ландшафтные парки, заказники, памятники природы, заповедные уроцища) и искусственно созданные объекты (ботанические сады, дендрологические парки, зоологические парки, парки – памятники садово-паркового искусства).

Карта «Геологическое наследие», визуализирующая пространственное распространение геологических памятников Украины, к которым отнесены наиболее характерные обнажения горных пород и формы земной поверхности, имеющие научную и эстетическую ценность, создана по данным четырехтомного издания «Геологические памятники Украины» (2006–2011). Информация о более чем 600 объектах геокодирована и структурирована по видам памятников и их приуроченности к тем или иным геоструктурным элементам.

Карта «Перспективные к заповеданию объекты и территории» разработана на основе базы данных по этим территориям в пределах равнинной Украины с обобщенными наработками по всем природным зонам, созданной на основе НИР «Разработка научных принципов и ландшафтно-биотических критериев организации перспективной сети заповедных территорий разного ранга», которая выполнялась Институтом географии в 2015–2019 гг. с привлечением экспертов и материалов других академических учреждений, материалов Минприроды Украины.

Карты подраздела «Мероприятия по охране природного наследия» подтвердили тезис, что развитие природоохранных территорий – важное условие обеспечения устойчивого развития страны и одна из главных задач реализации государственной экологической политики, ведь занимая менее 6 % площади Европы, Украина владеет около 35 % ее биологического разнообразия. Биосфера Украины насчитывает более 72 тыс. видов флоры и фауны, в том числе более 27 тыс. видов флоры и более 45 тыс. видов фауны.

За годы независимости площадь ПЗФ выросла более чем в 3 раза (с 1,31 млн га в 1991 г. до 4,4 млн га в 2020 г.), что увеличило показатель заповедности с 2,17 до 6,77 % соответственно. В последние годы также наблюдается увеличение количества видов растений и животных, занесенных в Красную книгу Украины, однако этого недостаточно для сохранения редких и исчезающих видов растений и животных, природной среды их существования. Анализ ежегодных объемов роста площади ПЗФ за этот период (свыше 100 тыс. га), свидетельствует, что при их сохранении для достижения установленных государством и международным сообществом целевых показателей в соответствии с Повесткой дня – 2030 (9,05–10,3 млн га территорий ПЗФ) потребуется 50–60 лет.

Вместе с тем несовершенство существующей законодательной базы, отсутствие четко определенной стратегии развития заповедного дела и несовершенство системы управления им, низкий уровень финансового и материально-технического обеспечения организации и функционирования ПЗФ, несоответствие системы охраны территорий и объектов ПЗФ современным требованиям, низкий уровень экологического образования и информированности населения обуславливают угрозу нецелевого использования и потери территорий и объектов ПЗФ. Значительно возросла угроза потери зарезервированных и перспективных для последующего заповедания ценных природных комплексов. Наблюдается катастрофическое уменьшение площади территорий водно-болотных угодий, степных экосистем, природных лесов, которое происходит вследствие распашки земель, вырубки лесов с последующим изменением целевого назначения земель, осушения или обводнения территорий, промышленного, жилого и дачного строительства [12].

Культурное наследие в Атласе «Население Украины и его природное и культурное наследие». Раздел «Культурное наследие Украины» – один из крупнейших в Атласе, раскрывает много тем и содержит значительное количество карт, представленных в подразделениях, характеризующих недвижимое культурное наследие и несколько интегральных категорий, объединяющих в своем составе

различные виды материального (движимого и недвижимого), а также нематериального культурного наследия.

Для целей разработки карт этого раздела было принято отличное от законодательно принятого авторское определение **культурного наследия** как совокупности уникальных унаследованных от предыдущих поколений материальных и нематериальных культурных ценностей, памятников и историко-культурных территорий и объектов, имеющих исключительное историческое значение для сохранения и развития самобытности Украины и всех ее этнических и социальных общин, их вклада в мировую цивилизацию и формирование культурного пространства.

В подраздел «Недвижимое культурное наследие» включены карты особых историко-культурных территорий («Исторические населенные места» и «Историко-культурные заповедники») как результат территориального подхода к сохранению, охране и использованию культурного наследия, при котором наследие сохраняется в его традиционной природной и историко-культурной среде.

Разработка карт по видам памятников культурного наследия и их типам была связана с рядом трудностей. В Украине отсутствует полная официальная информационная картина по объемам и состоянию памятников (объектов) культурного наследия, состоящих на государственном учете. Их количество, по данным государственной статистической отчетности, составило на начало 2019 г. 127,6 тыс. недвижимых объектов культурного наследия (без учета территорий Автономной Республики Крым, Донецкой и Луганской областей).

Наличие огромного количества потенциальных объектов картографирования значительно усложнило процесс формирования информационной базы данных. Встал вопрос об установлении такого объема объектов, который должен обеспечить полноценное и целостное представление о культурном наследии Украины, а также учесть потребность в создании удобных возможностей для пользования Атласом в Интернете или на электронных носителях. Именно поэтому создание информационной базы Атласа осуществлялось без учета некрополистических памятников истории, большинства памятных знаков и отдельных второстепенных сооружений (хозяйственных, жилых, производственных и т. п.) в составе комплексов (ансамблей) памятников архитектуры, градостроительства, истории. В Атласе отражены, главным образом, достопримечательности национального (и частично – местного) значения.

В результате были разработаны карты по видам достопримечательностей и их типам, а именно: архитектуры и градостроительства, археологии, истории, монументального искусства, садово-паркового искусства, ландшафтные, науки и техники.

В Атласе значительно расширен состав функциональных групп объектов культурного наследия, как это осуществляется в ряде инициатив и программ ЮНЕСКО, ICOMOS и других международных организаций.

Результатом проведенной исследовательской и соответствующей информационной работы по интегрированию широкого спектра объектов культурного и природного, материального и нематериального, движимого и недвижимого наследия по отдельным исследовательским областям и их последующего картографирования стали карты этнокультурного, религиозного и научно-технического наследия.

Представленные в Атласе первые в Украине специализированные карты подобной тематики и масштаба охвата не только способствуют введению в научную практику этих категорий, но и позволяют значительно расширить предметное поле исследований культурного и природного наследия.

Под понятием «этнокультурное наследие» в Атласе понимается совокупность культурных ценностей, объектов и элементов культурного наследия в их взаимосвязи и взаимозависимости с природным наследием, которое представляет собой культурное достояние и наследие определенного этноса, источник этнокультурной информации для сохранения, популяризации, освоения и передачи от поколения к поколению.

Подраздел «Этнокультурное наследие» в Атласе состоит из четырех многоуровневых и высоконформативных электронных карт: «Нематериальное культурное наследие», «Этнографические музеи и учреждения музеиного типа», «Народные художественные ремесла и промыслы», «Этнофестивали, праздники и ярмарки».

«Религиозное наследие» государства отражено на трех картах («Главные и выдающиеся культовые сооружения», «Монастырские комплексы», «Сакральные места»).

«Научно-техническое наследие» отражено в Атласе на двух картах: «Промышленное наследие» и «Научное наследие».

Получение на основе карт Атласа достоверной, обработанной и наглядно представленной информации о состоянии природного и культурного наследия позволит осуществить базовое обеспечение соответствующих учреждений актуальными пространственными данными для эффективного управления развитием природоохранных территорий и культурным наследием, а также на разных уровнях

станет поддержкой в принятии управленческих решений, проведении в учреждениях научных исследований, будет способствовать развитию экологически ориентированного туризма, информированию и популяризации экообразовательных знаний и т. д. Важную роль будет играть возможность представления научной, методической и информационной поддержки для территориального анализа данных, перспективного планирования и повышения их эффективности при составлении научно обоснованных прогнозов развития регионов и территориальных общин, формировании программ устойчивого (сбалансированного) развития страны и ее территорий.

От Атласа к созданию Атласной информационной системы природного и культурного наследия Украины. Картографическая визуализация современного состояния природного и культурного наследия Украины в представленном виде стала возможной благодаря быстрому развитию геоинформационных, мультимедийных и интерактивных технологий с применением мощных технических средств, что коренным образом изменило отечественные концептуальные подходы к путям изготовления и использования географических атласов – от традиционных к электронным, и далее – к атласным информационным системам [13].

Именно поэтому Атлас был запланирован как фундаментальное комплексное электронное картографическое произведение научно-справочного характера нового поколения. При этом создание атласа, в подтверждение мнения Б. Ристедта [14], может рассматриваться как предварительная стадия на пути к развитию «полномасштабной атласной информационной системы и как ядро мультимедийной системы».

Методологические и технические вопросы создания такой системы рассматривались в ряде коллективных публикаций сотрудников Института географии НАН Украины, в которых под Атласной информационной системой природного и культурного наследия Украины (далее – АИС ПиКН) понимается проблемно-ориентированная информационная система, создаваемая как программно-технологическое и инstrumentальное средство для решения задач по сбору, обработке, анализу и представлению пространственно-координированных данных, атрибутивной и мультимедийной информации о наличии, охране, сбережении и использовании объектов и территорий ПиКН, условиях и среде их размещения на заданных пространственных уровнях с расширенными возможностями геовизуализации, пространственно-статистического анализа, интерактивности и доступности ее ресурсов [15, 16].

Среди многих теоретических, методических и научно-прикладных задач, решавшихся при создании АИС ПиКН, акцент был сделан на их тематической составляющей, в которую входят: теоретическая разработка структуры и содержательного наполнения АИС ПиКН, развитие понятийно-терминологического аппарата, инвентаризация, визуализация и научный анализ разнообразной пространственно-временной информации и т. п.

Ключевым этапом построения АИС, основой для картографирования и применения любых информационных технологий в дальнейших исследованиях стала инвентаризация, которая осуществлялась путем сбора, систематизации и создания различных баз данных ПиКН. Выполнение этого этапа было связано с несколькими факторами, которые обусловили, с одной стороны, трудности информационного характера при создании баз данных ПиКН, а с другой – заложили основы перспективного развития АИС и определили ее стратегические направления.

Подробный анализ картографических произведений и ресурсов Интернет-сети, проведенный на предварительном этапе процесса создания Атласа, позволил утверждать, что полноценного информационного ресурса о природном и культурном наследии Украины на тот момент не существовало. Имеющийся опыт картографирования сводился в основном к инвентаризационному отражению отдельных категорий объектов и территорий ПЗФ или их сочетаний, при этом информация о многих из них на публичной кадастровой карте отсутствовала или была неточна, неполна и являлась устаревшей, данные были в значительной степени разрознены, фрагментарны и требовали систематизации. Аналогичная ситуация имела место и в картографировании наследия регионов Украины, за исключением отдельных областей.

Только благодаря усилиям ученых и общественности в украинском сегменте «Википедии» в рамках фотоконкурса «Вики любит Землю», который проводится в Украине с 2012 г., была создана и постоянно пополняется публичная база данных ПЗФ Украины. Данная база структурирована согласно официальной классификации в разрезе административно-территориальных единиц (АР Крым, областей, районов, городов) и насчитывала на начало октября 2021 г. 6,5 тыс. объектов ПЗФ, записи реестра содержат название объекта, адрес расположения, охранный номер и дату решения о взятии на учет, вид и категорию.

Лишь в начале 2021 г. в рамках проекта международной помощи «Поддержка природно-заповедных территорий в Украине» (<http://snpra.in.ua/>) начата работа по созданию открытой базы данных электронного Государственного кадастра территорий и объектов ПЗФ Украины (далее – Госкадастра ПЗФ) с точными границами, информацией об их статусе и природоохранной ценности. Тестовая редакция открытой базы

данных была размещена на веб-портале #ЭкоСистема (<https://eco.mergr.gov.ua/>) и непосредственно на сайте Госкадастра ПЗФ (<https://pzf.mergr.gov.ua/>) в сентябре 2021 г., в настоящее время оцифрованная карта кадастра содержит атрибутивную информацию о 7621 территории и объектах ПЗФ, продолжает наполняться и претерпевает многочисленные исправления.

Не лучшая ситуация с культурным наследием. С целью учета объектов материальной и духовной культуры введен Государственный реестр недвижимых памятников Украины (2000), наполнение и ведение которого выполняется крайне медленно: по состоянию на конец 2020 г. в него включено менее 10 % от их общего количества.

Таким образом, инвентаризация и формирование информационной базы данных АИС ПиКН осуществлялись в условиях наличия огромного количества потенциальных объектов картографирования, неэффективно функционирующей государственной системы учета объектов и территорий ПиКН и необходимости дополнения существующих перечней данными о пространственной локализации объектов картографирования, визуализацией топографического расположения и необходимой атрибутивной (описательной) информацией.

Дальнейшая систематизация данных была связана с их координатной привязкой (в условиях отсутствия, во многих случаях, полных и детальных географических данных о расположении территорий и объектов и соответственной картографической информации, усилившейся вследствие трудностей при установлении границ значительных по размеру территориальных объектов), подробным описанием и тому подобным с последующей проверкой правильности атрибутивных данных из Госкадастра ПЗФ.

Созданный структурированный геоинформационный продукт обеспечивает переход от учета, описания и картографирования к более основательным аналитическим операциям, в частности пространственному анализу объектов и территорий природного и культурного наследия, что должно стать эффективным инструментом решения проблем их сохранения и использования.

Сегодня большое количество сюжетов карт Атласа находится в развитии, имеет частичную концептуальную, методическую и картографическую проработку и достаточную обеспеченность исходными материалами. Посредством технологических и инструментальных возможностей созданной АИС предполагается разработка ряда картографических произведений, которые могут дополнить Атлас. Тематика одних карт является продолжением картографирования категорий наследия, не имеющих официально установленного статуса, в частности культурно-ландшафтной.

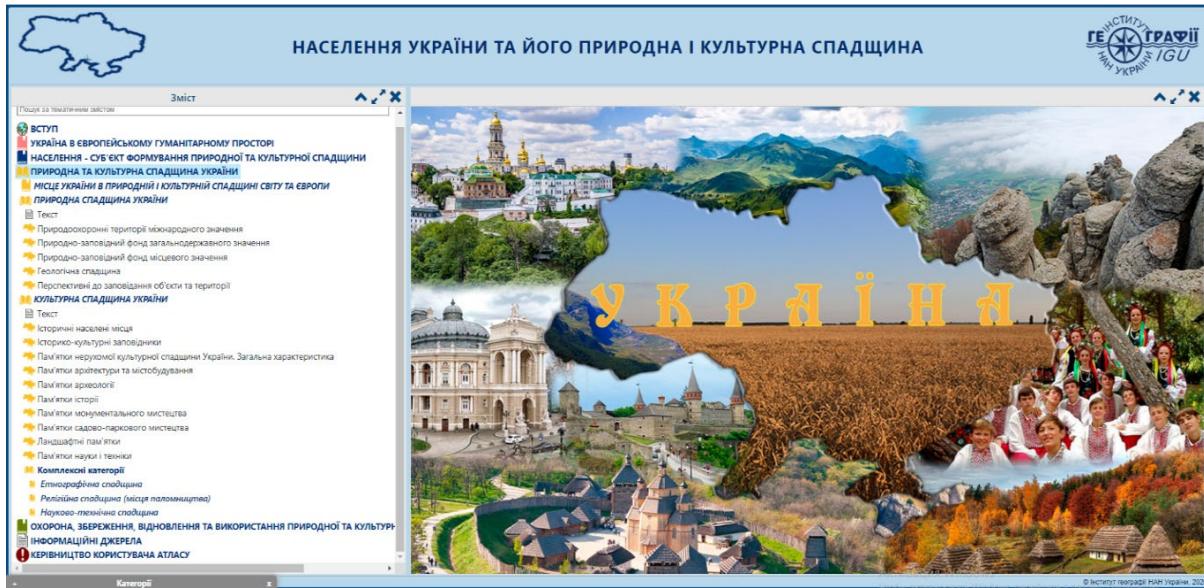
Другое направление формируют опорный каркас природного наследия Украины и опорный историко-культурный каркас. Комплексный и синтетический характер будут иметь оценочные карты, например, «Оценка репрезентативности и природоохранной эффективности современной системы ПЗФ Украины» (в частности, с оценкой ландшафтной и биоценотической репрезентативности, равномерности размещения и их связности в единой экологической сети), направленные на решение практических задач по оценке и прогнозированию, управлению и планированию и т. п.

Заключение. В Украине одной из наиболее актуальных задач в деле охраны и сбережения природного и культурного наследия является формирование эффективной информационной, мультимедийной и интерактивной системы данных об их объектах и территориях, обеспеченной официальными статистическими и достоверными научными сведениями, открытой для доступа широким слоям населения.

Работа по созданию Атласа, которая заключалась в картографировании значительного количества объектов и территорий ПиКН разных видов, типов и категорий на базе созданной атласной информационной системы, трансформировалась в сложный и многогранный процесс, базирующийся на комплексе методологических и методических подходов из разных сфер познания этого важного общественного явления.

Создание Атласа закладывает определенные основы (стандарты) относительно тематического содержания и визуализации ПиКН, что может найти свое отражение в комплексных общегосударственных и региональных атласах, туристических и краеведческих картографических произведениях, и тем самым стимулирует развитие теории и методов тематического и атласного картографирования. Данная система сможет послужить основой при дальнейшем создании постоянно действующей АИС ПиКН, доступной в полном объеме для ее использования через Интернет.

Карты блока «Природное и культурное наследие» Атласа представляют собой свод современной пространственной информации и знаний об особенностях размещения объектов и территорий наследия Украины, стимулируют развитие теории и методов тематического и атласного картографирования, будут служить научной и информационной поддержкой в разработке и реализации долгосрочной государственной стратегии, общегосударственных и региональных программ и проектов в области изучения, охраны, сбережения и комплексного использования наследия и включении этой проблематики в стратегии устойчивого развития и социально-экономического развития государства, регионов, районов, городов и объединенных территориальных общин.



Пользовательский интерфейс (главная страница)

User interface (home page)

Впервые в Украине, с использованием разрозненной информации, ее систематизации и обработки, создан интерактивный атлас (см. рисунок), позволяющий представить целостную картину о состоянии природного и культурного наследия государства, в большинстве случае в разрезе поселений.

Список использованных источников

1. Recommendation concerning the Protection, at National Level, of the Cultural and Natural Heritage [Electronic resource]. – Mode of access: <http://unesdoc.unesco.org/images/0011/001140/114044e.pdf#page=145>. – Date of access: 10.09.2021.
2. Havana communiqué on cultural mapping [Electronic resource] / Building critical awareness of cultural mapping: a workshop facilitation guide. – 2009. – P. 35–37. – Mode of access: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000190314>. – Date of access: 10.09.2021.
3. Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage [Electronic resource]. – Mode of access: <https://whc.unesco.org/archive/convention-en.pdf>. – Date of access: 10.09.2021.
4. Мазуров, Ю. Л. Природное и культурное наследие как фактор развития природопользования: вопросы методологии и практики управления : дис. ... д-ра геогр. наук : 25.00.24 / Ю. Л. Мазуров / Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова – М., 2006. – 344 с.
5. Чибилёв, А. А. Введение в геоэкологию (эколого-географические аспекты природопользования) / А. А. Чибилёв. – Екатеринбург : УрО РАН, 1998. – 124 с.
6. Чибилёв, А. А. Природное наследие как составная часть национального богатства и его интеграция в социально-экономическое развитие России / А. А. Чибилёв // Изв. Самарского науч. центра Рос. акад. наук. Спец. вып. «Природное наследие России». – 2004. – Ч. 1. – С. 5–9.
7. Кулешова, М. Е. Наследие и природно-культурный каркас территории / М. Е. Кулешова // Изв. Самарского науч. центра Рос. акад. наук. – 2007. – Т. 9, № 1. – С. 7–14.
8. Про Загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000–2015 роки : закон України від 21.09.2000 № 1989-III [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1989-14>. – Дата доступу: 10.09.2021.
9. Проблеми охорони геологічної спадщини України / В. А. П. Уімблдон [та ін.]. – Київ : ДНУ РНС НАН України, 1999. – 129 с.
10. Руденко, Л. Г. Природна спадщина: досвід та перспективи картографування в Україні / Л. Г. Руденко, К. А. Поливач // Український географічний журнал. – 2015. – № 4. – С. 40–49.
11. Про природно-заповідний фонд України : закон України від 16.06.1992 № 2456-XII [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2456-12>. – Дата доступу: 10.09.2021.
12. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року: Закон України від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>. – Дата доступу: 10.09.2021.

13. Чабанюк, В. Реляційна картографія: Теорія та практика / В. Чабанюк. – Київ : Інститут географії НАН України, 2018. – 525 с.
14. Rystedt, B. Current trends in electronic atlas production [Electronic resource] / B. Rystedt // Cartographic Perspectives. – 1995. – № 20. – Р. 5–11. – Mode of access: <https://doi.org/10.14714/CP20.889>. – Date of access: 10.09.2021.
15. Культурна спадщина в Атласній геоінформаційній системі сталого розвитку України / Л. Г. Руденко [та ін.] ; за ред. Л. Г. Руденка. – Київ : Арт Економі, 2018. – 172 с.
16. Академічна географія і атласне картографування за роки незалежності України / Л. Г. Руденко [та ін.] ; за ред. Л. Г. Руденка. – Київ : Ін-т географії НАН України, 2021. – 120 с.

References

1. Recommendation concerning the Protection, at National Level, of the Cultural and Natural Heritage. Available at: <http://unesdoc.unesco.org/images/0011/001140/114044e.pdf#page=145> (accessed 10 September 2021)
2. Havana communiqué on cultural mapping. In: Building critical awareness of cultural mapping: a workshop facilitation guide, 2009, pp. 35–37. Available at: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000190314> (accessed 10 September 2021)
3. Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage. Available at: <https://whc.unesco.org/archive/convention-en.pdf> (accessed 15 February 2021)
4. Mazurov Yu. L. (2006). *Prirodnoe i kulturnoe nasledie kak faktor razvitiya prirodopolzovaniya: voprosy metodologii i praktiki upravleniya. Dis. dokt. geogr. nauk* [Natural and cultural heritage as a factor in development of nature management: methodological issues and management practices. Dr. geog. Sci.]. Moscow, 2006, 344 p. (in Russian).
5. Chibilyov A. A. *Vvedenie v geoekologiyu (ekologo-geograficheskie aspekty prirodopolzovaniya)* [Introduction to geoecology (ecological and geographical aspects of nature management)]. Ekaterinburg, Uro RAN Publ., 1998, 124 p. (in Russian)
6. Chibilyov A. A. *Prirodnoe nasledie kak sostavnaya chast natsionalnogo bogatstva i ego integratsiya v sotsialno-ekonomicheskoe razvitiye Rossii* [Natural heritage as an integral part of national wealth and its integration into the socio-economic development of Russia]. *Izvestiya Samarskogo NTs RAN. Spets. vyip. «Prirodnoe nasledie Rossii»* [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Special edition "Natural heritage of Russia"]. 2004, vol. 1, pp. 5–9. (in Russian)
7. Kuleshova M. E. *Naslediye i prirodno-kulturny karkas territorii* [Heritage and natural and cultural framework of the territory]. *Izv. Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2007, vol. 9, no. 1, pp. 7–14. (in Russian)
8. *Pro Zahalnoderzhavnu prohramu formuvannia natsionalnoi ekolohichnoi merezhi Ukrayny na 2000–2015 roky* [On the National Program for Creating the National Environmental Network of Ukraine for the Years 2000–2015] The Law of Ukraine of 21.09.2000 no. 1989-III. Available at: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1989-14> (accessed 10 September 2021). (in Ukrainian)
9. Wimbleton V. A. P., Gerasimenko N. P., Ischenko A. A., e.a. *Problemy okhorony heolohichnoi spadshchyny Ukrayny* [Problems of the Ukraine geological heritage protection]. Kyiv, DNU MFN of NAS of Ukraine, 1999, 129 p. (in Ukrainian)
10. Rudenko L. H., Polyvach K. A. *Pryrodna spadshchyna: dosvid ta perspektivy kartografovannia v Ukrayni* [Natural heritage: experience and prospects of mapping in Ukraine] *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal = Ukrainian geographical journal*, 2015, no. 4, pp. 40–49. (in Ukrainian)
11. *Pro pryrodno-zapovidnyi fond Ukrayny* [On Nature Reserve Fund of Ukraine]. The Law of Ukraine of 16.06.1992 no. 2456-XII. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12#Text> (accessed 10 September 2021). (in Ukrainian)
12. *Pro Osnovni zasady (stratehiiu) derzhavnoi ekolohichnoi polityky Ukrayny na period do 2030 roku* [On the Basic principles (strategy) of the state ecological policy of Ukraine for the period till 2030]: The Law of Ukraine of 28.02.2019 no. 2697-VIII. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> (accessed 10 September 2021). (in Ukrainian)
13. Chabaniuk V. *Reliatsiina kartografiia: Teoriia ta praktyka* [Relational cartography: Theory and practice]. Kyiv, Institute of Geography of NASU, 2018, 525 p. (in Ukrainian)
14. Rystedt B. Current trends in electronic atlas production. *Cartographic Perspectives*, 1995, no. 20, pp. 5–11. Available at: <https://doi.org/10.14714/CP20.889> (accessed 10 September 2021)
15. Rudenko L. H., Polyvach K. A., Chabaniuk V. S., Bochkovska A. I., Maryniak Eu. O., Lisovskyi S. A., e.a. *Kul'turna spadschyna v Atlasnij heoinformatsijnij sistemi staloho rozvytku Ukrayny* [Cultural heritage in the Atlas geoinformation system of sustainable development of Ukraine]. Kyiv, Art Ekonomi Publ., 2018, 172 p. (in Ukrainian)
16. Rudenko L. H. (Ed.) *Akademichna heohrafia i atlasne kartografovannia za roky nezalezhnosti Ukrayny* [Academic geography and atlas mapping during the years of Ukraine's independence]. Kyiv, Institute of Geography of NASU, 2021, pp. 31–108. (in Ukrainian)

Информация об авторах

Руденко Леонид Григорьевич – почетный директор, доктор географических наук, академик НАН Украины, профессор, заведующий отделом картографии, Институт географии НАН Украины (ул. Владимирская, 44, 01054, Киев, Украина). E-mail: l.gr.rudenko@gmail.com

Поливач Екатерина Анатольевна – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, Институт географии НАН Украины (ул. Владимирская, 44, 01054, Киев, Украина). E-mail: kateryna.polyvach@gmail.com

Information about the authors

Leonid H. Rudenko – Honorary Director, Dr. Sci. (Geography), Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Professor, Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine (44, Volodymyrska Str., 01030, Kyiv, Ukraine). E-mail: l.gr.rudenko@gmail.com

Kateryna A. Polyvach – Ph. D. (Geography), Leader Researcher, Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine (44, Volodymyrska Str., 01054, Kyiv, Ukraine). E-mail: kateryna.polyvach@gmail.com

ГЕОЛОГИЯ. ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ GEOLOGY. MINERALS

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2021-2-59-72>

УДК 550.36(476)

Поступила в редакцию 04.09.2021
Received 04.09.2021

ГЕОТЕРМИЧЕСКОЕ ПОЛЕ БЕЛОРУССКОЙ ЧАСТИ ПОДЛЯСКО-БРЕСТСКОЙ ВПАДИНЫ

В. И. Зуй

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Аннотация. Изложены сведения о геотермических условиях платформенного чехла Подлясско-Брестской впадины, параметрах, характеризующих тепловое поле региона. На основании регистрации термограмм в буровых скважинах построены геотермические карты распределения температуры, теплового потока. Геотермические аномалии распределения температуры и теплового потока в пределах региона и смежных геологических структур в значительной степени зависят от особенностей геологического строения блоков земной коры. Рассмотрена изменчивость теплового поля зоны активного водообмена (зоны распространения пресных вод). Показано, что геотермическое поле изучаемого региона отличается неравномерностью. В прилегающих частях Белорусской антеклизы и Полесской седловины выделены аномалии низких значений температуры и теплового потока. Как температура, так и тепловой поток значительно возрастают в белорусской части Подлясско-Брестской впадины. Максимальные значения геотермических параметров отмечены в частях впадины, прилегающих к белорусско-польской границе. В направлении Лукувско-Ратновского горста наблюдается снижение теплового потока. Выполнена оценка плотности геотермальных ресурсов для толщи отложений кембрийского возраста. Плотность извлекаемых ресурсов в этой толще изменяется в широких пределах: от 0 (на восточной границе впадины при их выклинивании) до более чем 350 кг усл. т/м². Максимальные значения наблюдаются северо-западнее г. Бреста на участке, прилегающем к белорусско-польской границе, в частности в пределах хорошо изученной в геотермическом отношении Прибугской структуры. Они представляют интерес для практического использования.

Ключевые слова: геотермические аномалии; распределение температуры; тепловой поток; геотермальные ресурсы; Подлясско-Брестская впадина; Беларусь.

Для цитирования. Зуй В. И. Геотермическое поле белорусской части Подлясско-Брестской впадины // Природопользование. – 2021. – № 2. – С. 59–72.

GEOTHERMAL FIELD OF BELARUSIAN PART OF PODLASKA-BREST DEPRESSION

V. I. Zui

Belarusian State University, Minsk, Belarus

Abstract. The article presents an information on geothermal conditions of the platform cover within the Podlaska-Brest Depression, parameters characterizing the thermal field of the region. Geothermal maps of temperature and heat flow distribution were compiled based of thermograms registered in boreholes. Geothermal anomalies of temperature and heat flow distribution within the region and its adjacent geological structures are identified. They largely depend on the features of the geological structure of the crustal blocks. The variability of the thermal field within the territory of the zone of active water exchange (the fresh water zone) is considered. It is shown that the geothermal field of the region is characterized by its nonuniformity. Anomalies of low values of temperature and heat flow were identified in the adjacent parts of the Belarussian Anteclide and Polesie Saddle. Both the temperature and heat flow significantly increase in the Belarussian part of the Podlaska-Brest Depression. The maximum values of geothermal parameters were noted in parts of the depression adjacent to the Belarussian-Polish border. A decrease of the heat flow is observed in the direction of the Lukov-Ratno Horst. An estimate of the density of geothermal resources for the strata of Cambrian deposits has been carried out. The

density of recoverable resources in this stratum of the region varies in a wide range: from 0 (at the eastern boundary of the depression, when they pinch out) to more than 350 kg o. e/m². The maximum values are observed northwest of Brest in the area adjacent to the Belarus-Poland border, in particular, within the well-studied geothermal Pribug Structure. They represent the interest for practical use.

Keywords: geothermal anomalies; temperature distribution; heat flow; geothermal resources; Podlaska-Brest Depression; Belarus.

For citation. Zui V. I. Geothermal field of Belarusian part of Podlaska-Brest Depression. *Nature Management*, 2021, no. 2, pp. 59–72.

Введение. Цель работы – рассмотреть структуру геотермического поля одного из глубоких осадочных бассейнов Беларуси – восточной части Подлясско-Брестской впадины. Данная территория находится в юго-западной части Беларуси и относится к наиболее крупным отрицательным геологическим структурам страны. Она граничит с Белорусской антеклизой на севере, Полесской седловиной на востоке. С юга впадина ограничена широтным Лукувско-Ратновским горстом, частично заходящим на территорию Беларуси на крайнем юго-западе страны и имеющим продолжение на западе – в Польшу, а на востоке – в Украину (рис. 1).

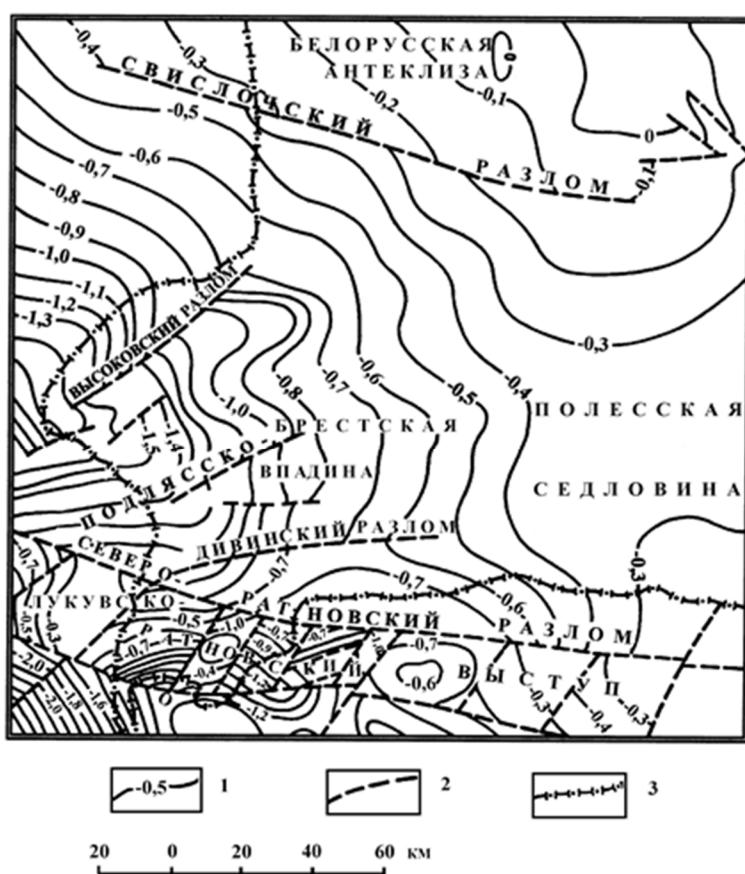


Рис. 1. Геолого-тектоническое строение Подлясско-Брестской впадины и прилегающих структур:
1 – изогипсы поверхности фундамента; 2 – основные разломы; 3 – граница Беларуси
[1, 2; с изменениями]

Fig. 1. Geological and tectonic structure of the Podlaska-Brest Depression and adjacent structures:
1 – isohypses of the basement surface; 2 – main faults; 3 – the border of Belarus
[1, 2; with changes]

Платформенный чехол Подлясско-Брестской впадины содержит, кроме осадочных пород, также маломощные вулканогенные отложения, сформировавшиеся в основном в венде. Краткое геологическое описание изучаемого региона приведено ниже по данным [1–3 и др.], а краткая гидрогеологическая характеристика – в основном по [4].

Впадина имеет вид структурного залива по кровле кристаллического фундамента. Она открыта в западном направлении и продолжается до края Восточно-Европейской платформы. Мощность

платформенного чехла увеличивается в западном направлении (рис. 1) от 0,5–0,6 км на границе с Белорусской антеклизой до 1,5–1,8 км, в полосе между г. Брестом и Высоковском глубинным разломом вблизи белорусско-польской границы и более 5 км в пределах Польши. Впадина заполнена разновозрастными осадочными породами, в том числе и маломощными продуктами вулканической деятельности. В южном направлении к Дивинскому и Северо-Ратновскому разломам она монотонно уменьшается, а изогипсы по поверхности фундамента здесь проведены на уровне от –0,5 до –0,7 км. Ось максимального прогибания ПБВ ориентирована в направлении северо-восток – юго-запад. Она проводится несколько южнее Высоковского разлома, проникающего в кристаллический фундамент.

Чередование разных по возрасту, составу и проницаемости для подземных вод отложений в платформенном чехле рассматриваемой территории привело к образованию многоуровневой водоизнапорной системы – Брестского артезианского бассейна [4].

Образование Подлясско-Брестской впадины связано с байкальскими тектоническими движениями. К этому времени приурочено излияние магм по ослабленным зонам в этой части платформы, что привело к накоплению толщ вулканических пород. Один из мощных очагов вулканизма располагался на востоке впадины между Высоковским и Дивинским разломами [1], свидетельствуя о наличии наиболее ослабленного звена в фундаменте этой части структуры.

Основной этап формирования впадины – каледонский, когда произошло накопление мощной толщи осадочных пород, максимальное погружение впадины и образование локальных малоамплитудных структур. Нижняя часть разреза представлена преимущественно терригенными породами, верхняя (без кайнозоя) – карбонатными.

В геологическом разрезе Подлясско-Брестской впадины выделяют два этажа, перекрывающих кристаллический фундамент. Нижний этаж включает образования рифейского и вендского комплексов верхнего протерозоя, кембрия, ордовика, силура, девона, карбона, местами перми, триаса, с большим уклоном погружающийся вместе с фундаментом с востока на запад. Верхний этаж разреза – отложения верхней юры, мела, палеогена, неогена, антропогена повсеместно перекрывает более древние образования. В платформенном чехле впадины выделены готский, нижнебайкальский, верхнебайкальский, каледонский, герцинский, киммерийско-альпийский структурные комплексы.

В гидрогеологическом плане региональными водоупорами являются горизонт «синих глин» и волынские вулканогенные образования. Нижнебайкальский (рифей-ранневендский) структурный комплекс представлен красноцветной алеврито-песчаной формацией рифея, распространенной в крайней восточной части впадины. Герцинский структурный комплекс в белорусской части впадины развит ограничено, и его мощность относительно невелика. Складчатым основанием впадины являются образования нижнего и среднего протерозоя [1].

Гидрогеологические условия. Осадочные отложения впадины содержат горизонты пресных и солоноватых (минерализация до 12 г/дм³ и более) подземных вод. На польской стороне минерализация рассолов увеличивается и достигает более 180 г/дм³ [5]. Благоприятным фактором для использования геотермальной энергии в регионе является глубокое залегание подошвы пресных вод с минерализацией до 1 г/дм³.

В восточной части Подлясско-Брестской впадины подошва пресных вод достигает глубины 400 м [4] и увеличивается в направлении границы с Польшей до аномально больших значений – 1000 м и более. В окрестностях г. Бреста она охватывает осадочные отложения от антропогеновых до кембрийских включительно. Вывод об интенсивной промытости кембро-силурийско-ордовикских отложений до глубины более 1000 м, что является уникальным для территории Беларуси, основан на гидрохимических материалах.

Две разобщенные гидродинамические системы (верхняя и нижняя) выделены в изучаемом геологическом разрезе впадины. Первая из них включает водоносные горизонты антропогеновых, палеоген-неогеновых, верхнемеловых, альбских и верхнеюрских толщ. Она характеризуется интенсивным водообменом, связью с поверхностным стоком и развитием пресных вод [5]. Источником их питания является инфильтрация метеорных вод и их поступление из поверхностных водотоков.

Верхние водоносные горизонты первой гидродинамической системы вскрыты многочисленными скважинами, пробуренными для нужд питьевого водоснабжения. Эксплуатируются горизонты водно-ледниковых, аллювиальных и озерно-аллювиальных толщ, верхнего сеномана и туона-маастрихта, альба нижнего сеномана, верхней юры, а в восточной части впадины – и верхнепротерозойских отложений. Минеральные воды нижней гидродинамической системы используются санаторно-курортными учреждениями региона.

Термограммы скважин. Геотермическое поле региона является отражением внутренней тепловой энергии Земли в горных породах и подземных флюидах. Термовое поле геологических структур во многом определяется историей геологического развития региона в целом. Оно находит отражение на термограммах скважин и в плотности теплового потока.

Изучение структуры геотермического поля имеет важное научное значение для понимания геологической эволюции региона и практический смысл, прежде всего с точки зрения освоения подземного

тепла. Температура земных недр возрастает с глубиной. При этом геотермический градиент (температура температуры с глубиной) различен в пределах разных блоков земной коры.

Интенсивность передачи тепла определяется, главным образом, плотностью теплового потока, тепловыми свойствами горных пород и насыщающих их флюидов, а также циркуляцией подземных вод. Перенос тепла в осадочной толще представляет собой сложный процесс. В обобщенном виде он отражается на термограммах, зарегистрированных в скважинах. Площадная же характеристика геотермического поля отчетливо проявляется при составлении карт или схем распределения температуры на выбранных глубинах или стратиграфических поверхностях, а также плотности теплового потока.

Мы не ставили целью собрать все имеющиеся термограммы, например, в пределах детально разбуренной Прибугской структуры (Прибугского подземного хранилища газа), поскольку территория, на которой находится это газовое хранилище, занимает, по сути, не более 1 % территории на карте изучаемого региона и на этой стадии здесь нет крупных потребителей тепла.

Вид отдельных термограмм представлен выборочно на рис. 2. Их температура зависит от глубины погружения фундамента, которая увеличивается, как отмечалось, в западном направлении и достигает максимальных значений в полосе, примыкающей к белорусско-польской границе.

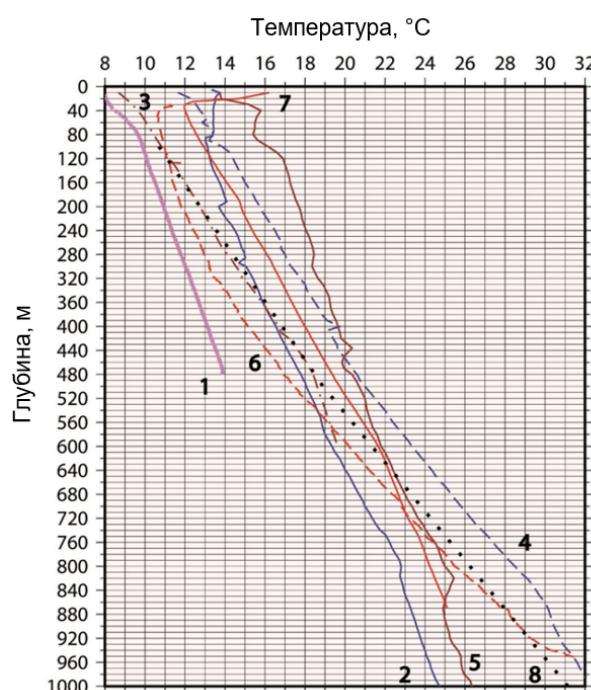


Рис. 2. Характерные термограммы скважин в регионе Подляско-Брестской впадины:
1 – Алеся; 2 – Вычулковская-201; 3 – Берестье-4; 4 – Прибугская-105; 5 – Прибугская-50а;
6 – Комаровка; 7 – Скверики; 8 – Кустинская-1оп

Fig. 2. Typical thermograms of boreholes in the Podlaska-Brest Depression:
1 – Alesya; 2 – Vychulkovskaya-201; 3 – Berestye-4; 4 – Pribugskaya-105; 5 – Pribugskaya-50a;
6 – Komarovka; 7 – Skveriki; 8 – Kustinskaya-1op

Наиболее глубокие скважины (скв.) региона, в которых выполнена регистрация термограмм, относятся к Кустинской площади [6] и территории Прибугского хранилища природного газа, а также они размещены в окрестностях г. Бреста (скв. Вычулковская-201 и Скверики).

Здесь в верхней более обводненной части геологического разреза значения температуры по отдельным скважинам, например, скв. Клейники-16 и Мухавец-19, пробуренным в окрестностях г. Бреста в пределах верхней гидродинамической системы на глубине 250 м, достигают 14 °C. Температура повсеместно увеличивается с глубиной. Примером могут служить производственные термограммы, зарегистрированные в скв. № 50 и 105 Прибугской структуры, где на глубине более 1250 м температура достигает 34,3 и 37,1 °C соответственно. В наиболее погруженной части впадины геотермические исследования немногочисленны, оценочные значения температуры на поверхности кристаллического фундамента могут незначительно превысить 40 °C.

Ряд термограмм глубоких скважин зарегистрирован в процессе производственного каротажа. В частности, термограммы скважин Вычулковская-201 и Скверики в окрестностях г. Бреста, скв. Кустинской площади и Прибугского газового хранилища. В ряде случаев они имеют отпечаток (см. рис. 2) недостаточной выдержки скважин перед регистрацией термограмм. В дальнейшем в скважинах подземных хранилищ газа (ПХГ) В. Г. Левашкевичем была организована повторная регистрация термограмм терморезисторным термометром на протяжении ряда лет в процессе выполнения работ по мониторингу за процессом эксплуатации этого хранилища [7]. Территория ПХГ занимает площадь размерами около 4×9 км и в масштабе изучаемого региона практически превращается в небольшое пятно.

В пределах крайней южной территории Брестского района за Лукувско-Ратновским горстом зарегистрирована термограмма в скв. Комаровка. Эта площадь относится к Волынской моноклинали. Здесь температура на забое скважины на глубине 951,6 м достигает $31,6^{\circ}\text{C}$, что сопоставимо с ее значениями для скважин как Прибугской, так и Вычулковской площадей на восточной окраине г. Бреста (см. рис. 2).

Расположение скважин в пределах изучаемого региона и глубины, достигнутые в них термометром, приведены на рис. 3. Длина полосок в местах расположения изученных скважин региона изображает их глубину, ее масштаб показан в левом нижнем углу на рис. 3. Жирной линией красного цвета изображена граница между восточной частью Подлясского-Брестской впадины, расположенной в пределах Беларуси, и примыкающими к ней Белорусской антеклизой и Полесской седловиной.

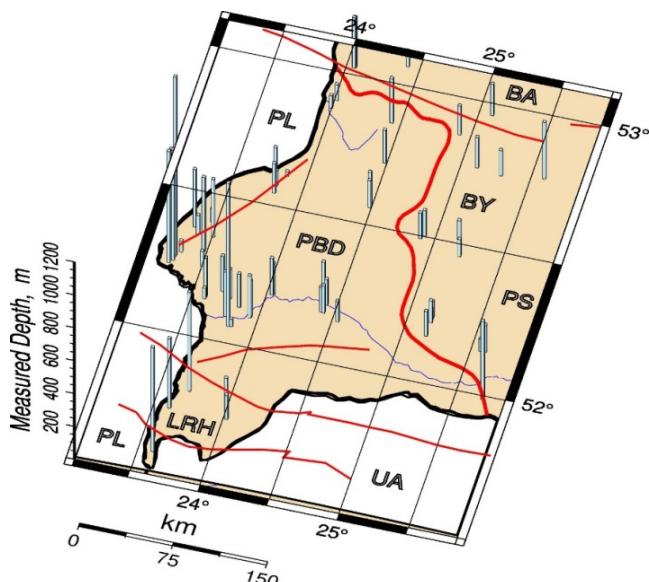


Рис. 3. Схема расположения скважин, в которых выполнена регистрация термограмм:
BA – Белорусская антеклиза; BY – Беларусь; LRH – Лукувско-Ратновский горст;
PL – Польша; PBD – Подлясско-Брестская впадина в пределах Беларуси;
PS – Полесская седловина; UA – Украина

Fig. 3. Layout of wells in which the registration of thermograms was performed:
BA – Belarusian Anteclise; BY – Belarus; LRH – Lukóv-Ratno Horst; PL – Poland;
PBD – Podlaska-Brest Depression within Belarus; PS – Polesie Saddle; UA – Ukraine

Глубокие скважины изучаемого региона расположены, главным образом, вблизи западной границы Беларуси, и по мере удаления от этой границы в восточном направлении их глубина уменьшается, термограммы в большинстве случаев здесь зарегистрированы до глубины, не превышающей первых сотен метров, на большей же части впадины геотермические исследования выполнены в мелких скважинах глубиной от 100 до 400–450 м (рис. 4). Аналогичная ситуация имеет место и для термограмм скважин, расположенных в пределах Лукувско-Ратновского горста.

Температура является измеряемым параметром, надежность ее регистрации определяется в основном инструментальной погрешностью используемого термометра. Часть термограмм, прежде всего глубиной до 300–500 м, была зарегистрирована в скважинах, продолжительное время находящихся в покое после завершения их бурения. При этом тепловое поле в стволах скважин и окружающих массивах горных пород, нарушенное в процессе циркуляции бурового раствора, восстанавливается до стационарного состояния. Производственные же термограммы обычно регистрируют при недостаточной выстойке скважин и отражают нарушенный тепловой режим.

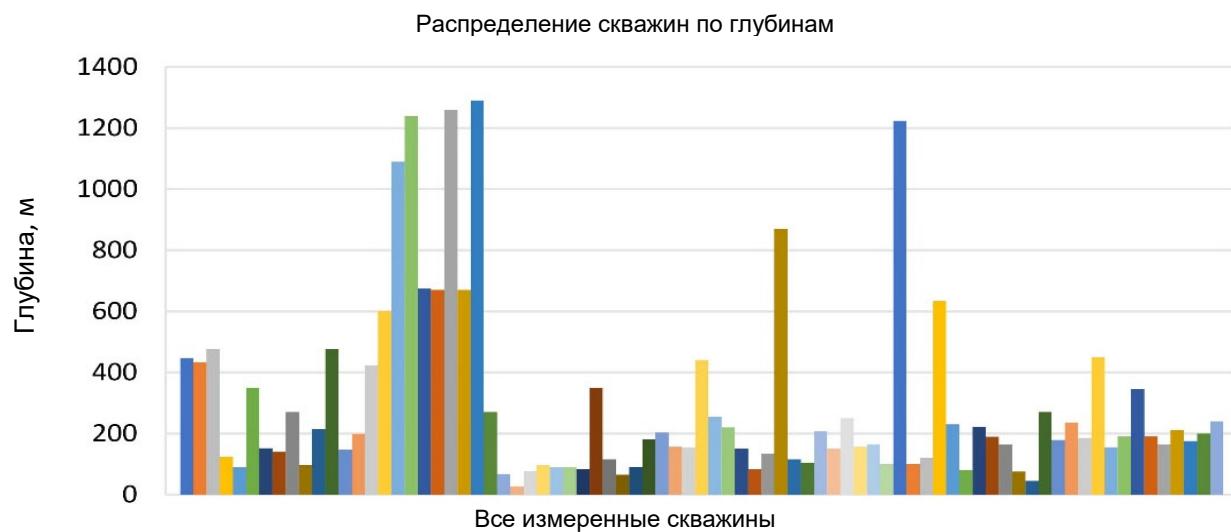


Рис. 4. Распределение глубин, достигнутых термометром при регистрации термограмм в массиве всех изученных скважин региона

Fig. 4. Distribution of depths reached by the thermometer when registering thermograms in the array of all studied boreholes in the region

Используемые полупроводниковые электротермометры имели погрешность порядка $\pm 0,05$ °C, промысловые термометры – порядка 0,1–0,5 °C, а иногда и 1 °C. Термограммы, зарегистрированные после достижения теплового равновесия в скважинах, имеют «гладкий» вид, тогда как производственные термограммы представляют собой кривые более извилистой формы (см. рис. 2).

Как следует из рис. 4, подавляющее большинство термограмм скважин в изучаемом регионе зарегистрировано до глубины 150–200 м. С учетом их экстраполяции вглубь не более чем вдвое, можно оценить температуру по всей площади региона лишь до глубины около 300 м. Цепочка более глубоких скважин впадины вдоль белорусско-польской границы не позволяет построить кондиционные карты распределения температуры на более глубокие горизонты. В нашем распоряжении отсутствовали термограммы по прилегающим к границам Беларуси территориям Польши и Украины.

Распределение температуры на глубине 100 м. Для построения карты распределения температуры на глубине 100 м были использованы только результаты собственных измерений температуры в скважинах, восстановивших до начала исследований тепловое равновесие, нарушенное бурением. Производственные термограммы не использовались по причине малой выстойки скважин перед началом измерений. Большинство таких термограмм имеют невысокое качество, в верхних частях геологического разреза, они обычно показывают перегрев скважины по отношению к стационарной температуре горных пород. Построенная карта распределения температуры на глубине 100 м представлена на рис. 5.

Интервал 0,5 °C был использован для проведения изотерм, что вполне приемлемо, имея в виду, что абсолютная погрешность скважинных электротермометров составляла порядка $\pm 0,05$ °C. Положение изученных скважин показано красными кружками. Их распределение неравномерное в пределах региона. Слабо изученной остается приграничная с Украиной полоса, в которой имеется только несколько изученных скважин. Отсутствуют данные по температуре на территории Польши и Украины, прилегающих к границам Беларуси.

Температурное поле на глубине 100 м имеет контрастный вид. Здесь отчетливо прослеживаются геотермические аномалии повышенных и пониженных значений температуры. Изотермы в пределах впадины проведены путем интерполяции. Температура на глубине 100 м в регионе изменяется в диапазоне от 8 до 12 °C, разница между крайними значениями достигает 4 °C. Значения температуры более 9,5 °C характерны для южной и западной частей Подлясского-Брестской впадины. В западной же ее части существует положительная геотермическая аномалия, в пределах которой температура превышает 10 °C. По данным измерений в скв. Скверики температура превышает 11 °C.

Полоса повышенных значений температуры в зоне аномалии простирается в Польшу. В северной ее части она проведена по линии населенных пунктов Каменец – Видомля – Кобрин – Иваново (профили А–А и В–В). Южнее Кобриня намечается язык пониженных значений температуры, вытягивающийся в направлении Малориты.

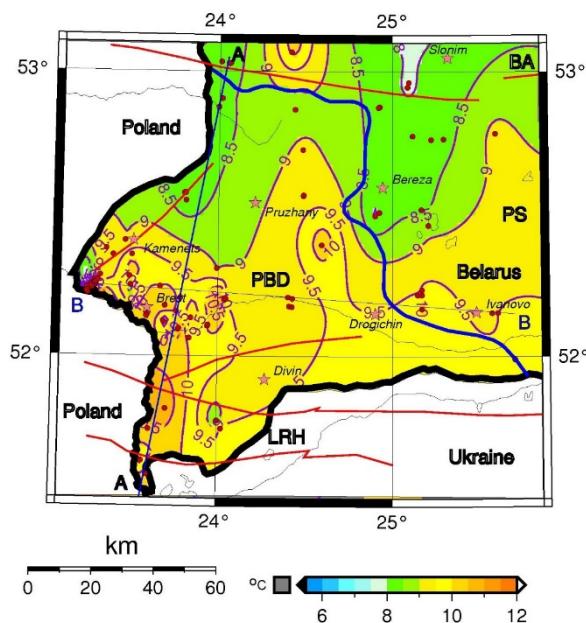


Рис. 5. Распределение температуры на глубине 100 м.
Красными и голубой линиями обозначены основные разломы
и восточная граница Подлясско-Брестской впадины соответственно

Fig. 5. Temperature distribution at a depth of 100 meters.
Red and blue lines indicate the main faults and the eastern border
of the Podlaska-Brest Depression respectively

Изотерма 9,5 °C прослеживается субпараллельно белорусско-украинской границе, в том числе и через Полесскую седловину, достигает долготы г. Столина за пределами карты и далее уходит на территорию Украины.

Распределение температуры на глубине 200 м. Для построения карты распределения температуры на глубине 200 м (рис. 6), были использованы в основном только собственные результаты регистрации термограмм в скважинах, восстановивших тепловое равновесие, нарушенное бурением. Производственные термограммы не использовались. Они имеют невысокое качество. С увеличением глубины количество надежных термограмм снижается. Контраст температурного поля на глубине 200 м увеличивается при сохранении основных его черт, наблюдаемых на описанной карте распределения температуры для глубины 100 м. Как отмечалось, для построения карт экстраполяция термограммы выполнялась лишь до глубины, не превышающей двойной глубины, достигнутой электротермометром в скважине.

На карте аномалии распределения температуры прослеживаются более отчетливо. Температура на глубине 200 м в регионе изменяется в диапазоне от 8,0 до 13,5 °C. Разница между крайними значениями уже достигает 5,5 °C, тогда как на карте, построенной для глубины 100 м, диапазон изменения температуры достигает 8–12 °C при разнице температуры в 4 °C. В западной части изучаемого региона в пределах положительной геотермической аномалии значения температуры превышают 13,5 °C. Границы аномалии выходят за пределы Беларуси и трассируются в пределы Польши. В целом, в отличие от западной части изучаемой территории, в северной и северо-восточной частях региона температура заключена в интервале 8,5–10,5 °C.

Изотерма 11 °C охватывает почти всю Подлясско-Брестскую впадину (профиль В–В), прослеживается субпараллельно белорусско-украинской границе и выходит в Полесскую седловину. Лишь самая северная часть впадины оказывается менее прогретой: здесь значения температуры заключены в интервале от 9,5 до 10,5 °C. В центре же положительной аномалии Подлясско-Брестской впадины температура достигает 12,5–13,5 °C. Она вытянута в меридиональном направлении вдоль белорусско-польской границы с центром несколько южнее г. Бреста, что хорошо видно вдоль профиля А–А. Вторая небольшая аномалия положительных значений температуры более 11 °C намечается в районе г. Кобрина.

В северной части карты в районе расположенных недалеко населенных пунктов Доброволя – Свислочь значения температуры на глубине 200 м несколько ниже 9,5 °C. Эта небольшая локальная аномалия, видимо, вызвана тем, что, например, в пос. Свислочь термометрические измерения в скважинах были выполнены на действующем водозаборе. Интенсивный отбор подземных вод из

более глубоких эксплуатируемых горизонтов стимулировал ускоренную инфильтрацию приповерхностных вод вглубь толщи горных пород, сложенной проницаемыми отложениями, что, в свою очередь, способствовало некоторому охлаждению верхней части геологического разреза.

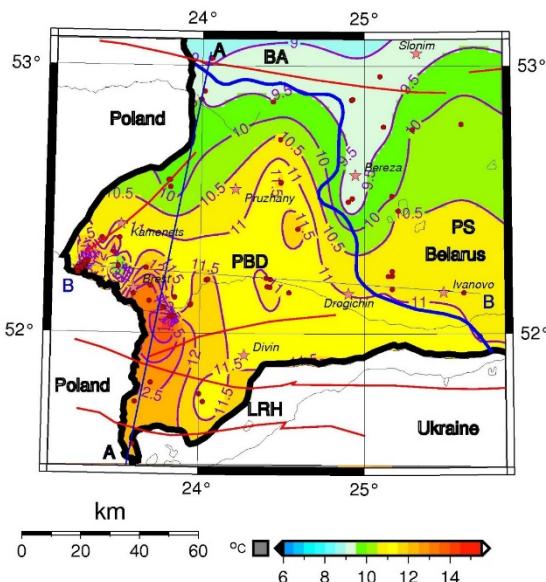


Рис. 6. Распределение температуры на глубине 200 м в белорусской части Подлясско-Брестской впадины. Обозначения те же, что и на рис. 5

Fig. 6. Distribution of temperature at the depth of 200 meters in the Belarusian part of the Podlaska-Brest Depression. See designations in fig. 5

Распределение температуры на глубине 300 м. С увеличением глубины наблюдений в скважинах региона уменьшается количество качественных термограмм для построения карт, в частности карты распределения температуры на глубине 300 м. В результате детальность и надежность отображения изотерм заметно снижается по сравнению с картами распределения температуры, построенными для глубин 100 и 200 м.

Для построения карты распределения температуры на глубине 300 м (рис. 7) использованы только собственные результаты регистрации термограмм в скважинах, достигших теплового равновесия. С увеличением глубины контраст температурного поля продолжает увеличиваться при сохранении его общих черт, наблюдаемых на картах распределения температуры на глубинах 100 и 200 м. Здесь отчетливо прослеживаются региональные аномалии. Температура на глубине 300 м изменяется от 10,0 до 16,5 °C (разница между крайними значениями составляет 6,5 °C).

Изотерма 12,5 °C, окаймляющая основную часть Подлясско-Брестской впадины, имеет продолжение в пределы Польши на западе и Украины на юге. В центре положительной аномалии температура превышает 15 °C. Видимо, она имеет продолжение в Польшу, однако отсутствие здесь надежных геотермических наблюдений не позволяет более детально проследить это.

В пределах впадины начинает обосновываться меньшая по площади Кобрин-Пружанская аномалия повышенных значений температуры, тогда как аномалия ее пониженных значений менее 11,5 °C сохраняется на северном и северо-восточном участках карты.

Свислочская локальная аномалия пониженных значений температуры менее 10,5 °C сужается и начинает постепенно исчезать, видимо, сказывается понижение температуры в верхней части геологического разреза в районе Свислочского водозабора, стимулировано отбором подземных вод через соседние эксплуатационные скважины.

Чтобы экстраполировать термограммы на более глубокие горизонты расчетным путем, необходимо как знание плотности теплового потока, так и строения не вскрытой бурением части геологического разреза, поскольку коэффициент теплопроводности в значительной мере зависит от литологоминералогического состава горных пород, не вскрытых бурением. Однако литология этой неизученной части разреза априори неизвестна. При этом снижаются как детальность проведения изотерм на карте, так и ее информативность.

Тепловой поток. Имеющиеся данные по оценке плотности теплового потока в регионе, а также ранее опубликованные данные по нему представлены в каталоге теплового потока; последняя сводка содержится в [8], где приведены ссылки на первоисточники. В случаях, когда разные авторы получили

различающиеся значения потока по одним и тем же номерам скважин, использованы их средние значения. Средний тепловой поток по таким скважинам принят обычно для более представительных (глубоких) интервалов, либо как среднее арифметическое из всех имевшихся определений, когда отмечается немонотонное изменение его интервальных значений с увеличением глубины.

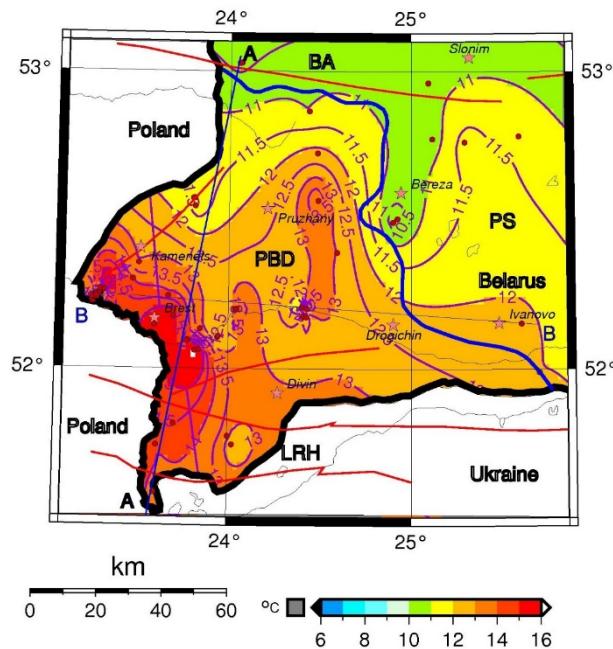


Рис. 7. Распределение температуры на глубине 300 м. Обозначения те же, что и на рис. 5

Fig. 7. Temperature distribution at the depth of 300 m. See designations in fig. 5

Карта плотности теплового потока в белорусской части Подлясско-Брестской впадины представлена на рис. 8. Количество определений плотности потока в приграничных районах Польши и Украины в рамках карты весьма незначительное (два значения). Имеется определение потока по скв. Melnik IG-1 на польской стороне [9] – 39 мВт/м², которое нами исключено как явно заниженное [10]. На белорусской стороне впадины вблизи границы его значения составляют около 50 мВт/м².

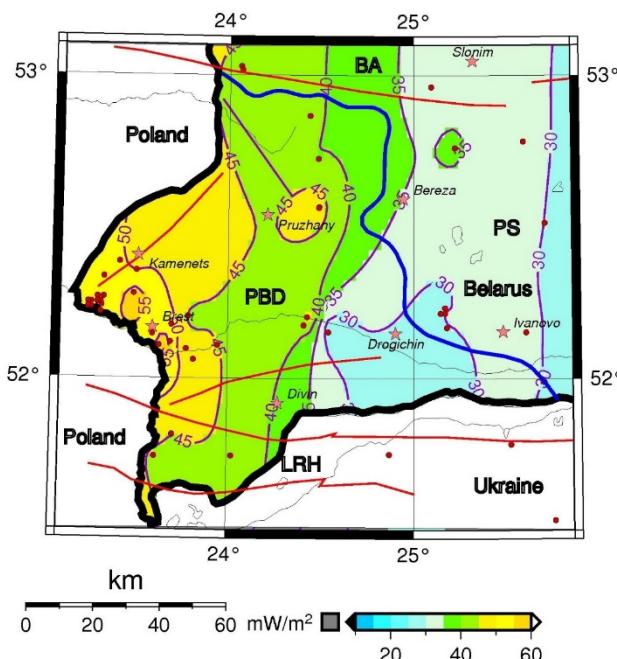


Рис. 8. Распределение плотности теплового потока в регионе

Fig. 8. Distribution of heat flow density in the region

Распределение плотности теплового потока имеет контрастный вид. На фоне низких значений – менее 25–30 мВт/м², в восточной и юго-восточной частях карты выделяются положительные аномалии со значениями более 40–55 мВт/м² в центрально-восточной части Подлясско-Брестской впадины в пределах Беларуси. Аномалия повышенных значений потока более 50 мВт/м², иногда до 55 мВт/м², наблюдается в приграничной с Польшей полосе, в пределах которой на картах распределения температуры на глубинах 100, 200 и 300 м выделены положительные аномалии температуры. Ее площадь по отношению к площади, занимаемой аномалией на картах температуры, незначительно смещена в направлении Страдичи – Брест – Каменец – Янув-Подляски.

Аномалия потока раскрыта в сторону Польши. Небольшая аномалия со значениями плотности теплового потока более 45 мВт/м² выделена между населенными пунктами Кобрин – Пружаны, она требует последующего уточнения. Эта же Кобринско-Пружанская аномалия уже наметилась на карте распределения температуры на глубине 200 м и была отчетливо выделена на карте, построенной для глубины 300 м. На глубине 100 м эта аномалия не выделяется. В треугольнике Пружаны – Видомля – Кобрин отсутствуют определения теплового потока. Конфигурация узкой полосы пониженного теплового потока вдоль восточной рамки карты, соединяющейся с аномалией в юго-восточной части, является, вероятно, следствием недостаточной геотермической изученности по тепловому потоку в этих зонах. В треугольнике населенных пунктов Дивин – Дрогичин – Любешов отсутствуют определения теплового потока, что не позволяет уточнить конфигурацию изолинии 30 мВт/м² в этой зоне. Эта холодная зона показана в виде языка, направленного от Выдерты в Украине, в меридиональном направлении и достигающего широты населенных пунктов Дрогичин – Липники в Беларусь.

В целом белорусская часть Подлясско-Брестской впадины характеризуется как повышенными значениями температуры на выделенных глубинах, так и повышенной плотностью теплового потока. Значения этих параметров увеличиваются от восточной и северной окраин впадины в западном направлении. Изолиния 40 мВт/м², отграничивающая западную более прогретую часть региона от восточной более холодной части, прослеживается от украинской границы на юге и, видимо, продолжается в район Гродненской положительной геотермической аномалии на севере, находящейся за рамками рассматриваемой карты. Преобладающее направление изолиний плотности теплового потока в регионе меридиональное.

Ресурсы геотермальной энергии кембрийского геотермального горизонта. Существует ряд методик определения плотности распределения геотермальных ресурсов [11–13]. Нами использована последняя из них. Она предполагает извлечение геотермальной энергии системой дублетов скважин (эксплуатационная и нагнетательная).

Ресурс H_1 (в Джоулях) оценивается по формуле [13]:

$$H_1 = H_0 \cdot R_0,$$

где H_0 представляет собой тепло, содержащееся в породах на месте их залегания. Сюда включается тепло, запасенное в матрице горной породы (m) и в воде в поровом пространстве (w):

$$H_0 = [(1 - P) \rho_m c_m + P \rho_w c_w] [T_t - T_0] A \Delta z;$$

где ρ_m , ρ_w – плотность матрицы горной породы и воды соответственно, кг/м³; c_m , c_w – удельная теплоемкость матрицы горной породы и воды, соответственно, Дж/(кг К); P – эффективная пористость, безразмерная величина; T_t – температура на кровле водоносного горизонта, °C; T_0 – температура на земной поверхности, °C; A – рассматриваемая площадь земной поверхности, м²; Δz – эффективная мощность водоносного горизонта, м; R_0 – коэффициент извлечения, представляет собой часть тепла, которое подлежит добыче. Он зависит от используемой технологии. Если добыча производится с использованием дублета скважин (эксплуатационная – нагнетательная), а минерализация пластовых вод не более 1 г/дм³, тогда

$$R_0 = 0,33 (T_t - T_r) / (T_t - T_0),$$

где T_r – температура закачки (реинжекции), °C.

Возврат отработанных термальных вод в водоносный горизонт предотвращает падение давления в нем во время эксплуатации, равно как и загрязнение поверхностных водотоков отработанными минеральными водами и рассолами. Если используется только одна эксплуатационная скважина, например когда теплые воды пресные, то рекомендуется $R_0 \approx 0,1$.

Наиболее водообильным и выдержаным по территории Подлясско-Брестской впадины является кембрийский водоносный горизонт, для которого нами выполнены расчеты извлекаемых ресурсов подземного тепла. Для этого применена методика [13]. Значение объемной теплоемкости горных пород принято равным $3,5 \cdot 10^6$ Дж/(м³·°C) по осредненным результатам ее измерения на образцах горных пород, отобранных из Кустинской опорной скважины [14], а объемной теплоемкости воды – $4,18 \cdot 10^6$ Дж/(м³·°C). Пористость принята равной 15 %, хотя по отдельным образцам песчаника она может достигать более 20–25 %. Температура обратной закачки отработанной воды диктуется требованием отсутствия выпадения растворенных солей после отбора из нее тепла тепловыми насосами.

На Клайпедской геотермальной станции в Литве она принята 11 °С, при минерализации рассола около 60–70 г/дм³. В Подлясско-Брестской впадине на глубине залегания кембрийского горизонта воды по-всеместно пресные, и эту температуру можно снизить. Нами принято значение 5 °С при среднегодовой температуре местности 9 °С. Переводной коэффициент, дающий связь между единицами измерения, выраженным в тоннах условного топлива (т усл. т.), с одной стороны, и Джоулях – с другой, составляет $k = 0,034 \cdot 10^{-9}$ т усл. т/Дж [11, с. 170]. Другими словами, для производства 1 Дж тепловой энергии необходимо затратить $0,034 \cdot 10^{-9}$ т усл. т. При подсчете запасов в отложениях кембрийского возраста впадины было использовано около 20 скважин. При вычислениях принято, что используется вся вскрытая мощность кембрийских отложений, включая и пропластки относительно непроницаемых горных пород, иногда преобладающие в разрезе кембрийского горизонта, как, например, в скв. Кобрин-4К. По скв. Пружаны-9 в расчет принималась вскрытая бурением мощность кембрийских отложений, при этом подошла пород кембрийского возраста скважиной не была вскрыта. По скважинам Прибугской структуры принято горизонтальное и выдержанное по мощности залегание кембрийских отложений, что не вносит заметных искажений в расчеты плотности ресурсов подземного тепла.

Схема распределения плотности ресурсов геотермальной энергии в кембрийских отложениях изучаемого региона представлена на рис. 9. Изолинии поведены в килограммах условного топлива на квадратный метр земной поверхности (кг усл. т/м²).

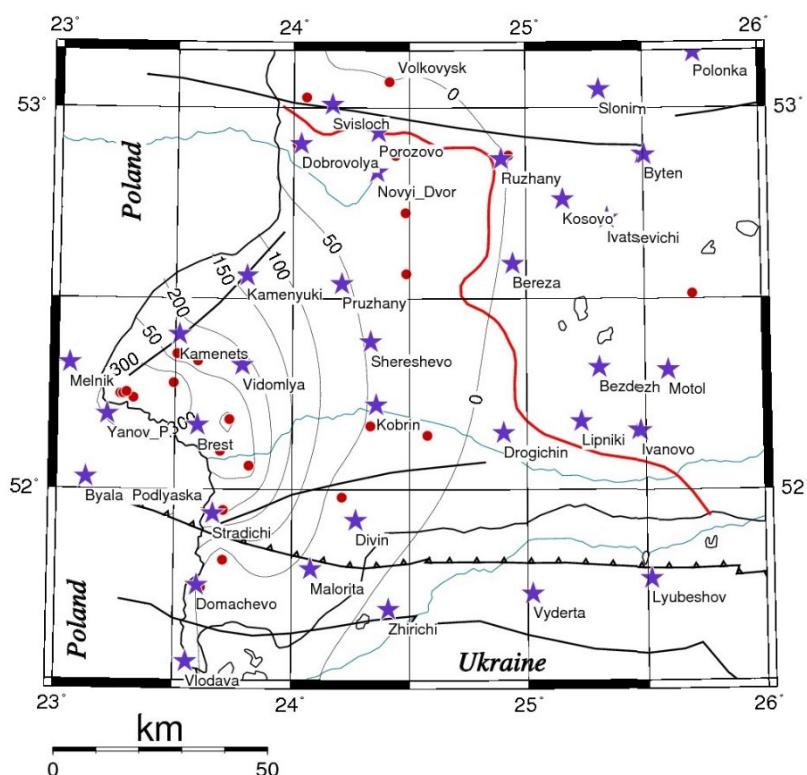


Рис. 9. Схема распределения плотности извлекаемых ресурсов геотермальной энергии, кг усл. т/м², заключенных в породах кембрийского геотермального горизонта восточной части Подлясско-Брестской впадины [14; с изменениями]. Красной линией изображена граница ПБВ; черными линиями показаны основные разломы; звездочками – населенные пункты

Fig. 9. Diagram of the distribution of the density of recoverable geothermal resources, kg o. e/m², contained in rocks of the Cambrian geothermal horizon in the eastern part of the Podlaska-Brest Depression [14; with changes]. The red line shows the boundary of the PBD; the black lines show the main faults; asterisks represent settlements

Глубокие скважины, по которым выполнены геотермические исследования, вытянуты цепочкой вдоль белорусско-польской границы. Такое их расположение не позволяет построить площадную схему распределения плотности ресурсов геотермальной энергии по белорусской части впадины. Поэтому к ряду глубоких скважин Подлясско-Брестской впадины, где не выполнялась регистрация их собственных термограмм, были применены термограммы ближайших скважин. В частности, для скв. Черняны-22К применена термограмма скважины Гирск-6К; для скв. Ратайчицы-12К – скв. Прибугская-12; для скв. Курница-9К – скв. Брест-9Ш; для скв. Страдечь-17К, БЭМЗ-3, БЭМЗ-4 – скв. Скверики-1; для скв. Орля-28 и Прибугская-26К – скв. Прибугская-22Р; для скв. Новоселки-41Во – скв. Новоселки-27; для скв. Кобрин-

4К – скв. Брилево-2 и Брилево-3 (обе скважины расположены вблизи г. Кобрин). В ряде случаев имеющиеся термограммы не перекрывали либо весь интервал кембрийских отложений, либо не вскрывали его кровлю, при этом выполнялась линейная экстраполяция для определения температуры для подошвы этого горизонта.

По скважинам Прибугской структуры выполнено несколько десятков термограмм, однако эти скважины сосредоточены на небольшой площади – около 4×9 км, что в масштабе всей впадины представляет собой маленькое пятно, поэтому здесь лишь несколько термограмм использовано для оценки геотермальных ресурсов. Севернее линии, проходящей через населенные пункты Каменец, Каменюки, Пружаны и Косово, изолинии плотности ресурсов экстраполированы.

Как и следовало ожидать, при анализе информации о распределении температуры на приведенных выше картах (см. рис. 5–7) и плотности теплового потока (рис. 8) плотность ресурсов геотермальной энергии в кембрийских отложениях региона изменяется в широких пределах: от 0 (в местах выклинивания этой толщи) до более чем 350 кг усл. т/м². Максимальные значения наблюдаются северо-западнее г. Бреста на участке, прилегающем к белорусско-польской границе, в частности в пределах хорошо изученной в геотермическом отношении Прибугской структуры. По направлению к внешним границам впадины происходит снижение плотности ресурсов подземного тепла. Оно обусловлено как уменьшением глубины залегания кембрийских отложений (а следовательно, и температуры на их кровле и подошве), так и снижением их мощности. Нулевые значения наблюдаются в полосе вдоль границы Подлясского-Брестской впадины с Белорусской антеклизой, Полесской седловиной и Лукувско-Ратновским горстом, где кембрийские отложения выклиниваются и в целом происходит значительное уменьшение мощности платформенного чехла. В районе крупного промышленного центра – г. Бреста – плотность ресурсов подземного тепла заключена в интервале 250–300 кг усл. т/м². Следует отметить, что эти данные являются предварительными, поскольку на территории самого города отсутствуют надежные измерения распределения температуры по всему геологическому разрезу платформенного чехла по пробуренным здесь нескольким глубоким скважинам, расположенным на территории Брестского электромеханического завода (№ 3 и № 4), санатория-профилактория Брестского отделения Белорусской железной дороги (№ 1 и № 2), Брестского завода безалкогольных напитков (№ 5). Перечисленные скважины были пробурены Геологическим управлением «Геокаптажминвод» (г. Львов, Украина), и термограммы не регистрировались.

В южной части впадины в направлении Лукувско-Ратновского разлома происходит быстрое снижение плотности ресурсов подземного тепла в кембрийском геотермальном горизонте до значений менее 50 кг усл. т/м². Так, в скважинах ОАО СКО «Брестагроздравница» «Санаторий Берестье» бурением нескольких скважин на минеральную воду (в геотермическом отношении изучена скважина Берестье-4) кембрийские отложения отсутствуют, в скв. Домачево-1 их мощность составляет только 78 м, а плотность ресурсов снижается до 31–50 кг усл. т/м². В районе г. Кобрин мощность кембрийских отложений и плотность ресурсов снижаются до 136 м и 46 кг усл. т/м² соответственно. В треугольнике населенных пунктов Каменец – Доброволя – Шерешево отсутствуют изученные в геотермическом отношении скважины.

Протерозойский геотермальный горизонт. В нижележащей толще осадочных отложений породы венда и рифея имеют меньшую проницаемость по сравнению с песчаниками кембрия, значения температуры здесь увеличиваются по наиболее глубоким скважинам вплоть до 38–41 °C. Однако с увеличением глубины залегания протерозойского геотермального комплекса ухудшается площадная геотермическая изученность. В нашем распоряжении имелись лишь единичные, за исключением хорошо разбуренной Прибугской структуры, термограммы для выполнения количественной оценки плотности геотермальных ресурсов.

Вычисления выполнены, как и ранее, по методике [13]. Значение объемной теплоемкости горных пород принято равным $3,64 \cdot 10^6$ Дж/(м³·°C) по осредненным результатам ее измерения на семи образцах горных пород, отобранных из скв. Кустинская-10 и Брестская-22К, а объемной теплоемкости воды – $4,18 \cdot 10^6$ Дж/(м³·°C). Средняя пористость принята равной 5 %. В Подлясско-Брестской впадине на глубине залегания отложений венда и рифея минерализация пластовых вод может достигать 10–25 г/л. Нами принято значение температуры возврата использованной воды 10 °C при среднегодовой температуре местности 9 °C.

Для подсчета запасов в отложениях протерозоя использовано около 20 скважин, ряд из которых вскрыл только часть разреза этой толщи. В таких случаях плотность ресурсов подземного тепла оценина только для вскрытых интервалов венда либо рифея. Полученные значения плотности ресурсов геотермальной энергии пересчитаны в кг усл. т/м² земной поверхности.

В отдельных случаях применяли экстраполяцию термограммы, чтобы определить расчетную температуру на кровле и подошве протерозойского комплекса. Такой прием позволяет оценить диапазон изменения плотности ресурсов в нижней части платформенного чехла впадины. Для ряда глубоких скважин, где отсутствовали собственные термограммы, были применены термограммы ближайших скважин. В частности, для скв. Черняны-22К применена термограмма скв. Гирск-6К; для скв. Ратайчицы-12К – Прибугская-12; для скв. Курница-9К – Брест-9Ш; для скв. Страдечь-17К и БЭМЗ-3 и 4 –

Скверики-1; для скв. Орля-28 и Прибугская-26К – Прибугская-22Р; для скв. Новоселки-41Во – Новоселки-27; для скв. Кобрин-4К – Брилево-2 и Брилево-3, расположенные вблизи г. Кобриня.

Плотность ресурсов геотермальной энергии в протерозойском геотермальном комплексе изменяется в широких пределах от 0 (при выклинивании толщи) до более 300 кг усл. т/м². Отдельная карта плотности ресурсов не составлялась. Высокие значения 250–300 кг усл. т/м² наблюдаются в районе г. Бреста и на участке, прилегающем к белорусско-польской границе, в частности в пределах Прибугской структуры эти значения достигают 200 кг усл. т/м². По направлению к внешним границам впадины происходит снижение плотности ресурсов подземного тепла вследствие как уменьшения глубины залегания рассматриваемых отложений (а, следовательно, и температуры на их кровле и подошве), так и снижения их мощности.

Заключение. Тепловое поле Подлясско-Брестской впадины изучено неравномерно. Подавляющее количество термограмм зарегистрировано в мелких скважинах, глубиной до 200–300 м. Поэтому построены карты распределения температуры на глубинах 100, 200 и 300 м, относящихся к зоне распространения пресных подземных вод. Термограммы глубоких скважин имеются лишь в западной части впадины вдоль белорусско-польской границы. Напряженность температурного поля возрастает от внешних границ впадины в западном направлении. Температура в кембрийском и протерозойском геотермальных комплексах достигает 35–40 °C.

Аналогичная тенденция наблюдается и для теплового потока, увеличивающегося от приблизительно 30–35 мВт/м² в прилегающей части Белорусской антеклизы и Полесской седловины до 50–55 мВт/м² в наиболее глубокой части впадины.

Недра Подлясско-Брестской впадины содержат значительные низкопотенциальные ресурсы подземного тепла, пригодного для создания геотермальных установок с тепловыми насосами. В работе рассмотрены кембрийский и протерозойский геотермальные комплексы. Вся территория Подлясско-Брестской впадины в пределах страны содержит пригодные для использования ресурсы подземного тепла. Плотность извлекаемых геотермальных ресурсов в зависимости от конкретного геотермального горизонта и глубины залегания продуктивных толщ эквивалентна приблизительно от 50 до 350 кг усл. т на каждый квадратный метр земной поверхности. Плотность ресурсов подземного тепла, заключенного в кембрийском и протерозойском геотермальных комплексах, сопоставимы. Для геотермальных комплексов вышележащих горизонтов плотность ресурсов подземного тепла будет снижаться.

Наиболее перспективным участком для первоочередного использования геотермальной энергии в Подлясско-Брестской впадине является приграничная с Польшей территория между населенными пунктами Домачево и Каменец и от Белорусско-Польской границы до долготы г. Кобриня. Это, прежде всего, территория Брестского, Каменецкого, Жабинковского районов. Низкая минерализация подземных вод (1–2 г/дм³) на глубине до 1000–1100 м при температуре до 35–40 °C делает перспективной для извлечения тепловой энергии с помощью тепловых насосов эту часть геологического разреза.

При проведении поисково-разведочных работ на нефть в конце 1960-х – середине 1970-х гг. в Подлясско-Брестской впадине пробурен ряд глубоких скважин. Многие из них расположены недалеко от населенных пунктов. После проведения соответствующего дооборудования и, при необходимости, восстановительных работ они в принципе могут быть использованы для добычи термальных вод. Одна из геотермальных установок создана в регионе в тепличном комбинате «Берестье» на восточной окраине г. Бреста [15, 16].

Список использованных источников

1. Зиновенко, Г. В. Балтийско-Приднестровская зона перикратонных опусканий / Г. В. Зиновенко. – Минск, 1986. – 215 с.
2. Основы геологии Беларуси / под ред. А. С. Махнача [и др.]. – Минск, 2004. – С. 260.
3. Геология Беларуси / под ред. А. С. Махнача [и др.]. – Минск, 2001. – 814 с.
4. Станкевич, Р. А. Артезианские воды Бреста и их использование: природные условия, история освоения и пути прогресса / Р. А. Станкевич. – Минск : Адукацыя і вýхаванне, 2004. – 181 с.
5. Кудельский, А. В. Подземные воды Беларуси / А. В. Кудельский, В. И. Пашкевич, М. Г. Ясовеев. – Минск, 1998. – 260 с.
6. Кустинская опорная скважина Брестской впадины / Ф. М. Синичка [и др.]. – М., 1970. – 144 с.
7. Левашкевич, В. Г. Геотермия запада Восточно-Европейской платформы / В. Г. Левашкевич. – Минск : Беларуская наука, 2013. – 153 с.
8. Геотермический Атлас Беларуси / под общ. ред. В. И. Зуя. – Минск : Национальная библиотека Беларуси, 2018. – 89 с.
9. Майорович, Я. Изучение теплового потока в Польше и решение тектонофизических задач / Я. Майорович, С. Плева // Тепловое поле Европы. – М., 1982. – С. 261–276.
10. Жук, М. С. Тепловой поток Подлясско-Брестской впадины и сопредельных структур / М. С. Жук, В. И. Зуй, В. П. Козел / Доклады Акад. наук БССР. – 1989. – Т. 33, № 3. – С. 257–260.

11. Геотермальные ресурсы СССР / Ю. Д. Дядькин [и др.]. – СПб. : ВСЕГЕИ, 1991. – С. 168–176.
12. Franko, O. Hydrogeothermics in Czechoslovakia / O. Franko, M. Kral // Hydrogeothermics. – 1994. – Vol. 15. – International Association of Hydrogeologists (eds. Jean-Jacques Risler, Ian Simmers). – P. 21–42.
13. Hurter, S. Atlas of Geothermal Resources in Europe / S. Hurter, R. Haenel (eds.). – Hannover, Germany, Leibnitz Institute for Applied Geosciences (GGA), 2002. – 92 p. + 89 Plates.
14. Зуй, В. И. Тепловое поле платформенного чехла Беларуси / В. И. Зуй. – Минск : Экономпресс, 2013. – 256 с.
15. Gribik, Ya. G. Geothermal Energy potential estimates in Belarus / Ya. G. Gribik, V. I. Zui // Miedzynarodowe seminarium na temat: Rola Energii Geotermalnej w zrownowazonym rozwoju regionow Mazowieckiego i Lodzkiego, Osuchow, 4–6 pazdziernika 2000. – Krakow, 2000. – S. 257–262.
16. Зуй, В. И. Тепловое поле западной части Брестской области / В. И. Зуй, Я. Г. Грибик // Актуальные проблемы наук о Земле. Исследования трансграничных регионов. – 2019. – Ч. 1. – Брест : БрГУ им. А. С. Пушкина, 2019. – С. 65–68.

References

1. Zinovenko G. V. *Baltiysko-Pridnestrovskaya zona perikratonnykh opuskanii* [Baltic-pre-Dniester zone of pericratonic subsidence]. Minsk, 1986, 215 p. (in Russian)
2. Makhnach A. S. et al. (eds.). *Osnovy Geologii Belarusi* [Fundamentals of Geology of Belarus]. Minsk, 2004, p. 260. (in Russian)
3. Makhnach A. S., Garetsky R. G, Matveyev A. V. et al. *Geologiya Belarusi* [Geology of Belarus]. Minsk, 2001, 814 p. (in Russian)
4. Stankevich R. A. *Artezianskie vody Bresta i ikh ispol'zovanie: prirodnye usloviya, istoriya osvoeniya i puti progressa* [Artesian waters of Brest and their utilization: natural conditions, history of development and ways of progress]. Minsk, 2004, 181 p. (in Russian)
5. Kudel'sky A. V., Pashkevich V. I., Yasoveev M. G. *Podzemnye vody Belarusi* [Groundwaters of Belarus]. Minsk, 1998, 260 p. (in Russian)
6. Sinichka F. M., Zinovenko G. V., Bessonova V. Ya, Zhitskaya Z. V. *Kustinskaya opornaya skvazhina Brestskoy vpadiny* [Kustinskaya reference well of the Brest Depression]. Moscow, 1970, 144 p. (in Russian)
7. Levashkevich V. G. *Geotermiya zapada Vostochno-Europeiskoy platformy* [Geothermics of the western part of the East European Platform]. Minsk, 2013, 153 p. (in Russian)
8. *Geotermicheskiy Atlas Belarusi* [Geothermal Atlas of Belarus]. Ed. by V. I. Zui. Minsk, National library of Belarus Publ., 2018, 89 p. (English and Russian)
9. Majorowicz Ya., Plewa S. *Izuchenie teplovogo potoka v Pol'she i reshenie tektonofizicheskikh zadach* [Heat flow investigations in Poland and solution of tectonophysical problems in Poland]. *Teplovoe pole Evropy = Thermal field of Europa*. Moscow, 1982, p. 261–276. (in Russian)
10. Zhuk M. S., Zui V. I., Kozel V. P. *Teplovoi potok Podlyassko-Brestskoy vpadiny* [Heat flow in the Podlaska-Brest Depression]. *Doklady AN BSSR = Reports of the Academy of Sciences of the BSSR*, 1989, vol. 33, no. 3, p. 257–260. (in Russian)
11. Dyad'kin Yu. D., Boguslavsky E. I., Vainblat A. B., Ostroumova I. M., Troitskaya E. B., Moiseenlo U. I. *Geotermal'nye resursy SSSR* [Geothermal resources of the USSR]. Saint Petersburg, VSEGEI Publ., 1991, p. 168–176. (in Russian)
12. Franko O., Kral M. Hydrogeothermics in Czechoslovakia. *Hydrogeothermics*, 1994, vol. 15. International Association of Hydrogeologists. Eds. Jean-Jacques Risler, Ian Simmers, pp. 21–42.
13. Hurter S., Haenel R. (eds.). *Atlas of Geothermal Resources in Europe*. Leibnitz Institute for Applied Geosciences (GGA), Hannover, Germany, 2002. 92 p. + 89 Plates.
14. Zui V. I. *Teplovoe pole platformennogo chelha Belarusi* [Thermal field of the platform cover of Belarus]. Minsk, Econopress, 2013, 256 p. (in Russian)
15. Gribik Ya. G., Zui V. I. Geothermal Energy potential estimates in Belarus. *Miedzynarodowe seminarium na temat: Rola Energii Geotermalnej w zrownowazonym rozwoju regionow Mazowieckiego i Lodzkiego* [International seminar on: The role of geothermal energy in the sustainable development of the Mazowieckie and Lodzkie regions]. Osuchow, October 4–6, 2000. Krakow, 2000, pp. 257–262.
16. Zui V. I., Gribik Ya. G. *Teplovoe pole zapadnoi chasti Brestskoy Oblasti* [Thermal field of the western part of the Brest Region]. *Aktual'nye problemy nauk o Zemle. Issledovaniya transgranichnykh regionov* [Actual problems of Earth sciences. Studies of cross-border regions]. Brest, Brest State University named after A. S. Pushkin Publ., 2019, part 1, pp. 65–68. (in Russian)

Информация об авторе

Зуй Владимир Игнатьевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры региональной геологии, Белорусский государственный университет (пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь). E-mail: zui@bsu.by

Information about the author

Vladimir I. Zui – Dr. Sci. (Geology and Mineralogy), Professor of the Department of Regional Geology, Belarusian State University (4, Nezavisimosti Ave., 220030, Minsk, Belarus). E-mail: zui@bsu.by

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2021-2-73-84>

УДК 504.05/.06:711.404

Поступила в редакцию 26.11.2021

Received 26.11.2021

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ БИНАРНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД БЕЛОВЕЖСКОЙ ПУЩИ К СОВРЕМЕННЫМ КЛИМАТИЧЕСКИМ ВАРИАЦИЯМ

О. Г. Савич-Шемет

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Накопленные к настоящему времени научные представления о влиянии климатических изменений последних десятилетий на подземные воды свидетельствуют об отсутствии согласованного мнения специалистов о чувствительности подземных вод к современным изменениям климата. В статье предложен метод определения чувствительности подземных вод к современным климатическим вариациям на примере заповедной территории Беловежской пущи, обоснована достаточность успешной верификации и валидации полученных на его основе результатов.

На основе фактических метеорологических, гидрологических и гидрогеологических данных, характеризующих изменения температуры воздуха, количества осадков, водного и термического режима на территории Беловежской пущи, атмосферной циркуляции проведено моделирование чувствительности подземных вод к современным климатическим вариациям, решена задача бинарной классификации уровня режима подземных вод Глубонецкого и Каменюкского гидрогеологических постов.

Рассмотрены объективные и субъективные неопределенности оценок влияния многолетних вариаций климатических характеристик на подземные воды, отмечена необходимость продолжения комплексных междисциплинарных исследований взаимосвязи между изменением климата и пресными подземными водами.

Ключевые слова: бинарная классификация; климатические изменения; логистическая регрессия; подземные воды; воды спорадического распространения.

Для цитирования. Савич-Шемет О. Г. Решение задачи бинарной классификации для оценки чувствительности подземных вод Беловежской пущи к современным климатическим вариациям // Природопользование. – 2021. – № 2. – С. 73–84.

SOLVING THE BINARY CLASSIFICATION TASK FOR THE ASSESSING OF BELOVEZHSKAYA PUSHCHA GROUNDWATERS' SENSITIVITY TO MODERN CLIMATIC VARIATIONS

O. G. Savich-Shemet

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. The scientific ideas about the impact of climate changes in recent and coming decades on groundwater accumulated to the present date indicate the absence of a coordinated experts opinion on the sensitivity of groundwater to modern climate changes. The article proposes a method for the determining of the sensitivity of groundwater on the example of the protected area of Belovezhskaya Pushcha to modern climatic variations, justifies the sufficiency of successful verification and validation of the obtained results on its basis.

Based on actual meteorological, hydrological and hydrogeological data characterizing changes in air temperature, precipitation, water and thermal regime on the territory of Belovezhskaya Pushcha, atmospheric cycling, modeling of the sensitivity of groundwater to modern climatic variations was carried out, the task of binary classification of the level regime of groundwater of the Glubonetsky and Kamenyuksky hydrogeological posts was solved.

Objective and subjective uncertainties of estimates of the impact of long-term variations of climatic characteristics on groundwater are considered, the need to continue comprehensive interdisciplinary studies of the relationship between climate change and fresh groundwater is noted.

Keywords: binary classification; climate change; logistic regression; groundwater; waters of sporadic distribution.

For citation. Savich-Shemet O. G. Solving the binary classification task for the assessing of Belovezhskaya Pushcha groundwaters' sensitivity to modern climatic variations. *Nature Management*, 2021, no. 2, pp. 73–84.

Введение. Влияние глобального изменения климата на водные ресурсы – одна из наиболее обсуждаемых фундаментальных проблем в области климатологии и гидрогеологии. Подземные воды зоны активного водообмена как составляющая часть гидрологического цикла суши, несомненно, также подвержены влиянию наблюдаемых и ожидаемых климатических изменений. В естественной гидродинамической обстановке водоносный горизонт является достаточно сбалансированной системой и его функционирование подчинено определенным закономерностям. На современном этапе отсутствие прямого локального антропогенного воздействия на водоносный горизонт уже не является однозначным гарантом его «естественности», поскольку повсеместно отмечается опосредованное влияние человека на уровень режим подземных вод. Поскольку большая часть территории нашей страны относится к зонам избыточного и достаточного увлажнения, то, на первый взгляд, это снижает актуальность проблемы влияния изменений климата на подземные воды. Однако уже на современном этапе произошли изменение и перераспределение соотношения статей водного баланса на водосборах [1], а вклад одновременно активно проявляющихся естественных и техногенных факторов является трудноразделимым. Современные климатические изменения происходят со скоростями, сравнимыми с темпами нарастания техногенных нагрузок на окружающую среду. Дифференциация этой композиции воздействий на подземные воды крайне затруднена [1]. Такой подход основан на данных о том, что климатические изменения, как правило, оказывают более быстрый эффект на поверхностные воды, чем на подземные. Таким образом, создается ощущение того, что воздействие изменений климата на подземные воды менее интенсивно [2]. Сложность оценок влияния воздействий климатических изменений на подземные воды определяется также их различной подземной гидродинамикой и генезисом формирования, при этом подземные воды даже на ограниченных территориях могут показывать диаметрально противоположные тенденции.

До сих пор исследования и моделирование воздействия изменения климата на гидрологический цикл сосредоточены в основном на поверхностных водах. В большинстве случаев при изучении воздействия изменения климата на водные ресурсы подземные воды рассматриваются крайне упрощенно [2]. Изучение изменений подземных вод в условиях изменений климата особенно актуально на заповедных территориях. Обширные болота Беловежской пущи, большую часть года поддерживая высокую влажность воздуха, способствуют произрастанию и сохранению отдельных видов, подлежащих особой охране.

Методы и методика исследований. В основу работы положены данные инструментальных наблюдений за:

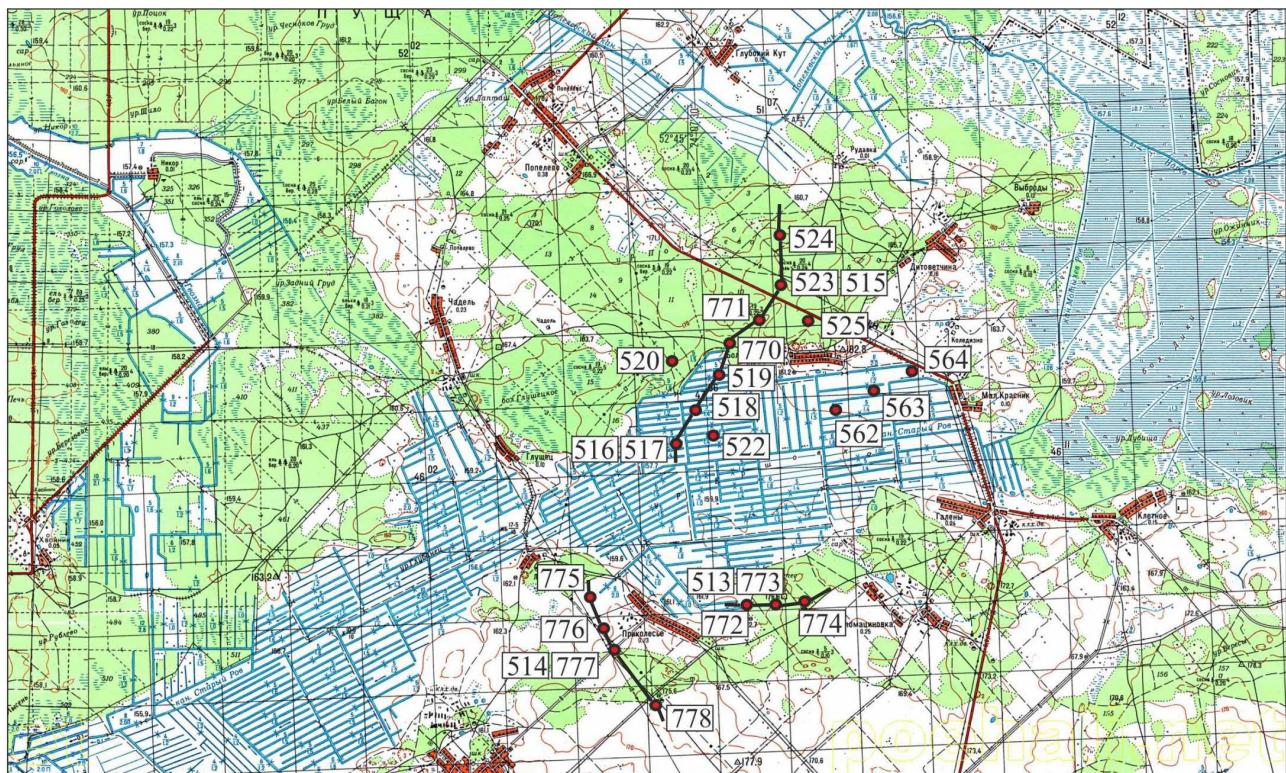
- уровнем подземных вод Беловежской пущи различного генезиса. На территории Беловежской пущи наблюдения за режимом подземных вод ведутся по шести гидрогеологическим постам (Бровский, Глубонецкий, Каменюкский, Хвойникский, Центрально-Беловежский, Ляцкие), включающим 77 наблюдательных скважин, оборудованных на различные водоносные горизонты: *I, all-pz; fllsz^s, gllsz^s, f,lglld-sž, f,lglbr-lld*. В настоящем исследовании были использованы временные ряды наблюдений за уровнем грунтовых вод, неглубоко (до 10,0 м) залегающих вод спорадического распространения в сожской морене с максимальным периодом наблюдений, напорных вод – 12 наблюдательных скважин (рис. 1, табл. 1);

- расходом рек территории Беловежской пущи: Нарев – период инструментальных наблюдений за количественными характеристиками реки составляет 48 лет (1972–2020 гг.); Лесная Правая – 39 лет (1981–2020 гг.);

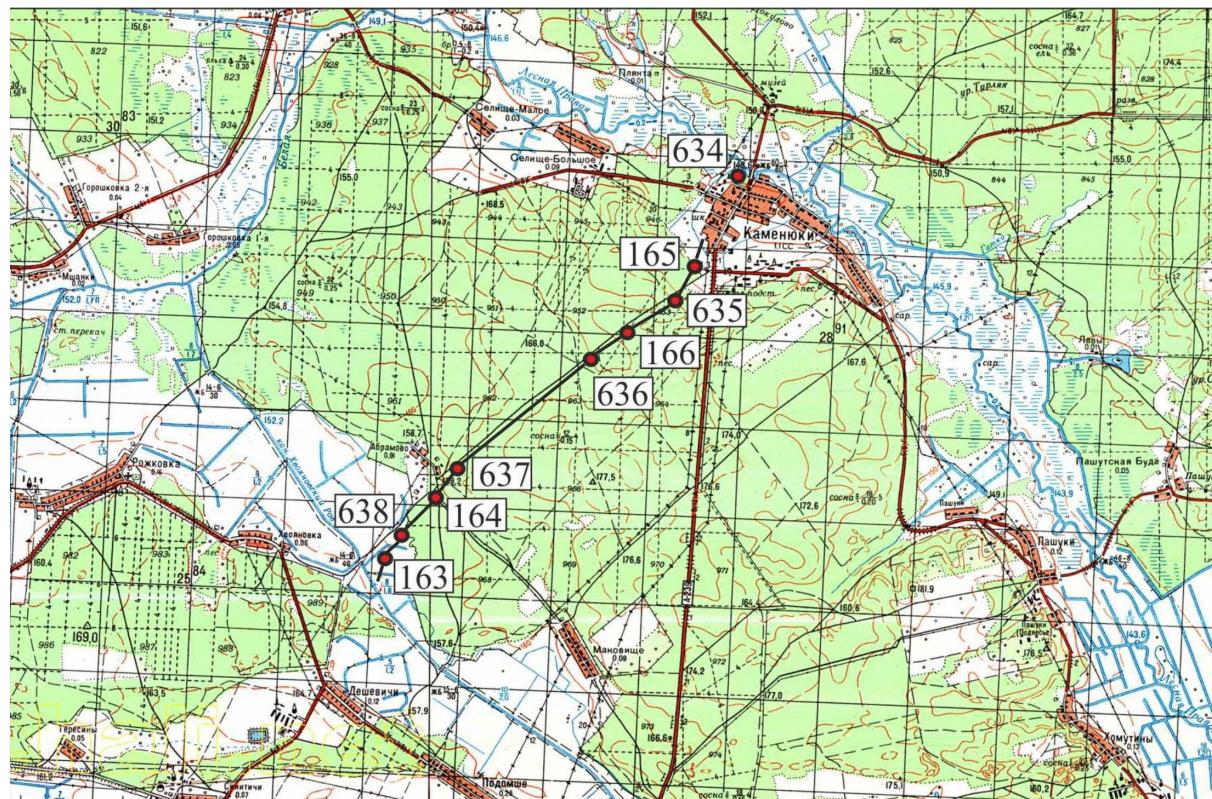
- количеством атмосферных осадков и температурой атмосферного воздуха по данным близлежащих метеорологических станций – г. Волковыска и г. п. Пружаны. Период инструментальных наблюдений составляет 75 лет (1945–2020 гг.);

- Северо-атлантическими колебаниями (индекс САК). Период инструментальных наблюдений составляет 70 лет (1950–2020 гг.).

Природные условия формирования уровня режима подземных вод на территории Беловежской пущи. По своему орографическому расположению территория Беловежской пущи входит в Прибугскую равнину Западно-Белорусской провинции. Основные типы и формы ледникового рельефа сформировались в четвертичный период и обязаны своим происхождением сожскому и днепровскому оледенению. Воздействие более древнего березинского оледенения оказало влияние лишь на общий характер орографии района и мало отразилось на современном рельефе. Гидрогеологический режим Беловежской пущи определяется преимущественно безнапорной гидродинамикой четвертичных водоносных горизонтов *fllsz^s* и *gllsz^s*, а также напорными подземными водами горизонта *f,lglld-sž* и более древних горизонтов четвертичных и дочетвертичных отложений.



а (а)



б (б)

Рис. 1. Схемы расположения скважин Глубонецкого (а) и Каменюкского (б) гидрогеологических постов

Fig. 1. Location schemes of wells of Glubonetsky (a) and Kamenyuksky (b) hydrogeological posts

Таблица 1. Исходные временные ряды наблюдений за уровнем подземных вод на территории Беловежской пущи**Table 1. Initial time series of observations of the groundwater level in the territory Belovezhskaya Pushcha**

Пост	Номер скважины	Тип наблюдаемых подземных вод	Период наблюдений, годы	Диапазон изменения и средняя глубина залегания подземных вод, м
Каменюкский	164	Грунтовые	1988–2020	0,05 ÷ 1,73 (0,81)
	634		1971–2020	0,15 ÷ 1,48 (1,03)
	635			5,86 ÷ 7,70 (6,78)
Глубонецкий	513	Сporadического распространения в сожской морене	1993–2020	4,37 ÷ 6,07 (5,29)
	514			6,90 ÷ 9,39 (8,40)
	515	Напорные		19,26 ÷ 21,95 (21,13)
	519	Грунтовые	1965–2020	0,50 ÷ 2,95 (1,42)
	562			0,75 ÷ 3,51 (1,66)
	564			0,92 ÷ 3,75 (2,54)
	770	Сporadического распространения в сожской морене	1966–2020	1,71 ÷ 3,93 (3,19)
	773			3,41 ÷ 5,70 (4,76)
	777			6,22 ÷ 9,11 (7,78)

Если такие режимообразующие факторы, как геоморфологические, геологические, гидрологические условия территории, являются статическими, то гидрометеорологические факторы – динамическими и в значительной степени определяют изменения уровняного режима грунтовых вод и неглубоко залегающих вод спорадического распространения в днепровской и сожской моренах на территории пущи.

Так, на территории пущи, как и по всей республике, во все сезоны года наблюдались положительные аномалии температурного режима [3]. Динамическая норма ряда, полученная с использованием анализа трендов, выбирает 21 и 24 % дисперсии в ряду наблюдений за среднегодовой температурой атмосферного воздуха для Волковыска и Пружан соответственно [4]. Особенности современного глобального потепления таковы, что разница температур между сезонами и температурный контраст между севером и югом уменьшаются. Продолжительность и теплообеспеченность вегетационного периода увеличиваются, а агроклиматические зоны продвигаются с юга на север. На территории Беларуси изолинии годовой суммы активных температур продвигаются в северном направлении со средней скоростью около 12 км/год, причем с ускорением. Примерно с такой же скоростью происходит продвижение границы положительной годовой суммы эффективных осадков (за вычетом потенциального испарения) [3].

Инфильтрационное питание подземных вод за счет атмосферных осадков в среднемноголетнем разрезе определяет их естественные ресурсы, которые непрерывно возобновляются в процессе круговорота воды и характеризуются как предел использования пресных подземных вод зоны интенсивного водообмена без их истощения в народном хозяйстве страны, с одной стороны, так и перспективы их использования и адаптации стратегий и планов управления особо охраняемых природных территорий к происходящим и прогнозным изменениям климата, с другой стороны. Пространственная корреляция осадков по территории пущи высокая ($r = 0,72 \div 0,95$) во все периоды года, минимальная ($r = 0,52$) наблюдается в июне месяце [4]. Средняя картина увлажненности территории пущи в сезонном и годовом разрезе за период наблюдений претерпевает незначительные временные изменения.

В последние годы в Беларуси выполнены исследования по количественной оценке гидрологических последствий глобального изменения климата. Эти исследования базируются на разных сценариях и охватывают большой диапазон изучаемых объектов – от малых водосборов до крупных речных систем. Так, выявлено статистически значимое снижение стока за весенне-половодье и уменьшение его доли в годовом стоке в бассейнах рек Днепра и Западной Двины и значительное увеличение доли зимнего стока в годовом распределении [5]. Установлено, что увеличение доли зимнего стока рек связано с повышением температуры воздуха холодных месяцев, увеличением частоты оттепелей,

прохождением зимних паводков. Для рек Нарев и Лесная, протекающих по территории пущи, таких тенденций не выявлено.

Атмосферная циркуляция также является одним из важнейших факторов развития ландшафтной оболочки и всей климатической системы нашей планеты. Наибольший интерес среди процессов, воздействующих на циркуляцию атмосферы в Северном полушарии нашей планеты, на флукутации климата, сток рек и опосредованно на связанные с реками горизонты, вызывает Северо-Атлантическое колебание (САК) – квазипериодические изменения разности атмосферного давления между Азорским максимумом и Исландским минимумом. Главной характеристикой состояния рассматриваемого процесса является индекс САК.

На формирование климата на локальном уровне также большое влияние оказывает тип подстилающей поверхности. Наличие растительного, в том числе лесного покрова, нивелирует существование и развитие радиационно-термических контрастов в почве. Согласно результатам выполненных ранее исследований [4] лесопокрытая площадь в лесном фонде ГПУ «НП «Беловежская пуща» в пределах выделенных локальных водосборов составляет 84 788,3 га, или 64,4 % общей площади водосборов.

Цель данной работы – статистически достоверно решить задачу бинарной классификации для оценки климатогенных изменений уровненного режима подземных вод различного генезиса территории Беловежской пущи.

Для достижения поставленной задачи необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ природных (геоморфологических, геологических, гидрогеологических, гидрометеорологических и др.) условий формирования уровненного режима подземных вод Беловежской пущи;
- привести массивы эмпирических данных по расходам рек, уровенному режиму подземных вод, температуре атмосферного воздуха, количеству атмосферных осадков, индексу САК в соответствие требованиям длительности, однородности, достоверности и репрезентативности, необходимым для исследования;
- провести корреляционный анализ для массива гидрометеорологических и гидрогеологических данных с использованием максимально возможного периода наблюдений с целью выявления синхронности изменений наблюдаемых показателей, а также определения наличия и тесноты связи предикторов;
- провести построение одно-, двух-, трех-, ..., n -факторных регрессионных моделей, выполнить их проверку на адекватность, точность, статистическую значимость коэффициентов и автокорреляцию остатков моделей, определить тип модели для бинарной классификации объектов;
- описать алгоритм, использующий бинарную логистическую регрессию и условия его применения;
- провести классификацию по результатам построения логит-регрессии, оценить основные неопределенности.

Корреляционный анализ – метод обработки статистических данных, с помощью которого измеряется теснота связи между двумя переменными или более. Корреляционный анализ тесно связан с регрессионным анализом.

Корреляционный анализ экспериментальных данных заключает в себе следующие основные практические приемы: 1) построение корреляционного поля и составление корреляционной таблицы; 2) вычисление выборочных коэффициентов корреляции или корреляционного отношения; 3) проверку статистической гипотезы значимости связи. Дальнейшее исследование заключается в установлении конкретного вида зависимости между величинами – в проведении регрессионного анализа.

Коэффициент линейной корреляции r_{xy} выражает степень тесноты линейной связи между двумя величинами и вычисляется по формуле

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}. \quad (1)$$

Для оценки значимости коэффициента корреляции используется t -критерий Стьюдента, который сравнивается с квантилем распределения Стьюдента $t_{\text{крит}}$ ($n - m - 1; \alpha/2$), где m – количество независимых переменных. Если $t_{\text{набл}} > t_{\text{крит}}$, то полученное значение коэффициента корреляции признается значимым (нулевая гипотеза, утверждающая равенство нулю коэффициента корреляции, отвергается).

Задача корреляционного анализа – выявить связи между исследуемыми величинами, т. е. определить наличие, вид и степень выраженности связей.

Задача регрессионного анализа – описание связей между исследуемыми величинами в виде уравнений или моделей связи $y = f(x)$. Для построения регрессионных моделей в работе применен метод наименьших квадратов, т. е. $y = f(x)$ строится так, чтобы сумма квадратов отклонений между модельными и фактическими величинами была минимальной.

Построение регрессионной модели представляет собой итерационный процесс, направленный на поиск эффективных независимых переменных, чтобы объяснить зависимые переменные, которые мы пытаемся смоделировать и определить, какие величины являются эффективными предикторами.

Задача построения уравнения регрессии, соответствующего выборочным (эмпирическим) данным и целям исследования, является достаточно сложным и многоступенчатым процессом, который можно разбить на три этапа:

- 1) выбор формулы уравнения регрессии;
- 2) определение параметров выбранного уравнения;
- 3) анализ качества уравнения и проверка адекватности уравнения эмпирическим данным, проверка статистической значимости коэффициентов, проверка остатков на автокорреляцию.

В общем случае при построении парной линейной регрессионной модели $y = a_0 + a_1x$ доказано, что сумма квадратов ошибки или остаточная сумма квадратов (Q_e) будет минимальна если a_0 и a_1 будут найдены путем решения системы уравнений

$$\begin{cases} a_0n + a_1 \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i \\ a_0 \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{cases}, \quad (2)$$

где x_1, x_2, \dots, x_n – значения некоторой величины; y_1, y_2, \dots, y_n – соответствующие им значения y ;

$$Q_e = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2.$$

Модель связи $y = f(x)$ является адекватной исходным данным, если при подстановке в нее значений x_1, x_2, \dots, x_n получаются значения $\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_n$ (модельные величины), близкие к y_1, y_2, \dots, y_n (фактические величины).

Для оценки качества полученных моделей использованы следующие приведенные ниже показатели.

Проверка адекватности модели – проверка близости модельных величин к фактическим. Для этого вычисляется критерий Фишера:

$$F = \frac{Q_r / k}{Q_e / (n - k - 1)},$$

где k – количество входных переменных, от которых зависит y ; Q_e – сумма квадратов ошибки; Q_r – сумма квадратов, обусловленных регрессией, $Q_r = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$.

Если критерий Фишера $F_{kp} > F_\alpha$; k ; $(n - k - 1)$ – модель адекватная или достаточно точная, соответствующая исходным данным, \hat{y} достаточно близки к y . По значениям F_{kp} , k и $(n - k - 1)$ находят P (расчетный уровень значимости). Если $P < \alpha$ – модель адекватна.

Проверка значимости коэффициентов модели. Проверка статистической значимости a_0 и a_1 , т. е. является ли значимым их отличие от 0. Для этого вычисляется t -критерий Стьюдента для a_0 :

$$t_0 = a_0 \sqrt{\frac{n(n-2) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{Q_e \sum_{i=1}^n x_i^2}}, \text{ и для } a_1: t_1 = a_1 \sqrt{\frac{(n-2) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{Q_e}}.$$

Эти величины сравниваются с квантилем распределения Стьюдента $t_{\alpha/2}$. Если t -критерий Стьюдента по модулю больше квантиля распределения Стьюдента, то коэффициент статистически значим, а следовательно, имеется статистически значимая связь x с y . Для каждого из коэффициентов находится уровень значимости P , и если $P < \alpha$, то соответствующий коэффициент значим.

Проверка статистической значимости коэффициентов модели важна для множественной линейной регрессии, так как позволяет понять, какие из входящих в модель величин x_1, x_2, \dots, x_k значимо влияют на y , а какие нет.

Оценка точности модели. Чем ниже Q_e , тем выше точность модели. Для оценки точности регрессионной модели вычисляется коэффициент детерминации

$$R^2 = \frac{Q_r}{Q_r + Q_e}.$$

Коэффициент детерминации принимает значения от 0 до 1. Чем больше данный коэффициент, тем точнее модель и тем ближе $\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_n$ к фактическим значениям.

Проверка модели на автокоррелированность остатков проводилась при предположении, что при наличии автокорреляции остатков верно соотношение

$$e_t = \rho e_{t-1} + v_t, \quad (3)$$

где e_t – остатки, ρ – коэффициент автокорреляции остатков; v_t – независимые случайные величины. Если $\rho = 0$, то отсутствует автокорреляция остатков и оценка параметров методом наименьших квадратов является наилучшей линейной несмещенной оценкой. Если $\rho \neq 0$, то оценка параметров методом наименьших квадратов является смещенной и выводы по модели не корректны. Таким образом, при тестировании на автокорреляцию остатков выдвигается нулевая гипотеза $H_0: \rho = 0$ против альтернативной гипотезы $H_1: \rho \neq 0$.

Статистика Дарбина – Уотсона определяется соотношением

$$D - W = \sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2 \Bigg/ \sum_{t=1}^n e_t^2. \quad (4)$$

Критерий Дарбина – Уотсона и коэффициент автокорреляции остатков связаны между собой соотношением (рис. 2):

$$D - W \cong 2 \cdot (1 - \rho).$$



Рис. 2. Соотношение критерия Дарбина – Уотсона и коэффициента автокорреляции

Fig. 2. The ratio of the Darbin – Watson criterion and the autocorrelation coefficient

В случае отсутствия автокорреляции $D - W = 2$; при положительной автокорреляции $D - W$ стремится к нулю, а при отрицательной – к 4:

$$\begin{cases} \rho = 0 \Rightarrow D - W = 2; \\ \rho = 1 \Rightarrow D - W = 0; \\ \rho = -1 \Rightarrow D - W = 4. \end{cases}$$

На практике применение критерия Дарбина – Уотсона основано на сравнении величины $D - W$ с теоретическими значениями d_L и d_U для заданного числа наблюдений n , количества независимых переменных модели и заданного уровня значимости α :

1. Если $D - W < d_L$, то гипотеза о независимости случайных отклонений отвергается (следовательно, присутствует положительная автокорреляция);
2. Если $D - W > d_U$, то гипотеза не отвергается;
3. Если $d_L < D - W < d_U$, то нет достаточных оснований для принятия решений.

Когда расчетное значение $D - W$ превышает 2, то с d_L и d_U сравнивают не сам коэффициент $D - W$, а выражение $(4 - D - W)$.

Алгоритм бинарной классификации. Пусть проведено наблюдение над m объектами, каждый из которых характеризуется n -мерным вектором признаков $X = (X_1, \dots, X_n)$. Каждый исследуемый объект, предположительно, относится к классу $K1$ или к классу $K2$.

Двухклассовый классификатор дает оценку принадлежности объекта к первому классу ($K1$) и оценки принадлежности объекта ко второму классу ($K2$). В работе применена процедура классификации с использованием модели бинарной логистической регрессии. Пусть переменная Y , определяющая принадлежность респондента к классу, принимает значение 1, если респондент относится к классу $K1$, и значение 0, если респондент относится к классу $K2$.

Рассмотрим регрессионную модель вида

$$P(Y = 1 | X = x) = \frac{\exp(a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n)}{1 + \exp(a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n)}, \quad (5)$$

где $X = (X_1, \dots, X_n)$, $x = (x_1, \dots, x_n)$, a_0, \dots, a_n – параметры регрессионного уравнения. Регрессионные коэффициенты уравнения (5) оценены выше методом наименьших квадратов.

Задача состоит в том, чтобы по реализации $x = (x_1, \dots, x_n)$ вектора признаков $X = (X_1, \dots, X_n)$ вновь поступившего на исследование объекта определить класс K_i , $i = 1, 2$, к которому этот объект следует отнести. То есть требуется построить решающее правило $\delta(x)$, которое ставит в соответствие каждому наблюдению $x = (x_1, \dots, x_n)$ одно из значений множества решений $D = \{d_1, d_2\}$, где решение d_i означает, что объект x определен в класс K_i , $i = 1, 2$.

Решающее правило определяется дискриминантной функцией $y = y(x)$ следующим образом и порождает разбиение выборочного пространства на две непересекающиеся области W_1 и W_2 – $W_i = \{x; \delta(x) = d_i\}$:

$$\delta(x) = \begin{cases} d_1, & \text{если } \frac{\exp(\hat{a}_0 + \sum_{i=1}^n \hat{a}_i x_i)}{1 + \exp(\hat{a}_0 + \sum_{i=1}^n \hat{a}_i x_i)} \geq 0,5; \\ d_2, & \text{если } \frac{\exp(\hat{a}_0 + \sum_{i=1}^n \hat{a}_i x_i)}{1 + \exp(\hat{a}_0 + \sum_{i=1}^n \hat{a}_i x_i)} < 0,5. \end{cases} \quad (6)$$

Таким образом, классифицирующее правило можно сформулировать следующим образом: респондента с реализацией признаков $x = (x_1, \dots, x_n)$ следует определить в класс $K1$, если оценка условной вероятности попадания в этот класс при таком значении x будет не меньше 0,5.

Результаты и их обсуждение. Обозначим через $K1$ класс грунтовых вод, вод спорадического распространения в днепровской и сожской моренах и напорных вод территории Беловежской пущи, уровненный режим которых является чувствительным к современным климатическим вариациям,

через $K2$ – является устойчивым к современным климатическим вариациям либо обуславливается иными факторами, возможно, также антропогенными. В качестве ключевой переменной Y выступали наблюдения за уровенным режимом подземных вод рассматриваемого генезиса. В классической теории первый важный шаг при проведении классификации – это отбор показателей, которые являются наиболее специфичными для качественного разделения на классы. Очевидно, что включение в дискриминантное решающее правило малоинформативных переменных не только усложняет вычисления, но может и заметно ухудшить качество классификации, так как каждый малоинформативный показатель несет в себе достаточно большую долю «шума». В связи с этим регрессионному анализу предшествовал анализ корреляционного поля предикторов и уровня подземных вод.

Решение задачи бинарной классификации выполнено для временных рядов наблюдений за глубиной залегания подземных вод (Y , м) на Каменюкском и Глубонецком постах территории Беловежской пущи (см. табл. 1).

Глубонецкий гидрогеологический пост предназначался для анализа изменения гидрологического режима осущененного болотного массива Глубонец (см. рис. 1, а) в восточной части пущи, изначально состоял из 24 скважин, расположенных на флювиогляциальной равнине по четырем створам.

Каменюкский гидрогеологический пост создан в 1970 г. на южной окраине Беловежской пущи в бассейне р. Лесной Правой и ее правого притока р. Белой (см. рис. 1, б) с целью изучения режима вод, приуроченных к флювиогляциальным отложениям, которые залегают между днепровской и сожской моренами и флювиогляциальными отложениями, покрывающими сожскую морену.

Ключевая переменная, определяющая разделение на классы (Y) принимает значение «класс $K1$ », если, согласно решающему правилу (6), $p > 0,5$.

Анализ корреляционного поля предикторов и уровня подземных вод показал наличие статистически значимых коэффициентов корреляции различной тесноты связи между ключевой переменной и каждым из обозначенных предикторов, от сильной до умеренной. Построение регрессионных моделей в настоящей работе выполнено с предикторами:

- 1) временной ряд наблюдений за количеством атмосферных осадков на территории исследований (A1);
- 2) временной ряд наблюдений за количеством атмосферных осадков теплого периода (апрель – октябрь) (A2);
- 3) временной ряд наблюдений за количеством атмосферных осадков осеннего периода (сентябрь – ноябрь) (A3);
- 4) временной ряд наблюдений за температурой атмосферного воздуха на территории исследований (A4);
- 5) временной ряд наблюдений за температурой атмосферного воздуха теплого периода (апрель – октябрь) (A5);
- 6) временной ряд наблюдений за температурой атмосферного воздуха осеннего периода (сентябрь – ноябрь) (A6);
- 7) временной ряд наблюдений за расходом в ближайшем водотоке (р. Лесная для Каменюкского поста) (A7);
- 8) временной ряд наблюдений за максимальным расходом в ближайшем водотоке (A8);
- 9) временной ряд наблюдений за подземной составляющей питания в ближайшем водотоке, определенной методом расчленения гидрографа (A9);
- 10) временной ряд индекса САК (A10).

Перебор предикторов был выполнен эмпирическим путем: модели, которые согласно рассчитанным критериям Фишера (p -значения) не показали адекватности исходным данным, в исследование не включались.

Результаты проверки полученных регрессионных моделей на адекватность, точность, статистическую значимость коэффициентов и автокорреляцию остатков моделей на примере временного ряда наблюдений за глубиной подземных вод в скважине 634 Каменюкского поста показали, что статистически значимыми ($p < 0,05$) являются коэффициенты A1 и A1, A3 в 1- и 2-факторных моделях, коэффициенты A1, A3, A4 в 3-факторной модели и коэффициенты A1, A3, A4, A10 в 4-факторной модели и A1, A3, A4, A7, A9, A10 в 6-факторной модели. Расчетный уровень значимости всех моделей, рассчитанный по значениям критерия Фишера, (F_{kp}), k и $(n - k - 1)$ меньше заданного, что позволяет определить регрессионные модели адекватными исходным данным. Автокоррелированность остатков не выявлена для 1-, 2-, 3-, 4- и 6-факторных моделей, регрессионные модели с количеством предикторов 5, 7-10 не показали отсутствие автокорреляции в остатках. Максимальным значением показателя точности модели, равным 0,7, характеризуется 10-факторная

модель, минимальным – 0,347 1-факторная; таким образом, можно утверждать, что до 70 % изменений величины Y обусловлены изменениями переменных, включенных в модель, коэффициенты которых являются статистически значимыми.

Результаты оценки качества регрессионных моделей по показателям: точность модели, адекватность модели, статистическая значимость коэффициентов модели, отсутствие автокорреляции в остатках показали, что для массива временных рядов наблюдений за подземными водами на территории Каменюкского и Глубонецкого постов для построения логистической регрессии в работе можно использовать 6-факторные модели. Статистическую значимость показали коэффициенты при предикторах $A_1, A_3, A_4, A_7, A_9, A_{10}$.

Задача бинарной классификации, где ключевой переменной Y выступали наблюдения за уровенным режимом подземных вод в скважине 634 Каменюкского поста, решена с использованием 6-факторной логит-регрессии:

$$P(Y = 1 | X = x) = \frac{e^{5,765 + 0,113A_1 + 0,014A_3 + 0,132A_4 + 0,012A_7 + 0,0035A_9 - 0,014A_{10}}}{1 + e^{5,765 + 0,113A_1 + 0,014A_3 + 0,132A_4 + 0,012A_7 + 0,0035A_9 - 0,014A_{10}}},$$

где P – вероятность наступления события (уровенный режим подземных вод является климатогенным, т. е. $Y = 1$); e – основание натурального логарифма ($-0,385217885\dots$); A_1, A_3 – временные ряды наблюдений за атмосферными осадками; A_4 – временной ряд наблюдений за температурой атмосферного воздуха; A_7 – временной ряд наблюдений за расходом в ближайшем водотоке; A_9 – временной ряд наблюдений за подземной составляющей питания в ближайшем водотоке; A_{10} – временной ряд индекса САК.

Решение задачи бинарной классификации показало, что к «классу $K1$ » отнесены временные ряды наблюдений за подземными водами в скважинах 634, 514, 515, 519, 564, 770, к «классу $K2$ » – 164, 635, 513, 773, 777.

Таким образом, принимается, что подземные воды Беловежской пущи (грунтовые, спорадического распространения в сожской морене, напорные) «класса $K1$ » метеогенны, обусловлены в основном режимом такого термодинамического параметра климатической системы, как температура приземного слоя воздуха, в меньшей степени связаны с подземным питанием ближайших водотоков, некоторые выдают статистически значимую связь с атмосферной циркуляцией.

Пресные подземные воды Беловежской пущи «класса $K2$ », являясь компонентом окружающей среды, формируются под воздействием ряда природно-климатических и антропогенных факторов. К основным климатическим факторам относятся процессы общей циркуляции атмосферы, формирующие баланс тепла и влаги в тропосфере и на подстилающей поверхности. Эти процессы обуславливают количество атмосферных осадков и интенсивность испарения, которые, в свою очередь, определяют величины речного и подземного стока. К другим природным факторам относятся геоморфологические условия и расчлененность рельефа, геолого-структурные условия, проницаемость покровных и водовмещающих отложений и др. Антропогенные воздействия – это, прежде всего, осушение земель. В случае подземных вод «класса $K2$ » как природно-климатические, так и антропогенные факторы действуют комплексно, определяя питание этих подземных вод и уровенный режим этого класса вод требуют дальнейшего изучения.

Изменения климата неизбежны, что подтверждается не только современными исследованиями, но и ретроспективным анализом истории формирования Земли. Принятие той или иной климатической доктрины приводит к различным диагнозам прошедших и прогнозам будущих состояний всех компонентов окружающей среды, в том числе подземных вод. Неоднозначность выводов связана прежде всего с неопределенностью значений, которая порождается низким качеством имеющихся гидрогеологических, гидрометеорологических эмпирических данных. Это обстоятельство усугубляется существенной неоднородностью плотности наблюдательной сети, которая, вопреки мировой закономерности, начиная с XXI века, постоянно сокращается.

Несмотря на имеющиеся объективные и субъективные неопределенности использованного в работе метода классификации, исследования чувствительности подземных вод к современным климатическим вариациям необходимы, в том числе на особо охраняемых природных территориях для разработки стратегий и планов реагирования на возможные изменения окружающей среды.

Задача бинарной классификации – частный случай задач классификации, решение которых актуально при современном развитии технологий проводить с использованием машинного обучения. Помимо того, что машинное обучение начинает играть ведущую роль в научных исследованиях в области информатики, оно уже проявляет себя активно в исследованиях в области охраны окру-

жающей среды и преобразования большого массива данных о Земле в знания. Вместо того, чтобы в ручном режиме выявлять правила и строить модели на основе анализа больших объемов данных, методология машинного обучения предлагает для вычленения знаний из данных более действенную альтернативу – постепенное улучшение качества прогнозных моделей и принятие решений, управляемых данными.

Выводы. На основе фактических метеорологических, гидрологических данных, характеризующих изменения температуры воздуха, количества осадков, водного и термического режима на территории Беловежской пущи, атмосферной циркуляции, проведено моделирование чувствительности подземных вод к современным климатическим вариациям.

1. По результатам проверки регрессионных моделей на адекватность, точность, статистическую значимость коэффициентов и автокорреляцию остатков моделей определен тип модели логистической регрессии для целей бинарной классификации: выбрана 6-факторная логит-регрессия. Решена задача бинарной классификации уровенного режима подземных вод Глубонецкого и Каменюкского гидрогеологических постов: к классу К1 отнесен уровенный режим подземных вод, наблюдения за которыми ведутся в шести скважинах, к классу К2 – в пяти скважинах.

2. Результаты применения разработанных к настоящему времени методологий оценок многолетних изменений климата и характеристик подземных вод показывают, что уровень их развития недостаточен для успешной верификации и валидации полученных на их основе результатов.

3. Уверенное научное суждение о влиянии вариаций климата на подземные воды можно сформировать, если существенно снизить неопределенности значений и структурные неопределенности современного этапа коэволюции климата и подземных вод. В значительной степени помочь решить данную задачу призваны методы машинного обучения.

Список использованных источников

1. Дзюба, А. В. Неопределенности оценки влияния современных вариаций климата на подземные воды / А. В. Дзюба, И. С. Зекцер // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2016. – Т. 466, № 1. – С. 88–91.
2. Дзюба, А. В. Опасность недостоверной оценки влияния современных климатических вариаций на питание подземных вод / А. В. Дзюба, А. А. Ковалева // Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи. – М. : РУДН, 2016. – Вып. 18. – С. 487–492.
3. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования // В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – 2-е изд. – Минск : Энциклопедикс, 2020 – 264 с.
4. Савич-Шемет, О. Г. Влияние климатических и антропогенных факторов на уровенный режим грунтовых вод Беловежской пущи : дис. ... канд. геогр. наук : 25.03.13 / О. Г. Савич-Шемет. – Минск, 2016. – 148 с.
5. Савич-Шемет, О. Г. Многолетние и современные изменения речного и подземного стока больших и средних рек территории Оршанского артезианского бассейна в условиях изменяющегося климата / О. Г. Савич-Шемет, М. М. Черепанский // Природопользование. – 2018. – № 1. – С. 150–162.

References

1. Dzyuba A. V., Zekcer I. S. *Neopredelennosti ocenki vliyaniya sovremennyh variacij klimata na podzemnye vody* [Uncertainties in assessing the impact of modern climate variations on groundwater]. *Doklady Akademii Nauk = Reports of the Academy of Sciences*, 2016, vol. 466, no. 1, pp. 88–91. (in Russian)
2. Dzyuba A. V., Kovaleva A. A. *Opasnost' nedostovernoj ocenki vliyaniya sovremennyh klimaticheskikh variacij na pitanie podzemnyh vod* [The danger of an unreliable assessment of the impact of modern climatic variations on groundwater recharge]. *Sergeevskie chteniya. Inzhenernaya geologiya i geoekologiya. Fundamental'nye problemy i prikladnye zadachi* [Sergeev Readings. Engineering geology and geoecology. Fundamental problems and applied problems]. Moscow, RUDN University Publ., 2016, issue 18, pp. 487–492. (in Russian)
3. Loginov V. F., Lysenko S. A., Mel'nik V. I. *Izmenenie klimata Belarusi: prichiny, posledstviya, vozmozhnosti regulirovaniya* [Climate change in Belarus: causes, consequences, regulation possibilities], 2nd ed. Minsk, Encyclopedix Publ., 2020, 264 p. (in Russian)
4. Savich-Shemet O. G. *Vliyanie klimaticheskikh i antropogennyh faktorov na urovennyj rezhim gruntovyh vod Belovezhskoj pushchi : dis. ... kand. geogr. nauk* [The influence of climatic and anthropogenic factors on the level regime of groundwater in Belovezhskaya Pushcha. Ph. D. geogr. sci. diss.]. Minsk, 2016, 148 p. (in Russian)

5. Savich-Shemet O. G., Cherepanskij M. M. *Mnogoletnie i sovremennoye izmeneniya rechnogo i podzemnogo stoka bol'shih i srednih rek territorii Orshanskogo artezianskogo bassejna v usloviyah izmenyayushchegosya klimata* [Long-term and modern changes in the river and underground runoff of large and medium-sized rivers in the territory of the Orsha artesian basin in a changing climate]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2018, no. 1, pp. 150–162. (in Russian)

Информация об авторе

Савич-Шемет Оксана Григорьевна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: savichoks@yandex.ru

Information about the author

Oksana G. Savich-Shemet – Ph. D. (Geography), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: savichoks@yandex.ru

**ГЕОТЕХНОЛОГИИ. ДОБЫЧА, ПЕРЕРАБОТКА
И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ**
**GEOTECHNOLOGY. EXTRACTION, PROCESSING
AND THE USE OF SOLID FUEL MINERALS**

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2021-2-85-95>

УДК 553.97

Поступила в редакцию 26.09.2021

Received 26.09.2021

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ТОРФЯНОЙ ПРОДУКЦИИ
ИЗ СЫРЬЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЛАВНОЕ И ЕСМОНОВСКИЙ МОХ**

И. И. Лиштван, В. М. Дударчик, В. М. Крайко, Е. В. Ануфриева

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. В статье обоснован выбор торфа в качестве сырья, пригодного для глубокой комплексной переработки с получением продукции различного назначения, разработан номенклатурный перечень продукции, рекомендуемой к производству. Даны геоботаническая характеристика и определен групповой состав органического вещества технологических проб торфа.

На основании учета таких показателей, как наукоемкость и высокая добавочная стоимость, потребительский спрос и качество имеющегося на месторождении сырья, определены виды товарной продукции, которая может быть получена из указанного сырья, оценены его ориентировочные объемы и объемы получаемой продукции, а также примерные ценовые показатели указанной продукции. Показано, что наиболее предпочтительным является получение различного направления использования сорбентов, затем – биогуматных препаратов по обоим изученным месторождениям относительно топливного направления (торфобрикет, фрезерный торф).

Ключевые слова: торф; торфяные месторождения; Славное; Есмоновский Мокх; степень разложения; групповой состав; сорбенты; биогуматные препараты; объемы продукции; ценовые показатели.

Для цитирования. Лиштван И. И., Дударчик В. М., Крайко В. М., Ануфриева Е. В. Перспективы получения основных видов торфяной продукции из сырья месторождений Славное и Есмоновский Мокх // Природопользование. – 2021. – № 2. – С. 85–95.

**PROSPECTS OF THE OBTAINING OF THE MAIN TYPES
OF PEAT PRODUCTS FROM THE RAW OF SLAVNOYE
AND ESMONOVSKY MOKH PEAT DEPOSITS**

I. I. Lishtvan, V. M. Dudarchik, V. M. Kraiko, E. V. Anufrieva

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. An assessment of resources and qualitative composition of raw materials of Slavnoye and Esmonovsky Mokh peat deposits, reserved by the state for bio-thermochemical processing, has been made. On the basis of a complex of studies of organo-mineral, group and botanical compositions, technological characteristics and peat reserves, the possible directions of the complex use of raw materials are substantiated. A nomenclature list of products recommended for production has been developed.

Based on consideration of such indicators as science intensity and high added value, consumer demand and the quality of the raw materials available at the deposit, types of commercial products that can be obtained from the specified raw materials have been determined, its approximate volumes and volumes of received products, as well as approximate price indicators of these products. It is shown that the more preferable is to obtain different directions of sorbents use, then biohumate preparations for both studied deposits in relation to the fuel direction (peat briquettes, milled peat).

Keywords: peat; peat deposits; Slavnoe; Esmonovsky Mokh; degree of decomposition; group composition; sorbents; biohumate preparations; production volumes; price indicators.

For citation. Lishtvan I. I., Dudarchik V. M., Kraiko V. M., Anufrieva E. V. Prospects of the obtaining of the main types of peat products from the raw of Slavnoye and Esmonovsky Mokh peat deposits. *Nature Management*. 2021, no. 2, pp. 85–95.

Введение. Свойства торфа, его неограниченная способность к модификации и направленным превращениям свидетельствуют о больших возможностях получения на этой основе продуктов с заданными свойствами различного назначения. За предыдущие годы накоплен опыт по различным направлениям модификации торфа с помощью термических, химических и биологических процессов переработки. Созданы опытные производства по выпуску разнообразной продукции, включающие широкий класс органических, органоминеральных и комплексных удобрений, мелиоративных и удобрительных смесей, биологически активных препаратов для растениеводства и животноводства, ветеринарии и кормопроизводства, сорбционных материалов, включая активированные угли, воски и целый ряд других продуктов [1–3].

Научно-исследовательские работы по совершенствованию и улучшению потребительских качеств отдельных востребованных потребителем продуктов глубокой переработки торфа продолжаются и поныне. Комплексная переработка предусматривает разнокачественность используемого сырья. Приоритетным является производство нового для республики материала – активированных углей, многих продуктов на гуминовой основе. Однако не все сырье по разработанным критериям качества будет для этого пригодно. Часть сырья, непригодная для производства активированных углей будет использована для получения другого вида продукции. Одним из существенных препятствий для более широкого внедрения технологий глубокой комплексной переработки торфа в практику является отсутствие сведений о сырьевых ресурсах, в особенности перспективы их существенного расширения.

Цель работы – провести оценку возможности расширения сырьевой базы, пригодной для получения ряда новых продуктов глубокой комплексной переработки торфа, добываемого из месторождений, разрешенных к добыче для биотермохимической переработки. Нами была проведена оценка ресурсов, особенностей размещения и качественного состава торфяного сырья для целей комплексной биотермохимической переработки наиболее перспективных и крупных по площади и запасам месторождений Славное и Есмоновский Мox.

Результаты и их обсуждение. По фондовым материалам разведки прежних лет оценена геологическая изученность запасов торфа на месторождении Славное Толочинского района Витебской области [4]. Общая площадь месторождения в нулевых границах торфа с учетом мелкозалежных окрайковых участков в Минской области и внутренних участков с заболоченными почвами, а также слившихся с основным торфяным месторождением более мелких залежей торфа составляет около 4800 га.

Объем торфяной залежи месторождения Славное составил 87,86 млн м³ при средней глубине залежи 2,94 м и максимальной 7,7 м. Запас торфа при 40%-ной влажности оценивается в 10,03 млн т.

По данным представительного изучения торфяной залежи установлено, что наиболее распространенными видами торфа на месторождении Славное являются: магелланикум и фускум торф низкой степени разложения, составляющие 46,2 и 13,3 % объема торфяной залежи соответственно. Виды торфа высокой степени разложения (пушицевый и пушицово-сфагновый) занимают 14,1 и 12,6 % объема залежи соответственно. Комплексный верховой торф присутствует в меньшем объеме – 3,6 % общих запасов. Остальные виды торфа участвуют в сложении залежи в минимальном объеме (менее 2 %) и не представляют интереса для переработки.

Стратиграфия торфа на месторождении Славное типична для крупных торфяных месторождений верхового типа средней полосы. У основания разрезов залегает торф повышенной и высокой степени разложения, выше по разрезам он сменяется торфами пониженной (15–25 %) и низкой (менее 10 %) степени разложения. Торф малой степени разложения (до 10 %) имеет среднюю мощность 1,52 м, объем 43,27 млн м³ и запас 4,09 млн т (41 % общих запасов). Торф средней и высокой степени разложения, залегающий в средней и нижней частях залежи, имеет объем 44,59 млн м³ и запас 5,94 млн т (59 % общих запасов).

Выявлены наиболее представительные категории торфяного сырья месторождения Славное: В-1-(1-2) с объемом 41 676 тыс. м³ (48 % от общего объема торфа на месторождении), или 3968 тыс. т; В-2-(1-2) с объемом 22 481 тыс. м³ (25 % от общего объема торфа), или 2743 тыс. т; В-3-(1-2) объемом 19 495 тыс. м³ (22 % от общего объема), или 2851 тыс. т при 40%-ной влажности [5].

В результате анализа всех имеющихся геологоразведочных материалов намечены пункты отбора и глубины залегания наиболее репрезентативных слоев торфа месторождения Славное, из которых в августе месяце 2018 г. выполнен отбор технологических образцов для углубленных химико-технологических исследований с целью оценки возможных направлений комплексного использования, включая в первую очередь получение научкоемкой продукции с высокой добавочной стоимостью, каковой являются активированные угли.

Сведения о геоботанической характеристики технологических образцов приведены в табл. 1, из которой видно, что образцы битуминозного торфа месторождения Славное имеют степень разложения от 15 до 40 %, представлены широкой вариабельностью, включающей, помимо пушицево-сфагнового, также сосново-пушицевый, магелланикум (образец 4) и, как исключение, фускум торф (образец 11).

Таблица 1. Геоботаническая характеристика технологических проб торфа месторождения Славное в зависимости от глубины залежи**Table 1. Geobotanical characteristics of the technological peat samples of Slavnoe peat deposit depending on the depth of the deposit**

Номер пробы		Глубина отбора, м	Степень разложения, %	Вид торфа	Зольность, %
1	66–12	1,0–1,5	40	Сосново-пушицевый	1,5
2	65–17	0,3–0,8	15	Магелланикум	4,1
3	65–17	1,2–1,7	35	Пушицево-сфагновый	1,6
4	65–21	1,2–2,0	25	Магелланикум	1,2
5	64–30	0,5–1,2	20	Магелланикум	1,5
6	63–40	1,2–2,0	25	Комплексный верховой	1,1
7	44–153	0,5–1,0	20	Магелланикум	1,5
8	44–153	1,8–2,3	30	Пушицево-сфагновый	1,3
9	44–152	2,0–2,5	35	Пушицево-сфагновый	1,2
10	39–208	0,5–1,0	10	Магелланикум	2,1
11	39–208	1,5–2,0	15	Фускум	0,9
12	39–208	3,5–4,0	30	Пушицево-сфагновый	1,0

Образцы малоразложившегося торфа имели степень разложения в пределах 10–20 % и относились к магелланикум торфу. Зольность этой группы составляла от 0,9 до 1,5 %.

Одним из определяющих показателей качества торфа как сырья для направлений глубокого и наукоемкого использования с высокой добавочной стоимостью является показатель зольности. Исследованные образцы имели средний показатель зольности меньше 2 %, что указывает на высокое качество сырья и возможность его использования для производства активированных углей, гуминовых препаратов, сорбционных материалов и др.

Учитывая, что верховой торф является уникальным сырьем для получения целого ряда ценных продуктов и материалов [6], а в зависимости от видовой принадлежности и уровня гумификации имеют различные физико-химические свойства и химический состав, всесторонняя оценка ресурсов и обобщение имеющегося опыта по его использованию и переработке представляется важной задачей.

Групповой состав торфа является наиболее полной его характеристикой, которая дает представление о содержании в нем основных групп органических соединений: битумов, легко- и трудно-гидролизуемых веществ, гуминовых веществ и лигнина (негидролизуемого остатка).

Результаты определения группового состава по методу Инсторфа [7] представлены в табл. 2.

Таблица 2. Групповой состав органической массы торфа месторождения Славное, % on organic matter**Table 2. Group content of the organic peat mass of Slavnoe deposit, % % on organic matter**

Номер пробы	Битумы	Легкогидролизуемые вещества		Трудногидролизуемые вещества	Гуминовые вещества		Негидролизуемый остаток
		всего	редуцирующие		гуминовые кислоты	фульво-кислоты	
1	8,1	20,1	11,8	7,8	50,5	37,2	13,3
3	7,3	25,1	15,6	8,1	51,1	36,6	14,5
4	5,7	26,2	14,1	10,1	48,4	34,0	14,4
6	4,8	31,2	18,6	12,9	39,5	27,5	12,0
8	6,1	26,9	16,0	13,1	41,9	28,8	13,1
9	7,0	25,6	16,1	9,0	47,3	34,6	12,7
10	4,0	39,3	29,6	22,1	26,8	18,4	8,4
12	6,2	26,8	19,7	10,3	46,9	33,7	13,2

Как видно из полученных данных, в зависимости от вида торфа и степени разложения содержание битумов колеблется от 4,0 до 8,1 %. Наибольший выход битумов был установлен для сосново-пушицевого торфа со степенью разложения 40 % и составил 8,1 %. Высокими были эти показатели у пушицево-сфагнового торфа со степенью разложения 35 % и составили 7,0–7,3 %. Для такого же

торфа со степенью разложения 30 % количество битумов уменьшается до 6 %. Самое низкое содержание битумов отмечается у магелланикум торфа с 10%-ной степенью разложения – 4 %.

Углеводный комплекс торфа представлен легко- и трудногидролизуемыми веществами. Содержание легкогидролизуемых веществ исследуемых образцов торфа колеблется от 20,1 до 39,3 % органической массы (см. табл. 2). С увеличением степени разложения торфа содержание этих веществ уменьшается. Так, максимальное количество легкогидролизуемых веществ (39,3 %) определено в магелланикум торфе со степенью разложения 10 %, а минимальное (20,1 %) – в образце сосново-пущевого торфа со степенью разложения 40 %. Содержание редуцирующих веществ также снижается с ростом степени разложения торфа.

Содержание целлюлозы (трудногидролизуемых веществ) в торфе, определяемое по методу Инсторфа, является условным, так как после извлечения гуминовых веществ получаются заниженные результаты из-за частичного ее растворения при щелочной обработке [7]. В исследованных образцах количество трудногидролизуемых веществ колеблется в пределах 7,8–22,1 % на органическую массу торфа.

Как видно из полученных данных исследуемых образцов торфа со степенью разложения 25–40 %, содержание гуминовых веществ колеблется в пределах 39,5–51,1 %, а для торфа со степенью разложения 10 % определено количество гуминовых веществ 26,8 %. Характерно, что гуминовые кислоты на фоне фульвокислот преобладают во всех исследованных образцах. Их содержание составляет от 18,4 до 37,2 %, фульвокислот – от 8,4 до 14,5 % органической массы торфа. Как видно из данных табл. 2, негидролизуемый остаток (лигнин) в исследуемых образцах меняется в пределах 8,4–14,5 %.

Таким образом, полученные данные по содержанию основных органических компонентов в образцах торфа месторождения Славное показывают четкую зависимость битуминозности торфа от его степени разложения. Также наблюдается зависимость между возрастанием степени разложения торфа и снижением содержания в нем углеводных компонентов, что связано с более интенсивным микробиологическим и биохимическим разрушением углеводов при относительном увеличении битумов и гуминовых веществ и незначительном изменении содержания лигнина.

В технических требованиях к торфу как сырью для получения различной номенклатуры продуктов в качестве основных показателей, определяющих его пригодность, принимают общетехнические свойства (зольность, влажность, степень разложения, ботанический состав), содержание отдельных компонентов его органического вещества (битумы, гуминовые кислоты, углеводный комплекс, химический состав золы (содержание оксидов кальция, железа, алюминия, серы), емкость поглощения, насыпную плотность. Допускаемые пределы таких основных показателей, как зольность и степень разложения, для одних и тех же видов продукции варьируют довольно значительно [6]. В ряде случаев эти пределы не имеют достаточного обоснования и принимаются в зависимости от качества имеющегося сырья.

Таким образом, на основании проведенного комплекса исследований органоминерального, компонентного и ботанического составов, а также технологических характеристик и запасов торфяного месторождения Славное были выбраны три наиболее представительные и характерные группы сырья, включающие: малоразложившийся торф со средней степенью разложения 16 %, имеющий запасы порядка 4000 тыс. т, что составляет порядка 41,5 % общих запасов; торф средней степени разложения (средний показатель – 27 %) с запасами порядка 2750 тыс. т (общие запасы порядка 28,5 %); торф высокой степени разложения (выше 35 %) с запасами более 2850 тыс. т, что составляет порядка 30 %.

В качестве образцов продукции глубокой комплексной переработки исследованного торфа месторождения Славное были выбраны:

- активированный уголь на основе торфа (категория торфяного сырья В-3-(1-2));
- нефтесорбент (категория торфяного сырья В-1-(1-2));
- концентрированное микроудобрение Элегум (категория торфяного сырья В-2-(1-2) и В-3-(1-2)).

Своеобразие физических и химических свойств торфа, преобладающее содержание в его составе органических полифункциональных кислородсодержащих соединений, высокая реакционная способность последних, пластичность и хорошая формируемость торфа делают его одним из наиболее перспективных видов сырья для производства углеродных адсорбентов с разнообразными физико-химическими свойствами.

На основе анализа всех имеющихся архивных материалов по ресурсам торфа на месторождении Славное, по результатам проведенных исследований образцов торфа и основных критериев, определяющих пригодность торфа для различных направлений его практического использования, был составлен предварительный номенклатурный перечень продукции глубокой комплексной переработки торфа из сырья торфяного месторождения Славное (табл. 3).

Загрязнение природной среды нефтью и продуктами ее переработки – одна из сложных и многограновых проблем охраны окружающей среды. Ни один другой загрязнитель, как бы опасен он ни был, не может сравниться с нефтью по широте распространения, числу источников загрязнения, величине нагрузок на все компоненты природной среды.

Таблица 3. Номенклатурный перечень продукции глубокой комплексной переработки торфа из сырья торфяного месторождения Славное

Table 3. A non-recourse list of the production of deep complex peat proceeding from the raw of Slavnoe peat deposit

Индекс категорий торфяного сырья	Запасы			Рекомендуемые виды продукции	Опытные образцы выбранных видов продукции	Средние показатели		
	масса ($W = 40\%$), тыс. т	объем, тыс. м ³	% от общих запасов			степень разложения, %	зольность, %, не более	влажность, %
B-1-(1-2)	3968	41 676	41,5		Нефтесорбенты	16	2	94,4
B-2-(1-2)	2743	22 481	28,5		Микроудобрения комплексные гуминовые	27	2	92,8
B-3-(1-2)	2851	19 495	30	Активированные угли	37	2	91,5	

*Гуминовые биологические активные препараты – консерванты кормов, регуляторы роста растений, препараты фунгицидного и бактерицидного действия.

Комплекс проведенных сравнительных исследований [8] показал, что малоразложившийся торф, образованный на основе сфагновых мхов на залежах верхового типа с бедным минеральным питанием, отличается высокой сохранностью неразложившейся растительной ткани мхов и небольшой примеси других растительных остатков. Эта особенность строения сфагnumа заключается в наличии во всех вегетативных органах водоносных гиалиновых клеток, которые будучи эластичными и пустотельными, хорошо поглощают как обычную влагу, так и жидкые загрязнители из окружающей среды, что в конечном итоге обеспечивает ее высокие поглотительные свойства по отношению, как к воде, так и к нефтепродуктам.

Из малоразложившегося торфа (степень разложения 10 %, сырье категории B-1-(1-2)) получен нефтепоглощающий сорбент, нефтеемкость которого составила 6,2 г/г, что даже выше показателей, получаемых в промышленных условиях (обычно 4–5 г/г).

По методике, опубликованной в работе [9], получен образец жидкого комплексного гуминового удобрения с бором и цинком.

Достоинствами указанных микроудобрений являются широкий диапазон использования в различных почвенно-климатических условиях, одновременное наличие как ростстимулирующих и протекторных веществ гуминовой природы, так и набора микроэлементов. Норма расхода – 1–2 л/га в зависимости от вида удобрения. Повышение продуктивности возделываемых культур, обусловленное применением удобрений, сопровождается улучшением качества и биологической полноценности растениеводческой продукции, повышением содержания до оптимального уровня микроэлементов. Область применения – сельское хозяйство, растениеводство открытого и защищенного грунта.

Общие запасы торфа на торфяном месторождении Есмоновский Мх, доказанные в 1978 г. в количестве 8648 тыс. т (80 933 тыс. м³), разделены на 18 категорий торфяного сырья. Основные четыре категории торфяного сырья суммарно составляют 86,6 % общего объема торфяной залежи. Все четыре основные категории торфяного сырья выходят на поверхность торфяной залежи. Они зани-

мают 2460,4 га, или 93,1 % площади торфяного месторождения в границе промышленной глубины торфяной залежи. При этом торф категории В-0-1 занимает 1630,2 га поверхности торфяного месторождения, категории В-1-(1-2) – 768,5, категории В-2-(1-2) – 36,3, категории П-2-(1-2) – 25,4 га.

В результате анализа всех имеющихся геологоразведочных материалов намечены пункты отбора и глубины залегания наиболее репрезентативных слоев торфа месторождения Есмоновский Моч, из которых в апреле месяце 2019 г. выполнен отбор технологических образцов для углубленных химико-технологических исследований с целью оценки возможных направлений комплексного использования.

Сведения о геоботанической характеристике технологических образцов приведены в табл. 4.

Таблица 4. Геоботаническая характеристика технологических проб торфа месторождения Есмоновский Моч в зависимости от глубины залежи

Table 4. Geobotanical characteristics of the technological peat samples of Esmonovskij Moch peat deposit depending on the depth of the deposit

Номер		Глубина отбора, м	Степень разложения, %	Вид торфа	Зольность, %
пробы	пункта отбора				
1	558	1,2–1,7	10	Фускум	1,2
2	558	2,8–3,3	45	Древесный переходный	2,5
3	30	3,1–3,6	35	Осоково-сфагновый переходный	2,2
4	30Р	1,5–2,0	15	Магелланиум	1,1
5	30Р	3,5–4,0	20	Комплексный верховой	1,1
6	7Р	2,3–3,0	25	Магелланиум	1,2
7	9Р	0,5–1,0	25	Осоковый низинный	4,9
8	13Р	1,2–1,7	20	Магелланиум	1,2
9	13Р	3,3–3,8	25	Осоковый переходный	1,8
10	13Р	4,3–4,9	25	Древесно-осоковый низинный	1,9
11	209	3,5–4,0	25	Осоковый переходный	1,9
12	32Р	1,5–2,0	40	Сосново-пушицевый	1,4

Анализ технических показателей исследуемых образцов показал, что влажность находится в пределах 86,5–95,2 %. Зольность исследованных верховых торфов изменяется от 1,1 до 1,4 %; переходных видов торфа – от 1,8 до 2,5; низинных образцов торфа – 1,9 и 4,9 %.

Результаты определения группового состава представлены в табл. 5.

Таблица 5. Групповой состав органической массы торфа месторождения Есмоновский Моч, % на органическую массу торфа

Table 5. The group content of the organic mass of the peat of Esmonovskij Moch deposit, % on organic matter

Номер пробы	Битум	Легкогидролизуемые вещества		Трудногидролизуемые вещества	Гуминовые вещества		Негидролизуемый остаток
		всего	редуцирующие		всего	гуминовые кислоты	
1	3,3	44,3	31,6	9,6	35,9	20,6	15,3
2	7,3	13,8	8,1	2,7	65,5	45,8	19,7
3	7,7	18,3	10,9	4,3	59,5	40,8	18,7
6	5,7	26,6	14,3	13,8	47,5	29,9	17,6

Групповой состав отобранных проб указывает на наличие всех групп органических компонентов, слагающих конкретный таксономический выдел и близок как между собой по качественному, так и по количественному составу.

На основе анализа всех имеющихся архивных материалов по ресурсам торфа, по результатам проведенных исследований образцов торфа и основных критериев, определяющих пригодность торфа для различных направлений его практического использования, был составлен предварительный номенклатурный перечень продукции глубокой комплексной переработки торфа из сырья торфяного месторождения Есмоновский Моч (табл. 6).

Таблица 6. Номенклатурный перечень продукции глубокой комплексной переработки торфа из сырья торфяного месторождения Есмоновский Моч

Table 6. A non-recourse list of the production of deep complex peat proceeding from the raw of Esmonovskij Moch peat deposit

Индекс категорий торфяного сырья	Запасы			Рекомендуемые виды продукции	Опытные образцы выбранных видов продукции	Средние показатели		
	масса ($W = 40\%$), тыс. т.	объем, тыс. м ³	% от общих запасов			степень разложения, %	зольность, %, не более	влажность, %
B-0-1	1652	22 304	27,6	Продукты гидролиза, удобрения, сорбционные материалы, комплексные гранулированные удобрения, топливо, удобрения, мелиоранты почв, активированные угли, воск и сопутствующие продукты, гуминовые* препараты	Нефтесорбенты	16	2	94,4
B-1-(1-2)	2599	27 975	34,6		Микроудобрения комплексные гуминовые	27	2	92,8
B-2-(1-2)	1049	8997	11,1		Активированные угли	37	2	91,5
П-2-(1-2)	1427	10 785	13,3					

После проведенных исследований по распределению запасов категорий торфяного сырья, определению их качественных характеристик и оценке пригодности для выпуска рекомендованной комплексной продукции были получены опытные образцы трех видов торфяной продукции: активированный уголь на основе торфа, нефтесорбент, концентрированное микроудобрение Элегум. По качественным показателям полученная продукция удовлетворяет принятым нормам. Так, сорбционная способность полученного нефтесорбента имеет показатель 5,8 г нефтепродукта на 1 г сорбента (принятый нижний предел – 4,0 г/г). Активированный уголь также по принятым стандартным сорбционным характеристикам по метиленовому синему и йоду удовлетворяет показателям качества [8].

С учетом корректировки основных направлений использования и в какой-то мере востребованности продукции сегодня, а также высокой добавочной стоимости и научностью совершенствующихся технологий, в настоящее время приоритетно были выделены виды продукции, объединяющие следующие основные блоки:

- сорбенты (торфяные активированные угли; сорбенты торфяные, включая нефтесорбенты; газосорбенты; сорбенты тяжелых металлов из водных сред);
- биогуматные препараты (стимуляторы роста; кормовые добавки; консерванты кормов);
- удобрения почвенных систем (органоминеральные, комплексные гранулированные, мелиоративно-удобрительные материалы, а также жидкие гуминовые комплексные микроудобрения);
- кипованный торф (сырье для продукции со степенью разложения до 20 %);
- энергетическое и бытовое топливо (фрезерный торф, торфобрикеты).

В табл. 7 и 8 представлены результаты, включающие объемы пригодного для переработки сырья, возможные объемы получения различной продукции и ориентировочные ценовые показатели.

Представленные в таблицах данные можно рассматривать лишь ориентировочно с большой долей погрешности, чтобы иметь общее представление в первую очередь о ценовых соотношениях групп товаров (сорбенты, биогуматные препараты, удобрения). В свою очередь, конкретная продукция внутри этих групп также имеет существенные различия как по ценам, так и по выходу товара.

Таблица 7. Объемы пригодного для переработки сырья месторождения Славное, получение различной продукции и ее ориентировочные ценовые показатели

Table 7. Volumes of the Slavnoye deposit suitable for processing raw materials, production of various products and its approximate price indicators

Вид продукции	Пригодный объем сырья, тыс. т	% от имеющихся сырьевых запасов	Выход продукта из 1 т торфа 40%-ной влажности, т	Возможный объем получения продукции, тыс. т	Ориентировочная цена единицы продукции, долл. США/т
<i>Верховой торф, запасы 9652 тыс. т</i>					
Сорбенты:					
активированный уголь	1920	20	0,1	190	2500
нефтепоглощающий	2890	30	0,5	1450	600–1000
газопоглощающий	6740	70	0,7	3700	900
Биогуматные препараты:	6960	70	1,0	6960	400
стимуляторы роста	–	–	–	–	–
кормовые добавки	–	–	–	–	300–500
консерванты кормов	–	–	–	–	–
Удобрения:					
комплексные удобрения	2740	28	3 т	8220	100–150
комплексные микроудобрения	2850	30	4,0 (жидкий)	–	1500–2800
Воск торфяной	2700	–	–	–	–
Кипованный торф	4070	42	1,0	4070	50
Энергетическое и бытовое топливо:					
фрезерный торф ($W = 40\%$)	9500	98	–	9500	20
торфяные брикеты ($W = 16\%$)	9500	98	0,5	4700	40
<i>Низинный и переходный торф, запасы 401 тыс. т</i>					
Мелиоранты и питательные грунты	340	85	1,0 (торф. мелиор.)	–	110
Органические удобрения	350	87	3 т	–	–
Компости	350	87	–	–	–
Энергетическое и бытовое топливо	390	98	–	–	40 (брикет)

Таблица 8. Объемы пригодного для переработки сырья месторождения Есмоновский Мокх, получение различной продукции и ее ориентировочные ценовые показатели

Table 8. Volumes of suitable for processing raw materials from the Esmonovsky Mokh deposit, obtaining various products and its approximate price indicators

Вид продукции	Пригодный объем сырья, тыс. т	% от имеющихся сырьевых запасов	Выход продукта из 1 т торфа 40%-ной влажности, т	Возможный объем получения продукции, тыс. т	Ориентировочная цена единицы продукции, долл. США/т
<i>Верховой торф, запасы 8648 тыс. т</i>					
Сорбенты:					
активированный уголь	320	3,7	0,1	32	2500
нефтепоглощающий	1650	19	0,5	1450	600–1000
газопоглощающий	2600	30	0,7	1820	900
Биогуматные препараты:	3960	46	1,0	3960	400
стимуляторы роста	–	–	–	–	–
кормовые добавки	–	–	–	–	300–500
консерванты кормов	–	–	–	–	–
Удобрения:					
комплексные удобрения	2670	31	3 т	8010	100–150
комплексные микроудобрения	1850	33	4,0 (жидкий)	7400	1500–2800
Воск торфяной	1550	18	0,03	46,5	–
Кипованный торф	4340	50	1,0	4340	50
Энергетическое и бытовое топливо:					
фрезерный торф ($W = 40\%$)	8500	98	1,0	8500	20
торфяные брикеты ($W = 16\%$)	8500	98	0,5	4700	40

Заключение. На основании проведенного комплекса исследований по торфяным месторождениям Славное и Есмоновский Мх, включающих анализ всех имеющихся архивных материалов по ресурсам торфа обоих месторождений, полученных собственных данных последних исследований представительных образцов торфа, отобранных в результате экспедиций по комплексу исследований по качественным и количественным характеристикам сырью месторождений, объемам торфа по категориям использования, разработан номенклатурный перечень продукции глубокой комплексной переработки торфа из сырья обоих торфяных месторождений.

На основании учета таких показателей, как наукоемкость и высокая добавочная стоимость, потребительский спрос и качество имеющегося на месторождении сырья, определены виды товарной продукции, которая может быть получена из указанного сырья, оценены его ориентировочные объемы и объемы получаемой продукции, а также примерные ценовые показатели указанной продукции. Так как все видовое разнообразие продукции учесть сложно, в частности расход сырья и стоимостные показатели под конкретные виды продукции, то они были сгруппированы по близким направлениям использования, и была проведена усредненная оценка как по расходу сырья на единицу продукции, так и по стоимостным показателям, которые в рыночных условиях варьируют в очень широких границах.

Исходя из полученных данных, наиболее предпочтительным является получение различного направления использования сорбентов, затем – биогуматных препаратов по обоим изученным месторождениям относительно топливного направления (торфобрикет, фрезерный торф).

Список использованных источников

1. Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. – Минск : Беларусская наука, 2009. – 328 с.
2. Мелиоранты для восстановления плодородия нарушенных земель и деградированных почв / Г. А. Соколов, [и др.] // Природопользование. – 2003. – Вып. 9. – С. 172–175.
3. Кашинская, Т. Я. Получение препаратов различного назначения на основе торфа / Т. Я. Кашинская, А. П. Гаврильчик, Н. В. Шевченко // Природопользование. – 2010. – Вып. 17. – С. 210–213.
4. Торфяной фонд Белорусской ССР : кадастровый справочник : в 6 кн. – Минск, 1979.
5. Ресурсы и качественный состав торфяного сырья на месторождениях, зарезервированных для термохимической переработки / И. И. Лиштван [и др.] // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 188–204.
6. Методические указания по опробованию торфяных залежей с применением сборных проб и разделению запасов торфа на категории сырья при разведке торфяных месторождений. – М., 1979. – 57 с.
7. Лиштван, И. И. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. – Минск : Наука и техника, 1975. – 320 с.
8. Сорбционные материалы на основе торфа в процессах очистки нефтесодержащих сточных вод / А. Э. Томсон [и др.] // Природопользование. – 2001. – Вып. 7. – С. 113–116.
9. Жидкое комплексное гуминовое микроудобрение / Т. Я. Кашинская [и др.]. – Заявка № а 20110588. – Приоритет от 05.05.2011.

References

1. Tomson A. E., Naumova G. V. *Torf i produkty ego pererabotki* [Peat and its proceeding products]. Minsk, 2009, 328 p. (in Russian)
2. Sokolov G. A., Gavrilchik N. S., Simakina I. V., e.a. *Melioranty dlya vosstanovleniya plodorodiya narushennykh zemel i degradirovannykh pochv* [Meliorants for the reclamation of the fertility restoration of disturbed lands and degraded soils]. *Nature Management*, 2003, issue 9, pp. 172–175. (in Russian)
3. Kashinskaya T. Ya., Gavrilchik A. P., Shevchenko N. V. *Polucheniye preparatov razlichnogo naznacheniya na osnove torfa* [The obtaining of the preparations of different purposes on the base of peat]. *Nature Management*, 2010, issue 17, pp. 210–213. (in Russian)
4. *Torfyanoy fond Belorusskoy SSR: kadastrovyiy spravochnik, v 6 kn.* [Peat Fund of the Belorussian SSR: cadastral reference book: in 6 books]. Minsk, 1979. (in Russian)
5. Lishtvan I. I., Kurzo B. V., Gaydukevich O. M., e.a. *Resursy i kachestvennyy sostav torfyanogo syria na mestorozhdeniyakh, zarezervirovannykh dlya termokhimicheskoy pererabotki* [Resources and the qualitative content of peat raw material on the deposits which are reserved for thermochemical proceeding]. *Nature Management*, 2019, no. 1, pp. 188–204. (in Russian)
6. *Metodicheskiye ukazaniya po oprobovaniyu torfyanykh zalezhey s primeneniem sbornykh prob i razdeleniyu zapasov torfa na kategorii syria pri razvedke torfyanykh mestorozhdeniy* [Guidelines for testing peat deposits with the use of combined samples and the division of peat reserves into categories of raw materials in the exploration of peat deposits]. Moscow, 1979, 57 p. (in Russian)

7. Lishtvan I. I., Korol N. T. *Osnovnye svoystva torfa i metody ik opredeleniya* [The main properties of peat and methods for their determination]. Minsk, 1975, 320 p. (in Russian)
8. Tomson A. E., Sokolova T. V., Pekhtereva V. S., e.a. *Sorbtionnye materialy na osnove torfa v protsessakh ochistki neftesoderzhashchikh stochnykh vod* [Sorption material on the base of peat in the processes of oily sewage purifying]. *Nature Management*, 2001, issue 7, pp. 113–116. (in Russian)
9. Kashinskaya T. Ya., Gavrilchik A. P., Sokolov G. A., e.a. *Zhidkoye kompleksnoye guminovoye mikroudobreniye* [Liquid complex humic microfertilizer]. *Application no. a 20110588. Priority from 05.05. 2011.* (in Russian)

Информация об авторах

Лиштван Иван Иванович – академик, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

Дударчик Владимир Михайлович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: dudwm@tut.by

Крайко Валентина Михайловна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: vvakraiko@gmail.com

Ануфриева Елена Владимировна – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: Lenaanufrieva5@rambler.ru

Information about the authors

Ivan I. Lishtvan – Academician, D. Sc. (Technical), Professor, Chief Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

Vladimir M. Dudarchyk – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: dudwm@tut.by

Valiantsina M. Kraiko – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: vvakraiko@gmail.com

Alena V. Anufrieva – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: Lenaanufrieva5@rambler.ru

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИНЫ АРГИЛЛИТОПОДОБНОЙ ОТ КОЛИЧЕСТВА НЕЗАМЕРЗШЕЙ ВОДЫ

А. Г. Бровка, И. В. Дедюля, А. А. Мурашко

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. В статье изложены результаты исследования прочности на одноосное сжатие глины аргиллитоподобной различной степени засоления от количества незамерзшей воды. Исследования проведены на автоматизированном испытательном комплексе «АСИС» производства ООО НПП «Геотек» (г. Пенза, Россия) с модернизированным приспособлением одноосного сжатия и на калориметрической установке, разработанной в Институте природопользования НАН Беларусь (г. Минск, Беларусь) по принципу создания адиабатических условий или условий контролируемого теплообмена вокруг калориметрического стакана с исследуемым образцом.

В результате проведенных исследований установлено, что прочность глины аргиллитоподобной нелинейно зависит от температуры и наличия в поровом растворе соли. Сопоставление зависимости прочности на одноосное сжатие и зависимости количества незамерзшей воды от температуры для образцов одинакового влагосодержания показало, что прочностные характеристики глины аргиллитоподобной при отрицательных температурах в основном определяются количеством незамерзшей воды независимо от того, чем оно обусловлено: изменением температуры или совместным влиянием температуры и концентрации соли в расчете на сухое вещество.

Ключевые слова: условно-мгновенные значения пределов прочности грунтов; одноосное сжатие; глина аргиллитоподобная; количество незамерзшей воды; поровые растворы солей.

Для цитирования. Бровка А. Г., Дедюля И. В., Мурашко А. А. Зависимость прочностных характеристик глины аргиллитоподобной от количества незамерзшей воды // Природопользование. – 2021. – № 2. – С. 96–105.

DEPENDENCE OF STRENGTH CHARACTERISTICS OF MUDSTONE-LIKE CLAYS FROM THE AMOUNT OF UNFROZEN WATER

A. G. Brovka, I. V. Dedyulya, A. A. Murashko

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. The article presents a methodology for studying of the strength properties of frozen soils using a modernized automated testing complex (AIC "ASIS") produced by NPP "Geotek" LLC (Penza, Russia) and determining the dependence of the amount of unfrozen water in the soil on the temperature using an adiabatic calorimeter. On the samples of mudstone-like clay, it was found that the conditionally instantaneous strength of frozen soils depends non-linearly on the temperature and salt presence in pore solution. The dependences of the conditional instantaneous strength of mudstone – like clay samples on the amount of unfrozen water in these samples are studied. It is established that the strength properties of clay soils at negative temperatures are mainly determined by the total amount of unfrozen water. The genesis of unfrozen water (temperature or the combined effect of temperature and salt concentration in the pore solution) does not matter.

Keywords: conditional-instantaneous values of the strength limits of soils; uniaxial compression; mudstone-like clay; the amount of unfrozen water; pore solutions of salts.

For citation. Brovka A. G., Dedyulya I. V., Murashko A. A. Dependence of strength characteristics of mudstone-like clays from the amount of unfrozen water. *Nature Management*, 2021 no. 2, pp. 96–105.

Введение. Прочностные характеристики грунтов являются важнейшим фактором при проектировании различных объектов в строительстве и горнодобывающей промышленности. Как правило, бурение и проходка шахтных стволов усложняются непростыми гидрологическими условиями и зачастую наличием солей в поровой влаге грунтов, что требует применения технологий с искусственным замораживанием. При проведении предварительных расчетов, обосновывающих различные проекты, необходимы зависимости деформационно-прочностных характеристик мерзлых горных по-

род от температуры в довольно широком диапазоне и концентрации солей в поровой влаге. В проведенных ранее исследованиях недостаточно достоверных данных о характере зависимости прочностных свойств засоленных мерзлых грунтов от температуры.

Авторами ранее выполнена работа [1], в которой рассмотрены зависимости теплоемкости, теплопроводности и временного сопротивления одноосному сжатию от температуры в диапазоне $-5\ldots-38^{\circ}\text{C}$ для нескольких разновидностей дисперсных грунтов. При этом вопросы о наличии солей в поровой влаге и непосредственное влияние количества незамерзшей воды на прочность мерзлых грунтов не рассматривались. В то же время в литературе [2, 3] имеются отдельные данные о влиянии количества незамерзшей воды на деформационно-прочностные характеристики грунтов без учета сформировавших ее факторов.

Цель работы – исследовать зависимость условно-мгновенных значений пределов прочности глины аргиллитоподобной при одноосном сжатии от температуры и концентрации хлорида натрия в поровой влаге в диапазоне температур от близких к точке плавления до -25°C .

Приборы и методы. Определение условно-мгновенных значений пределов прочности образцов глины аргиллитоподобной при одноосном сжатии проводилось на автоматизированном испытательном комплексе «АСИС» (АИК «АСИС») производства ООО НПП «Геотек». Для проведения исследований произведена модернизация приспособления одноосного сжатия, входящего в испытательный комплекс. Оригинальный прибор при максимальных нагрузках не обеспечивал корректность параметров нагружения образца, что в свою очередь вносило дополнительные погрешности в результаты испытаний. На рис. 1, а представлено приспособление до модернизации, а на рис. 1, б – модернизированное, размещенные на рабочем столе устройства осевого нагружения испытательного комплекса. Стойки, удерживающие обойму нагружного механизма до модернизации, в процессе эксплуатации при максимальных нагрузках деформировались, что приводило к возникновению горизонтальной составляющей силы, действующей на образец. Модернизированное приспособление представляет собой цилиндрическую конструкцию, на верхнем фланце которой размещен нагружной механизм. Жесткость такой конструкции исключает возможность возникновения горизонтальной составляющей силы.

Испытательный комплекс АИК «Геотек» позволил задавать постоянную скорость деформирования образца (конфигурация АСИС 4.1 одноосного сжатия глинистого и полускального грунта ГОСТ 12248-2010) при непрерывном быстром возрастании нагрузки для определения условно-мгновенного значения предела прочности на одноосное сжатие от 0,0001 до 10 мм/мин. Все испытания проведены при постоянной скорости деформирования 3 мм/мин в морозильной камере НКР-1 в диапазоне температуры $-2\ldots-25^{\circ}\text{C}$.



Рис. 1. Приспособление одноосного сжатия до модернизации (а) и после модернизации (б)

Fig. 1. Uniaxial compression device before modernization (a) and after modernization (b)

Для определения зависимости количества незамерзшей воды от температуры использована калориметрическая установка, разработанная по принципу создания адиабатических условий или условий контролируемого теплообмена вокруг калориметрического стакана с исследуемым образцом. Рабочая камера этой установки представлена на рис. 2. Отличительными особенностями данного калориметра от известных являются сравнительно большой калориметрический стакан, позволяющий исследовать достаточно представительные образцы почв или грунтов, а также возможность проведения экспериментов по определению количества незамерзшей воды в циклах промерзания и оттаивания.



Рис. 2. Рабочая камера калориметра перед сборкой

Fig. 2. Working bank of the calorimeter before assembly

Регистрация и регулирование температуры калориметрической установки осуществляется с помощью компьютерной системы, которая включает многоканальный предусилитель, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) выполненные в виде модуля В-381 подключенного к ПК.

Калориметрическая установка предназначена для определения удельной теплоемкости грунтов и почв при положительных и отрицательных температурах, зависимости количества незамерзшей воды в циклах промерзания и оттаивания от температуры, а также определения температуры начала замерзания водных растворов и воды в почвах, грунтах и горных породах.

Исследования зависимости количества незамерзшей воды от температуры проводились последовательно в стадии промерзания и оттаивания в диапазоне от начала замерзания воды в породе до температуры -25°C . При этом в стадии промерзания по специальной разработанной методике определялась температура начала замерзания воды в породе.

Методика подготовки образцов для исследования. Исследования прочностных свойств проводились на образцах глины аргиллитоподобной, темно-серой, массивной, плотной, известковой слабоводоносного полесского терригенного комплекса (D2 pl) Нежинского (восточная часть) участка Старобинского месторождения калийных солей, которое разрабатывает ИООО «Славкалий». Глубина залегания исследуемой глины – 178–183 м. При этом использовались образцы горной породы нарушенного сложения, диспергированные после проведения испытаний кернового материала на определение прочностных характеристик по договору с ИООО «Славкалий» от 17.05.2019 г. № 83П-2019.

В целях получения серии идентичных по составу и строению образцов опытный материал сначала был измельчен с помощью лабораторной мельницы и просеян через сито с диаметром ячейки 5 мм, а затем тщательно перемешан, помещен в герметичную упаковку и выдержан в течение семи дней. Предварительные опыты показали, что этого времени достаточно для равномерного распределения влаги по всему объему образца. Затем определялось влагосодержание материала, которое принималось за исходное (W_0). Следует отметить, что исходное влагосодержание было близко к минимальному значению влагосодержания подготавливаемых образцов, однако не превышало его.

Весь материал был разделен на девять равных частей, которые также помещались в герметичную упаковку. Для каждой из этих частей была рассчитана масса воды, которую необходимо было внести, чтобы получить три образца с влагосодержанием $W_1 = 0,17 \text{ кг/кг}$; три – с $W_2 = 0,22 \text{ кг/кг}$ и три – с $W_3 = 0,26 \text{ кг/кг}$. В три из них дистиллированная вода внесена без добавок и в количестве необходимом для получения влагосодержаний: W_1 ; W_2 и W_3 . Температура начала замерзания поровой влаги в этих образцах соответствовала температуре начала замерзания в идентичном грунте ненарушенной структуры с такими же влагосодержаниями.

Для каждого из шести оставшихся образцов рассчитана масса хлорида натрия, который необходимо было внести в образец, чтобы понизить температуру начала замерзания его поровой влаги на $\Delta t = 2^\circ\text{C}$ и $\Delta t = 4^\circ\text{C}$, что соответствовало концентрации NaCl в поровой влаге 3,46 и 6,90 г на 100 г H₂O [4]. Порошкообразный хлорид натрия вносился в образец до добавления воды. Образец интенсивно перемешивался, а затем в него вносился дистиллят.

По этой методике приготовлено три партии грунтов с влагосодержаниями $W_1 = 0,17 \text{ кг/кг}$; $W_2 = 0,22 \text{ кг/кг}$; $W_3 = 0,26 \text{ кг/кг}$. Каждая партия состояла из одного образца, температура начала замерзания поровой влаги в котором не отличалась от исходной ($\Delta t = 0^\circ\text{C}$), и двух образцов, в которые внесен хлорид натрия в количестве, соответствующем снижению температуры начала замерзания поровой влаги на $\Delta t = 2^\circ\text{C}$ и на $\Delta t = 4^\circ\text{C}$.

Кроме этого, в процессе исследования дополнительно подготовлены шесть образцов глины аргиллитоподобной с влажностями 0,17, 0,21 и 0,26 кг/кг с двумя одинаковыми концентрациями соли на сухое вещество: 0,57 и 1,173 г на 100 г сухого вещества.

Для формования образцов использованы металлические кассеты с внутренним диаметром 70,0 мм и высотой 220 мм, что позволило формовать образцы, соответствующие ГОСТ 12248-2010. Основная задача состояла в получении для каждой влажности идентичных образцов. Порядок формования образцов состоял из следующих этапов.

1. В соответствии с плотностью в залежи взвешивалась необходимая масса грунта для формования образца диаметром 70 мм и высотой 140–143 мм.

2. Перед заправкой кассеты в обязательном порядке смазывались техническим вазелином. Такая операция значительно снижала трение материала о стенки кассеты. В противном случае за счет трения распределение плотности по высоте образца оказывалось неравномерным.

3. Необходимая масса грунта засыпалась в подготовленную кассету и на гидравлическом прессе медленно уплотнялась под давлением, не превышающим первую ступень дальнейшего прессования образца.

4. На заключительном этапе образцы прессовались на автоматизированном испытательном комплексе «АСИС». Процесс прессования состоял из четырех этапов продолжительностью 30 мин каждый под давлением: этап 1 – 1273 кПа; этап 2 – 2546 кПа; этап 3 – 3819 кПа; этап 4 – 5092 кПа. Данная методика применена с целью максимального удаления воздуха из образца при минимальном отжатии поровой влаги и при условии получения заданной плотности.

5. Кассеты с сформованными образцами герметично упаковывались и помещались в морозильную камеру при температуре -25°C для быстрого замораживания с целью предотвращения перераспределения влаги по их объему в процессе промерзания.

6. Через 24 ч образцы извлекались из кассет, герметично упаковывались и помещались в морозильную камеру с уже заданной температурой испытаний.

Результаты исследования и их анализ. На первом этапе опытов проводились исследования зависимости условно-мгновенной прочности на одноосное сжатие глины аргиллитоподобной при различных влагосодержаниях и различной концентрации в поровом растворе хлористого натрия. Полученные результаты представлены на рис. 3–5. Из приведенных на них данных видно, что прочностные характеристики глины аргиллитоподобной увеличиваются в несколько раз в диапазоне температуры $-2\ldots-25^\circ\text{C}$. При этом можно видеть, что зависимость прочностных характеристик от общего влагосодержания не монотонна. Максимальное значение указанной характеристики получено при влагосодержании 0,21 кг/кг. Снижение прочности при уменьшении влагосодержания до 0,17 кг/кг можно объяснить уменьшением относительного количества льда в мерзлой породе. При увеличении влагосодержания до 0,26 кг/кг снижение прочностных характеристик можно объяснить увеличением количества незамерзшей воды за счет повышения концентрации соли в поровом растворе.

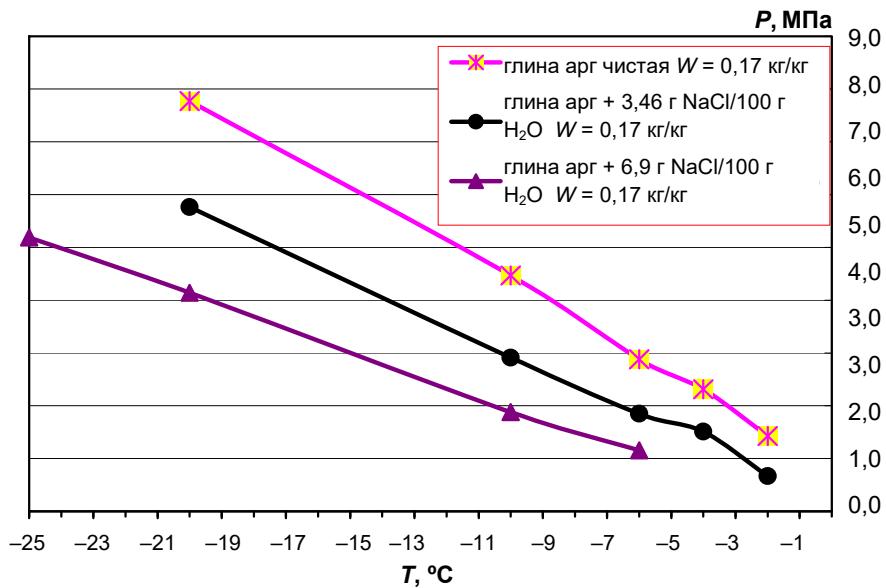


Рис. 3. Зависимость условно-мгновенной прочности на одноосное сжатие от температуры глины аргиллитоподобной при влагосодержании 0,17 кг/кг и различной концентрации в поровом растворе хлористого натрия

Fig. 3. Dependence of the conditional instantaneous strength for uniaxial compression on the temperature of mudstone-like clay with a moisture content of 0.17 kg/kg and different concentrations in a pore solution of sodium chloride

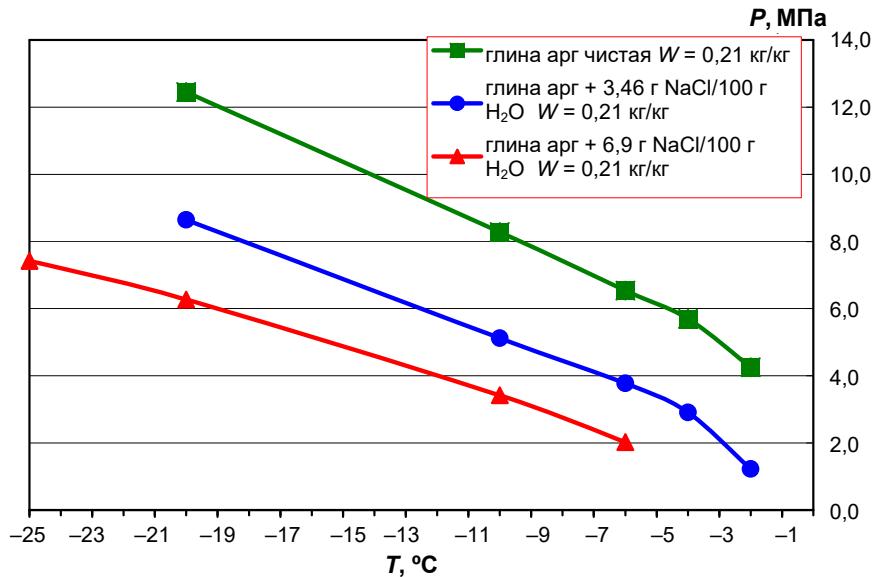


Рис. 4. Зависимость условно-мгновенной прочности на одноосное сжатие от температуры глины аргиллитоподобной при влагосодержании 0,21 кг/кг и различной концентрации в поровом растворе хлористого натрия

Fig. 4. Dependence of the conditional instantaneous strength for uniaxial compression on the temperature of mudstone-like clay with a moisture content of 0.21 kg/kg and different concentrations in a pore solution of sodium chloride

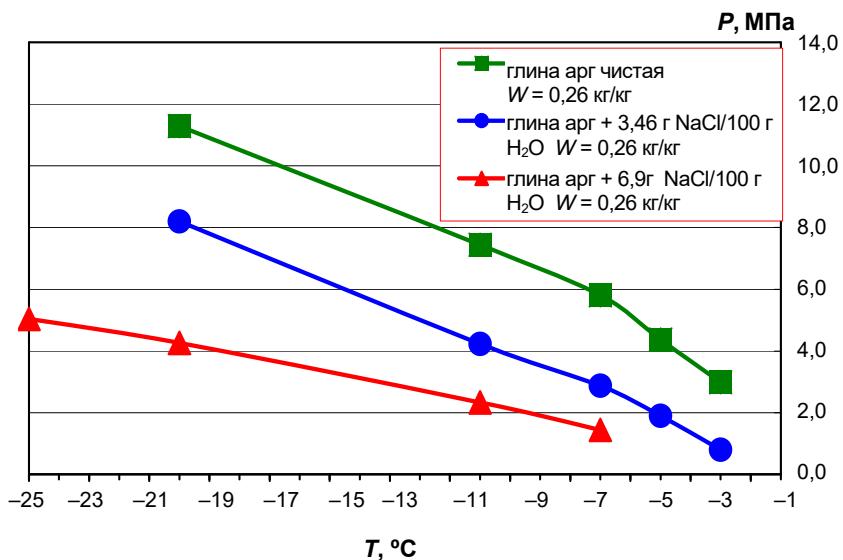


Рис. 5. Зависимость условно-мгновенной прочности на одноосное сжатие от температуры глины аргиллитоподобной при влагосодержании 0,26 кг/кг и различной концентрации в поровом растворе хлористого натрия

Fig. 5. Dependence of the conditional instantaneous strength for uniaxial compression on the temperature of mudstone-like clay with a moisture content of 0.26 kg/kg and different concentrations in a pore solution of sodium chloride

На втором этапе с целью детальной оценки влияния отдельных факторов на деформационно-прочностные характеристики грунта одинакового общего влагосодержания и количества незамерзшей воды проведены испытания на одноосное сжатие образцов глины с различными концентрациями соли в поровом растворе в расчете на сухое вещество горной породы.

На следующем этапе с помощью калориметрической установки проведены исследования зависимости количества незамерзшей воды от температуры во всех образцах, подвергшихся одноосным испытаниям. Полученные данные представлены на рис. 6–10, анализ которых показывает, что общее влагосодержание практически не оказывает влияния на зависимость количества незамерзшей воды от температуры (см. рис. 6). При этом наблюдается гистерезис в циклах промерзание – оттаивание (в легендах к рис. 6–10 режим замораживания обозначен «зам.», а режим оттаивания – «отт.»).

Наличие в поровом растворе соли при постоянной ее концентрации в расчете на поровую влагу с увеличением общего влагосодержания, как и следовало ожидать, увеличивает количество незамерзшей воды. На рис. 7 представлена зависимость количества незамерзшей воды от температуры при концентрации соли в поровой влаге 6,90 г на 100 г H_2O , что соответствует снижению температуры замерзания порового раствора на $\Delta t = 4$ °C. Такая же зависимость получена для концентрации хлорида натрия 3,46 г/100 г H_2O ($\Delta t = 2$ °C). В то же время при постоянной концентрации солей в расчете на сухое вещество общее влагосодержание практически не оказывает влияния на зависимость количества незамерзшей воды от температуры. На рис. 8 такая зависимость представлена для глины аргиллитоподобной при влагосодержаниях 0,17 и 0,26 кг/кг с концентрацией хлористого натрия 1,173 г/100 г сухого вещества.

Зависимости условно-мгновенной прочности на одноосное сжатие от количества незамерзшей воды, обусловленного комплексом факторов ее формирования, приведены на рис. 9–11, из которых видно, что для всех серий образцов с одинаковыми влагосодержаниями значения прочности на одноосное сжатие с небольшим разбросом ложатся на одну кривую независимо от того, чем обусловлено определенное количество незамерзшей воды – температурой, концентрацией соли или совместным их влиянием. Следует отметить, что общее влагосодержание также оказывает влияние на прочностные характеристики. Так, с увеличением влагосодержания от 0,17 до 0,21 кг/кг происходит увеличение прочности на одноосное сжатие более чем в 1,5 раза. Однако с увеличением влагосодержания от 0,21 до 0,26 кг/кг прочность несколько снижается (см. рис. 10, 11). Вероятно, это связано с влиянием изменения структуры и плотности скелета глины аргиллитоподобной на ее прочностные свойства при отрицательных температурах или более хрупким разрушением с увеличением влагосодержания до предельной водонасыщенности. Более детально это можно будет выяснить в дальнейших экспериментальных исследованиях.

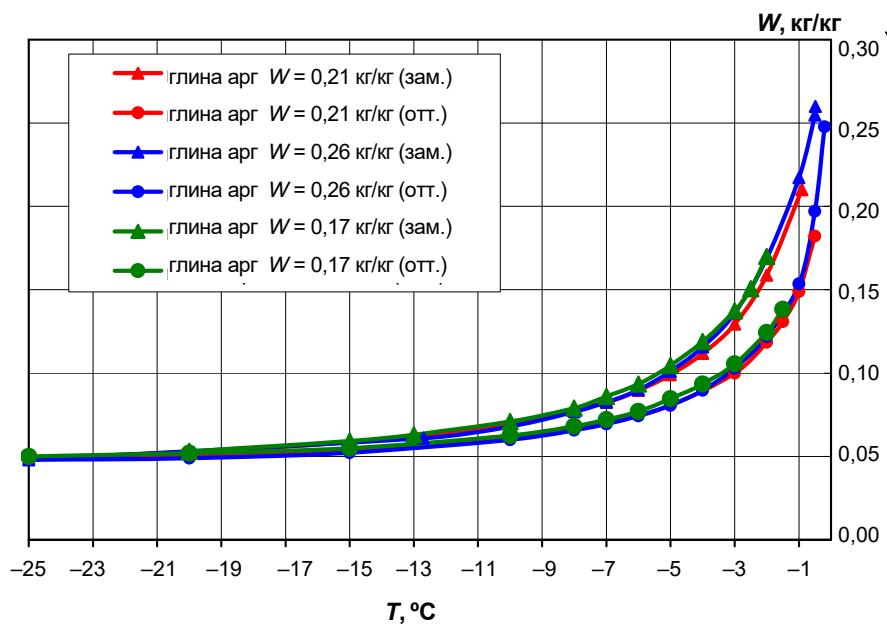


Рис. 6. Зависимость количества незамерзшей воды от температуры для незасоленной глины аргиллитоподобной различного влагосодержания

Fig. 6. The dependence of the amount of unfrozen water on the temperature for unsalted mudstone-like clay of various moisture content

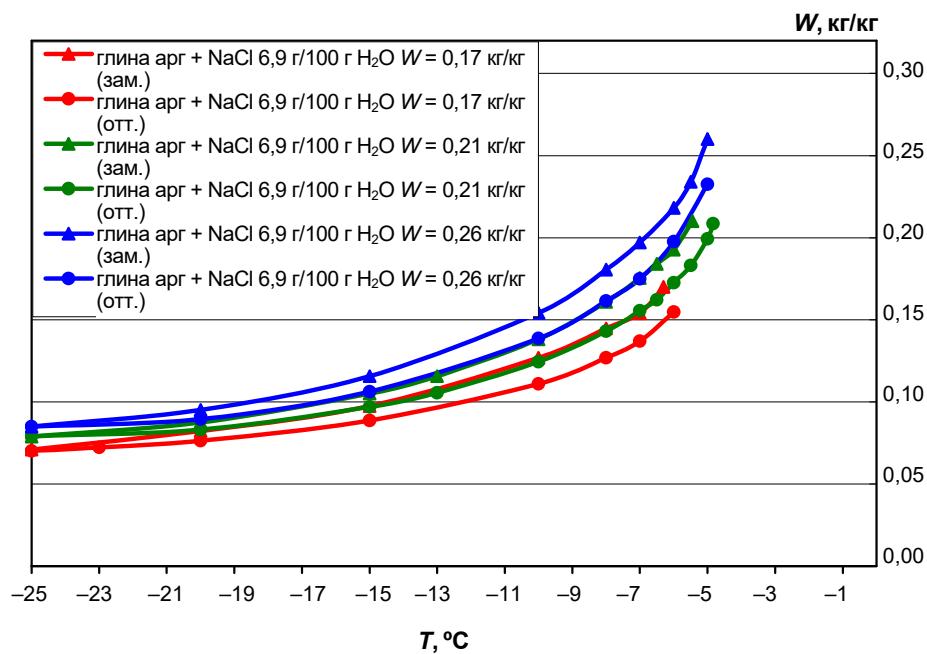


Рис. 7. Зависимость количества незамерзшей воды от температуры для глины аргиллитоподобной с концентрацией хлористого натрия 6,90 г/100 г поровой влаги

Fig. 7. The dependence of the amount of unfrozen water on the temperature for mudstone-like clay with a concentration of sodium chloride of 6.90 g/100 g of pore moisture

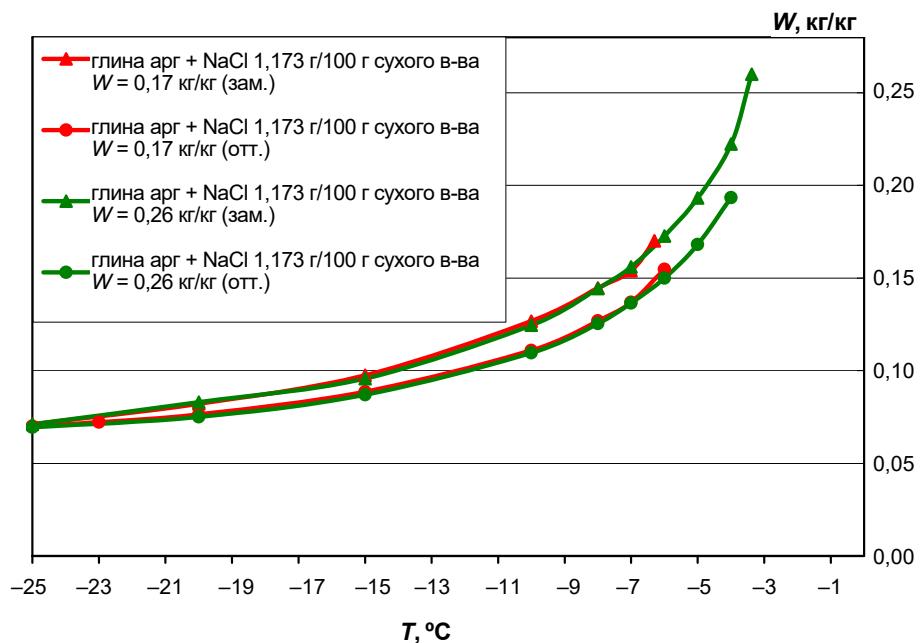


Рис. 8. Зависимость количества незамерзшей воды от температуры для глины аргиллитоподобной при влагосодержаниях 0,17 и 0,26 кг/кг с концентрацией хлористого натрия 1,173 г/100 г сухого вещества

Fig. 8. The dependence of the amount of unfrozen water on the temperature for mudstone-like clay at moisture contents of 0.17 and 0.26 kg/kg with a concentration of sodium chloride of 1.173 g/100 g of dry matter

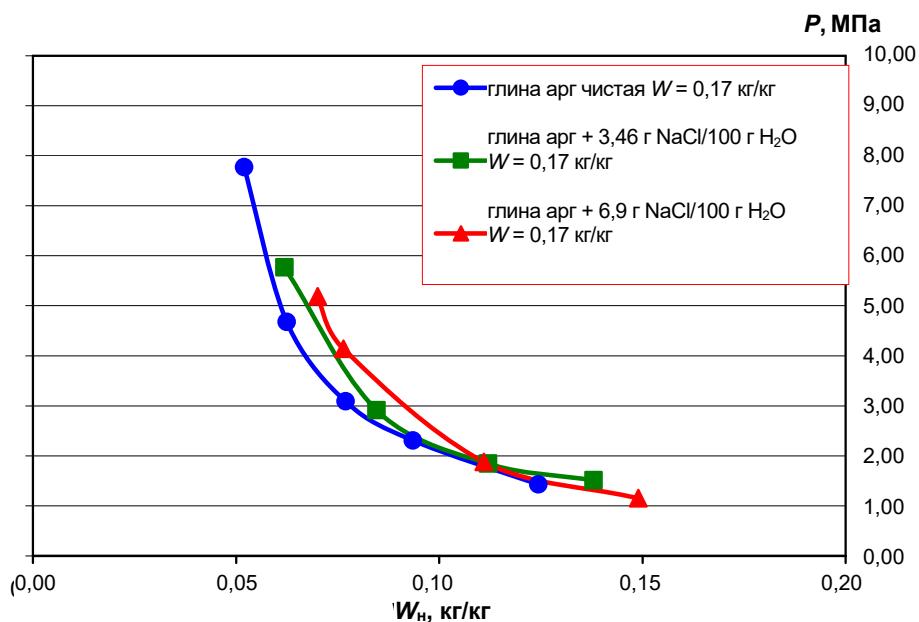


Рис. 9. Зависимость условно-мгновенной прочности на одноосное сжатие глины аргиллитоподобной при влагосодержании 0,17 кг/кг и различной концентрации в поровом растворе хлористого натрия от количества незамерзшей воды

Fig. 9. Dependence of the conditional instantaneous strength for uniaxial compression of argillite-like clay at a moisture content of 0.17 kg/kg and different concentrations in a pore solution of sodium chloride on the amount of unfrozen water

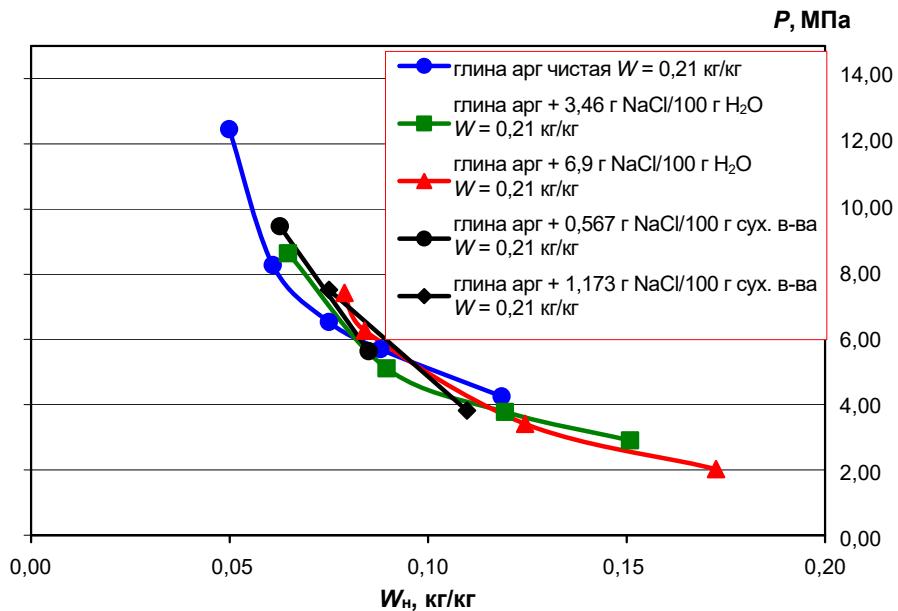


Рис. 10. Зависимость условно-мгновенной прочности на одноосное сжатие глины аргиллитоподобной при влагосодержании 0,21 кг/кг и различной концентрации в поровом растворе хлористого натрия от количества незамерзшей воды

Fig. 10. Dependence of the conditional instantaneous strength for uniaxial compression of argillite-like clay at a moisture content of 0.21 kg/kg and different concentrations in a pore solution of sodium chloride on the amount of unfrozen water

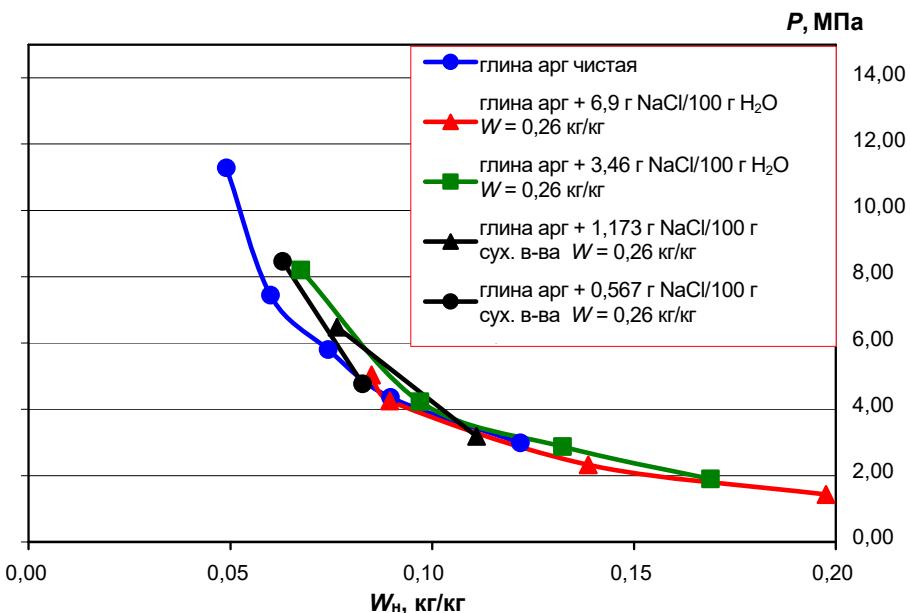


Рис. 11. Зависимость условно-мгновенной прочности на одноосное сжатие глины аргиллитоподобной при влагосодержании 0,26 кг/кг и различной концентрации в поровом растворе хлористого натрия от количества незамерзшей воды

Fig. 11. Dependence of the conditional instantaneous strength for uniaxial compression of argillite-like clay at a moisture content of 0.26 kg/kg and different concentrations in a pore solution of sodium chloride on the amount of unfrozen water

Заключение. Таким образом, экспериментально установлено, что определяющим фактором условно-мгновенной прочности глины аргиллитоподобной при отрицательных температурах является содержание определенного количества незамерзшей воды независимо от того, чем оно обусловлено: температурой, концентрацией солей в поровом растворе или их совместным влиянием. Если учесть, что понижение температуры замерзания растворов относится к его коллигативным свойствам, то при определении прочностных свойств грунтов можно принимать во внимание только общую зависимость количества незамерзшей воды от температуры, не акцентируя внимания на химическом составе поровой влаги. Такой подход позволяет существенно оптимизировать многофакторные экспериментальные исследования прочности на одноосное сжатие мерзлых глинистых пород, уменьшая трудоемкость проводимых исследований без снижения их точности и достоверности.

Список использованных источников

1. Зависимость теплофизических и прочностных характеристик мерзлых грунтов от температуры / Г. П. Бровка [и др.] // Природопользование. – 2017. – Вып. 31. – С. 45–49.
2. Бровка, Г. П. Сопротивление сдвигу мерзлых засоленных грунтов / Г. П. Бровка, И. И. Романенко // Известия вузов. Горный журнал. – 1989. – № 4. – С. 30–33.
3. Бровка, Г. П. Взаимосвязанные процессы тепло-и массопереноса в природных дисперсных средах / Г. П. Бровка. – Минск : Беларуская наука, 2001. – 363 с.
4. Справочник химика / под ред. Б. П. Никольского. – М. : Химия, 1984. – Т. III. – 1008 с.

References

1. Brovka G. P., Agutin K. A., Brovka A. G., Dedyulya I. V. *Zavisimost teplofizicheskikh i prochnostnyh harakteristik merzlyh gruntov ot temperatury* [Dependence of the thermophysical and strength characteristics of frozen soil temperature]. *Nature Management*, 2017, issue 31, pp. 45–49. (in Russian)
2. Brovka G. P., Romanenko I. I. *Soprotivlenie sdvigu merzlyh zasolennyh gruntov* [The shear strength of frozen saline soils]. *Izvestiya Universities. Mountain J.*, 1989, no. 4, pp. 30–33. (in Russian)
3. Brovka G. P. *Vzaimosvyazannye process teplo-i massoperenosa v prirodnih dispersnyh sredah* [Interrelated processes of heat and mass transfer in natural dispersed media]. Minsk, 2001, 363 p. (in Russian)
4. *Spravochnik himika* [Handbook of a chemist]. Ed. by B. P. Nikolsky. Moscow, Chemistry Publ., 1984, vol. III, 1008 p. (in Russian)

Информация об авторах

Бровка Андрей Геннадьевич – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

Дедюля Иван Владимирович – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: dedyulyaivan@yandex.by

Мурашко Андрей Анатольевич – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: amurbmw@tut.by

Information about the authors

Andrey G. Brovka – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

Ivan V. Dedyulya – Ph. D. (Technical), Assistant Professor, Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: dedyulyaivan@yandex.by

Andrey A. Murashko – Ph. D. (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: amurbmw@tut.by

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ, ТЯЖЕЛЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ПОЧВОГРУНТОВ И ОТХОДОВ ГОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Г. П. Бровка, И. Н. Дорожок

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. В работе рассмотрены способы многократного и многоступенчатого выщелачивания, а также выщелачивания в противотоках растворами, позволяющими перевести в водорастворимое состояние необходимое количество сильносорбируемых соединений, таких как радионуклиды, тяжелые и редкие металлы из почвогрунтов, горных пород и отходов горно-технологических производств. Представлены разработанные методы расчета, позволяющие за счет выбора оптимальных приемов и параметров сократить расход растворов и увеличить в них концентрацию извлекаемых элементов. Установлено, что наиболее перспективными способами извлечения являются многоступенчатое выщелачивание и обмен в противотоках выщелачивающего раствора и обрабатываемого материала.

Удаление радионуклидов из почвогрунтов и извлечение редких металлов из отходов горно-технологических производств может проводиться путем выщелачивания, которое требует большого расхода химических реагентов. Поэтому возникает необходимость выявить оптимальные параметры выщелачивания путем математического моделирования. С этой целью в статье были предложены способы, позволяющие снизить расход выщелачивающих растворов, и определены оптимальные параметры выщелачивания при заданных условиях. Для всех рассмотренных способов приводятся аналитические решения, позволяющие рассчитать степень очистки от извлекаемых соединений, расход выщелачивающего раствора и его концентрацию. В частности, решена система уравнений для многоступенчатого выщелачивания. Было установлено, что при коэффициенте распределения 5 для достижения степени очистки в 10 % при четырехкратном выщелачивании будет израсходовано в 3 раза меньше раствора, чем при одноразовом выщелачивании, а при многоступенчатом выщелачивании в 9 раз меньше раствора.

Ключевые слова: радионуклиды; редкие металлы, тяжелые металлы; выщелачивание; переработка отходов; золошлаковые отходы.

Для цитирования. Бровка Г. П., Дорожок И. Н. Повышение эффективности выщелачивания радионуклидов, тяжелых и редких металлов из почвогрунтов и отходов горно-технологических производств // Природопользование. – 2021. – № 2. – С. 106–113.

INCREASED EFFICIENCY OF LEACHING OF RADIONUCLIDES, HEAVY AND RARE METALS FROM SOILS AND WASTES OF MOUNTAIN AND TECHNOLOGICAL MANUFACTURES

G. P. Brovka, I. N. Dorozhok

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. The article considers the methods of multiple and multi-stage leaching, as well as leaching in countercurrents with solutions that allow to transfer to a water-soluble state of the required amount of highly sorbable compounds, such as radionuclides, heavy and rare metals from soils, rocks and wastes of mining industries. The developed methods of calculation are presented, allowing due the choosing of optimal methods and parameters to reduce the consumption of solutions and increase the concentration of extracted elements in them. It has been established that the most promising methods of extraction are multistage leaching and exchange in countercurrents of the leaching solution and the material to be processed.

The removal of radionuclides from soils and the extraction of rare metals from mining waste can be carried out by leaching, which requires a large consumption of chemical reagents. Therefore, it becomes necessary to identify the optimal leaching parameters by mathematical modeling. With this aim, the article proposed methods to reduce the consumption of leaching solutions, and determined the optimal parameters of leaching under specified conditions. For all the methods considered, analytical solutions are given that allow calculating the degree of purification from the extracted compounds, the consumption of the leaching solution and its concentration. A system of equations for multi-stage leaching has been solved. It was found that with a distribution coefficient of 5, in order to achieve a purification degree of 10 %, 3 times less solution will be consumed with four-fold leaching than with one-time leaching, and with multistage leaching, 9 times less.

Keywords: radionuclides; rare metals, heavy metals; leaching; waste proceeding; ash and slag wastes.

For citation. Brovka G. P., Dorozhok I. N. Increased efficiency of leaching of radionuclides, heavy and rare metals from soils and wastes of mountain and technological manufactures. *Nature Management*, 2021, no. 2, pp. 106–113.

Введение. Основное количество соединений радионуклидов, тяжелых металлов и редких металлов в почвах, грунтах, горных породах и отходах переработки горных пород находится в связанном состоянии, за счет сорбции их твердой фазой указанных дисперсных сред, либо находится в трудно растворимых соединениях. При этом наблюдается термодинамическое равновесие между количеством связанных соединений и их количеством в поровом растворе дисперсных сред. Это состояние может изменяться в зависимости от различных факторов: концентрации рассматриваемых и других соединений, pH водной среды, влажности, температуры и других факторов.

Несмотря на то что в водорастворимом состоянии может находиться весьма ограниченное количество соединений радионуклидов, тяжелых и редких металлов, эта фракция указанных соединений играет основную роль в их переносе и удалении из дисперсных сред. Поэтому в данной работе, как и в других аналогичных работах авторов, будем называть их «водорастворимые сорбируемые соединения» без акцента на соотношение между водорастворимой и сорбируемой фракциями.

Удаление радионуклидов из почвогрунтов (дезактивация), а также извлечение редких металлов из отходов горно-технологических производств может проводиться путем выщелачивания специальными растворами [1–4]. Механизм этих процессов заключается в многократном внесении определенного количества выщелачиваемого раствора в материал, переводе части извлекаемых элементов, сорбируемых твердой фазой материала в поровый раствор и последующем удалении основного количества порового раствора из материала методами центрифugирования, фильтрации или другими способами. По такому же механизму из почвогрунтов могут удаляться тяжелые или другие токсичные металлы. Кроме этого, в настоящее время интенсивно развиваются технологии извлечения из золы и других отходов горно-технологических производств редких металлов.

Все указанные технологии весьма затратные: требуют большого расхода химических реагентов, воды, тепловой и электрической энергии на последующее центрифugирование. Поэтому возникает необходимость предварительно выявить и определить оптимальные параметры выщелачивания путем математического моделирования.

Материалы и методы исследования. Перенос водорастворимых сорбируемых соединений (радионуклидов, тяжелых и редких металлов) в почвах, грунтах, отходах горно-технологических производств наиболее полно описывается системой уравнений, которые учитывают процессы диффузии, конвекции и обмена водорастворимыми соединениями между твердой фазой и поровым раствором. С этих позиций математическую модель переноса водорастворимых сорбируемых соединений во влажных дисперсных средах при линейной изотерме сорбции можно представить в виде [3]:

$$\frac{\partial C_1}{\partial t} = D_{np} \frac{\partial^2 C_1}{\partial x^2} - V \frac{\partial C_1}{\partial x} + \alpha \left(\frac{1}{K_d} C_2 - C_1 \right), \quad (1)$$

$$\frac{\partial C_1}{\partial t} = -\alpha \left(\frac{1}{K_d} C_2 - C_1 \right), \quad (2)$$

в равновесном состоянии:

$$C_2 = K_d C_1, \quad (3)$$

где C_1 – удельная концентрация водорастворимого соединения или удельная активность радионуклида в поровом растворе, кг/кг; C_2 – удельная концентрация водорастворимого соединения или удельная активность радионуклида в твердой фазе системы, кг/кг; V – линейная скорость конвективного переноса влаги, м/с; D_{np} – коэффициент диффузии водорастворимого соединения в поровом растворе, м²/с; K_d – коэффициент распределения, характеризующий отношение концентраций водорастворимых соединений, связанных твердой фазой материала и находящихся в поровом растворе, кг/кг; α – коэффициент массообмена водорастворимого соединения «твёрдая фаза материала – поровый раствор», с⁻¹; W – влагосодержание материала, кг/кг.

Решая указанную систему уравнений аналитическими и численными методами, можно моделировать процессы установления сорбционного равновесия и переноса радионуклидов и других сорбируемых металлов в почвах, грунтах и различных влажных дисперсных средах. Ряд частных решений этой системы представлен в монографии Г. П. Бровки [5]. Используя аналогичные подходы, с помощью расчетных методов можно оценить эффективность и выявить оптимальные параметры дезактивации загрязненных радионуклидами материалов путем выщелачивания. Рассмотрим и оценим некоторые варианты выщелачивания на конкретных примерах.

Результаты исследования и их анализ. Возьмем, к примеру, материал с исходным влагосодержанием W_0 , содержащим определенное количество соединений водорастворимых сорбируемых элементов на единицу массы сухого материала C_0 с коэффициентом распределения K_d . В этом

случае в сорбируемом и водорастворимом состояниях на единицу массы сухого материала будет находиться соответственно C_c и C_p количество водорастворимых соединений, определяемых соотношениями:

$$C_c = \frac{C_0 K_{ds}}{K_{ds} + W_0}, \quad (4)$$

$$C_p = \frac{C_0 W_0}{K_{ds} + W_0}. \quad (5)$$

Рассматривая диапазоны вариации исходных значений влагосодержания почвогрунтов и коэффициентов распределения радионуклидов, тяжелых и редких металлов в них, можно убедиться, что 90–99 % растворимых сорбируемых соединений (в дальнейшем – элементов) будет находиться в связанном состоянии и не будет удаляться вместе с влагой. Для удаления из материала основного количества элементов необходимо внести в этот материал определенное количество выщелачивающего раствора W_s , позволяющего снизить коэффициент распределения до величины K_{ds} и увеличить количество жидкой фазы. При этом концентрация элементов в твердой фазе материала снизится в k_o раз. Коэффициент k_o характеризует степень очистки (отношение концентрации загрязняющих веществ в материале после очистки к концентрации в материале до очистки, %), и поэтому его можно называть коэффициентом очистки. Таким образом, коэффициент очистки k_o – величина, равная отношению концентрации загрязняющих веществ в материале на входе в установку по очистке к концентрации в материале на выходе из этой установки. Для расчета коэффициента очистки используется формула (6), которая следует из соотношений (4) и (5), а также баланса водорастворимых сорбируемых элементов при условии полного удаления из материала выщелачивающего раствора:

$$k_o = W_s / K_{ds} + 1. \quad (6)$$

Элементарный расчет показывает, что для достижения коэффициентом очистки k_o значения 10, т. е. уменьшения в 10 раз количества элементов в материале по сравнению с исходным количеством, необходимо внести в материал выщелачивающий раствор в количестве на сухое вещество, соответствующем значению W_s , определяемому уравнением

$$W_s = (k_o - 1) K_{ds} = 9 K_{ds}. \quad (7)$$

Следует отметить, что по терминологии многих работ по выщелачиванию параметр W_s следует назвать гидромодулем. Гидромодуль W_s – это отношение массы выщелачивающего раствора к массе материала, кг/кг.

При коэффициенте распределения выщелачивающего раствора, например 5, в соответствии с (7) в материал необходимо внести 45 кг/кг выщелачивающего раствора, а затем его сконцентрировать для выделения элементов. Более рационально, видимо, было бы проводить выщелачивание многократно небольшими порциями. При этом возникает вопрос о наиболее эффективных параметрах выщелачивания, которыми являются размер порции выщелачивающего раствора и количество этапов выщелачивания. Решая такую задачу, необходимо, прежде всего, исходить из достижения необходимого коэффициента очистки и минимального количества отработанного выщелачивающего раствора при минимальном количестве этапов выщелачивания.

Рассмотрим сейчас многократное выщелачивание небольшими порциями выщелачивающего раствора. В таком случае за n циклов выщелачивания концентрация элементов в очищаемом материале снижается в $(k_o)^n$ раз и при этом расходуется $W_s n$ выщелачивающего раствора.

Расчеты показывают, что для достижения степени очистки 10 %, как и при однократном выщелачивании, для четырехкратного выщелачивания количество одной порции выщелачивающего раствора должно соответствовать гидромодулю, определяемому из соотношения: $W_p = 0,765 K_{dp}$. При выполнении указанного соотношения за один прием выщелачивания количество элементов в материале будет снижаться в 1,765 и за четыре приема уменьшится примерно в 10 раз. Общее количество израсходованного выщелачивающего раствора будет составлять 15 кг/кг, т. е. 3 раза меньше, чем при одноразовом выщелачивании.

Далее можно рассмотреть многоступенчатое выщелачивание, когда выщелачивающий раствор после взаимодействия с одной порцией материала подается на следующую порцию и так проходит несколько раз до последней ступени. После этого раствор направляется на концентрацию и извлечение из него элементов или утилизацию. Порции материала, в свою очередь, последовательно проходят обработку выщелачивающими растворами последнего, предпоследнего и последующих сливов, заканчивая первым.

Для расчета многоступенчатого выщелачивания составлена система уравнений для относительных концентраций, т. е. пронормированных по исходной начальной концентрации элементов C_h . В этом случае соотношения между относительными и фактическими концентрациями в твердой и жидкой фазах будут определяться формулами:

$$C1 = C_1 / C_h, \quad (8)$$

$$C2 = C_2 / C_h. \quad (9)$$

В общем виде для n ступеней очистки систему уравнений, описывающую концентрацию соединений в твердой фазе на каждой ступени очистки, можно представить в виде:

$$\begin{aligned} C2_1 &= C2_2 / k_o, \\ C2_2 &= (C2_3 + (k_o - 1)C2_1) / k_o, \\ C2_3 &= (C2_4 + (k_o - 1)C2_2) / k_o, \\ &\dots \\ C2_N &= (C2_{N+1} + (k_o - 1)C2_{N-1}) / k_o, \\ &\dots \\ C2_n &= (1 + (k_o - 1)C2_{n-1}) / k_o, \end{aligned} \quad (10)$$

где $C2_N$ – относительное содержание элемента в твердой фазе материала на N ступени очистки; n – количество ступеней очистки.

При этом в относительных концентрациях должно соблюдаться уравнение баланса

$$C2_1 + (k_o - 1)C2_n = 1. \quad (11)$$

Решение системы уравнений (10) позволяет определить концентрацию $C2_N$ и степень очистки материала на каждой ступени.

Далее соответствующие концентрации соединений в жидкой фазе после выхода из N -й ступени или на входе $N + 1$ -й ступени будут определяться уравнением

$$C1_N = C2_N / K_{ds}. \quad (12)$$

Зная концентрацию в жидкой фазе после выхода из последней ступени, можно рассчитать количество выщелоченного соединения

$$M_n = C1_N W_s C_h = C2_N W_s / K_{ds} C_h. \quad (13)$$

Уравнение баланса (14) аналогичное уравнению (11) с учетом (13):

$$C2_1 + M_n = 1. \quad (14)$$

Это соответствует тому, что суммарное количество выщелачиваемого соединения, оставшегося в материале и удаленного с помощью выщелачиваемого раствора, равно исходной концентрации соединения в материале.

Решение системы:

$$\begin{aligned} C2_1 &= 1 / (1 + W_c + W_c^2 + \dots + W_c^n), \\ C2_2 &= (1 + W_c) / (1 + W_c + W_c^2 + \dots + W_c^n), \\ C2_3 &= (1 + W_c + W_c^2) / (1 + W_c + W_c^2 + \dots + W_c^n), \\ &\dots \\ C2_N &= (1 + W_c + W_c^2 + \dots + W_c^{N-1}) / (1 + W_c + W_c^2 + \dots + W_c^n), \\ &\dots \\ C2_n &= (1 + W_c + W_c^2 + \dots + W_c^{n-1}) / (1 + W_c + W_c^2 + \dots + W_c^n), \end{aligned} \quad (15)$$

где $W_c = W_s / K_{ds}$; n – количество ступеней очистки; N – номер ступени.

Система уравнений, описывающая содержание элемента в выщелачивающем растворе после прохождения N ступеней в абсолютных единицах:

$$\begin{aligned} M_1 &= C_{21}(k_o - 1), \\ M_2 &= C_{22}(k_o - 1), \\ \dots \\ M_N &= C_{2N}(k_o - 1). \end{aligned} \quad (16)$$

На рисунке представлена схема четырехступенчатого выщелачивания при $W_s/K_d = 2$, что соответствует коэффициенту очистки 3. Исходная проба имеет относительную концентрацию элемента 1, а выщелачивающий раствор – 0. Нумерация ступеней идет со стороны входа выщелачивающего раствора. Из рисунка видно, что на 1-й ступени, которая является завершающей, порция выщелачивающего чистого раствора подается в материал, поступивший из 2-й ступени с относительной концентрацией соединения $C_{21} = 0,0968$, после чего его концентрация понижается до $C_{21} = 0,0323$. Выщелат из 1-й ступени, в соответствии с системой уравнений (16) и принятого значения $W_s/K_d = 2$, содержащий 0,0646 соединений (C_{21}), поступает на 2-ю ступень, после чего относительная концентрация элемента в ней C_{22} снизится с 0,2258 до 0,0968 и так далее по аналогии на других ступенях. После 4-й ступени относительное количество соединений в растворе составит 0,9677.

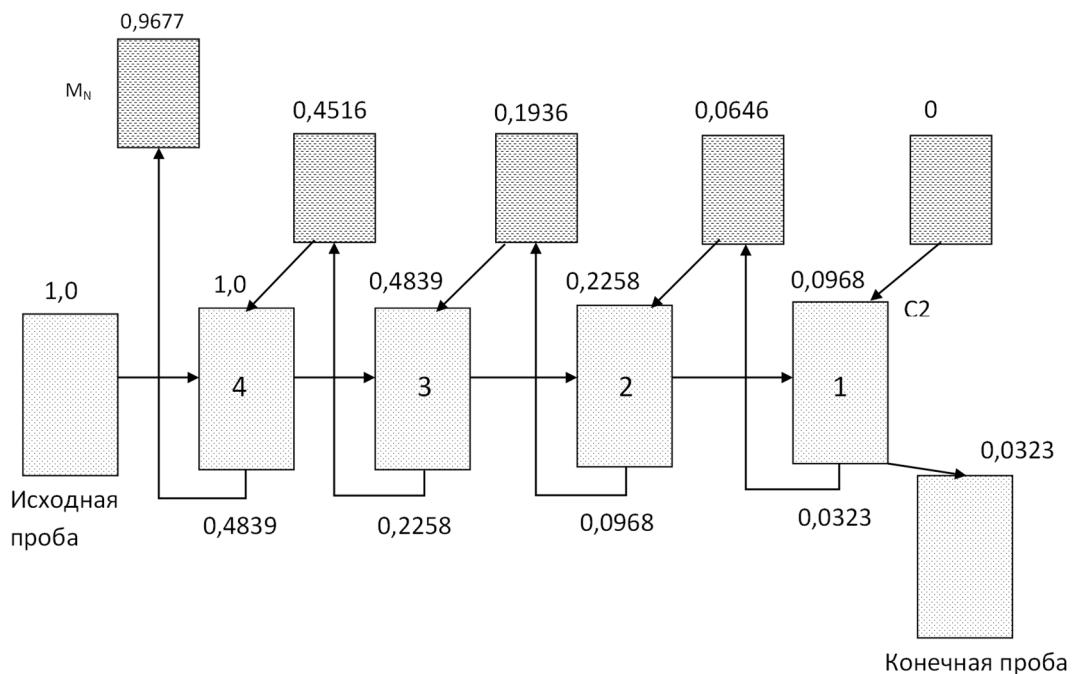


Схема четырехступенчатого выщелачивания

Scheme of four-stage leaching

Полученный раствор можно использовать для извлечения радионуклидов, тяжелых металлов и редкоземельных элементов. Первая очищенная порция материала поступает на утилизацию или используется по назначению. Затем образцы сдвигаются, вместо 4-й порции добавляется порция с исходной концентрацией элемента и цикл очистки повторяется.

Многоступенчатая система выщелачивания водорастворимых сорбируемых соединений позволяет сократить объем выщелачивающего раствора по сравнению с многократным выщелачиванием при заданной степени очистки. Например, при коэффициенте распределения выщелачивающего раствора, равном 5, и гидромодуле W_s , равном 5, т. е. при W_s / K_{ds} , равном 1, с помощью девятиступенчатой системы очистки можно достичь 10%-й степени очистки. При этом будет израсходовано 5 кг выщелачивающего раствора на 1 кг материала, что в 9 раз меньше, чем при одноразовом выщелачивании и в 3 раза меньше, чем при многократном выщелачивании.

Для обеспечения более высокой степени дезактивации при сохранении гидромодуля дезактивирующего раствора необходимо увеличить число ступеней дезактивации. Однако это связано с увеличением трудоемкости процесса. Расчеты показывают, что обеспечить необходимую степень дезактивации можно меньшим числом ступеней при увеличении гидромодуля. Например, при увеличении гидромодуля до $1,4K_{dp}$ число ступеней можно уменьшить до 4, сохранив степень дезактивации порядка 10 %.

Оптимальные параметры гидромодуля и числа ступеней выщелачивания при заданной степени очистки можно определить, зная конкретные материальные затраты на проведение определенного числа ступеней выщелачивания и на дальнейшее использование или утилизацию отработанного выщелачивающего раствора.

Дальнейший анализ показывает, что для увеличения степени дезактивации до 1–2 % необходимо существенное увеличение гидромодуля и количества ступеней дезактивации. Поэтому для обеспечения высокой степени дезактивации или более полного извлечения ценных соединений металлов предлагается метод непрерывного обмена между выщелачивающим раствором и обрабатываемым материалом во встречных потоках по аналогии со способом дезактивации растворов сорбирующими материалами, описанном в работе [5]. В указанной работе приводится аналитическое решение задачи фильтрации раствора через слой сорбента, движущегося навстречу фильтрационному потоку, с учетом кинетики сорбции и конвективного массообмена. Это решение было адаптировано для расчета выщелачивания радионуклидов из сорбируемых материалов при встречном движении выщелачивающего раствора и дезактивируемого материала. Было установлено, так же как и в цитируемой работе, что оптимальный режим дезактивации достигается при соотношении скоростей выщелачивающего раствора V_p и обрабатываемого материала V_m , соответствующем условию

$$V_m = - \frac{W_m}{K_{dp}} V_p, \quad (17)$$

где W_m – влагосодержание материала в дезактивирующем колонке; кг/кг, V_p – скорость выщелачивающего раствора, м/с; V_m – скорость обрабатываемого материала, м/с; K_{dp} – коэффициент распределения, кг/кг.

При этом, с учетом условия (17) для распределения концентрации радионуклида в растворе и материале по длине дезактивирующей колонки, решение имеет вид:

$$C1(x) = C_{H_2} / K_{dp} \frac{\frac{\alpha}{W_m V_p} x}{1 + \frac{\alpha}{W_m V_p} h}, \quad (18)$$

$$C2(x) = C_{H_2} \frac{1 + \frac{\alpha}{W_m V_p} x}{1 + \frac{\alpha}{W_m V_{p_1}} h}, \quad (19)$$

где h – длина дезактивирующей колонки, м; C_{H_2} – начальная концентрация радионуклидов в материале, кг/кг; V_{p_1} – скорость фильтрации, м/с; α – коэффициент массообмена, с⁻¹.

Из приведенного решения видно, что изменение концентрации в растворе и материале происходит линейно. При этом на выходе с одного конца колонки дезактивирующий раствор будет близок к равновесному состоянию с исходной концентрацией радионуклидов, а с другого конца будет выходить материал с остаточной концентрацией радионуклидов $C2_o$, определяемой выражением

$$C2_o = C_{H_2} / \left(1 + \frac{\alpha}{W_m V_{p_1}} h \right). \quad (20)$$

Следует отметить, что путем встречного обмена выщелачивающего раствора и дезактивирующего материала можно обеспечить необходимую степень дезактивации при минимально возможном расходе дезактивирующего раствора и максимально возможной концентрацией в нем радионуклидов.

При этом расход дезактивирующего раствора будет соответствовать значению гидромодуля $W_p = K_{dp}$, а концентрация радионуклидов в растворе будет приближаться к значению C_{H_2} / K_{dp} .

Исходя из требуемой степени дезактивации, длину дезактивирующей колонки h и скорость фильтрации V_{p_1} выбирают согласно соотношению (20). При этом следует учитывать коэффициент массообмена α , и влагосодержание материала в колонке.

Заключение. Проанализирована возможность повышения эффективности процессов выщелачивания из почвогрунтов и отходов горно-технологических производств радионуклидов, тяжелых и редких металлов с помощью растворов. Рассмотрены различные способы выщелачивания водорастворимых сорбируемых соединений из дисперсных сред, включающие многократное и многоступенчатое выщелачивание, а также выщелачивание на встречных потоках. Для всех рассмотренных способов приводятся аналитические решения, позволяющие рассчитать степень очистки от извлекаемых соединений, расход выщелата и его концентрацию. В частности, решена система уравнений для многоступенчатого выщелачивания. Показано, что за счет выбора оптимальных приемов и параметров можно существенно сократить расход выщелачивающих растворов и увеличить в них концентрацию элементов.

Установлено, что наиболее перспективным способом извлечения водорастворимых сорбируемых соединений является многоступенчатое выщелачивание и обмен в противотоках выщелачивающего раствора и обрабатываемого материала.

Список использованных источников

- Борбат, В. Ф. Сернокислотное извлечение редкоземельных металлов из золы Экибастузского угля / В. Ф. Борбат, Л. Н. Адеева, Ю. Л. Михайлов // Изв. вузов. Химия и химическая технология. – 2002. – № 2. – С. 23–27.
- Природа, химический и фазовый состав энергетических зол Челябинских углей / Э. В. Сокол [и др.]. – Новосибирск : Изд. СО РАН, 2001. – 110 с.
- Бровка, Г. П. Оптимизация выщелачивания радионуклидов, тяжелых и редких металлов из почвогрунтов и отходов горно-технологических производств / Г. П. Бровка, И. Н. Дорожок // Чернобыль: 30 лет спустя : материалы Междунар. науч. конф. – Гомель : Ин-т радиологии, 2016. – С. 291–293.
- Извлечение из зольных остатков бурых углей редких элементов / Г. П. Бровка [и др.] // Альтернативные источники сырья и топлива : сб. науч. тр. – Минск : Беларусская наука, 2016. – Вып. 2. – С. 104–113.
- Бровка, Г. П. Взаимосвязанные процессы тепломассопереноса и преобразования структуры в природных дисперсных средах / Г. П. Бровка. – Минск : Беларусская наука, 2011. – 363 с.

References

- Borbat V. F., Adeeva L. N., Mikhailov Yu. L. *Sernokislotnoe izvlechenie redkozemel'nyh metallov iz zoly Ekibastuzskogo uglya* [Sulfuric acid extraction of rare earth metals from the ash of Ekibastuz coal]. Izv. vuzov. Chemistry and chemical technology, 2002, no. 2, pp. 23–27. (in Russian)
- Sokol E. V., Maksimova N. V., Nigmatulina E. N., Frenkel' A. E. *Priroda, himicheskij i fazovyj sostav energeticheskikh zol Chelyabinskikh uglej* [Nature, chemical and phase composition of the energy ashes of Chelyabinsk coals]. Novosibirsk, 2001, 110 p. (in Russian)
- Brovka G. P., Dorozhok I. N. *Optimizaciya vyshhelachivaniya radionuklidov, tyazhelykh i redkikh metallov iz pochvogruntov i otkhodov gorno-tehnologicheskikh proizvodstv* [Optimization of leaching of radionuclides, heavy and rare metals from soils and wastes of mining and technological industries]. Chernobyl': 30 let spustya. Materialy' Mezhdunar. nauch. konf. [Proc. of the Int. sci. conf 'Chernobyl: 30 years later']. Gomel, Institute of Radiology Publ., 2016, pp. 291–293. (in Russian)
- Brovka G. P., Lishtvan I. I., Sosnovskaya N. E., Dorozhok I. N. *Izvlechenie iz zol'nyh ostatkov buryh uglej redkih elementov* [Extraction from ash residues of brown coals of rare elements]. Al'ternativnye istochniki syr'ya i topliva = Alternative sources of raw materials and fuels [Coll. of sci. works]. Minsk, 2016, iss. 2, pp. 104–113. (in Russian)
- Brovka G. P. *Vzaimosvyazannye processy teplomassoperenosa i preobrazovaniya struktury v prirodnyh dispersnyh sredah* [Interconnected processes of heat and mass transfer and transformation of structure in natural disperse media]. Minsk, 2011, 363 p. (in Russian)

Информация об авторах

Бровка Геннадий Петрович – доктор технических наук, главный научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: brovka_gp@tut.by

Дорожок Инга Николаевна – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: ingadorozhok@list.ru

Information about the authors

Gennady P. Brovka – D. Sc. (Technical), Chief Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: brovka_gp@tut.by

Inga N. Dorozhok – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: ingadorozhok@list.ru

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО ДОБЫЧЕ КУСКОВОГО ТОРФА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕЙ

В. Б. Кунцевич, Т. И. Макаренко, И. В. Агейчик, О. М. Гайдукевич, Л. П. Калилец

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Приведены результаты использования технологического оборудования на добыче кускового торфа, как сырья для производства активированных углей. Показано, что наиболее приемлемым вариантом, с точки зрения «цена–качество» является вариант с использованием оборудования, которое изготавливает РУП «Могилевэнерго». Обоснована модернизация фильтры машины КТД-1, позволяющая получить из добываемой продукции активированный уголь требуемого качества. Определены основные технико-экономические показатели его применения: производительность, расход топлива и трудозатраты на добычу 1 т торфа условной влажности, коэффициенты использования циклового и рабочего времени. Выявлено, что замена стандартных мундштуков диаметром 75 мм на мундштуки диаметром 40 мм уменьшает плотность загрузки поля и цикловые сборы. В то же время, добыча кускового торфа меньшего диаметра (в пределах исследованных) увеличивает сезонный сбор, в наших опытах – в 1,4 раза. Разработаны оптимальные схемы движения машин на рабочих проходах, обеспечивающие качественное выполнение всех операций, предусмотренных технологическим регламентом. Установлены основные причины, снижающие производительность машины КТД-1 при добыче кускового торфа диаметром 40 мм, и предложены способы их устранения. Показано, что для стабильной работы добывающей машины КТД-1, пнистость торфяной залежи не должна превышать 1,5 %.

Ключевые слова: торфяное месторождение; кусковой торф; активированный уголь; технологическое оборудование; технико-экономические показатели.

Для цитирования. Кунцевич В. Б., Макаренко Т. И., Агейчик И. В., Гайдукевич О. М., Калилец Л. П. Обоснование выбора технологического оборудования по добыче кускового торфа для производства активированных углей // Природопользование. – 2021. – № 2. – С. 114–121.

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR SOD PEAT EXTRACTION FOR ACTIVATED CHARCOALS PRODUCTION

V. B. Kuntsevich, T. I. Makarenko, I. V. Ageichik, O. M. Gaidukevich, L. P. Kalilets

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. The results of the use of technological equipment for the extraction of sod peat as a raw material for the production of activated charcoals are presented. It is shown that more acceptable variant, from "price-quality" point of view, is the option with the use of equipment manufactured by RUE "Mogilevenergo". The modernization of the spinneret of KTD-1 machine has been substantiated, which makes it possible to obtain activated carbon of the required quality from the extracted products. The main technical and economic indicators of its application have been determined: productivity, fuel consumption and labor costs for the extraction of 1 ton of peat of standard moisture content, utilization rates of cycle and working time. It was found that replacing of standard mouthpieces with a diameter of 75 mm by mouthpieces with a diameter of 40 mm reduces the field loading density and cycle charges. At the same time, the extraction of sod peat of a smaller diameter (within the limits of the investigated ones) increases the seasonal harvest, in our experiments – by 1.4 times. Optimal schemes for the movement of machines on working aisles have been developed, which ensure high-quality performance of all operations provided for by the technological regulations. The main reasons that reduce the productivity of the KTD-1 machine when extracting sod peat with a diameter of 40 mm are established, and methods for their elimination are proposed. It is shown that for the stable operation of KTD-1 mining machine, the timber content of peat deposit should not exceed 1.5 %.

Keywords: peat deposit; sod peat; activated charcoal; technological equipment; technical and economic indicators.

For citation. Kuntsevich V. B., Makarenko T. I., Ageichik I. V., Gaidukevich O. M., Kalilets L. P. Justification of the choice of technological equipment for sod peat extraction for activated charcoals production. *Nature Management*, 2021, no. 2, pp. 114–121.

Введение. В настоящее время на торфопредприятиях Республики Беларусь на добыче кускового торфа способом щелевого фрезерования залежи применяется преимущественно оборудование, изготовленное в России или Финляндии. Российский комплекс состоит из добывающей машины МТК-12, машины МТК-21Б, предназначенный для ворочки торфа, и уборочной машины МТК-32. Однако еще в начале 2000-х гг. выпуск оборудования для добычи как кускового, так и фрезерного торфа на заводах России прекращен. В финский комплекс, помимо добывающей машины РК-1С, ворошилки РРК-19 и погрузчика торфа РКС-9, входит образователь валков РКС-4, что существенно повышает производительность оборудования на уборке и вывозке готовой продукции.

Результаты исследований по добыче кускового торфа на месторождении «Туршевка – Чертово», полученные нами за период с 2017 по 2020 г., и анализ информационных материалов показали, что наиболее приемлемым вариантом, с точки зрения «цена – качество», является вариант с использованием оборудования, которое изготавливает РУП «Могилёвэнерго». Стоимость его примерно в 1,5 раза ниже стоимости финского комплекса.

Следует отметить, что все перечисленное выше оборудование предназначено для добычи топливного кускового торфа с начальным диаметром куска от 75 до 150 мм.

Ранее выполненными исследованиями установлено: чтобы получить из кускового торфа активированный уголь с адсорбционными характеристиками, удовлетворяющими ГОСТ 6217-74, необходимо, чтобы начальный диаметр куска находился в пределах от 35 до 40 мм [1]. В наших исследованиях это условие было учтено, и стандартные мундштуки добывающей машины КТД-1 диаметром 75 мм были заменены на мундштуки диаметром 40 мм.

Учитывая, что комплекс машин на добыче кускового торфа как сырья для получения активированных углей применен впервые, а в Республике Беларусь планируется их производство, представлялось целесообразным определить основные технико-экономические показатели его применения.

Объект исследований – технологическое оборудование, изготовленное РУП «Могилёвэнерго», на добычу кускового торфа для производства активированных углей.

Все исследования выполнены на торфяном месторождении «Туршевка – Чертово», которое расположено в Крупском районе Минской области.

По результатам анализа лабораторных проб, отобранных авторами статьи, непосредственно для исследований были выбраны карты № 2 и 3 поля № 7^a. Качественная характеристика залежи на картах приведена в табл. 1.

Таблица 1. Качественная характеристика верхнего 0,3 м слоя залежи

Table 1. Qualitative characteristics of the upper 0.3 m layer of the deposit

№ п/п	Показатель	Значение
1	Тип залежи	Верховой
2	Вид торфа	Сосново-пушицевый
3	Степень разложения, %*	30
4	Максимальная зольность, А ^c , %	1,9
5	Влажность, %*	80,2

* Средние значения.

Методы исследований: анализ опубликованных материалов по добыче кускового торфа и применяемом оборудовании; полевые опыты на выбранных картах; лабораторные исследования; хронометражные наблюдения; математическая обработка полученных данных.

Результаты исследований. К основным показателям, характеризующих эффективность работы технологического оборудования, относятся: производительность, коэффициенты использования циклового и рабочего времени, расход топлива и трудозатраты на производство 1 т готовой продукции.

Валовая производительность машины по добыче кускового торфа измеряется объемом торфа-сырца Q (м³/ч) и массой воздушно-сухого торфа G (т/ч):

$$Q = \frac{\Delta_b h K_1 K_2 v_T K_v K_{\text{ц}} K_t}{\cos \alpha}, \quad (1)$$

где, Δ_b – ширина резцов дисковой фрезы, м; h – глубина фрезерования залежи, м; $K_1 = 1,2$ – коэффициент уширения щели [2]; $K_2 = 0,9$ – коэффициент, учитывающий потери фрезерной крошки при передаче в шнек-пресс [2]; v_T – теоретическая скорость машины при движении на рабочем проходе, м/ч; $K_v = 0,9$ – коэффициент использования скорости [2]; $K_{\text{ц}}$ – коэффициент использования циклового времени

(определен опытным путем); K_t – коэффициент использования рабочего времени (определен опытным путем); $\alpha = 17$ – угол наклона дисковой фрезы относительно вертикальной плоскости, градус.

$$G = Q\rho \frac{100 - w_3}{100 - w_y}, \quad (2)$$

где ρ – плотность разрабатываемого слоя залежи, т/м³; w_3 – влажность разрабатываемого слоя залежи, %; $w_y = 33$ – условная влажность, %.

Валовая производительность ворошилки и валкователя измеряется в гектарах S (га/ч) и тоннах G (т/ч):

$$S = 0,1v_T K_v B_k K_w K_u K_t, \quad (3)$$

где B_k – ширина захвата, м; $K_w = 1,0$ – коэффициент использования ширины захвата [2].

$$G = g_u S, \quad (4)$$

где g_u – цикловой сбор, т/га.

Производительность погрузчика определялась на основании следующих измерений и расчетов, выполненных авторами:

$$F = \frac{bL}{10^4}, \quad (5)$$

где F – площадь, с которой торф убирается в один валок, га; b – ширина полосы, с которой торф убирается в один валок, м; L – длина валка, м.

Масса торфа в одном валке, т:

$$M = Fg_u. \quad (6)$$

Время погрузки торфа из одного валка в прицеп, мин:

$$t = \frac{L \cdot 60}{v_T K_v}. \quad (7)$$

Производительность погрузчика, т/ч:

$$G = \frac{M \cdot 60 K_u K_t}{t}. \quad (8)$$

Транспортным средством при вывозке готовой продукции является трактор с гусеничным прицепом грузоподъемностью 8 т и вместимостью 24 м³. Исследованиями установлено, что средняя насыпная плотность добытого торфа со степенью разложения 30 % и высушенного до влажности 30–33 % составляет 420 кг/м³. Таким образом, объем кускового торфа массой 8 т равен 19 м³. Следовательно, полная загрузка прицепа кусковым торфом с начальным диаметром куска 40 мм ограничена его грузоподъемностью.

При работе комплекса на погрузке и вывозке торфа приоритет всегда отдается погрузчику, поэтому при определении количества транспортных средств на вывозке готовой продукции учитывалось это обстоятельство, с целью исключения простоев погрузчика.

Замена стандартных мундштуков на мундштуки меньшего диаметра повлекла за собой как негативные, так и положительные явления.

Установлено, что при диаметре мундштуков 40 мм производительность дисковой фрезы машины КТД-1 превышает аналогичный показатель шнека формующего аппарата, так как масса извлеченного из залежи торфа, поступающего в приемную камеру, оказалась значительно больше пропускной способности мундштуков, площадь поперечного сечения которых уменьшилась в 3,5 раза. В связи с тем, что конструкция машины КТД-1 не позволяет изменять число оборотов дисковой фрезы и шнека, единственным способом, обеспечивающим формование всей экскавируемой массы в кусковой торф, является уменьшение глубины фрезерования. Расчетами и производственными испытаниями установлено,

что глубина фрезерования в этом случае должна быть не более 0,30 м (при диаметре мундштуков 75 мм – 0,45 м).

Помимо этого, уменьшение диаметра мундштуков (в пределах исследованных) увеличивает вероятность их «забивания» древесными включениями, которые неизбежны в результате фрезерования скрытых в залежи пней и забрасывания фрезой измельченной древесины в приемную камеру пресс-формователя.

Указанные отрицательные явления значительно снижают производительность машины КТД-1. В наших исследованиях она составила 11,8 м³/ч по торфу-сырцу. Согласно технической характеристике машины, предоставленной заводом-изготовителем, при стандартных мундштуках она составляет 25,6 м³/ч. Уменьшение диаметра куска отрицательно влияет и на плотность загрузки поля, а следовательно, и на цикловой сбор, среднее значение которого в наших исследованиях составило за четыре года 46,1 т/га (при диаметре 75 мм – 59,7 т/га).

В то же время уменьшение диаметра куска приводит к увеличению сезонного сбора, который является определяющим показателем при производстве кускового торфа. По данным некоторых авторов, сезонный сбор при диаметре куска 40 мм в 1,5 раза выше по сравнению с куском диаметром 80 мм [3]. Увеличение сезонных сборов при меньшем диаметре куска авторы объясняют снижением продолжительности цикла и, как следствие, увеличением их количества в сезоне добычи. Кроме того, снижение продолжительности цикла улучшает использование календарного времени сезона. Так, при 15-суточном цикле отношение используемых для сушки дней к общей продолжительности сезона составляет 0,85, а при 50-суточном – всего 0,60. В наших исследованиях средний сезонный сбор за четыре года при диаметре куска 40 мм составил 322 т/га, при диаметре куска 75 мм – 239 т/га.

Результаты исследований, полученные авторами статьи за период с 2017 по 2020 г., обобщены и представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2. Основные характеристики технологического оборудования на добычу кускового торфа

Table 2. Main characteristics of technological equipment for the extraction of sod peat

№ п/п	Оборудование (операция)	Марка	Производительность (средняя), т/ч	Трактор-тягач	Мощность двигателя, кВт	Удельный расход топлива, кг/кВт·ч
1	Машина для добычи кускового торфа	КТД-1	2,6	МТЗ 2522ДВ	195	0,218
2	Ворошилка	КТС-1	581 (12,6 га/ч)	МТЗ 1221	90,4	0,236
3	Валкователь	КТВ-1	29	МТЗ 1523В	109	0,227
4	Погрузчик торфа в транспортные средства	КТП-1	61	МТЗ 1523В	109	0,227
5	Прицеп самосвальный на гусеничном ходу	ПГ-24А	61 (два комплекта)	МТЗ 1523В	109	0,227
6	Складирование торфа в штабель	Погрузчик «Амкодор 342 В-01»	93,6	–	109	0,227

Таблица 3. Технико-экономические показатели производства кускового торфа диаметром 40 мм

Table 3. Technical and economic indicators of the production of sod peat with a diameter of 40 mm

№ п/п	Операция	Расход топлива, кг/т	Трудозатраты, чел·ч/т	Расход торфяной массы на 1 т готовой продукции ($w_3 = 80\%$, $w_y^* = 33\%$), т/т	Коэффициент использования времени	
					циклового	рабочего
1	Добыча	11,1	0,385	–	0,89	0,85
2	Ворошение	0,03	0,002	–	0,88	0,91
3	Валкование	0,61	0,040	–	0,87	0,90
4	Уборка	0,54	0,032	–	0,88	0,85
5	Вывозка	1,02	0,065	–	0,70	0,90
6	Складирование	0,17	0,011	–	0,65	0,78
	<i>Итого:</i>	13,47	0,535	4,71	–	–

* В данном случае w_y – уборочная влажность.

При расчете необходимого количества машин, расхода топлива и трудозатрат на производство 1 т кускового торфа диаметром 40 мм принято, что фактическая годовая потребность Республики Беларусь в активированных углях составляет 500 т. Для этого требуется ежегодно добывать с учетом технологических потерь 6,5 тыс. т сформованной продукции при условной влажности. Так же принято, что производственная площадь подготовлена по схеме, рекомендуемой для добычи фрезерного торфа на залежи верхового типа, где расстояние между валовыми каналами составляет 500 м, картовыми – 20 м. Коэффициенты использования циклового и рабочего времени определены авторами статьи на основании хронометражных наблюдений, применительно к условиям работы производственного участка ОАО «Туршовка».

Существенное влияние на эффективность производства оказывает организация процесса, в частности, выбор оптимальной схемы движения машины на рабочих проходах. В технической литературе рекомендуется схема, когда машина по добыче обрабатывает две соседние карты с оставлением незастланной полосы вдоль картового канала на расстоянии 3,7 м от его бермы для первого прохода уборочной машины [2]. Однако такая схема не позволяет использовать на сушке торфа современные ворошилки, ширина захвата которых составляет 18,0–18,3 м. С целью использования в процессе сушки ворошилок нами предложена схема с оставлением незастланной полосы шириной около 4 м посередине карты. В этом случае комплекс машин выполняет операции следующим образом. Машина по добыче кускового торфа КТД-1 работает на двух смежных картах. Расстояние от бермы картового канала до первой ленты выстилаемой продукции – 0,25 м. На первых двух половинах карт машина движется против часовой стрелки, две оставшиеся обрабатываются по часовой стрелке. При количестве мундштуков 12 и их диаметре 40 мм число рабочих проходов на карте шириной 20 м – 20. На схеме (рис. 1) показаны первые и последние проходы, промежуточные проходы не приведены.

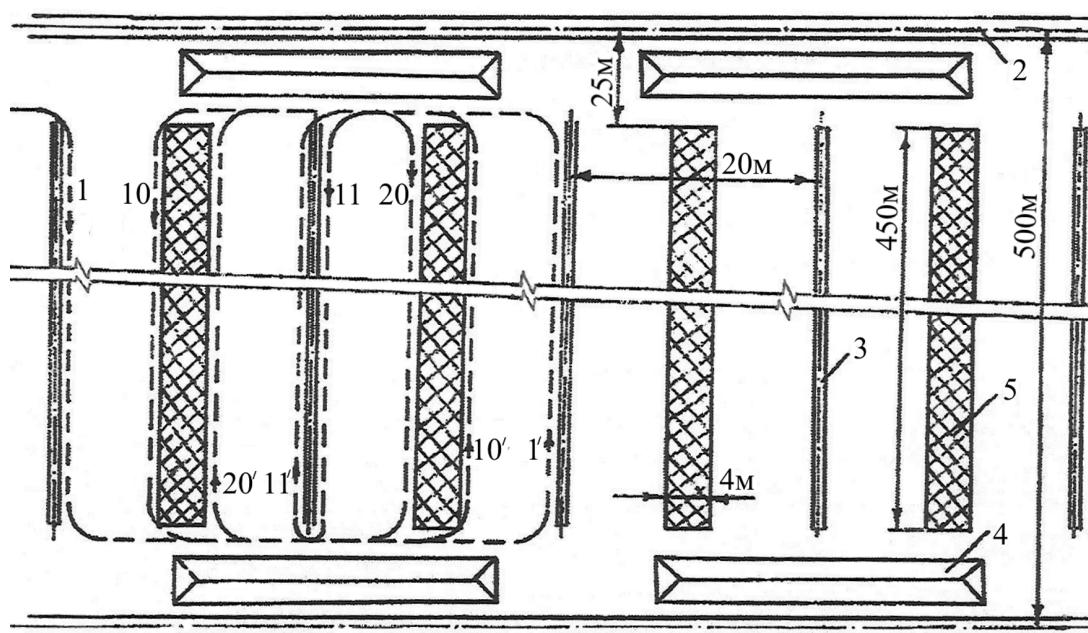


Рис. 1. Схема работы машины КТД-1: 1–1'; 10–10'; 11–11'; 20–20' – рабочие проходы; 2 – валовый канал; 3 – картовый канал; 4 – штабель; 5 – необрабатываемая полоса

Fig. 1. The scheme of the machine KTD-1: 1–1'; 10–10'; 11–11'; 20–20' – working aisles; 2 – gross channel; 3 – charts channel; 4 – stack; 5 – untreated strip

Технологическая площадка при ворошении кускового торфа состоит из четырех карт. Рабочие проходы осуществляются по часовой стрелке (рис. 2). Трактор-тягач движется по незастланной полосе. Карта обрабатывается за один проход ворошилки.

Валкователь работает на одной карте, на которой образует два валка (рис. 3). Валки образуются с левой стороны по ходу движения.

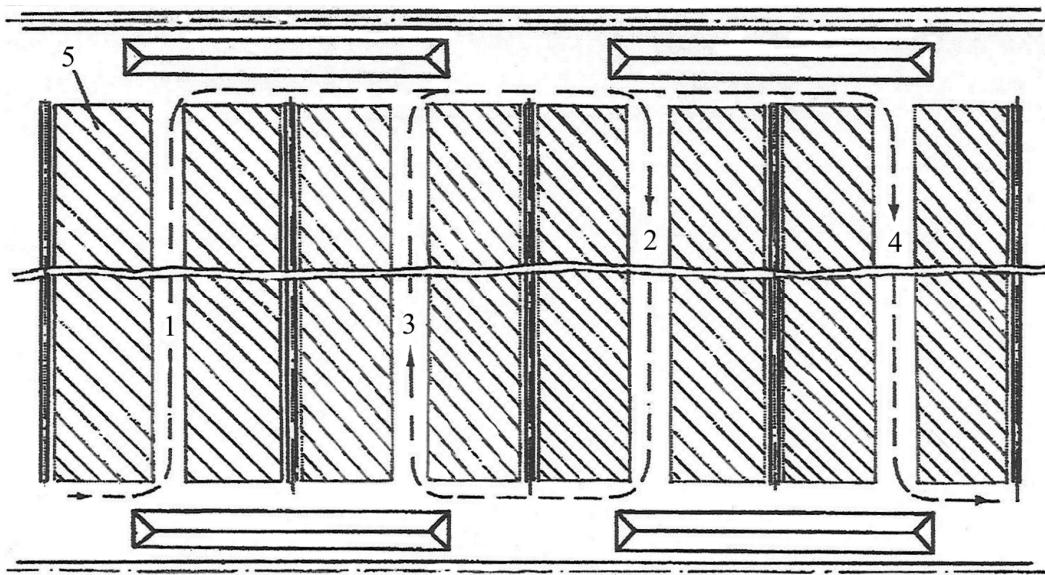


Рис. 2. Схема работы ворошилки КТС-1: 1–4 – рабочие проходы; 5 – поле сушки

Fig. 2. The scheme of work of the tedder KTS-1: 1–4 – working passages; 5 – drying field

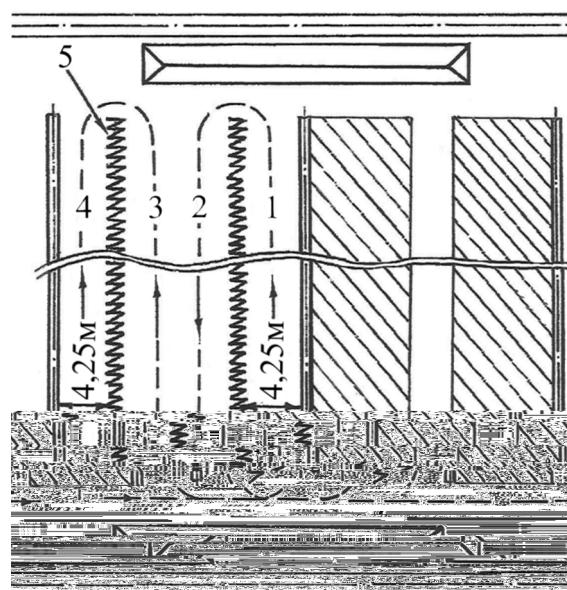


Рис. 3. Схема работы валкователя КТВ-1: 1–4 – рабочие проходы; 5 – валок торфа

Fig. 3. The scheme of work of the windrower KTV-1: 1–4 – working passes; 5 – peat roll

Погрузчик КТП-1 последовательно убирает торф с каждой карты (рис. 4). Вывозка продукции в места складирования осуществляется на гусеничных прицепах ПГ-24А.

Штабели получаются путем свободной отсыпки торфа сверху фронтальным погрузчиком «Амкодор 342 В-01». Предельная высота штабеля – 5 м.

Испытания оборудования РУП «Могилёвэнерго» в производственных условиях на добыче кускового торфа как сырья для получения из него активированных углей выявили его недостатки. Особенно это касается машины по добыче торфа КТД-1. При замене стандартных мундштуков диаметром 75 мм на мундштуки диаметром 40 мм существенно увеличивается вероятность их «забивания» древесными включениями. По нашим наблюдениям, это явление можно исключить, или по крайней мере значительно уменьшить частоту его появления путем более качественного изготовления отдельных узлов

шнекового пресс-формователя. Отрезной нож, установленный на конце шнека, должен хорошо сопрягаться с поверхностью фильтеры. Расстояние между ними должно быть близким к нулю. На внутренней поверхности фильтры не должно быть вмятин и полостей, в которых накапливается измельченная древесина, а затем, в определенный момент, она отрезным ножом и шнеком нагнетается в мундштуки, в результате чего процесс формования торфяной массы в кусковой торф пф оас

С

Т □ Т

разрабатываемого слоя торфяной залежи не всегда соответствуют нормативным показателям; неудачное конструкторское решение крепления фильтры к корпусу пресс-формователя, которое усложняет достижение параллельности между плоскостью отрезного ножа и фильтерой).

4. При выборе торфяного месторождения (участка) для добычи кускового торфа диаметром 40 мм желательно, чтобы пнистость залежи была не более 1,5 %.

Список использованных источников

1. Оценить пригодность торфяных запасов Республики Беларусь как технологического сырья для производства углеродных сорбентов : отчет о НИР (промежуточный) / Нац. акад. наук Беларуси, Институт проблем использования природных ресурсов и экологии. – Минск, 1999. – 78 с. – № ГР 19993950.
2. Справочник по торфу / под ред. А. В. Лазарева и С. С. Корчунова. – М. : Недра, 1982. – 760 с.
3. Антонов, В. Я. Технология полевой сушки торфа / В. Я. Антонов, Л. М. Малков, Н. И. Гамаюнов. – М. : Недра, 1981. – 239 с.

References

1. *Otsenit prigodnost torfyanykh zapasov Respubliki Belarus kak tekhnologicheskogo syria dlya proizvodstva uglerodnykh sorbentov* [To assess the suitability of peat reserves of the Republic of Belarus as the technological raw materials for the production of carbon sorbents]. *Otchet o NIR (promezhutochnyy)* [Research report (interim)]. NAS of Belarus, Institute of Problems of Use of Natural Resources and Ecology. Minsk, 1999, 78 p. St. Reg. no. 19993950 (in Russian)
2. *Spravochnik po torfu* [Reference of peat]. Ed. A. V. Lazareva and S. S. Korchunova. Moscow, Nedra Publ., 1982, 759 p. (in Russian)
3. Antonov V. Ja., Malkov L. M., Gamajunov N. I. *Tehnologija polevoj suchki torfa* [Peat field drying technology]. Moscow, Nedra Publ., 1981, 239 p.

Информация об авторах

Кунцевич Виктор Болеславович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

Макаренко Татьяна Ивановна – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: Makarenko.IP@mail.ru

Агейчик Инна Валерьевна – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: Ageichik.iv@mail.ru

Гайдукевич Олег Михайлович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

Калилец Людмила Петровна – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

Information about the authors

Victor B. Kuntsevich – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

Tatiana I. Makarenko – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: Makarenko.IP@mail.ru

Inna V. Ageichik – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: Ageichik.iv@mail.ru

Oleg M. Gaidukevich – Ph. D. (Technical), Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

Lyudmila P. Kalilets – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

ОЦЕНКА РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНТЕРОСОРБЦИОННОЙ КОМПОЗИЦИОННОЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ В РАЦИОНЕ ЛАКТИРУЮЩИХ КОРОВ

А. Э. Томсон¹, А. А. Царенок², И. В. Макаровец², Т. В. Соколова¹,
Т. Я. Царюк¹, М. Г. Калантаров¹, В. С. Пехтерева¹

¹Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь;

²Институт радиобиологии НАН Беларусь, Гомель, Беларусь

Аннотация. Наработан опытный образец композиционной энтеросорбционной кормовой добавки на основе торфа, модифицированного гексацианоферратом железа (ферроцином). Проведен научно-хозяйственный эксперимент на лактирующих коровах на базе молочно-товарной фермы «Дублин» ОАО «Маложинский» Брагинского района Гомельской области. Для этого сформированы три группы лактирующих коров: две опытных и одна контрольная по пять голов в каждой. При постановке под эксперимент животные отобраны по принципу пар-аналогов, с учетом живой массы, возраста в отелях, стадии лактации, среднесуточного удоя. Содержание и уход за подопытными животными соответствовал принятой на животноводческом объекте технологии производства молока, а также организации труда. Рационы подопытных животных составлялись по детализированным нормам кормления и рассчитывались на получение 18–20 кг молока от коровы в сутки. Отбор проб молока проводился от каждой коровы опытных и контрольной групп на 0-е, 6-е, 12-е, 18-е и 22-е сутки опыта в соответствии со схемой отбора во время утреннего доения согласно СТБ-1051-2012 «Отбор проб молока и молочных продуктов. Общие требования». Определение удельной активности ¹³⁷Cs (Бк/кг) в исследуемых образцах кормов и молока выполнялось на γ-спектрометрическом комплексе «Canberra-Packard» с погрешностью не более 30 %. Изучена радиологическая эффективность композиционной ферроцинсодержащей кормовой добавки на основе торфа по отношению к ¹³⁷Cs. Впервые установлена кратность снижения содержания ¹³⁷Cs в молоке коров при использовании композиционной ферроцинсодержащей кормовой добавки на основе торфа в 4,6 раза по отношению к контролю.

Ключевые слова: композиционная энтеросорбционная кормовая добавка на основе торфа; цезий-137; научно-хозяйственный эксперимент; корма; молоко.

Для цитирования. Томсон А. Э., Царенок А. А., Макаровец И. В., Соколова Т. В., Царюк Т. Я., Калантаров М. Г., Пехтерева В. С. Оценка радиологической эффективности применения энтеросорбционной композиционной кормовой добавки в рационе лактирующих коров // Природопользование. – 2021. – № 2. – С. 122–128.

ESTIMATION OF THE RADIOLOGICAL EFFICIENCY OF ENTEROSORPTION COMPOSITE FORAGE ADDITIVE APPLICATION IN LACTATING COWS DIET

A. E. Tomson¹, A. A. Tsarenok², I. V. Makarovets², T. V. Sokolova¹,
T. Ya. Tsariuk¹, M. G. Kalantarov¹, V. S. Pekhtereva¹

¹Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus;

²Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus

Abstract. A prototype of composite enterosorption feed additive based on peat modified with iron hexacyanoferrate (ferrocin) has been developed. A scientific and economic experiment was carried out on lactating cows on the basis of the MTP "Dublin" of JSC "Malozhinsky" of Bragin district of Gomel region. For this, three groups of lactating cows were formed: two experimental and one control, five cows each. When setting up for the experiment, the animals were selected according to the principle of analogous pairs, taking into account live weight, calving age, stage of lactation, and average daily milk yield. The maintenance and care of the experimental animals corresponded to the milk production technology adopted at the livestock facility, as well as the organization of labor. The diets of the experimental animals were compiled according to detailed feeding rates and were calculated to receive 18–20 kg of milk from a cow per day. Milk sampling was carried out from each cow of the experimental and control groups on the 0th, 6th, 12th, 18th and 22nd days of the experiment in accordance with the sampling scheme during morning milking according to STB-1051-2012 "Selection samples of milk and dairy products. General requirements". The determination of the specific activity of ¹³⁷Cs (Bq/kg) in the studied samples of feed and milk was carried out on a γ-spectrometric complex "Canberra-Packard" with an error of no more than 30 %. The radiological efficiency of composite ferrocin-containing feed additive based on peat in relation to ¹³⁷Cs has been studied. For the first time, the multiplicity of decrease in ¹³⁷Cs content in milk of cows was es-

tablished during the use of composite ferrocin-containing feed additive based on peat by a factor of 4.6 in relation to the control.

Keywords: compositional enterosorption feed additive based on peat; cesium-137; scientific and economic experiment; feed; milk.

For citation. Tomson A. E., Tsarenok A. A., Makarovets I. V., Sokolova T. V., Tsariuk T. Ya., Kalantarov M. G., Pekhtereva V. S. Estimation of the radiological efficiency of enterosorption composite forage additive application in lactating cows diet. *Nature Management*, 2021, no. 2, pp. 122–128.

Введение. Известно, что в результате аварии на Чернобыльской АЭС значительные территории оказались зараженными радионуклидами, в том числе долгоживущими изотопами ^{137}Cs и ^{90}Sr , актуальным стало получение на этих территориях чистой продукции животноводства. Эта проблема может быть решена с применением энтеросорбционного метода, основанного на связывании и выведении из желудочно-тракта радионуклидов. Для этой цели хорошо зарекомендовали ферроцианиды – комплексообразующие соединения избирательного действия, а также композиционные препараты, включающие сорбенты и комплексообразователи. Ранее нами разработан углеродный ферроцинсодержащий сорбент на основе торфяного активированного угля и ферроцина. Изучены физико-технические, энтеросорбционные и спектральные свойства материала. Результаты физиологического опыта показали, что добавление 4 г/гол/сут модифицированного углеродного сорбента в рацион кормления кроликов снижает накопление ^{137}Cs в мясе в 8 раз по сравнению с контролем [1]. Учитывая отсутствие торфяного активированного угля в настоящее время и предполагаемую его высокую стоимость, нами разработана энтеросорбционная ферроцинсодержащая кормовая добавка на основе торфа. Обоснован выбор торфа в качестве основы для получения энтеросорбционной кормовой добавки. Проведена модификация сфагнового торфа гексацианоферратами металлов. Изучены сорбционные и спектральные свойства синтезированных сорбентов по отношению к иону цезия. Обоснован выбор композита, включающий сфагновый торф и гексацианоферрат железа (ферроцин) в качестве энтеросорбционной кормовой добавки с радиопротекторными свойствами. Предварительные испытания радиологической эффективности кормовой добавки в рационе бычков показал кратность снижения содержания ^{137}Cs в мясной продукции примерно в 6 раз по сравнению с контролем [2].

Цель настоящей работы – на основе результатов научно-хозяйственного эксперимента оценить радиологическую эффективность применения энтеросорбционной ферроцинсодержащей кормовой добавки на основе торфа в рационе лактирующих коров.

Объекты и методы. Объектами исследования явились: опытный образец энтеросорбционной кормовой добавки в количестве 5 кг, синтезированный в лабораторных условиях в Институте природопользования НАН Беларуси; лактирующие коровы; молоко.

С целью установления радиологической эффективности применения в рационе лактирующих коров энтеросорбционной кормовой добавки на основе торфа сотрудниками ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси» в сельскохозяйственном предприятии ОАО «Маложинский» Брагинского района Гомельской области на базе МТФ «Дублин» был проведен научно-хозяйственный эксперимент. Для этой цели были сформированы три группы лактирующих коров: две опытных и одна контрольная, по 5 голов в каждой (табл. 1).

Таблица 1. Схема научно-хозяйственного эксперимента

Table 1. Scheme of the scientific and economic experiment

Группы	Количество животных в группе, голов	Живая масса на начало опыта, кг	Продолжительность, дней	Особенности кормления
Контрольная	5	550–600	30	ОР*
1-я опытная	5	550–600	30	ОР* + композиционная ферроцинсодержащая кормовая добавка на основе торфа – 30 г/гол
2-я опытная	5	550–600	30	ОР* + сорбент ферроцин – 3 г/гол/сут

П р и м е ч а н и е: ОР* – основной рацион (трава пастбищная – 30 кг; зеленая масса кукурузы молочной спелости – 15; солома овсяная – 2; комбикорм для коров КК-60П – 3 кг).

Разница между группами заключалась в том, что коровам 1-й опытной группы в состав комби-корма вводилась композиционная ферроцинсодержащая кормовая добавка на основе торфа из расчета 30 г/гол/сут, а коровам второй опытной группы – сорбент ферроцин из расчета 3 г/гол/сут.

При постановке эксперимента животные были отобраны по принципу пар-аналогов, с учетом живой массы, возраста в отелях, стадии лактации, среднесуточного удоя.

Содержание и уход за подопытными животными был одинаковым и соответствовал принятой на животноводческом объекте технологии производства молока, а также организации труда.

Рационы подопытных животных составлялись по детализированным нормам кормления и рассчитывались на получение 18–20 кг молока от коровы в сутки.

В ходе подготовки научно-хозяйственного эксперимента проведены этологические наблюдения над животными. Осуществлено изучение пищевых привычек животных, а также выполнен учет остатков несъеденных кормов.

При проведении научно-хозяйственного эксперимента велся учет кормления животных по количеству съеденных кормов основного рациона и несъеденных остатков (путем контрольного взвешивания 1 раз в 5 дней).

Отбор проб молока проводился от каждой коровы в соответствии со схемой отбора проб молока во время утреннего доения согласно СТБ-1051-2012 «Отбор проб молока и молочных продуктов. Общие требования».

Отбор проб молока у коров опытных и контрольной групп проводился на 0-е, 6-е, 12-е, 18-е и 22 -е сутки опыта.

Определение удельной активности ^{137}Cs (Бк/кг) в исследуемых образцах кормов и молока выполнялось на γ -спектрометрическом комплексе «Canberra-Packard» с погрешностью не более 30 %.

Полученный в результате исследований цифровой материал обработан биометрически по П. Ф. Рокицкому [3]. Во время проведения эксперимента осуществлялся групповой и индивидуальный учет поедаемости кормов на пастбище. Для этого учитывалась поедаемость пастбищной травы во время выпаса, проводилось взвешивание количества заданных кормов, учет количества остатков несъеденных кормов, определялось фактическое потребление корма.

При пастбищном содержании подопытных животных с использованием загонно-порционного выпаса скота для определения количества съеденной травы одной коровой использовался укосный метод определения урожайности пастбищ перед началом стравливания загона и в его конце. Для этого по диагонали загона травостой скашивали на четырех учетных площадках площадью 1 м² каждая (высота среза – 4–5 см). Скошенную массу взвешивали на каждой площадке для определения урожайности.

После перегона скота в следующий загон учитывалась несъеденная растительная масса. Для этого использовали учетные площадки в том же количестве и того же размера, что и при учете урожая перед стравливанием. Далее, вычитая разницу между количеством травы перед началом стравливания и после его окончания, получали количество съеденной травы за цикл стравливания с площади в 1 м². Затем, умножая на площадь всего загона, получали количество съеденной травы со всего загона. Далее делили полученное количество съеденной травы на количество голов в стаде, получали количество травы, съеденное одним животным.

Таким образом определялось количество съеденной травы за период стравливания загона одним животным при их пастбищном содержании. Кратность проведения определения количества съеденной травы одним животным при пастбищном содержании выполнялась 3 раза за период проведения эксперимента (в начале, середине и конце).

По вышеуказанной методике определялось количество съедаемой травы в расчете на одно животное в течение суток. Масса съедаемой одной дойной коровой пастбищной травы составила, в среднем, 30 кг/сут. Также ежедневно в рацион подопытных животных входили следующие корма: зеленая масса кукурузы молочной спелости – 15 кг/сут; солома овсяная – 2; комбикорм для коров КК-60П – 3 кг/сут.

Результаты и их обсуждение. Состав рациона подопытных животных приведен в табл. 2, из которой видно, что хозяйственный рацион подопытных животных был в целом сбалансирован по большинству нормируемых показателей.

В рационе не наблюдалось дефицита кормовых единиц и обменной энергии и содержание данных показателей энергетической обеспеченности рациона было выше установленной нормы на 22,4 и 19,1 % соответственно. Рацион был сбалансирован по сырому переваримому протеину, профицит которого в рационе составил 20,0 и 18,3 %. Содержание сахара в рационе также находилось в пределах установленных зоотехнических норм питательности – 1029 г. Сахаропroteиновое отношение в рационе составило 0,9, что является наиболее оптимальным соотношением данных показателей в рационе.

Содержание кальция в рационе находилось ниже нормы на 4,9 %. Отношение кальция к фосфору составило 1,2 : 1,0. Отношение кальция к фосфору во всем рационе коров не должно выходить за пределы 1,0 : 1,0 или 2,0 : 1,0 (по проф. И. С. Попову), или для лактирующих коров 1,3 : 1,0 – 1,7 : 1,0; для сухостойных 1,7 : 1,0 – 2,0 : 1,0 (по проф. М. И. Дьякову).

В рационе был зафиксирован дефицит ряда микроэлементов, %: кобальта – 16,2; цинка – 29,3; йода – 11,1. Дефицит витамина Д составил 26,2 %.

В отношении радиологических проблем молочной отрасли Гомельской области следует отметить, что если в 1986–1987 гг. на Гомельщине производилось свыше 13,8–8,3 % молока с превышением временного допустимого уровня содержания норматива по цезию-137, то в период 2018–2019 гг. в объемах его производства удельная концентрация радионуклида не достигала 37 Бк/кг.

В 2019 г. на молокозаводы поступило только 93,7 % молока от уровня 2018 г. Поступление молока в общественном секторе снизилось до 57 134,4 т, или на 6,2 %, в частном секторе – на 1688,7 т, или 7,7 %. Самыми крупными поставщиками молока в области являются Рогачёвский, Речицкий и Гомельский районы, из которых поступило 79,2, 78,2 и 74,1 тыс. т соответственно, что составило 26,1 % от областного показателя. Из частного сектора больше всего молока поступило от Калинковичского, Рогачёвского и Октябрьского районов – 4,2, 3,6 и 2,3 тыс. т, или 50,2 % от всего принятого в данном секторе молока, соответственно.

**Таблица 2. Состав и питательность рациона подопытных коров на МТФ «Дублин»
ОАО «Маложинский» Брагинского района Гомельской области**

**Table 2. Composition and nutritional value of the diet of experimental cows at the MTF "Dublin"
of JSC "Malozhinsky" of the Bragin district of the Gomel region**

Корм			Масса, кг
Трава пастбищная			30
Зеленая масса кукурузы молочной спелости			15
Солома овсяная			2
Комбикорм для коров КК-60П			3
Показатель	Норма	Факт	Баланс (+/-)
Кормовые единицы	9,8	12	2,2
Обменная энергия, МДж	119	141,7	22,7
Сухое вещество, кг	14,2	16,25	2,05
Сырой протеин, г	1518	1822	304
Переваримый протеин, г	985	1165	180
Сырой жир, г	315	457	142
Сырая клетчатка, г	3850	4511	661
Крахмал, г	1330	963	-367
Сахар, г	885	1029	144
Кальций, г	82	78	45
Фосфор, г	52	65,5	13,5
Магний, г	24	41,8	17,8
Калий, г	79	128	250
Сера, г	30	37	7
Железо, мг	795	875	4143
Медь, мг	129	137,3	8,3
Цинк, мг	738	522	-216
Марганец, мг	880	1457	577
Кобальт, мг	9,9	8,3	-1,6
Иод, мг	9	8	-1
Каротин, мг	653	1245	592
Витамин Д, МЕ	14 200	10 480	-3720
Витамин Е, мг	596	781	755

Установлено, что из наиболее пострадавших от чернобыльской катастрофы районов, к которым относятся Брагинский, Ветковский, Добрушский, Ельский, Кормянский, Наровлянский, Хойникский и Чечерский, поступает молоко с удельной концентрацией ^{137}Cs не выше 37 Бк/кг, однако в этих районах существует высокая вероятность получения молока, не соответствующего требованиям РДУ-99 по содержанию ^{137}Cs в молоке (выше 100 Бк/кг).

При проведении научно-хозяйственного эксперимента было изучено содержание ^{137}Cs в кормах, составляющих основу рациона подопытных животных. В табл. 3 приведены результаты измерений содержания ^{137}Cs в кормах, входивших в состав рационов коров контрольной и опытных групп.

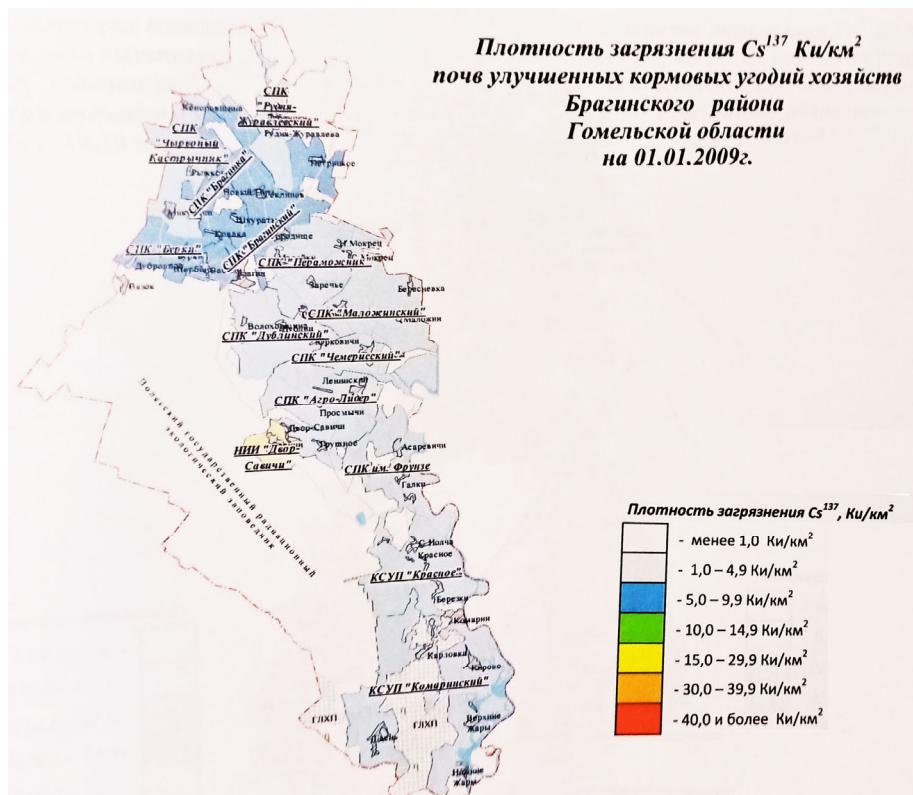
**Таблица 3. Удельная активность ^{137}Cs в кормах на МТФ «Дублин» ОАО «Маложинский»
Брагинского района Гомельской области, Бк/кг**

**Table 3. Specific activity of ^{137}Cs in feed at MTF "Dublin" of JSC "Malozhinsky"
of the Braginsky district of the Gomel region, kBq**

Корм	Средняя удельная активность ^{137}Cs в кормах	Республиканские допустимые уровни содержания ^{137}Cs в кормах [4]
Трава пастбищная	42,1–203,0	
Зеленая масса кукурузы молочной спелости	1,9–3,9	165
Солома овсяная	48,3 ± 14,1	330
Комбикорм для коров К 60-6 (с удоем 20 кг)	39,4 ± 13,8	180

Согласно данным, приведенным в табл. 3, следует, что удельная активность ^{137}Cs в пастбищной траве имела широкий диапазон значений (от $42,1 \pm 28,3$ до $203,0 \pm 21,2$ Бк/кг). Согласно РДУ-99, максимальное содержание ^{137}Cs в пастбищной траве не должно превышать 165 Бк/кг для получения цельного молока. Фактическое содержание ^{137}Cs в пастбищной траве превысило установленный норматив на 18,7 %, что создает угрозу производства цельного молока с содержанием ^{137}Cs больше 100 Бк/кг и не соответствующего требованиям РДУ-99.

Широкий диапазон значений по содержанию ^{137}Cs в пастбищной траве является следствием неравномерного распределения радиоактивных выпадений в почве пастбищного травостоя. Карта плотности загрязнения ^{137}Cs (Ки/км 2) почв улучшенных кормовых угодий хозяйств Брагинского района Гомельской области приведена на рисунке.



Плотность загрязнения ^{137}Cs Ки/км 2 почв улучшенных кормовых угодий хозяйств
Брагинского района Гомельской области

Density of contamination with ^{137}Cs Ci/km 2 of soils of improved forage lands of farms
in the Bragin district of the Gomel region

При плотности загрязнения пастбищ ^{137}Cs в ОАО «Маложинский» от 1,0 до 4,9 Ки/км 2 на 1 м 2 приходится 37,0–181,3 кБк. Коэффициент перехода из почвы в пастбищную траву (ОАО «Маложинский») составил от 0,11 до 0,55 при справочном значении для данного типа почв (супесчаная и суглинистая почвы) 0,72. Расчетным путем были получены возможные уровни загрязнения пастбищной травы, которые составили 37,0–203,5 при коэффициенте перехода из почвы в траву, равному 0,11, и 181,3–997,2 Бк/кг при коэффициенте перехода из почвы в траву, равному 0,55. Данные расчеты подтверждаются фактически установленным содержанием ^{137}Cs в пастбищной траве (табл. 4) равным $42,1 \pm 28,3$ – $203,0 \pm 21,2$ Бк/кг, которые являются близкими по значениям к расчетным.

В табл. 4 приведены данные о содержании ^{137}Cs в рационе подопытных животных, кБк: среднее – $11,3 \pm 3,4$; максимальное – 13,8; минимальное – 8,9.

Сравнительные результаты радиологической эффективности исследуемой добавки и ферроцина при включении их в рацион лактирующих коров для снижения содержания ^{137}Cs в молоке приведены в табл. 5, из анализа данных которой следует, что удельная активность ^{137}Cs в молоке не превышала предельно-допустимого уровня – 100 Бк/кг.

Таблица 4. Содержание ^{137}Cs в рационе подопытных животных на МТФ «Дублин» ОАО «Маложинский» Брагинского района Гомельской области, кБк

Table 4. Content of ^{137}Cs in the diet of experimental animals at MTF "Dublin" of JSC "Malozhinsky" of the Bragin district of the Gomel region, kBq

Корм	Значение		
	минимальное	максимальное	среднее
Суммарная активность суточного рациона, кБк/сут	8,9	13,8	11,3 ± 3,4

Таблица 5. Удельная активность ^{137}Cs в молоке экспериментальных дойных коров при скармливании композиционной ферроцинсодержащей кормовой добавки на основе торфа и ферроцина на МТФ «Дублин» ОАО «Маложинский» Брагинского района Гомельской области, Бк/кг

Table 5. Specific activity of ^{137}Cs in the milk of experimental dairy cows when feeding a composite ferrocin-containing feed additive based on peat and ferrocin at the MTF "Dublin" of JSC "Malozhinsky" of the Braginsky district of the Gomel region, kBq

Группа животных	Удельная активность Cs^{137} в молоке				
	Начало опыта (0-е сутки)	6-е сутки	12-е сутки	18-е сутки	22-е сутки
Контрольная	42,6 ± 6,5	42,7 ± 6,0	36,6 ± 14,2	21,5 ± 1,6	18,7 ± 3,1
1-я опытная (композиционная ферроцинсодержащая кормовая добавка на основе торфа 30 г/гол/сут)	50,7 ± 7,1	13,8 ± 4,0	10,0 ± 1,1	8,5 ± 0,6	4,1 ± 1,3
Кратность снижения содержания Cs^{137} в молоке коров опытной группы (по сравнению с контролем)		3,1	3,7	2,5	4,6
2-я опытная (сорбент ферроцин, 3 г/гол/сут)	46,7 ± 6,5	19,8 ± 3,4	12,5 ± 1,8	9,2 ± 3,1	4,1 ± 0,7
Кратность снижения содержания Cs^{137} в молоке коров опытной группы (по сравнению с контролем)		2,2	2,9	2,3	4,6

В табл. 6 приведены результаты оценки радиологической эффективности применения композиционной ферроцинсодержащей добавки на основе торфа и сорбента ферроцина по способности влиять на снижение перехода ^{137}Cs из рациона в молоко, а также рассчитана кратность снижения удельной активности молока в опытных группах по сравнению с контролем.

Таблица 6. Радиологическая эффективность применения кормовых добавок в рационе лактирующих коров

Table 6. Radiological effectiveness of the use of feed additives in the diet of lactating cows

Группа	Начало эксперимента (6-е сутки)	Конец эксперимента (22-е сутки)
<i>Кратность снижения ^{137}Cs в молоке коров опытных групп (в сравнении с контролем)</i>		
1-я опытная (композиционная ферроцинсодержащая кормовая добавка на основе торфа)	3,1	4,6
2-я опытная (сорбент ферроцин)	2,2	4,6

Использование композиционной ферроцинсодержащей кормовой добавки на основе торфа в рационах лактирующих коров показало высокую радиологическую эффективность и не уступало по эффективности ферроцину.

Так, уже на 6-е сутки проведения эксперимента наблюдалось заметное снижение перехода ^{137}Cs из рациона в молоко по опытным группам (см. табл. 6). К концу эксперимента переход ^{137}Cs из рациона в молоко в 1-й и 2-й опытных группах составил 0,2 %.

Кратность снижения перехода ^{137}Cs в молоко опытных групп по отношению к контролю на 22-е сутки проведения эксперимента составила 4,6 раза.

Заключение. В лабораторных условиях наработана опытная партия энтеросорбента в количестве 5 кг и передана в ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларусь» для испытания в качестве кормовой добавки в рацион лактирующих коров. На базе МТФ «Дублин» ОАО «Маложинский» Брагинского района Гомельской области изучена радиологическая эффективность кормовой добавки по отношению к иону цезия в рационе лактирующих коров. Установлена ее высокая радиологическая эффективность. Кратность снижения перехода ^{137}Cs в молоко опытных групп по отношению к контролю на 22-е сутки проведения эксперимента составила 4,6 раза.

Список использованных источников

- Композиционный энтеросорбент на основе торфяного активированного угля / А. Э. Томсон [и др.] // Природопользование. – 2018. – № 2. – С. 128–133.
- Энтеросорбционная ферроцинсодержащая кормовая добавка на основе торфа / А. Э. Томсон [и др.] // Природопользование. – 2020. – № 2. – С. 125–135.
- Рокицкий, П. Ф. Биометрическая обработка материала / П. Ф. Рокицкий. – М. : Наука, 1964. – 250 с.
- Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012–2016 годы / РНИУП «Институт радиологии» Департамента по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. – Минск, 2012. – 66 с.

References

- Tomson A. E., Sokolova T. V., Navosha Yu. Yu., Tsaryuk T. Ya., Sosnovskaya N. E., Bulgakova N. A., Pekhtereva V. S., Falyushina I. P., Tsarenok A. A. *Kompozitsionnyi enterosorbent na osnove torfyanogo aktivirovannogo uglya* [Composite enterosorbent based on peat activated carbon]. *Prirodopolzovanie = Nature Management*, 2018, no. 2, pp. 128–133. (in Russian)
- Tomson A. E., Sokolova T. V., Sosnovskaya N. E., Navosha Yu. Yu., Cariuk T. Ya., Pekhtereva V. S., Falyushina I. P., Carenok A. A. *Enterosorbcionnaya ferrocinsoderzhchaya kormovaya dobavka na osnove torfa* [Enterosorption ferrocin-containing feed additive based on peat]. *Prirodopolzovanie = Nature Management*, 2020, no. 2, pp. 125–135. (in Russian)
- Rokickij P. F. *Biometricheskaya obrabotka materiala* [Biometric material processing]. M., 1964, 250 p. (in Russian)
- Rekomendacii po vedeniyu sel'skohozyajstvennogo proizvodstva v usloviyah radioaktivnogo zagryazneniya zemel' Respubliki Belarus' na 2012–2016 gody* [Recommendations on agricultural production in conditions of radioactive contamination of land in the Republic of Belarus for 2012–2016]. RNIUP «Institut radiologii» Departamenta po likvidaci posledstvij katastrofy na Chernobyl'skoj AES Ministerstva po chrezvychajnym situaciyam Respubliki Belarus' [Institute of Radiology of the Department of the liquidation of the consequences of the Chernobyl accident Ministry of Emergencies of the Republic of Belarus]. Minsk, 2012, 66 p. (in Russian)

Информация об авторах

Томсон Алексей Эммануилович – кандидат химических наук, доцент, заместитель директора по научной работе, заведующий Центром по торфу и сапропелям, заведующий лабораторией экотехнологий, Институт природопользования НАН Беларусь, (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: altom@nature-nas.by

Царенок Александр Александрович – кандидат технических наук, заведующий лабораторией, Институт радиобиологии НАН Беларусь (ул. Федюнинского, 16, 246000, г. Гомель, Беларусь). E-mail: a.tsarenok@tut.by

Макаровец Иван Владимирович – научный сотрудник, Институт радиобиологии НАН Беларусь (ул. Федюнинского, 16, 246000, г. Гомель, Беларусь). E-mail: a.tsarenok@tut.by

Соколова Тамара Владимировна – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь, (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: tomsok49@tut.by

Царюк Татьяна Яковлевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь, (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: tsariuk9@mail.ru

Калантаров Михаил Георгиевич – кандидат биологических наук, ведущий инженер, Институт природопользования НАН Беларусь, (ул. Ф. Скорины, 10, 20076, г. Минск, Беларусь), E-mail: mkalantaroff@gmail.com

Пехтерева Виктория Станиславовна – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь, (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: pehvik@andex.ru

Information about the authors

Alexey E. Tomson – Ph. D. (Chemistry), Assistant Professor, Deputy Director, Head of the Center of Peat and Sapropel, Head of Lab. of Ecotechnology, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: altom@nature-nas.by

Alexander A. Tsarenok – Ph. D. (Technical), Head of Laboratory, Institute of Radiobiology of the National Academy (16, Fedyuninsky Str., 246000, Gomel, Belarus). E-mail: a.tsarenok@tut.by

Ivan V. Makarovets – Researcher, Institute of Radiobiology of the National Academy (16, Fedyuninsky Str., 246000, Gomel, Belarus). E-mail: a.tsarenok@tut.by

Tamara V. Sokolova – Ph. D. (Technical), Assistant Professor Senior Researcher Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: tomsok49@tut.by

Tatiana Ya. Tsariuk – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: tsariuk9@mail.ru

Michail G. Kalantarov – Ph. D. (Biology), Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: mkalantaroff@gmail.com

Victoriya S. Pehtereva – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: pehvik@andex.ru

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2021-2-129-138>

УДК 665.7.032.53+67.08

Поступила в редакцию 05.10.2021

Received 05.10.2021

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГУМАТСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ОТ ПРОИЗВОДСТВА ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ В ПРУДОВОМ РЫБОВОДСТВЕ

Г. В. Наумова¹, С. Н. Пантелеев², В. Д. Сенникова², Н. А. Жмакова¹,
Н. Л. Макарова¹, Т. Ф. Овчинникова¹, А. А. Макеенко¹

¹Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь;

²Институт рыбного хозяйства, Минск, Беларусь

Аннотация. В статье представлены результаты испытаний твердых отходов, образующихся в процессе производства жидких гуминовых препаратов, в качестве биологически активных добавок в рыболовные пруды.

Испытания проведены в сезоне 2019 г. в выростных прудах селекционно-племенного участка (СПУ) «Изобелино» и в нагульных прудах хозрасчетного рыболовного участка (ХРУ) «Вилейка». Контроль прудовой воды в водоемах показал, что введение гуматсодержащих добавок в рыболовные пруды не нарушает гидрохимического режима их функционирования, все показатели находятся в нормативных пределах. В результате исследования водной биоты выявлено более эффективное развитие фито- и зоопланктона, а также повышение рыбопродуктивности как в нагульных, так и в выростных прудах по сравнению с контрольными.

Производственная проверка, проведенная в Открытом акционерном обществе (ОАО) «Опытный рыбхоз «Белое» Гомельской области в 2020 г., показала, что применение гуматсодержащих отходов гуминовых производств позволяет достичь более высокой рыбопродуктивности в сравнении с традиционной схемой интенсификационных мероприятий, при 50%-ной экономии вносимых органических удобрений, 25%-ной экономии аммофоса и 100%-ной экономии амиачной селитры. Увеличение рыбопродуктивности при этом составляет 6–7 %.

Ключевые слова: кормовая база; гуматсодержащие добавки; экспериментальные пруды; производственная проверка; фитопланктон; зоопланктон; рыбопродуктивность.

Для цитирования: Наумова Г. В., Пантелеев С. Н., Сенникова В. Д., Жмакова Н. А., Макарова Н. Л., Овчинникова Т. Ф., Макеенко А. А. Эффективность использования гуматсодержащих отходов от производства гуминовых препаратов в прудовом рыболовстве // Природопользование. – 2021. – № 2. – С. 129–138.

EFFICIENCY OF USE OF HUMATE-CONTAINING WASTES FROM HUMIC PREPARATIONS PRODUCTION IN POND FISHERIES

G. V. Naumova¹, S. N. Panteley², V. D. Sennikova², N. A. Zhmakova¹,
N. L. Makarova¹, T. F. Ovchinnikova¹, A. A. Makeenko¹

¹Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus;

²Institute of Fisheries, Minsk, Belarus

Abstract. The article presents the results of testing of solid wastes generated during liquid humic preparations production as biologically active additives in fish ponds. The tests were carried out in 2019 season in the nursery ponds of the SPU «Isobelino» and in the feeding ponds of the KhRU «Vileika» control of pond water in reservoirs showed that the introduction of humate-containing additives into fish ponds does not violate the hydrochemical regime of their functioning, all indicators are within the normative limits. As a result of the study of the aquatic biota, more efficient development of phyto- and zooplankton was revealed, as well as an increase in fish productivity, both in feeding and nursery ponds compared to the control ones. A production check carried out at OJSC "Belye" Experimental fish farm" of Gomel region in 2020 showed that the use of humate-containing wastes of humic production makes it possible to achieve higher fish productivity in comparison to the traditional scheme of intensification measures, with 50 % savings of applied organic fertilizers, 25 % savings in ammophos and 100 % savings in ammonium nitrate. The increase in fish productivity is 6–7 %.

Keywords: food supply; humate-containing additives; experimental ponds; production testing; phytoplankton; zooplankton; fish productivity.

For citation: Naumova G. V., Panteley S. N., Sennikova V. D., Zhmakova N. A., Makarova N. L., Ovchinnikova T. F., Makeenko A. A. Efficiency of use of humate-containing wastes from humic preparations production in pond fisheries. *Nature Management*, 2021, no. 2, pp. 129–138.

Введение. Развитие аквакультуры в последние десятилетия демонстрирует стремительный рост. Объемы выращиваемой рыбы в ряде стран уже превышают объемы рыбы, выловленной из естественных водоемов [1].

Рыбоводная отрасль относится к важной составляющей агропромышленного комплекса нашей страны. В ее задачу входит более полное обеспечение продуктовой безопасности населения путем поставки на внутренний рынок рыбы и рыбопродукции, насыщенной качественным легкоусвояемым белком [2].

В настоящее время в Беларуси функционируют 16 специализированных рыбоводческих хозяйств, которые включают 16 тыс. га нагульных и 5,4 тыс. га выростных прудов. Из всего объема производимой в стране рыбы 86 % поставляют прудовые рыбоводства, однако основные поставки рыбной продукции населению составляет импорт [3].

Рассматривая перспективы развития рыбоводческой отрасли в Республике Беларусь, специалисты отмечают, что одним из сдерживающих факторов дальнейшего увеличения рыбопродуктивности в прудовом рыбоводстве является недостаточное обеспечение хозяйств полноценными кормами и минеральными удобрениями. Это обусловлено высокими финансовыми затратами на их закупку и недостатком отдельных видов сырья для их производства, что не способствует повышению рентабельности рыбоводных хозяйств.

Рецептура кормления рыбы в прудах рассчитана на то, что в рацион входит естественная пища, недостаток которой приводит к перерасходу концентрированных кормов, отставанию рыбы в росте. Для интенсификации прудового рыбоводства необходимо поддержание естественной кормовой базы рыб – фито- и зоопланктона. Поэтому современные мероприятия, направленные на повышение рыбопродуктивности прудового рыбоводства, требуют не только решения проблемы разработки новых эффективных кормовых продуктов и усовершенствования технологий их производства, но и расширения естественной кормовой базы самих водоемов, с использованием отходов пищевых и иных производств, органических и минеральных удобрений. Вторичные ресурсы и отходы, вносимые в пруды, в настоящее время становятся все менее доступными, в связи с чем ведется поиск новых, эффективных, ранее невостребованных в рыбоводстве субстратов [4].

Одним из перспективных и малозатратных путей увеличения рыбопродуктивности водоемов и стимуляции развития компонентов естественной кормовой базы рыб может стать использование остатков от производства биологически активных препаратов гуминовой природы, которые содержат гуминовые кислоты, а также широкий спектр других биологически активных соединений природного происхождения и биогенных макро- и микроэлементов, совместное присутствие которых окажет стимулирующее влияние на развитие естественной кормовой базы рыб.

Производство гуминовых препаратов в нашей республике постоянно расширяется, а в будущем намечено создание на базе одного из торфопредприятий крупного комбината по их получению [5]. Следовательно, будет увеличиваться и количество гуматсодержащих отходов, что свидетельствует о необходимости их эффективного использования.

Обобщенные результаты совместных исследований Института природопользования НАН Беларуси и РУП «Институт рыбного хозяйства» представлены в данной статье.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования в экспериментальных и нагульных прудах являлся твердый остаток от производства гуминового препарата Гидрогумат, показавший несколько более высокую эффективность стимулирования роста и развитие биоты в лабораторных модельных опытах, чем другие твердые остатки гуминовых производств. Объектами исследования в производственных опытах, кроме остатка от производства Гидрогумата, являлась его композиция с остатком от получения гуминового препарата Консил, при производстве которого в качестве основного химического реагента использовался гидроксид калия, а калий является важным биогенным элементом, необходимым для рыбы.

Мелиоративные мероприятия в экспериментальных прудах сводились к разовому внесению (в 3-й декаде мая в нагульных прудах и в 1-й декаде июня в выростных прудах) гуматсодержащих остатков – отходов от производства гуминовых препаратов из торфа, в заполненные водой пруды, что осуществлялось путем равномерного их распределения по поверхности водного зеркала. В опытных прудах использовались фосфорные удобрения (150 кг/га в выростных прудах и 200 кг/га в нагульных прудах). В контрольных прудах выполнялся весь комплекс мелиоративных мероприятий, регламентируемых рыбоводно-биологическими нормативами. В этих прудах до заполнения водой проводилась обработка ложа известью. В контрольных выростных прудах разово по ложу вносились органическое удобрение (компостированный навоз) – 2,5 т/га, в контрольные нагульные пруды навоз не вносился. Минеральные удобрения в выростные пруды вносились в дозах 170 кг/га селитры и 200 кг/га аммофоса, в нагульные пруды – по 200–250 кг/га этих удобрений. Минеральные удобрения в экспериментальные и контрольные выростные и нагульные пруды вносились с периодичностью 1 раз в 15 дней по 25 кг/га каждого удобрения.

В ходе производственных испытаний были реализованы три опытных и один контрольный вариант. При этом в контрольном варианте был выполнен весь комплекс мелиоративных мероприятий, регламентируемых рыбоводно-биологическими нормативами: по ложу пруда до заполнения водой внесенено 2500 кг/га навоза компостиированного, а затем в воду внесены минеральные удобрения (аммофос – 200 кг/га и селитра аммиачная – 300 кг/га). В первых двух опытных вариантах в качестве гуматсодержащего остатка использован остаток от производства Гидрогумата (600 и 300 кг/га соответственно), а в третьем варианте – смесь остатков от производства Гидрогумата и Консила (по 150 кг каждого). В качестве минерального удобрения во всех опытных вариантах использован аммофос – 150–170 кг/га. Во втором и третьем опытных вариантах до заполнения водоемов водой внесен навоз компостированный в половинной дозе по отношению к контролю – 1250 кг/га, в первом опытном варианте органические удобрения не вносились. Затраты кормов были рассчитаны исходя из естественной рыбопродуктивности для третьей рыбоводной зоны (190 кг/га) и кормового коэффициента (4,7).

При оценке влияния добавки на развитие биоты, гидрохимической и гидробиологической оценке прудовой воды, а также при оценке рыбопродуктивности прудов использовались стандартные методы, принятые в прудовом рыбоводстве [6–8].

Результаты исследований. В рамках ГНТП «Природопользование и экологические риски» на 2016–2020 годы по заданию П.1.8 ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси» совместно с РУП «Институт рыбного хозяйства» выполнен комплекс научно-исследовательских работ, направленных на изучение возможностей и перспективности использования твердых отходов от производства гуминовых препаратов в прудовом рыбоводстве.

В предварительных лабораторных исследованиях установлено отсутствие токсичности гуматсодержащих твердых отходов гуминового производства для фитопланктона, ракообразных и сеголетков карпа, а также определены оптимальные дозы их внесения в рыболовные водоемы, обеспечивающие выраженный стимулирующий эффект. Эти исследования показали, что гуматсодержащие отходы могут быть испытаны в выростных и нагульных прудах для стимулирования развития компонентов естественной кормовой базы рыболовных прудов без опасности нарушения их нормального функционирования.

В 2019 г. были проведены работы по оценке этих биологически активных добавок как средств расширения естественной кормовой базы рыболовных хозяйств в выростных экспериментальных прудах СПУ «Изобелино» и в нагульных экспериментальных прудах ХРУ «Вилейка».

В процессе исследований отрабатывались дозы внесения гуматсодержащих субстратов, осуществлялся гидрохимический контроль опытных и контрольных прудов, изучалась возможность снижения расходов внесения минеральных и органических удобрений, применяемых при выращивании рыбы по экстенсивной технологии, а также влияние остатков на развитие фито- и зоопланктона, рыбопродуктивность водоемов.

Гидрохимические исследования прудовой воды показали, что в опытных и контрольных прудах СПУ «Изобелино» отдельные показатели заметно отличаются, но находятся в пределах нормы (табл. 1).

Таблица 1. Гидрохимические показатели воды выростных прудов, СПУ «Изобелино», 2019 г.

Table 1. Hydrochemical indicators of water in nursery ponds, SPU "Isobelino", 2019

Показатель	Экспериментальные пруды		Контрольные пруды	Норматив*
	Доза остатка 400 кг/га	Доза остатка 600 кг/га		
Кислород растворенный, мг О ₂ /л	5,1	5,0	5,2	> 5,0
pH	7,7	7,8	7,7	7,0–8,5
Нитраты, мг N/л	0,036	0,039	0,102	< 3,0
Нитриты, мг N/л	0,004	0,005	0,001	< 0,2
Аммонийный азот, мг N/л	0,491	0,818	0,164	< 1,0
Фосфор минеральный, мгР/л	0,05	0,07	0,04	< 0,5
Хлориды, мг/л	22,1	28,9	24,8	Не нормируется
Общая жесткость, мг-экв/л	3,8	3,8	4,0	< 12
Кальций, мг/л	52	44	46	< 100
Магний, мг/л	14,6	19,5	20,7	< 100
Железо общее, мг/л	0,078	0,069	0,029	< 2,0
Окисляемость перманганатная, мгО/л	17,5	18,5	19,4	< 30

*Рыбоводно-биологические нормы для эксплуатации прудовых и садковых хозяйств Беларусь. Минск, 2008.

Так, в воде экспериментальных прудов более чем в 2,5 раза меньше содержание нитратов и существенно больше аммонийного азота, водорастворимого фосфора и железа. Активная кислотность воды в контрольных и опытных вариантах была практически одинаковой (pH 7,7–7,8), однако ее жесткость несколько ниже в экспериментальных прудах: она снижалась с 4,0 мг-экв/л в контроле до 3,8 мг-экв/л в прудах, где внесены гуматсодержащие остатки.

В выростных прудах СПУ «Изобелино» изучено количественное развитие фитопланктона как единственного источника природного питания для зоопланктона, определяющего производственные показатели водоемов. В табл. 2 приведены средние показатели развития фитопланктона в экспериментальных прудах, в которые вносили исследуемые остатки от производства гуминовых препаратов в дозах 400 и 600 кг/га, по сравнению с их развитием в контрольных водоемах, куда эти продукты не вносились.

Таблица 2. Средние показатели количественного развития фитопланктона в выростных прудах, СПУ «Изобелино», 2019 г.

Table 2. Average indicators of the quantitative development of phytoplankton in nursery ponds, SPU "Isobelino", 2019

Отдел	Экспериментальные выростные пруды						Контрольные пруды		
	Доза остатка 400 кг/га			Доза остатка 400 кг/га					
	N, орг., млн экз/л	N, кл., млн кл/л	B, мг/л	N, орг., млн экз/л	N, кл., млн кл/л	B, мг/л			
Зеленые	0,13	1,07	0,22	0,51	1,31	1,91	0,38	2,25	2,61
Сине-зеленые	0,32	3,13	0,59	0,75	10,21	1,40	0,26	4,32	0,45
Диатомовые	0,25	1,38	0,41	0,43	1,13	1,88	0,26	0,26	0,32
Пирофитовые	0,19	0,19	0,42	0,46	0,46	0,64	0,07	0,07	0,12
Эвгленовые	0,45	0,45	2,59	0,46	0,46	2,61	0,13	0,13	0,30
Золотистые	0,00	0,00	0,00	0,13	0,27	0,20	0,00	0,00	0,00
<i>Итого:</i>	1,34	6,21	4,22	2,74	13,73	8,56	1,09	7,02	3,78

П р и м е ч а н и е: N, орг. – численность организмов; N, кл. – численность клеток; B – биомасса.

Результаты исследования показали, что развитие фитопланктона в экспериментальных прудах проходило более интенсивно, чем в контрольных. Так, биомасса фитопланктона в контрольном варианте выростных прудов составила 3,78 мг/л, а при внесении гуматсодержащих остатков в дозе 400 кг/га она достигала 4,22 мг/л. При повышении дозы до 600 кг/га этот показатель был практически вдвое больше и составлял 8,56 мг/л. Таким образом, для развития фитопланктона эта доза внесения гуматсодержащих остатков является оптимальной.

Основной пищей молоди прудовых рыб является зоопланктон, поэтому наибольший интерес представляло исследование влияния гуматсодержащих остатков на количественное развитие этого сообщества в прудах. В ходе исследований постоянно проводился мониторинг состояния зоопланктона экспериментальных и контрольных выростных прудов, усредненные результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3. Средние показатели количественного развития зоопланктона в экспериментальных и контрольных выростных прудах, СПУ «Изобелино», 2019 г.

Table 3. Average indicators of the quantitative development of zooplankton in experimental and control nursery ponds, SPU "Isobelino", 2019

Таксон	Экспериментальные пруды				Контрольные пруды	
	Доза остатка 400 кг/га		Доза остатка 600 кг/га			
	Численность, тыс. экз/м ³	Биомасса, мг/л	Численность, тыс. экз/м ³	Биомасса, мг/л	Численность, тыс. экз/м ³	Биомасса, мг/л
Cladocera	23,0	1,755	41,0	1,920	22,0	0,600
Copepoda	161,0	3,780	184,5	5,590	246,5	2,515
Rotifera	13,0	0,060	11,0	0,045	124,5	0,125
<i>Итого:</i>	197,0	5,595	236,5	7,555	393,0	3,240

Средняя суммарная биомасса зоопланктона в контрольных выростных прудах составляла 3,24 мг/л, в экспериментальных прудах при внесении гуматсодержащего остатка в дозе 400 кг/га она увеличивалась в 1,73 раза (5,595 мг/л), а при дозе 600 кг/га этот показатель возрастал в 2,33 раза (7,555 мг/л). Таким образом, установлено значительное стимулирующее влияние гуматсодержащих остатков на развитие основного компонента естественной кормовой базы рыб – сообщество зоопланктона. При этом, судя по показателям численности, в присутствии гуматсодержащих добавок развиваются более крупные формы зоопланктона, что приводит к снижению энергетических затрат рыбы на добывчу пищи.

В ходе осеннего облова экспериментальных и контрольных выростных прудов, осуществлявшегося в 1-й декаде ноября, были получены данные, приведенные в табл. 4.

Таблица 4. Результаты облова экспериментальных прудов СПУ «Изобелино», 2019 г.

Table 4. The results of fishing experimental ponds SPU "Isobelino", 2019

Вариант	Вид рыбы, возраст	Плотность посадки, экз/га	Выход			Рыбопродуктивность, ц/га
			%	кг/га	средняя масса, г	
Доза остатка 400 кг/га	Карп, личинка	20 000	43	232,2	27	2,3
Доза остатка 600 кг/га	Карп, личинка	20 000	51	265,2	26	2,7
Контроль	Карп, личинка	20 000	54	259,2	24	2,6

Осенние обловы показали, что максимальная рыбопродуктивность (2,7 ц/га) достигнута при дозе внесения остатка 600 кг/га, где средняя масса экземпляра составляла 26 г и была на 4 % выше норматива (25 г). При этом величина рыбопродуктивности в контроле сопоставима с таковой в этом варианте, однако средняя масса рыбы была на 4 % ниже норматива. Характерно, что в варианте с внесением 400 кг/га остатка средняя масса экземпляра была на 8 % выше норматива.

Таким образом, дозировка гуматсодержащей добавки 600 кг/га, при совместном использовании с аммофосом (150 кг/га), позволяет превысить нормативные показатели рыбопродуктивности на 8 % и сэкономить следующие ресурсы: известь негашеную – 1 т/га, компостируемый навоз – 2,5 т/га, аммофос – 20 кг/га, селитру аммиачную – 200 кг/га, что достигается за счет положительного влияния гуматсодержащего остатка на важнейшие компоненты естественной кормовой базы сеголеток карпа в прудах.

В нагульных прудах ХРУ «Вилейка», начиная с момента зарыбления, осуществлялся контроль за гидрохимическим режимом. В этих прудах не наблюдалось превышения допустимых величин показателей, установленных рыбоводно-биологическими нормативами, однако в опытных нагульных прудах, как и в выростных, наблюдалось снижение содержания нитратного азота, заметное увеличение содержания аммонийного азота – от 0,45 мг N/л в контроле до 0,52 и 0,82 мг N/л в зависимости от дозы, а также увеличение растворимого фосфора, железа и жесткости воды.

Важным элементом проводимой работы в нагульных прудах являлось изучение количественных показателей развития фитопланктона, результаты которого представлены на рис. 1.

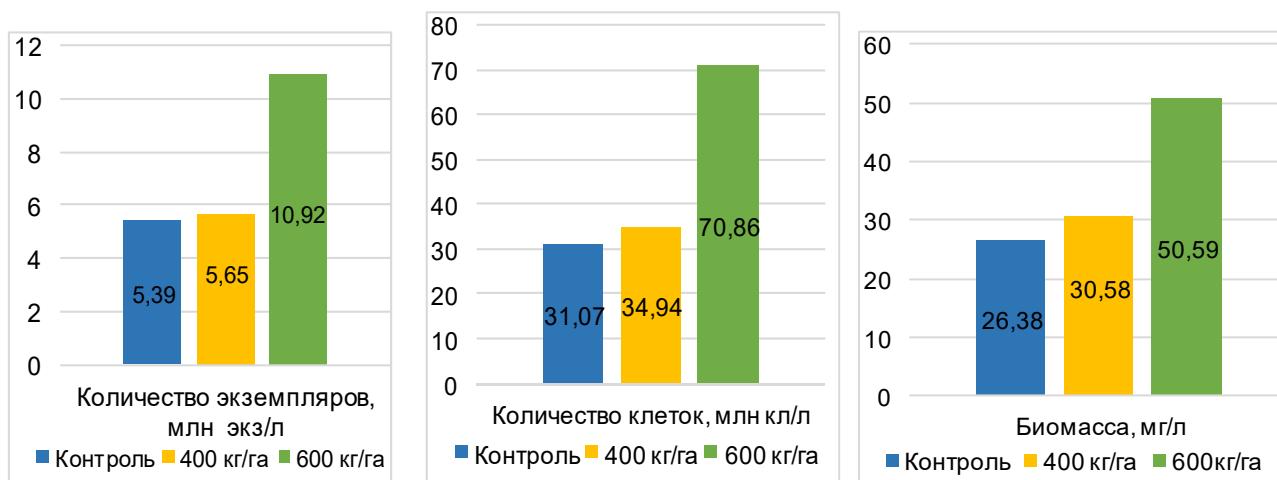


Рис. 1. Средние показатели количественного развития фитопланктона в экспериментальных и контрольных нагульных прудах. ХРУ «Вилейка», 2019 г.

Fig. 1. Average indicators of the quantitative development of phytoplankton in experimental and control feeding ponds. KhRU "Vileika", 2019

Как видно из полученных данных, в контрольных и экспериментальных прудах, где доза остатка составляла 400 кг/га, биомасса фитопланктона отличается незначительно. Однако в прудах с внесением гуматсодержащего остатка в дозе 600 кг/га она существенно выше (50,59 мг/л). Следовательно, такая дозировка является эффективной и положительно влияет на гидробиоценоз нагульных прудов. При этом основу фитопланктона во всех прудах составляли наиболее ценные в пищевом отношении зеленые водоросли, количество которых находится в пределах 83,0–88,6 % от общего содержания.

В гидробиологических исследованиях особое внимание уделяется сообществу зоопланктона как наиболее показательного звена, позволяющего проследить эффективность трансформации вещества продуцентов в вещество консументов 1-го порядка. Усредненные данные мониторинга количественного развития зоопланктона в нагульных прудах приведены на рис. 2.

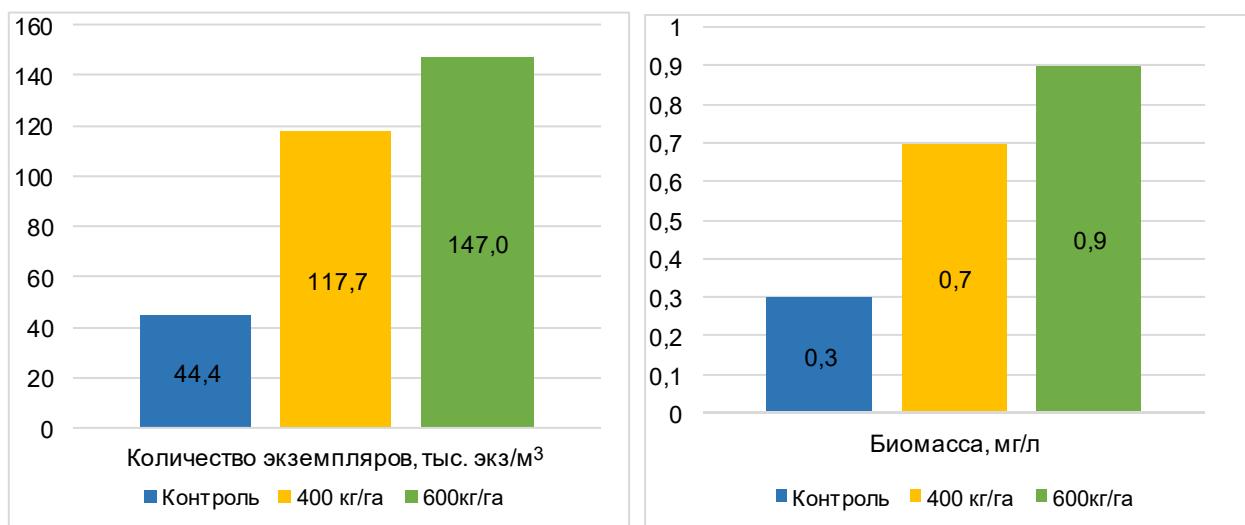


Рис. 2. Средние показатели количественного развития зоопланктона в экспериментальных и контрольных нагульных прудах. ХРУ «Вилейка», 2019 г.

Fig. 2. Average indicators of the quantitative development of zooplankton in experimental and control feeding ponds. KhRU "Vileika", 2019

Как видно из этих данных, численность и биомасса зоопланктона заметно выше в экспериментальных прудах. Так, суммарная биомасса зоопланктона при дозе остатка 400 кг/га в 2,3 раза, а при дозе 600 кг/га в 3 раза выше, чем в контроле.

В ходе осеннего облова экспериментальных нагульных прудов, осуществлявшегося в 3-й декаде октября, определена их рыбопродуктивность (табл. 5).

Установлено, что в экспериментальных прудах общая рыбопродуктивность была выше по сравнению с контролем и составляла 2,65–2,66 ц/га при нормативе 2,4 ц/га. Выше была также и средняя масса рыбы, что говорит о положительном влиянии вносимых гуматсодержащих остатков на производственные показатели нагульных прудов при выращивании рыбы по экстенсивной технологии. Поскольку показатели рыбопродуктивности при внесении как 400 кг/га, так и 600 кг/га остатка, мало отличаются, то оптимальной для нагульных прудов можно считать дозу 400 кг/га.

В 2020 г. была разработана и реализована схема производственной проверки гуматсодержащих добавок в прудовом рыбоводстве.

Производственная проверка в условиях интенсивного выращивания рыбы проводилась в ОАО «Опытный рыбхоз «Белое» Гомельской области на экспериментальных выростных (0,20–0,24 га) и нагульных прудах (9,0–9,1 га), в соответствии с разработанной ранее схемой, которая предусматривала в том числе частичную и полную замену органических (навозного компоста) и минеральных удобрений в вариантах с применением гуматсодержащих остатков. Контрольный вариант закладывался по нормативам интенсивных технологий выращивания на основании ТНПА «Рыбоводство – биологические нормы для эксплуатации прудовых и садковых хозяйств Беларусь».

Таблица 5. Результаты облова нагульных прудов. ХРУ «Вилейка», 2019 г.**Table 5. Results of fishing ponds. KhRU "Vileika", 2019**

Вариант	Вид рыб, возраст	Плотность посадки, кг/га	Выход рыбы,		Рыбопродуктивность, ц/га
			кг/га	средняя масса, г	
Контроль: Аммофос – 200–250 кг/га Селитра аммиачная – 200–250 кг/га	Карп, 1+	20	145,0	247	2,37
	Пестрый толстолобик, 2+	4	12,8	530	
	Белый амур, 1+	8	37,6	224	
	Щука, 0+	400	3,6	300	
	Сор	–	38,0	88	
Опыт 1: Остаток – 400 кг/га Аммофос – 150–170 кг/га	Карп, 1+	20	212,0	274	2,66
	Пестрый толстолобик, 2+	4	11,6	490	
	Белый амур, 1+	8	31,2	189	
	Щука, 0+	400	11,6	290	
	Сор	–	21,2	74	
Опыт 2: Остаток – 600 кг/га Аммофос – 150–170 кг/га	Карп, 1+	20	213,0	295	2,65
	Пестрый толстолобик, 2+	4	11,6	533	
	Белый амур, 1+	8	37,8	239	
	Щука, 0+	400	11,2	307	
	Сор	–	12,8	89	

Изучено влияние внесения гуматсодержащих добавок на гидрохимический и гидробиологический режимы прудов при выращивании рыбы по интенсивной технологии в условиях производственной проверки. Судя по результатам гидрохимических исследований, все средние показатели прудовой воды укладывались в норматив. Существенных различий по вариантам не наблюдалось, за исключением перманганатной окисляемости, которая в контрольных прудах имела более высокие показатели – 17,1 мг О/л, а в опытных прудах – 14,7–14,9 мг О/л, что связано с внесением в контрольные пруды 2,5 т навозного компоста. Средние показатели количественного развития фитопланктона в прудах приведены в табл. 6.

Таблица 6. Средние показатели количественного развития фитопланктона в прудах.
Рыбхоз «Белое», 2020 г.**Table 6. Average indicators of the quantitative development of phytoplankton in ponds.**
Fish farm "Beloe", 2020

Отдел	Остаток, доза остатка, кг/га						Контрольные пруды	
	Гидрогумат, 300 кг/га		Гидрогумат, 600 кг/га		Гидрогумат + Консил, 150 + 150 кг/га			
	N, кг., млн кл/л	B, мг/л	N, кг., млн кл/л	B, мг/л	N, кг., млн кл/л	B, мг/л	N, кг., млн кл/л	B, мг/л
Зеленые	2281,25	2,79	593,75	0,29	2401,3	2,91	2984,38	4,30
Сине-зеленые	8125,00	1,83	6077,88	2,05	8928,6	2,03	2546,75	0,84
Диатомовые	968,75	0,35	156,25	0,16	988,5	0,42	93,75	0,09
Пирофитовые	187,5	0,54	125,00	0,17	189,4	0,60	15,63	0,05
Эвгленовые	0,00	0,00	31,25	0,08	0,0	0,00	15,63	0,05
Золотистые	31,25	0,03	31,25	0,09	34,3	0,00	0,00	0,00
<i>Итого:</i>	11 593,75	5,54	7015,38	2,84	12542,1	5,86	5656,14	5,33

Гидробиологические исследования показали, что количественное развитие клеток фитопланктона в контроле составляло 5656 тыс. кл/л, в прудах с внесением остатка Гидрогумата в дозе 300 кг/га – 11 590 тыс. кл/л и еще большее количество отмечено при внесении композиции остатка Гидрогумата и Консила (1 : 1) в дозе 300 кг/га – 12 542 тыс. кл/л. При этом даже внесение остатка от Гидрогумата в дозе 600 кг/га было менее эффективно – 7015 тыс. кл/л.

Наилучшие результаты по выходу биомассы фитопланктона были также выше при внесении комплексной гуматсодержащей добавки (остаток от Гидрогумата + остаток от Консила), которая составляла 5,86 мг/л, при показателе в контрольных прудах 5,33 мг/л.

Средние показатели количественного развития зоопланктона в прудах рыбхоза «Белое» приведены в табл. 7.

**Таблица 7. Средние показатели количественного развития зоопланктона в прудах.
Рыбхоз «Белое», 2020 г.****Table 7. Average indicators of the quantitative development of zooplankton in ponds.
Fish farm "Beloye", 2020**

Вариант		Биомасса, мг/л
1. Остаток производства Гидрогумата – 600 кг/га, аммофос – 150–170 кг/га		11,7
2. Остаток производства Гидрогумата – 300 кг/га, навоз компостированный – 1250 кг/га, аммофос – 150–170 кг/га		14,64
3. Смесь остатков от производства – Гидрогумата 150 кг и Консила 150 кг (300 кг/га), навоз компостированный – 1250 кг/га, аммофос – 150–170 кг/га		14,60
Контроль: аммофос – 200 кг/га, селитра аммиачная – 300 кг/га, навоз компостированный – 2500 кг/га		8,20

Биомасса зоопланктона в прудах варианта 1 с использованием остатка от Гидрогумата в дозе 600 кг/га и внесением только минеральных удобрений, была в 1,4 раза выше, чем в контроле, а в вариантах 2 и 3, где соответственно остаток от Гидрогумата (300 кг/га) и смесь остатков от Гидрогумата и Консила (в суммарной дозе 300 кг/га) вводились в пруды с добавками минеральных удобрений и органического компостиированного навоза – в 1,8 раза выше, чем в контроле.

Основным показателем, определяющим эффективность использования интенсифицирующих мероприятий для повышения продуктивности рыбоводных прудов, являются рыбоводческие результаты, которые обобщены и приведены в табл. 8.

**Таблица 8. Рыбоводческая эффективность экспериментальных и контрольных нагульных прудов.
Рыбхоз «Белое», 2020 г.****Table 8. Fish breeding efficiency of experimental and control feeding ponds. Fish farm "Beloye", 2020**

Вид рыбы	Посажено, экз/га	Навеска, г	Посажено, кг/га	Выловлено, экз/га	Выход, %	Навеска, г	Выловлено, кг/га	Рыбопродуктивность, кг/га
Вариант 1: остаток от производства Гидрогумата – 600 кг/га, аммофос – 150–170 кг/га								
Карп	1500	27	40,5	1245	83	354	441,0	400,5
Щука	2000	–	–	95	4,8	260	24,8	24,8
Белый амур	150	30	4,5	117	78	344	40,3	35,8
Толстолобик	300	30	9,0	243	81	402	97,7	88,7
Всего:	–	–	–	–	–	–	603,8	549,8
Вариант 2: остаток от производства Гидрогумата – 300 кг/га, навоз компостированный – 1250 кг/га, аммофос – 150–170 кг/га								
Карп	1500	26	39	1350	90	355	479,3	440,3
Щука	2000	личинка	–	46	2,3	255	11,7	11,7
Белый амур	150	30	4,5	111	74	341	37,9	33,4
Толстолобик	300	30	9,0	246	82	386	95,0	86,0
Всего:	–	–	–	–	–	–	623,8	571,3
Вариант 3: смесь остатков от производства Гидрогумата 150 кг/га и Консила 150 кг/га (300 кг/га), навоз компостированный – 1250 кг/га, аммофос – 150–170 кг/га								
Карп	1500	27	40,5	1320	88	362	477,8	437,3
Щука	2000	–	–	38	1,9	270	10,3	10,3
Белый амур	150	30	4,5	114	76	351	40,0	35,5
Толстолобик	300	30	9,0	255	85	395	100,1	91,1
Всего:	–	–	–	–	–	–	628,2	574,2
Контроль: аммофос – 200 кг/га, селитра аммиачная – 300 кг/га, навоз компостированный – 2500 кг/га								
Карп	1500	28	42,0	1200	80	357	428,4	386,4
Щука	2000	0,001	0,002	34	1,7	271	9,2	9,2
Белый амур	150	30	4,5	125	83	351	43,9	39,4
Толстолобик	300	30	9,0	261	87	415	108,3	99,3
Всего:	–	–	–	–	–	–	589,8	534,3

Анализ данных осеннего облова экспериментальных и контрольных нагульных прудов в производственных условиях рыбхоза «Белое» свидетельствует, что показатели рыбопродуктивности в экспериментальных прудах выше по сравнению с контрольными. Однако было выявлено, что исключение навозного компоста в одном из вариантов в экспериментальных прудах, который вносился в контрольные пруды в количестве 2500 кг/га, заметно снижает эффективность использования гуматсодержащих добавок. Так, при внесении 600 кг/га остатка от производства Гидрогумата совместно только с минеральным удобрением аммофос (150–170 кг/га), рыбопродуктивность составила 549,8 кг/га, а данный показатель в контроле, где подкормки осуществлялись по нормативным дозам, и минеральных и органических удобрений – 534,3 кг/га. В экспериментальных прудах, где вносился тот же остаток в количестве 300 кг/га, аммофос – 150–170 кг/га и навоз в половинной дозе от нормативной – 1250 кг/га, рыбопродуктивность составляла 571,3 кг/га. Наибольшая рыбопродуктивность была достигнута при внесении гуматсодержащей добавки в виде композиции остатков от Гидрогумата и Консила (по 150 кг/га), а также минеральных (150–170 кг/га) и органических удобрений в половинной дозе (1250 кг/га) – 574,2 кг/га. Это можно объяснить присутствием в указанной композиции калия в доступной форме.

Таким образом, результаты производственной проверки подтвердили эффективность применения гуматсодержащих остатков в качестве добавок, расширяющих естественную кормовую базу прудов и повышающих их рыбопродуктивность.

Отработанные в процессе экспериментальных испытаний сроки и дозы внесения гуматсодержащих добавок в рыбоводные водоемы позволили разработать рыбоводно-биологические нормативы их использования в нагульных и выростных прудах, а также Технологическую инструкцию по применению гуматсодержащих остатков в рыбоводческих прудах. На гуматсодержащие добавки для прудового рыбоводства разработаны технические условия (ТУ BY 10289079.080-2020) и опытно-промышленный технологический регламент (ТР-П 100289079.056-2020).

Заключение. Испытания отходов от производства гуминовых препаратов из торфа в рыбоводческих прудах показало, что их использование как гуматсодержащих добавок в количестве 300–400 кг/га позволяет достичь более высокой рыбопродуктивности по сравнению с традиционной схемой интенсификационных мероприятий, при 50%-ной экономии вносимых органических удобрений, 25%-ной экономии аммофоса и 100%-ной экономии аммиачной селитры. Увеличение рыбопродуктивности при этом составляет 6–7 %.

Таким образом, новое эффективное направление использования гуматсодержащих отходов от производства гуминовых препаратов в прудовом рыбоводстве будет способствовать безотходному использованию торфа как ценному медленно возобновляемому сырью, повышению продуктивности прудового рыбоводства и отсутствию загрязнения окружающей среды промышленными отходами.

Список использованных источников

1. Агеец, В. Ю. Рыбоводство в Беларуси и мировой аквакультуре / В. Ю. Агеец // Весці НАН Беларусі. Серыя аграрных наукаў. – 2014. – № 2. – С. 86–93.
2. Агеец, В. Ю. Комбикорма для рыб 21 века / В. Ю. Агеец, С. Н. Пантелеев // Тез. докл. науч.-практ. семинара, Минск, 22–24 ноябр. 2017 г. – Мінск, 2017. – С. 13–15.
3. Агеец, В. Ю. Состояние аквакультуры в Республике Беларусь: возможности инновационного развития и научное обеспечение / В. Ю. Агеец // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сб. науч. трудов. – Минск, 2015. – Вып. 31. – С. 14–24.
4. Рыбная отрасль: перспективы развития / В. Ю. Агеец [и др.] // Наука и инновации. – 2020. – № 3. – С. 1–6.
5. Оценка торфоместорождения «Туршовка-Чертово» как сырья для глубокой комплексной переработки / И. И. Лиштван [и др.] // Природопользование. – Минск, 2016. – Вып. 30. – С. 113–123.
6. Киселев, И. А. Методы исследования планктона / И. А. Киселев // Жизнь пресных вод. – 1956. – № 4, ч. 1. – С. 7–32.
7. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. – Л., 1984. – 52 с.
8. Романенко, В. И. Экология микроорганизмов пресных вод / В. И. Романенко, С. И. Кузнецов. – М. : Наука, 1974. – 194 с.
9. Исследование состава органической и минеральной частей твердых отходов от производства гуминовых препаратов / И. И. Лиштван [и др.] // Природопользование. – 2021. – № 1. – С. 187–197.

References

1. Ageyets V. Yu. *Rybovodstvo v Belarusi i mirovoj akvakul'ture* [Fish farming in Belarus and world aquaculture]. *Vesti NAN Belarusi. Serya agrarnyh navuk = Bulletin of the National Academy of Sciences of Belarus, a series of agrarian sciences*, 2014, no. 2, pp. 86–93. (in Russian)
2. Ageyets V. Yu., Panteley S. N. *Kombikorma dlya ryb 21 veka* [Compound feed for fish of the 21st century]. *Tez. dokl. nauch.-prakt. seminara* [Reports abstracts of scientific and practical seminar], Minsk, November 22–24, 2017. Minsk, 2017, pp. 13–15. (in Russian)
3. Ageyets V. Yu. *Sostoyanie akvakul'tury v Respublike Belarus': vozmozhnosti innovacionnogo razvitiya i nauchnoe obespechenie* [The state of aquaculture in the Republic of Belarus: opportunities for innovative development and scientific support]. *Voprosy rybnogo khozyajstva Belarusi = Issues of the fish industry in Belarus*, 2015, vol. 31, pp. 14–24. (in Russian)
4. Ageyets V. Yu., Kostousov V. V., Banina S. A., Martsul O. N. *Rybnaya otrast': perspektivy razvitiya* [Fish industry : development prospects]. *Nauka i innovacii = Science and innovation*, 2020, no. 3, pp. 1–6. (in Russian)
5. Lishtvan I. I. *Otsenka torfomestorozhdeniya «Turshovka-Chertovo» kak syr'ya dlya glubokoj kompleksnoj pere-rabotki* [Assessment of the Turshovka-Chertovo peat deposit as a raw material for deep complex processing]. *Nature Management*, 2016, issue 30, pp. 113–123. (in Russian).
6. Kiselev I. A. *Metody issledovaniya planktona* [Methods of plankton research]. *Zhizn presnyh vod = Life of fresh waters*, 1956, no. 4, part 1, pp. 7–32. (in Russian)
7. *Metodicheskie rekomendacii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyah na presnovodnyh vodoemah. Zoobentos i ego produkciya* [Methodological recommendations for the collection and processing of materials in hydrobiological studies on freshwater bodies. Zoobenthos and its products]. Leningrad, 1984, 52 p. (in Russian)
8. Romanenko V. I., Kuznetsov S. I. *Ekologiya mikroorganizmov presnyh vod* [Ecology of the microorganisms of fresh waters]. Moscow, 1974, 194 p. (in Russian)
9. Lishtvan I. I., Naumova G. V., Zhmakova N. A., Makarova N. L., Ovchinnikova T. F., Makeenko A. A. *Issledovaniye sostava organiceskoy i mineral'noy chastej tverdykh otkhodov ot proizvodstva guminovykh preparatov* [Study of the composition of the organic and mineral parts of solid waste from the production of humic preparations]. *Nature Management*, 2021, no. 1, pp. 187–197. (in Russian)

Информация об авторах

Наумова Галина Васильевна – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

Пантелей Сергея Николаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Институт рыбного хозяйства (ул. Стебенева, 22, 220024, г. Минск, Беларусь). E-mail: pantsialei@yandex.ru

Сенникова Виолетта Дмитриевна – старший научный сотрудник, Институт рыбного хозяйства (ул. Стебенева, 22, 220024, г. Минск, Беларусь). E-mail: belniirh@tut.by

Жмакова Надежда Анатольевна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: zhmakova@mail.ru

Макарова Наталья Леонидовна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

Овчинникова Татьяна Феликсовна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

Макеенко Александр Александрович – младший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси, (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: makeenko1507@mail.ru

Information about the authors

Galina V. Naumova – D. Sc. (Technical), Professor, Chief Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

Sergey N. Panteley – Ph. D. (Agricultural), Leading Researcher, Institute of Fisheries (22, Stebeneva Str., 220024, Minsk, Belarus). E-mail: pantsialei@yandex.ru

Violetta D. Sennikova – Senior Researcher, Institute of Fisheries (22, Stebeneva Str., 220024, Minsk, Belarus). E-mail: belniirh@tut.by

Nadezhda A. Zhmakova – Ph. D. (Technical), Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: zhmakova@mail.ru

Nataliya L. Makarova – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

Tatiyana F. Ovchinnikova – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

Aleksandr A. Makeenko – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: makeenko1507@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ВИДА ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩЕГО И ВЛАГОПОГЛОЩАЮЩЕГО СВЯЗУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА НА ПРОЦЕСС КОМПОСТИРОВАНИЯ НАВОЗОСОДЕРЖАЩИХ СМЕСЕЙ

О. Г. Красноберская, Е. Н. Сосновская, Е. С. Стельмах

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Приведены данные по изменению структуры органического вещества (ОВ) растительных отходов в процессе компостирования их смесей с навозом крупного рогатого скота (КРС).

Установлено, что групповой состав исследуемых смесей и его динамика в течение опыта имели различия в соответствии с природой добавок.

Показано, что в субстратах возросло содержание гуминовых веществ и гуминовых кислот в их составе. Содержание гуминовых кислот возрастало в течение всего цикла компостирования, достигая в конце опыта 105,0–165,0 % от исходного значения.

Уменьшение содержания гидролизуемой части субстрата происходило в основном за счет трудногидролизуемых и водорастворимых веществ и составляло 6,0–8,5 %.

Увеличилось содержание всех форм фосфора, азота и калия за исключением подвижной формы калия.

Размеры потерь ОВ зависели от состава смеси и достигали 17 % от ее исходной массы.

Ключевые слова: органическое вещество; компостирование; навоз.

Для цитирования. Красноберская О. Г., Сосновская Е. Н., Стельмах Е. С. Влияние вида целлюлозосодержащего и влагопоглощающего материала на процесс компостирования навозосодержащих смесей // Природопользование. – 2021. – № 2. – С. 139–145.

THE IMPACT OF A TYPE OF CELLULOSE-CONTAINING AND MOISTURE-ABSORBING TYING MATERIAL ON PROCESS OF COMPOSTING OF MANURE-CONTAINING MIXTURES

O. G. Krasnoberskaya, E. N. Sosnovskaya, E. S. Stelmakh

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. The data on changing of organic matter structure during composting cattle manure and plant waste mixtures are given. It was established that the content of humic matter and humic acids in substrates increased. The decrease of the content of the hydrolysable part of the substrate was mainly due to hard-hydrolysable and water-soluble substances.

It was established that the increase of the content of total and mobile nitrogen and phosphorus and total potassium in the substrates is occurred.

It was found that organic matter losses depended on the composition of mixtures and reached 17 % of its initial mass.

Keywords: organic matter; composting; manure.

For citation. Krasnoberskaya O. G., Sosnovskaya E. N., Stelmakh E. S. The impact of a type of cellulose-containing and moisture-absorbing tying material on process of composting of manure-containing mixtures. *Nature Management*, 2021, no. 2, pp. 139–145.

Введение. Одной из многочисленных экологических проблем современной цивилизации является утилизация отходов производства и потребления, в том числе осадка сточных вод, опилок, льнотресты. Наиболее перспективным способом их утилизации является компостирование.

Комостирование – это процесс разложения органических остатков с участием микроорганизмов. Есть два типа разложения органики – аэробный и анаэробный. Аэробный – это и есть компостирование, тогда как анаэробный – это гниение.

В компсте протекают те же процессы, что и в почве, но более интенсивно. И поэтому зрелый компст – это своего рода закваска, которая активизирует жизненные процессы в почве. Компст не только обогащает почву гумусом и питательными веществами, но и улучшает ее структуру. Благодаря этому почва становится более рыхлой, она проницаема для воздуха и удерживает нужное количество

воды. Компост можно вносить под все растения, и очень важно то, что компост – единственное удобрение, которое полезно в любых количествах.

Для успешной трансформации органических отходов в биоудобрение важны такие параметры, как влажность, воздушный и температурный режимы, размер частиц, pH субстрата, соотношение углерода и азота (C : N) в исходном субстрате. Процесс естественного разложения субстрата при компостировании может быть ускорен благодаря контролю за этими параметрами.

При смешивании различных отходов уменьшение размера частиц производится путем предварительного измельчения отходов, например, солому предварительно измельчают на отрезки разными 3–5 см.

Температуру отходов необходимо поддерживать на уровне 60–65 °С путем саморазогрева компста, так как такая температура позволяет уничтожить патогенные организмы. Более высокая температура приводит к значительной убыли субстрата [1].

Одним из важных параметров, влияющих на ход микробиологических процессов при компостировании, является соотношение углерода и азота (C : N) в исходном субстрате. Оптимальным соотношением C : N для жизнедеятельности микроорганизмов и, следовательно, быстрого получения готового продукта (биоудобрения), при котором практически весь азот, находящийся в субстрате, включается в клетки микроорганизмов, является 25 : 1 [1]. Если органическое вещество (ОВ) имеет C : N меньше 25 : 1, то оно разлагается очень быстро, при этом происходит потеря азота в виде амиака. Таковы, например, свежий навоз, сырой активный ил, высущенная кровь. При распаде субстратов, имеющих соотношение C : N больше 25 : 1 (опилки, солома), трансформация идет медленно, так как процесс лимитируется низким содержанием азота. В связи с этим для приготовления компостов необходимо смешивание низкоактивных отходов с соотношением C : N больше 25 : 1 (коры, опилок, окисленного угля, соломы, льнотресты) с отходами с высоким содержанием азота (навоза, куриного помета, сырого активного ила). Это позволяет сделать соотношение C : N оптимальным для протекания микробиологических процессов. Отходы с высокой влажностью, плохо поддающиеся аэрации, необходимо смешивать с твердым материалом, сорбирующими влагу (щепками, мусором, листьями) [2].

Навоз является традиционным видом удобрения, но имеет свои ограничения в применении. Перед внесением навоза в почву необходимо обеззаразить субстанцию, а химический состав сделать безопасным и легкоусвояемым для растений. Именно поэтому как удобрение используют вылежавшийся субстрат, который разложился хотя бы частично или превратился в полноценный перегной [3].

Для более рационального и эффективного использования перспективно готовить компосты из смеси навоза с влагопоглощающими органосодержащими материалами (например, опилками, лигнином, корой, соломой злаковых культур), которые также являются массовыми отходами сельского хозяйства, деревообрабатывающей промышленности. Полученные компосты можно применять: для удобрения земель, отводимых под посадки древесно-кустарниковых насаждений, питомников, парков; под долголетние культурные сенокосно-пастбищные угодья; под технические культуры, а также на паровые поля и при рекультивации земель. Компост может быть использован для рекультивации нарушенных земель в лесохозяйственных и рекреационных целях, при озеленении, в питомниках лесного и городского хозяйства при выращивании рассады и цветов, а также под зерновые и технические культуры.

Особая ценность соломы как органического удобрения состоит в присущем ей высоком коэффициенте гумификации, в результате чего из 1 т соломы может синтезироваться около 180 кг гумуса, в то время как из 1 т соломистого навоза его образуется всего 50–60 кг [4]. Однако разложение соломы в почве тормозится из-за низкого содержания доступного для микроорганизмов источника углерода. Поэтому предварительное компостирование соломы перед внесением ее в почву повышает ее удобрительную ценность.

Опилки, как и другие отходы распиления древесины, являются хорошим материалом для изготовления удобрений и компоста. В зависимости от породы древесины естественное перегнивание длится 1–3 года, а подъем температуры в компсте составляет 1–5 °С [5]. Добавление к опилкам помета или навоза сокращает время перегнивания до 6–10 месяцев.

Чистая древесная стружка не может быть удобрением. Она содержит слишком много целлюлозы, а также смол и лигнина, обедняющих почву [6]. Это вызвано образованием в разлагающемся сырье большого количества микроорганизмов, которые поглощают предназначеннное растениям питание. В первую очередь это касается фосфора и азота. Одновременно идет процесс закисления грунта.

Свежие опилки богаты углеводами и при непосредственном внесении в почву вызывают бурное развитие микроорганизмов, которые для своей жизнедеятельности поглощают из почвы очень большое количество минерального азота. Это обстоятельство вызывает временную недоступность его для растений, которые испытывают азотное голодание. Только после отмирания соответствующих

поколений микроорганизмов минеральный азот почвы вновь становится доступным растениям. По этой причине свежие опилки не рекомендуется вносить в почву.

Наиболее правильный и эффективный путь использования опилок – это их компостирование вместе с другими материалами. При компостировании опилок с навозом, птичьим пометом и фекалиями азот, образующийся при разложении этих материалов, поглощается опилками. Потери его сокращаются, и кроме того, в компостах с опилками улучшаются физические свойства фекалий и птичьего помета.

Процесс компостирования характеризуется крутым подъемом температуры до 68–73 °С и последующим постепенным ее спадом до 35–40 °С, что свидетельствует об уменьшении микробиологической и ферментативной активности, снижении содержания кислорода и заполнении свободного пространства субстрата углекислым газом, аммиаком, метаном, газообразными продуктами разложения ферментированного ОВ и указывает на необходимость проведения следующего цикла перемешивания субстрата. После проведения каждого следующего приема аэрации процессы разогрева компоста возобновляются. Обычно компостирование продолжается до тех пор, пока субстрат полностью не освободится от аммиака, т. е. до получения неактивного субстрата. Завершение процесса ферментации определяется по незначительному повышению температуры после очередного перемешивания.

Цель работы – изучить изменения структуры ОВ растительных отходов в процессе компостирования для разработки ресурсосберегающих технологий их утилизации, обеспечивающих экономию питательных веществ и охрану окружающей среды.

Объекты и методы исследования. Влияние вида целлюлозосодержащего и влагопоглощающего материала на протекание процесса компостирования навозосодержащих смесей изучали на примере смесей бесподстилочного навоза крупного рогатого скота (КРС) с соломой, опилками, стружкой и льнотрестой.

Соотношение по массе навоза и добавок – 5 : 1, общая масса смеси – 7 кг. Образцы выдерживали в термостате при температуре 35 °С. Аэрацию смесей производили каждые две недели, отбор проб – 1 раз в месяц. Первый отбор – свежеприготовленная смесь перед закладкой в термостат. Длительность опыта – 3 месяца.

В ходе эксперимента изучали динамику убыли органической массы смесей и изменений ее фракционного состава и агрохимических характеристик в процессе компостирования. В образцах определяли содержание водорастворимых веществ (ВРВ), гуминовых веществ (ГВ), в том числе гуминовых и фульвокислот (ГК и ФК), легкогидролизуемых, трудногидролизуемых и негидролизуемых веществ (ЛГВ, ТГВ и НГВ), валовых и подвижных форм азота, фосфора и калия (NPK).

Результаты и их обсуждение. Динамика объемной массы образцов приведена в табл. 1.

Таблица 1. Динамика объемной массы смесей, г/л

Table 1. Dynamics of volume mass of mixtures, g/l

Образец	1-й отбор	2-й отбор	3-й отбор	4-й отбор
Навоз + опилки	439,0	421,4	476,4	478,2
Навоз + стружка	346,9	345,4	377,1	380,4
Навоз + солома	335,7	335,1	389,9	415,7
Навоз + льнотреста	430,3	425,7	490,0	493,9

Объемная масса смесей незначительно снижалась во 2-м отборе из-за выделения метана и углекислого газа в процессе компостирования, а затем возрастала по мере гумификации и минерализации смесей. К концу опыта объемная масса возросла относительно исходной до 108,9–109,7 % для смесей с опилками и стружкой и до 123,8 и 114,8 % для смесей с соломой и льнотрестой соответственно.

Динамика группового состава ОВ смесей приведена в табл. 2.

В процессе компостирования смесей происходило значительное снижение содержания в них ВРВ, что объясняется отсутствием таковых во всех добавках, кроме соломы. Так, к концу опыта содержание ВРВ в смеси с соломой снизилось относительно исходного на 21,8 %, а в смесях со стружкой, льнотрестой и опилками – на 65,6; 74,5 и 82,9 % соответственно.

Содержание ГВ в смеси с соломой возрастало в течение всего опыта, хотя из-за незавершенности процесса гумификации добавки это увеличение составило лишь 10,3 %. В остальных вариантах происходило снижение содержания ГВ, повышение отмечено только в конце опыта. При этом в смесях со стружкой и льнотрестой итоговое содержание ГВ составило 109,8 и 102,1 % относительно исходного соответственно, а в смеси с опилками – лишь 95,7 %.

Динамика содержания ЛГВ несколько отличалась от динамики ВРВ и ГВ. Так, в смесях с опилками и льнотрестой наблюдалось возрастание содержания ЛГВ в течение опыта до 113,3 и 120,6 %

соответственно, а в смесях со стружкой и соломой – снижение в середине опыта и увеличение в конце, однако итоговое содержание ЛГВ составило 93,2 и 97,1 % от исходного соответственно.

Таблица 2. Групповой состав смесей в течение процесса компостирования, % на а. с. в.

Table 2. Group content of mixtures during composting, % on a. d. s.

Образец	ВРВ	ГВ	ЛГВ	ТГВ	НГВ
Навоз КРС	9,6	22,5	14,4	18,4	35,1
1-й отбор					
Навоз + опилки	8,2	14,1	11,3	29,6	36,8
Навоз + стружка	9,6	15,3	11,8	30,4	32,9
Навоз + солома	13,3	22,3	14,0	26,7	23,7
Навоз + льнотреста	9,4	14,6	10,7	15,5	49,8
3-й отбор					
Навоз + опилки	4,7	10,8	12,1	29,8	42,6
Навоз + стружка	5,6	14,0	10,9	34,4	35,1
Навоз + солома	11,5	23,9	12,1	21,3	31,2
Навоз + льнотреста	6,1	14,3	12,4	14,1	53,2
4-й отбор					
Навоз + опилки	1,4	13,5	12,8	29,5	42,8
Навоз + стружка	3,0	16,8	11,0	28,8	40,1
Навоз + солома	10,4	24,6	13,6	19,2	32,2
Навоз + льнотреста	2,4	14,9	12,9	14,0	55,8

Содержание ТГВ в смесях с соломой и льнотрестой снижалось в течение всего опыта до 71,9 и 90,3 % относительно исходного соответственно, а в смесях с опилками и стружкой несколько увеличивалось в течение опыта, снижаясь к его завершению до 99,7 и 94,7 % соответственно.

Содержание НГВ возрастало в течение опыта во всех смесях. В смеси с соломой, как максимально гумифицируемой, оно составило 135,9 % от исходного, а в смесях со стружкой, опилками и льнотрестой – 121,9; 116,3 и 112,0 % соответственно.

Динамика гуминового комплекса смесей приведена в табл. 3.

Таблица 3. Гуминовый комплекс смесей в течение процесса компостирования, % на а. с. в.

Table 3. Humic complex of mixtures during composting, % on a. d. s.

Образец	ГВ			ГК в составе ВРВ	Всего ГК
	всего	ГК	ФК		
Навоз КРС	22,5	14,0	8,5	0,7	14,7
1-й отбор					
Навоз + опилки	14,1	3,6	10,5	–	3,6
Навоз + стружка	15,3	4,0	11,3	–	4,0
Навоз + солома	22,3	8,3	14,0	–	8,3
Навоз + льнотреста	14,6	4,0	10,6	–	4,0
3-й отбор					
Навоз + опилки	10,8	3,4	7,4	–	3,4
Навоз + стружка	14,0	3,9	10,1	–	4,0
Навоз + солома	23,9	10,2	13,7	Следы	10,2
Навоз + льнотреста	14,3	5,2	9,1	–	5,2
4-й отбор					
Навоз + опилки	13,5	4,1	9,4	Следы	4,1
Навоз + стружка	16,8	4,2	12,6	Следы	4,2
Навоз + солома	24,6	12,7	11,9	1,25	13,95
Навоз + льнотреста	14,9	6,6	8,3	Следы	6,6

В смесях с соломой и льнотрестой в течение опыта наблюдали повышение содержания ГК до 153,0 и 165,0 % относительно исходного соответственно. В смесях с опилками и стружкой в первой половине опыта происходило незначительное снижение содержания ГК, но к концу эксперимента их содержание составляло 113,9 и 105,0 % от исходного соответственно.

Содержание ФК в смесях с соломой и льнотрестой в течение опыта снижалось до 85,0 и 78,3 % от исходного соответственно. Содержание ФК в смесях с опилками и стружкой также снижалось к середине опыта, но к его концу возросло, составив 89,5 и 111,5 % от исходного соответственно.

Агрохимическая характеристика смесей в течение процесса компостирования приведена в табл. 4.

Таблица 4. Агрохимическая характеристика смесей в течение процесса компостирования, % на а. с. в.

Table 4. Agrochemical characteristic of mixtures during composting, % on a. d. s.

Образец	рН		Содержание валовых форм, % на а. с. в.			Содержание подвижных форм, мг/100 г а. с. в.			
	KCl	H ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NH ₄	N-NO ₃
1-й отбор									
Навоз + опилки	8,2	8,3	0,86	0,53	0,44	306,4	346,8	17,3	Следы
Навоз + стружка	8,0	8,1	1,00	0,71	0,51	483,5	405,2	22,0	Следы
Навоз + солома	8,1	8,4	1,54	1,20	1,53	774,5	1434,0	26,0	Следы
Навоз + льнотреста	8,1	8,1	1,16	0,70	0,84	395,8	831,1	28,5	Следы
2-й отбор									
Навоз + опилки	8,6	8,8	Не определено	411,9	217,9	28,0	Следы		
Навоз + стружка	8,3	8,6		576,8	397,4	23,0	Следы		
Навоз + солома	8,6	8,8		738,9	1058,9	25,0	Следы		
Навоз + льнотреста	8,0	8,0		476,2	694,4	29,0	Следы		
3-й отбор									
Навоз + опилки	8,3	8,6	Не определено	463,2	322,1	65,0	Следы		
Навоз + стружка	8,3	8,4		581,0	398,0	27,0	Следы		
Навоз + солома	8,2	8,7		870,3	1459,0	33,0	Следы		
Навоз + льнотреста	8,4	8,8		592,7	808,2	49,0	Следы		
4-й отбор									
Навоз + опилки	8,4	8,8	1,00	0,63	0,49	467,5	310,6	63,0	Следы
Навоз + стружка	8,2	8,6	1,10	0,78	0,52	599,4	355,1	26,0	Следы
Навоз + солома	8,4	8,9	2,00	1,47	1,89	1025,0	1732,1	34,0	Следы
Навоз + льнотреста	8,5	8,9	1,50	0,80	1,05	598,3	817,2	50,0	Следы

Изменения величины рН в течение эксперимента были незначительными.

Содержание общих форм NPK в течение эксперимента возросло: азота – на 10,0–29,9 % относительно исходного, фосфора – на 9,9–22,5, а калия – на 2,0–25,0 %. Как и предполагалось, максимальное увеличение было отмечено в варианте с соломой, минимальное увеличение – в варианте со стружкой.

Содержание подвижного фосфора возрастало в течение всего цикла компостирования в смесях с опилками, стружкой и льнотрестой до 152,6; 147,9 и 151,2 % от исходного соответственно, а в смеси с соломой незначительно понизилось в начале эксперимента, но к его завершению возросло до 132,3 % от исходного.

Содержание подвижного калия в начале процесса компостирования снижалось, затем несколько увеличивалось, но не достигало первоначального значения во всех вариантах опыта, кроме варианта с соломой, где составило 120,8 % от исходного. В смесях с опилками, стружкой и льнотрестой итоговое содержание подвижного калия составило 87,6–98,3 % от исходного.

Содержание аммонийного азота возрастало в течение процесса компостирования, лишь в варианте с соломой в начале опыта отмечено незначительное снижение. В конце опыта содержание аммонийного азота составило 118,2–364,2 % от исходного.

Нитратный азот во всех смесях в течение всего опыта содержался в следовых количествах.

В процессе моделируемого в условиях терmostатирования компостирования различных смесей навоза КРС с опилками, стружкой, соломой зерновых и льнотрестой размеры убыли органической массы исследуемых смесей определялись корреляционной зависимостью средней степени ($R = 0,4–0,5$) от продолжительности процесса при постоянном температурном режиме и систематической аэрации

смесей. В результате с учетом коэффициентов детерминации ($D = 0,16\text{--}0,25$) размеры потерь органической массы в возрастающем для компостируемых смесей порядке составили следующий ряд: навоз с опилками – от 1,6 % в начале до 8,3 % в конце компостирования; навоз с древесной стружкой – от 1,9 до 12,1 %; навоз с льнотрестой – от 2,1 до 15,3 %; навоз с соломой зерновых – от 2,7 % в начале до 16,8 % в конце модельного опыта (табл. 5).

В связи с тем, что данный эксперимент был проведен в условиях термостатирования, отследить характерные признаки, свидетельствующие о завершении процесса компостирования, не представилось возможным. Тем не менее полученные данные показали, что размеры потерь органического вещества зависели от состава субстрата и достигали 17 мас.% от исходного показателя за трехмесячный период.

Таблица 5. Зависимость убыли органического вещества от состава компонентов компостируемых смесей, % на а. с. в.

Table 5. Dependence of organic matter lost on the composition of mixtures, % on a. d. s.

Образец	Влажность	Органическое вещество	Зольность	Потери ОВ, % к исходному
Исходные компоненты				
Навоз КРС	78,4	67,6	32,4	–
Опилки	9,1	98,7	0,3	–
Стружка	7,6	98,8	0,2	–
Солома	7,3	94,5	5,5	–
Льнотреста	5,7	86,7	13,3	–
1-й отбор				
Навоз + опилки	65,4	75,4	24,6	–
Навоз + стружка	63,6	75,7	24,3	–
Навоз + солома	59,4	81,7	18,3	–
Навоз + льнотреста	62,1	72,7	27,3	–
2-й отбор				
Навоз + опилки	66,5	73,8	26,2	1,6
Навоз + стружка	65,4	73,8	26,2	1,9
Навоз + солома	68,6	79,0	21,0	2,7
Навоз + льнотреста	62,2	70,6	29,4	2,1
3-й отбор				
Навоз + опилки	67,4	70,8	29,2	4,6
Навоз + стружка	65,8	70,0	30,0	5,7
Навоз + солома	70,7	73,4	26,6	8,3
Навоз + льнотреста	63,5	66,1	33,9	6,6
4-й отбор				
Навоз + опилки	66,2	67,1	32,9	8,3
Навоз + стружка	64,1	63,6	36,4	12,1
Навоз + солома	72,0	64,9	35,1	16,8
Навоз + льнотреста	63,9	57,4	42,6	15,3

Выходы.

1. Изучение динамики убыли органической массы и изменений ее фракционного состава в процессе компостирования на примере смесей бесподстилочного навоза КРС с соломой, опилками, стружкой и льнотрестой показало, что собственно групповой состав исследуемых смесей и его динамика в течение опыта имели различия в соответствии с природой добавок. Во всех смесях, кроме варианта с опилками, происходило увеличение содержания ГВ и ГК в их составе. Снижалось содержание ТГВ и особенно ВРВ, возрастало содержание НГВ. Изменение содержания ЛГВ носило неоднозначный характер.

2. Содержание ГК возрастало в течение всего цикла компостирования, достигая в конце опыта 105,0–165,0 % от исходного значения.

3. В течение процесса компостирования возрастало содержание общих форм NPK, подвижного фосфора и аммонийного азота. Содержание подвижного калия снижалось в середине опыта и повышалось к его завершению, но не достигло первоначального значения.

4. Размеры потерь органического вещества зависели от состава субстрата и достигали 17 % массовых от исходного показателя за трехмесячный период. Размеры потерь органического вещества зависели от состава субстрата и достигали 16,8 % массовых от исходного показателя за трехмесячный период в варианте с соломой зерновых культур. Наименьшие потери массы компоста (8–12 % от начальной) отмечены при использовании опилок либо древесной стружки.

Список использованных источников

1. Insam, H. Microbiology of composting / H. Insam, N. Riddech, S. Klammer (ets). – Berlin ; Heidelberg, 2000.
2. Лесина, М. Л. Изучение процессов компостирования отходов при получении биоудобрения / М. Л. Лесина // Известия Иркутского государственного университета. Сер. Биология. Экология. – 2008. – № 2. – С. 71–74.
3. Имранова, Е. Л. Изготовление компоста из растительных отходов / Е. Л. Имранова, О. А. Кириенко. – Хабаровск, 2010.
4. Довбан, К. И. Зеленые удобрения / К. И. Довбан. – М., 1990.
5. Делаем компост как удобрение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rcycle.net/drevesina/opilki/kak-udobrenie-delaem-kompost>. – Дата доступа: 15.09.2020.
6. Удобрение из опилок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://proudobreniya.ru/udobrenie-iz-opilok>. – Дата доступа: 15.09.2020.

References

1. Insam H., Riddech N., Klammer S. (ets). Microbiology of composting. Berlin ; Heidelberg, 2000.
2. Lesina M. L. Izuchenie protsessov kompostirovaniya othodov pri poluchenii bioudobreniya [Study of processes of waste composting for giving of biofertilizer]. Izvestia Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria Biologija. Ekologija = News of the Irkutsk State University. Series Biology. Ecology. 2008, no. 2, pp. 71–74. (in Russian)
3. Imranova E., Kirienko O. A. Izgotovlenie komposta iz rastitel'nyh othodov [Production of compost from plant waste]. Khabarovsk, 2010. (in Russian)
4. Dovban K. I. Zelenye udobreniya [The green fertilizers]. Minsk, 1990. (in Russian)
5. Delaem-kompost-kak-udobrenie [Make compost as fertilizer]. Available at: <https://rcycle.net/drevesina/opilki/kak-udobrenie-delaem-kompost> (accessed September 15, 2020). (in Russian)
6. Udobrenie iz opilok [Fertilizer from sawdust]. Available at: <https://proudobreniya.ru/udobrenie-iz-opilok> (accessed September 15, 2020). (in Russian)

Информация об авторах

Красноберская Ольга Георгиевна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: agrico@yandex.by

Сосновская Елена Николаевна – младший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: agrico@yandex.by

Стельмак Елена Семёновна – ведущий инженер, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: agrico@yandex.by

Information about the authors

Olga G. Krasnoberskaya – Ph. D. (Agricultural), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Scoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: agrico@yandex.by

Elena N. Sosnovskaya – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Scoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: agrico@yandex.by

Elena S. Stelmakh – Leading Engineer, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Scoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: agrico@yandex.by

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ
SCIENTIFIC REPORT

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2021-2-146-152>

УДК 551.588(476)

Поступила в редакцию 26.09.2021

Received 26.09.2021

**О ВЛИЯНИИ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ
ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В МИНСКОЙ И МОГИЛЁВСКОЙ ГУБЕРНИЯХ
В КОНЦЕ XIX – НАЧАЛЕ XX ВЕКА**

В. В. Коляда

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. По доступным статистическим и метеорологическим данным для Минской и Могилёвской губерний конца XIX – начала XX в. предпринята попытка количественной оценки влияния погодно-климатических факторов (средней температуры воздуха и суммы атмосферных осадков по месяцам вегетационного периода) на урожайность основных сельскохозяйственных культур с использованием регрессионных моделей «погода – урожай». На основе установленных зависимостей показана уязвимость основных зерновых культур к погодным условиям их вегетационных периодов, выявлены конкретные факторы, определяющие климатическую изменчивость их урожайности. С использованием индекса погоды на примере Минской губернии оценена благоприятность погодных условий произрастания в рассматриваемые годы основных зерновых культур (оизомой ржи и овса). Показано, что колебания урожайности озимой ржи определялись запасами влаги накануне сева и условиями его проведения, размерами гибели посевов из-за соотношения температуры и сумм осадков, теплообеспеченностью периода возобновления вегетации, погодными условиями весенне-летней вегетации, созревания и уборки. Колебания урожайности овса были обусловлены весенними запасами влаги, погодными условиями сева и уборки, но главным образом, температурным фоном в период летней вегетации и созревания культуры.

Ключевые слова: урожайность сельскохозяйственных культур; средняя температура воздуха; атмосферные осадки; множественная регрессия; индекс погоды; белорусские губернии.

Для цитирования. Коляда В. В. О влиянии погодно-климатических факторов на урожайность зерновых культур в Минской и Могилёвской губерниях в конце XIX – начале XX века // Природопользование. – 2021. – № 2. – С. 146–152.

**ABOUT THE INFLUENCE OF WEATHER AND CLIMATIC FACTORS
ON THE GRAIN CROPS YIELD OF MINSK AND MOGILEV PROVINCES
IN LATE 19th – EARLY 20th CENTURIES**

V. V. Kalyada

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. A quantitative assessment of the influence of weather and climatic factors (average air temperature and the amount of precipitation by months of the growing season) on major agricultural crops yield was carried out using 'weather – harvest' regression models and available statistical and meteorological data for Minsk and Mogilev provinces in late 19th – early 20th centuries. On the basis of the established dependencies, the vulnerability of the main grain crops to the climatic conditions of the period under consideration is shown, and specific factors are identified that determine the climatic variability of their yield. Using the weather index on the example of Minsk province, the favorable weather conditions for the main grain crops growth (winter rye and oats) in the considered years were assessed. It is shown that fluctuations in yield of winter rye were determined by moisture storage on eve of sowing and the conditions of its conduction, the sizes of sowings death because of temperature and precipitation sums ratio, heat supply of a period of vegetation resumption, weather conditions of spring and summer vegetation, ripening and harvesting. The fluctuations in oat yield were conditioned by spring moisture storage, weather conditions of sowing and harvesting but mainly by temperature background of during a period of summer vegetation and crop ripening.

Keywords: crop yield; mean air temperature; precipitation; multiple regression; weather index; Belarusian provinces.

For citation. Kalyada V. V. About the influence of weather and climatic factors on the grain crops yield of Minsk and Mogilev provinces in late 19th – early 20th centuries. *Nature Management*, 2021, no. 2, pp. 146–152.

Введение. Для количественных оценок влияния погодно-климатических условий на урожайность сельскохозяйственных культур широко используют регрессионный анализ, предполагающий наличие массовых синхронных данных по урожайности и погодным условиям [1]. В Беларуси эти оценки были получены по данным за послевоенный и постсоветский периоды. Вместе с тем определенный интерес представляют оценки по материалам дореволюционного периода, что позволяет судить об условиях произрастания сельскохозяйственных культур и их более чем вековых изменениях. Для территории Беларуси за указанный период известна лишь попытка систематизации данных наблюдений о влиянии погодных условий на урожайность сельскохозяйственных культур [2].

Вполне современные статистические данные по урожайности сельскохозяйственных культур в белорусских губерниях собирались с начала 1880-х гг. до конца периода усилиями сразу нескольких ведомств. Наиболее кондиционными считаются материалы Центрального статистического комитета (ЦСК) Министерства внутренних дел. Эти материалы отражают разнообразие возделываемых полевых культур, среди которых господствовали озимая рожь и овес, занимавшие, соответственно, около 50 и 20 % посевных площадей. Были также распространены яровой ячмень и гречиха, повсеместно высевались озимая и яровая пшеница. Основной зернобобовой культурой являлся горох. Технические культуры были представлены льном-долгунцом и коноплей. В структуре посевных площадей белорусских губерний неуклонно возрастала роль картофеля и кормовых трав, что свидетельствовало об интенсификации земледелия и способствовало росту его продуктивности [3, 4].

Однако данные метеорологических наблюдений для территории белорусских губерний, охватывающие период статистических наблюдений, имеются только для четырех станций: Василевичей, Вильно (Вильнюса), Горок и Пинска. Среди прочих метеостанций наиболее длинными рядами наблюдений характеризуются Минск и Могилёв, для которых данные по температуре воздуха имеются, начиная с 1887 г., а по атмосферным осадкам – начиная с 1890/91 гг.

Целью данной работы была попытка дать количественную оценку влияния погодно-климатических факторов на урожайность сельскохозяйственных культур на территории Беларуси по доступным статистическим и метеорологическим данным за дореволюционный период.

Материалы и методы исследования. В качестве объекта исследований были выбраны ряды урожайности ЦСК для основных зерновых культур во всех категориях хозяйств Минской и Могилёвской губерний, которые практически целиком располагались в современных границах Беларуси, занимая центральную, южную и восточную части ее территории. Рассматривались зерновые культуры сплошного распространения: озимая рожь и озимая пшеница, овес, яровой ячмень и яровая пшеница. Для Минской губернии их ряды охватывают период с 1883 по 1914 г. (для озимой ржи – по 1915 г.), а для Могилёвской губернии – с 1883 по 1916 г.

Для характеристики погодных условий в Минской губернии использованы архивы данных Белгидромета по средней температуре воздуха и количеству атмосферных осадков для метеостанций Минск, Пинск и Василевичи, а в Могилёвской губернии – Могилёв, Горки и Василевичи. Использование данных метеостанции Василевичи для обеих губерний оправдано ее приграничным расположением. Предварительно осуществлялось восстановление значений рядов за отсутствующие годы для метеостанций Минск и Могилёв, которое проводилось по уравнениям множественной регрессии, где в качестве независимых переменных выступали синхронные ряды для длиннорядных метеостанций. Уровень подгонки регрессионных зависимостей к наблюденным данным для температуры воздуха был весьма высоким ($R^2 = 0,940\text{--}0,992$), для атмосферных осадков он заметно ниже ($R^2 = 0,651\text{--}0,908$).

В основу оценки положена спецификация модели Л. М. Томпсона, где динамика урожайности кукурузы и сои на уровне штатов Кукурузного пояса США рассматривается как функция технологии, в виде линейного временного тренда (*Time*), и погодных условий, которые характеризуются средними температурами воздуха и суммами атмосферных осадков за месяцы вегетационного периода, а также суммами осадков в предсезонный период [5, 6]. В качестве регрессоров в ней использовались не только значения погодных переменных, но и их квадраты и произведения температур и сумм осадков в летние месяцы. В данной работе автор ограничился исключительно линейными зависимостями урожайности от погодных переменных. На основании имеющихся сведений о сроках сева и уборки культур [7, 8] для характеристики погодных условий вегетации озимых зерновых культур были привлечены осредненные по территории губерний ежемесячные данные по температуре воздуха и суммам осадков с августа предыдущего года по август текущего года ($T_{8-1} - T_8$ и $P_{8-1} - P_8$), а для ранних яровых зерновых культур – с апреля по сентябрь ($T_4 - T_9$ и $P_4 - P_9$), а также суммы осадков с января по март ($P_1 - P_3$). Их параметры оценивались по методу наименьших квадратов на уровне вероятности ошибки менее 5 %. Для оценки параметров моделей и их верификации использовались пакеты GRETL [9] и STATISTICA [10].

Для количественной оценки благоприятности погодных условий в рассматриваемые годы с использованием полученных регрессионных зависимостей определялся индекс погоды, представляющий собой выраженное в процентах отношение урожайности, рассчитанной по уравнению регрессии при текущей в данном году погоде, к уровню урожайности в этом году при средних за исследуемый период погодных условиях [8].

Результаты и их обсуждение. Общее представление об уровне и изменчивости урожайности основных сельскохозяйственных культур в губерниях, а также о температурном режиме и атмосферном увлажнении на территории губерний в рассматриваемый период дают их статистические характеристики. Могилёвская губерния, в сравнении с Минской губернией, отличалась более высокими средними значениями урожайности для большинства сельскохозяйственных культур за исключением озимой пшеницы, ярового ячменя и гречихи. Вместе с тем урожайность в ней характеризовалась повышенной вариацией, на что указывают более высокие значения стандартных отклонений, а зачастую и более высокие максимальные и более низкие минимальные значения.

Климат Могилёвской губернии, которая занимала восточную часть современной Беларуси, в сравнении с климатом Минской губернии, был более континентальным. Средние температуры воздуха во все месяцы, но особенно зимой и в холодный период года, здесь были более низкими. При этом их максимальные значения в Могилёвской губернии в наиболее теплые месяцы года приближались или даже превышали аналогичные их величины в Минской губернии. Губернии характеризовались близким характером выпадения атмосферных осадков, с максимумом в теплый период года. Однако среднее количество осадков, их минимальные и максимальные значения в Минской губернии для большинства месяцев года были несколько выше, чем в Могилёвской губернии.

Результаты аналитического выравнивания рядов урожайности показали, что урожайность у большинства сельскохозяйственных культур в рассмотренный период росла. Линейные тренды в температурных показателях за все месяцы отсутствовали. Исключением является слабый положительный тренд для температуры марта в Минской губернии. Линейные тренды сумм осадков в Минской губернии выражены в январе, феврале и апреле. Для Могилёвской губернии они имеют место во все месяцы холодного периода года, а также в апреле и июле.

Ниже представлены результаты множественной регрессии для озимых зерновых культур:

Минская губерния

$$\text{Рожь} = 9,8 + 0,099 \cdot Time + 0,137 \cdot T_{9-1} - 0,018 \cdot P_{9-1} - 0,207 \cdot T_{11-1} + 0,077 \cdot T_{12-1} + 0,153 \cdot T_3 + 0,009 \cdot P_3 - 0,08 \cdot T_5 - 0,009 \cdot P_5 - 0,202 \cdot T_6 - 0,009 \cdot P_7 - 0,009 \cdot P_8; N = 33, R^2 = 0,925;$$

$$\text{Пшеница} = 5,8 + 0,048 \cdot time + 0,331 \cdot T_{8-1} + 0,014 \cdot P_{8-1} - 0,038 \cdot P_{9-1} + 0,106 \cdot T_{12-1} + 0,024 \cdot P_1 + 0,037 \cdot P_4 - 0,016 \cdot P_5 - 0,277 \cdot T_6; N = 32, R^2 = 0,836.$$

Могилёвская губерния (N = 34)

$$\text{Рожь} = 9,1 + 0,074 \cdot Time - 0,017 \cdot P_{9-1} - 0,191 \cdot T_{11-1} + 0,209 \cdot T_{12-1} - 0,011 \cdot P_{12-1} + 0,123 \cdot T_2 + 0,018 \cdot P_3 - 0,162 \cdot T_5 - 0,231 \cdot T_6 + 0,274 \cdot T_8 - 0,007 \cdot P_8; R^2 = 0,888;$$

$$\text{Пшеница} = 12,3 - 0,155 \cdot T_{11-1} + 0,026 \cdot P_{11-1} + 0,273 \cdot T_{12-1} - 0,021 \cdot P_{12-1} - 0,016 \cdot P_1 + 0,139 \cdot T_2 + 0,025 \cdot P_2 + 0,028 \cdot P_3 - 0,222 \cdot T_5 - 0,012 \cdot P_8; R^2 = 0,785.$$

Важнейшим фактором роста урожайности озимой ржи в белорусских губерниях в рассматриваемый период было улучшение агротехники. При этом роль данного фактора у озимой пшеницы в Минской губернии заметно снижается, а в Могилёвской губернии является незначимой.

Температура и осадки августа (практически накануне сева) благоприятствовали росту урожайности, тогда как осадки, выпадающие в сентябре, т. е. уже в ходе сева, снижали урожайность. В период осенней вегетации для ржи в Минской губернии наблюдается негативное влияние осадков октября. В то же время в ноябре в период закалки посевов у озимых культур обеих губерний отмечается отрицательная роль температуры и положительная роль осадков у менее морозостойкой культуры – пшеницы – в условиях более экстремальной в климатическом отношении Могилёвской губернии. Осенняя вегетация прекращалась после установления зимнего режима погоды в декабре, после чего устанавливался длительный период зимнего покоя. В эти месяцы (декабрь – март) повышение температуры способствовало росту урожайности озимых культур в губерниях, в то время как увеличение осадков в зимние месяцы ее понижало. Только в марте в период весеннего снеготаяния роль осадков становится положительной. В апреле наблюдалось возобновление вегетации благополучно перезимовавших озимых культур, а на май и июнь приходились ключевые стадии их вегетативного развития. Высокие температуры в эти месяцы повсеместно снижали урожайность озимых культур.

Озимые культуры созревали в течение июня, а в конце этого месяца начиналась их уборка, которая завершалась к середине августа [7]. Повышенная температура в августе способствовала своевременному и качественному проведению уборки озимых культур и, как следствие, росту их урожайности. В то же время увеличение количества осадков задерживало сроки уборки и вело к снижению урожайности, что отмечается для Могилёвской губернии.

Аналогичные зависимости были получены и для ранних яровых зерновых культур:

Минская губерния (N = 32)

$$\text{Овес} = 11,7 + 0,06 \cdot \text{Time} + 0,014 \cdot P_2 + 0,01 \cdot P_3 - 0,247 \cdot T_6 - 0,384 \cdot T_7 + 0,004 \cdot P_7 + 0,107 \cdot T_8 + 0,117 \cdot T_9; \\ R^2 = 0,91;$$

$$\text{Ячмень} = 13,8 + 0,09 \cdot \text{Time} - 0,141 \cdot T_4 - 0,228 \cdot T_6 - 0,276 \cdot T_7 + 0,01 \cdot P_6; R^2 = 0,864;$$

$$\text{Пшеница} = 9,5 + 0,06 \cdot \text{Time} + 0,011 \cdot P_3 - 0,01 \cdot T_4 - 0,233 \cdot T_6 - 0,006 \cdot P_8; R^2 = 0,772.$$

Могилёвская губерния (N = 34)

$$\text{Овес} = 18,1 + 0,012 \cdot P_2 + 0,01 \cdot P_3 - 0,017 \cdot P_5 + 0,014 \cdot P_6 - 0,267 \cdot T_6 - 0,473 \cdot T_7 + 0,012 \cdot P_7; R^2 = 0,785;$$

$$\text{Ячмень} = 15,1 + 0,08 \cdot \text{Time} - 0,0155 \cdot P_2 - 0,166 \cdot T_6 + 0,0115 \cdot P_6 - 0,444 \cdot T_7; R^2 = 0,803;$$

$$\text{Пшеница} = 16,3 + 0,05 \cdot \text{Time} - 0,190 \cdot T_6 - 0,386 \cdot T_7; R^2 = 0,704.$$

Основным фактором роста урожайности ранних яровых зерновых культур в белорусских губерниях в рассматриваемый период также являлось совершенствование агротехники, причем максимальными средними приростами (0,8–0,9 ц/га за 10 лет) характеризовался ячмень. Вместе с тем у овса в Могилёвской губернии статистически значимый агротехнический тренд не выявлен.

Важным фактором повышения урожайности всех ранних яровых зерновых культур в Минской губернии были осадки предсезонного периода, статистически значимые для февраля и марта. В Могилёвской губернии положительная роль осадков февраля фиксируется лишь у овса, тяготеющего к легким почвам. В то же время у ярового ячменя, предпочитающего более тяжелые почвы, их роль отрицательная, а у близкой к нему по экологическим требованиям яровой пшеницы – незначимая.

В период сева и в начальные стадии вегетации, которые приходятся на апрель и май [7], отмечается лишь отрицательное влияние температуры апреля на урожайность ячменя в Минской губернии и такое же влияние майских осадков на урожайность овса в Могилёвской губернии. В наиболее ответственные для уровня урожайности стадии вегетативного роста и созревания (июнь, июль) все без исключения культуры обеих губерний испытывали негативное влияние повышения температур. Положительное влияние в эти месяцы выпадающих атмосферных осадков отмечается для посевов ячменя в Минской губернии, овса и ячменя в Могилёвской губернии. В последней сохраняется положительное влияние на посевы овса и в июле, в то время как посевы ячменя в Минской губернии в этот месяц испытывали отрицательное влияние осадков.

Повышенные температуры в августе и сентябре, напротив, способствовали качественной и своевременной уборке и, следовательно, росту урожайности, тогда как избыточное количество осадков приводило к ее снижению. Последнее отмечается у ячменя в Минской губернии.

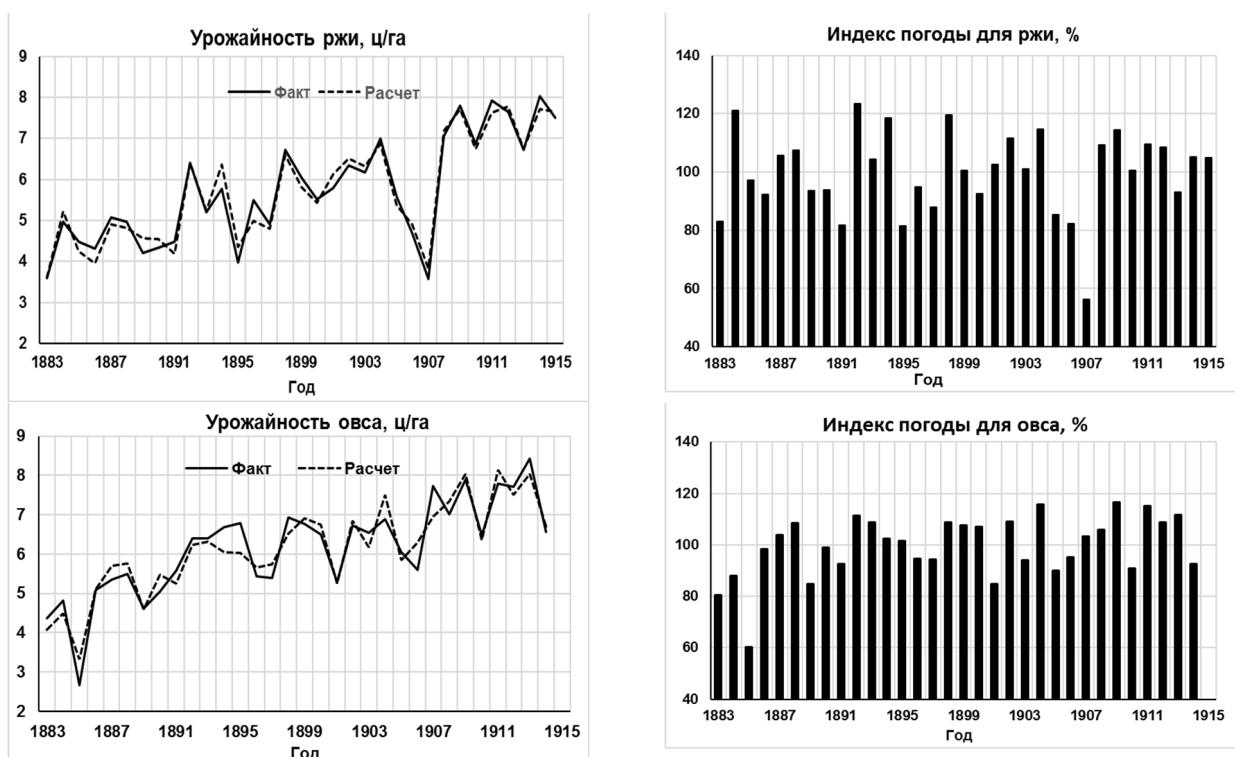
Следует подчеркнуть, что различия между регионами проявляются уже на уровне показателей качества регрессионных зависимостей: для Минской губернии скорректированные на число параметров коэффициенты детерминации (R^2) заметно выше, а стандартные ошибки примерно в 1,5 раза меньше. Худшая подгонка эмпирических данных в Могилёвской губернии очевидно связана с повышенной колеблемостью урожайности ее сельскохозяйственных культур под влиянием более континентальных и, следовательно, более экстремальных климатических условий. Причиной могли быть также более выраженные здесь последствия Столыпинской аграрной реформы [2].

Оценка благоприятности погодных условий были выполнены для Минской губернии, для которой имелись материалы наблюдений за влиянием погодных условий на урожайность сельскохозяйственных культур в рассматриваемый период. Эти материалы содержат краткий обзор развития сельскохозяйственных культур в связи с погодными условиями, который завершается таблицей, где приведены опасные погодные явления и наносимый ими вред посевам сельскохозяйственных культур в отдельные годы. Рассматривается 14 лет, главным образом первого десятилетия XX в. [2].

В материалах отмечаются: дожди и низкая температура, приведшая к задержке сева и уборки яровых культур в 1887 г.; летние дожди, вызвавшие гниль у картофеля в 1899 г.; весенние холода и засуха в первую половину июля, снизившие урожайность культур в 1899/1900 гг.; засуха в июне, приведшая к падению урожайности культур на высоких местах с песчаными почвами в 1900/01 гг.; возникновение ледяной корки из-за частых оттепелей, выпревание и вымочки в низких местах у озимых культур, дожди в период цветения ржи и задержка сева яровых культур в 1901/02 гг.; повреждение поздних озимых посевов из-за дождей и низких температур, а также гниль у картофеля в низких местах из-за июльских дождей в 1902/03 гг.; выпревание и вымочки озимых культур в низких местах из-за излишней влаги и холодной погоды весной, в июне и сентябре в 1903/04 гг.; дожди в апреле и мае, вызвавшие задержку сроков сева яровых культур, вымочки и полегание посевов, повреждение зерновых культур в период цветения, гниль у картофеля в 1905/06 гг.; мощный снеговой покров, легший на мокрую почву и приведший к выпреванию 50 % озимых посевов, а также низкие температуры и недостаток осадков весной и их избыток в июле, задержавшие развитие озимых культур в 1906/07 гг.; излишек осадков, вызвавший выпревание и вымочки озимых весной, излишек осадков и низкие температуры в апреле, задержавшие яровой сев, излишек осадков в августе, вызвавший гниль

у картофеля в **1907/08** гг.; излишком осадков в апреле и холодная погода весной, вызвавшие задержку полевых работ и рост озимых культур, излишок осадков и холода в июле и августе, которые привели к вымочкам и гнили картофеля в низких местах в **1908/09** гг.; недостаток осадков мае, задержавший рост яровых и озимых культур в **1909/10** гг.; холодная погода в мае, задержавшая рост яровых и озимых культур в **1911/12** гг.; излишок осадков осенью и появление вымочек, недостаток осадков, низкие температуры во второй половине июня и задержка роста у озимых культур в **1912/13** гг. [2].

При несомненной ценности данных материалов, которые дают представление о разнообразии неблагоприятных погодных условий для возделывания сельскохозяйственных культур в указанные годы, они не позволяют оценить их суммарный эффект в виде изменения урожайности. Такую возможность открывает оценка благоприятности погодных условий для возделывания культур, базирующаяся на регрессионных моделях динамики их урожайности. Результаты моделирования и расчета индекса погодных условий для зерновых культур Минской губернии отражает рисунок.



Динамика урожайности и индекса погоды для зерновых культур Минской губернии за 1883–1914/15 гг.

Dynamics of crop yield and weather index cereals in Minsk province for 1883–1914/15

Согласно полученным оценкам, индекс погоды для озимой ржи в рассматриваемый период изменялся от 59 до 124 %. В течение 33 лет погодные условия снижали уровни урожайности 14 раз (в 42 % случаев). Минимальным значением индекса, т. е. наиболее неблагоприятными погодными условиями, характеризовался 1906/07 сельскохозяйственный год, которому в опубликованных материалах посвящены отдельные разделы. Отмечено, что сев озимых культур в 1906 г. начался с середины августа, а закончился в конце сентября и даже позже, но в целом их состояние перед зимой было удовлетворительным. Однако мощный снеговой покров (до 60 см и выше) с декабря до второй декады апреля, который лег на мокрую почву, вызвал выпревание и перепахивание под посевы яровых культур до 50 % озимого клина. Далее майские холода и засуха в июне привели к задержке в развитии сохранившихся посевов и поздней уборке, которая прерывалась дождями, причем скошенная рожь прорастала [2]. Наш анализ показывает, что причинами неурожая в этом году следует считать целый комплекс факторов: несколько пониженное (90 % относительно среднего уровня) количество осадков в августе перед севом, избыточные осадки в период сева в сентябре (180 %), максимально теплый ноябрь, способствовавший перерастанию посевов, повышенные в 1,5 раза температуры в зимние месяцы при высоком количестве осадков в начале зимы, пониженная температура апреля (69 %) в период возобновления вегетации и не самые благоприятные температурные условия уборки.

Максимальное значение индекса погоды, свидетельствующее о наиболее благоприятных погодных условиях для возделывания озимой ржи, относится к 1892 г. К сожалению, материалы наблюдений по губернии за этот год отсутствуют [2]. Наши оценки показывают, что обильные осадки в августе (140 %) обеспечили значительные влагозапасы накануне сева, а их ограниченное количество в сентябре (64 %) не препятствовало проведению сева. Ноябрь в этот год оказался одним из самых холодных за весь период, температура и количество осадков в зимние месяцы обеспечили благополучную перезимовку посевов, теплый апрель (111 %) способствовал возобновлению вегетации, а температурный режим в летние месяцы благоприятствовал их успешному развитию, созреванию и уборке.

Наиболее низкие индексы погоды у озимой ржи отмечаются также в 1895, 1891, 1906 и 1883 г., наиболее высокие – в 1884, 1898, 1894 и 1904 г.* Максимальные отличия неблагоприятных от благоприятных по погодным условиям лет связаны с меньшим количеством осадков накануне сева в августе и большим их количеством в ходе сева в сентябре, а также избытком осадков в декабре, марте и мае, что вело к гибели озимых посевов в результате выпревания и вымокания.

Оценки индекса погоды для возделывания овса в рассматриваемый период изменяются от 60 до 117 %. За 32 года погодные условия снижали уровни урожайности 15 раз (47 %). Максимальным значением индекса отмечен 1909 г., а величинами выше 110 % также характеризуются 1904, 1911, 1913 и 1892 г. Благоприятные погодные условия формирования урожая яровых зерновых культур в эти годы подтверждают и результаты наблюдений [2, 8]. Минимальный индекс погоды для овса был получен в 1885 г., а 1883, 1901, 1889 и 1884 г. характеризуются индексами менее 90 %. Среди них в опубликованных материалах отмечается лишь засуха в июне 1901 г. [2]. В целом же благоприятные по погодным условиям для возделывания овса годы отличаются более высоким количеством осадков в предсезонный период (февраль и март), более высокими температурами в период уборки (август и сентябрь) и самое главное – пониженными температурами в основной период развития культур (июнь и июль).

В целом выполненное исследование показало возможность для территории Беларуси регрессионных оценок влияния погодно-климатических факторов на урожайность сельскохозяйственных культур по весьма ограниченным метеорологическим данным за дореволюционный период.

Список использованных источников

1. Blanc, E. Approaches to Assessing Climate Change Impacts on Agriculture: An Overview of the Debate / E. Blanc, J. Reilly // Review of Environmental Economics and Policy. – Summer 2017. – Vol. 11, iss. 2. – P. 1–12.
2. Маслакавец, Г. Надворныя ўмовы с.-г. культур Беларусі. Спраба абагульнення матэрыялаў аб росце сельскагаспадарчых культур ва ўмовах БССР / Г. Маслакавец. – Менск, 1932.
3. Коляда, В. В. Анализ динамики урожайности зерновых культур в белорусских губерниях (1883–1914/15 гг.) / В. В. Коляда // Природопользование. – Минск, 2006. – Вып. 12. – С. 58–65.
4. Коляда, В. В. Индексный метод комплексной оценки факторов динамики агросистем / В. В. Коляда // Природные ресурсы. – 2007. – № 2. – С. 84–92.
5. Thompson, L. M. Effects of Changes in Climate and Weather Variability on the Yields of Corn and Soybeans / L. M. Thompson // J. Prod. Agric. – 1988. – Vol. 1, no. 1. – P. 20–27.
6. Tannura, M. A. Technology, and Corn and Soybean Yields in the U.S. Corn Belt / M. A. Tannura, S. H. Irwin, D. L. Good // Marketing and Outlook Research Report 2008-01, Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois at Urbana-Champaign, February 2008. – Mode of access: http://www.farmdoc.uiuc.edu/marketing/morr/morr_archive.html. – Date of access: 23.07.2015.
7. Свод статистических сведений по сельскому хозяйству России к концу XIX века. – СПб., 1902. – Вып. I.
8. Meerovskiy, A. C. По страницам истории / А. С. Meerovskiy // Мелиорация переувлажненных земель. – 2007. – № 1 (57). – С. 182–192.
9. Малова, А. С. Основы эконометрики в среде GRETL / А. С. Малова. – М., 2016. – 112 с.
10. Халафян, А. А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных / А. А. Халафян. – М., 2007. – 512 с.

References

1. Blanc E., Reilly J. Approaches to Assessing Climate Change Impacts on Agriculture: An Overview of the Debate. *Review of Environmental Economics and Policy*. Summer 2017, vol. 11, issue 2, pp. 1–12.
2. Maslakavets G. Nadvornyya umovy s.-g. kultur Belarusi. Sproba abagulnennya materyalaub rostse selskagospadarchykh kultur va umovakh BSSR [Weather conditions of agricultural crops of Belarus. An attempt to generalize the materials on the growth of crops in the BSSR]. Mensk, 1932. (in Belarusian)
3. Kalyada V. V. Analiz dinamiki urozhaynosti zernovoykh kultur v belorusskikh guberniyakh (1883–1914/15 gg.) [Analysis of cereal crops yield dynamics in Belarusian provinces (1883–1914/15)]. *Prirodopolzovaniye = Nature Management*, 2006, vol. 12, pp. 88–98. (in Russian)
4. Kalyada V. V. Indeksnyy metod kompleksnoy otsenki faktorov dinamiki agrosistem [An index method of complex assessment of agricultural systems dynamics factors]. *Prirodnyye resursy = Natural resources*, 2007, no. 2, pp. 84–92. (in Russian)
5. Thompson L. M. Effects of Changes in Climate and Weather Variability on the Yields of Corn and Soybeans. *J. Prod. Agric.* 1988, vol. 1, no. 1, pp. 20–27.

6. Tannura M. A., Irwin S. H., Good D. L. Technology and Corn and Soybean Yields in the U. S. Corn Belt. Marketing and Outlook Research Report 2008-01. Department of Agricultural and Consumer Economics. University of Illinois at Urbana-Champaign. February 2008. Available at http://www.farmdoc.uiuc.edu/marketing/morr/morr_archive.html (accessed 23 July 2015).
7. *Svod statisticheskikh svedeniy po selskomu khozyaystvu Rossii k kontsu XIX veka* [A set of statistical data on agriculture in Russia by the end of the 19th century]. St. Petersburg, 1902, Issue I. (in Russian)
8. Meyerovskiy A. S. *Po stranitsam istorii* [Through the pages of history]. *Melioratsiya pereuvlazhnennykh zemel = Reclamation of waterlogged lands*. 2007, no. 57, pp. 182–192. (in Russian)
9. Malova A. S. *Osnovy ekonometriki v srede GRETL* [Fundamentals of Econometrics in the GRETL Environment]. Moscow, 2016, 112 p. (in Russian)
10. Khalafyan A. A. STATISTICA 6. *Statisticheskiy analiz dannykh* [Statistical data analysis]. Moscow, 2007, 512 p. (in Russian)

Информация об авторе

Коляда Валерий Васильевич – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: valery_v_kalyada@tut.by

Information about the author

Valery V. Kalyada – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: valery_v_kalyada@tut.by

ХРОНИКА CHRONICS

V МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУК О ЗЕМЛЕ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И СОХРАНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ» V INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE "ACTUAL PROBLEMS OF EARTH SCIENCES: USE OF NATURAL RESOURCES AND ENVIRONMENTAL CONSERVATION"

27–29 сентября 2021 г. на базе факультета инженерных систем и экологии Брестского государственного технического университета состоялась ставшая уже традиционной V Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы наук о Земле: использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды». Организаторами научного мероприятия выступили Институт природопользования НАН Беларуси, Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина и Брестский государственный технический университет.



Приветственные слова на открытии конференции произнесли проректор по научной работе Брестского государственного технического университета, кандидат технических наук, доцент Н. Н. Шалобыта, декан факультета инженерных систем Брестского государственного технического университета, доктор географических наук, профессор А. А. Волчек и профессор кафедры географии и природопользования Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина, доктор геолого-минералогических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси М. А. Богдасаров. В дистанционном режиме с приветствием и заявленными в программе пленарного заседания докладами выступили директор Института природопользования НАН Беларуси, доктор физико-математических наук, профессор С. А. Лысенко, вице-президент Российского геологического общества, кандидат геолого-минералогических наук И. Ф. Вольфсон и председатель Государственной комиссии Украины по запасам полезных ископаемых, доктор геолого-минералогических наук, доктор географических наук, доктор технических наук, профессор Г. И. Рудько.

На пленарной сессии были заслушаны доклады ученых из Беларуси, России, Украины и Польши по актуальным вопросам наук о Земле, среди которых: проблемы изменения климата и связанных с ними колебаний речного стока, четвертичной геологии и палеогеографии трансграничной белорус-

ско-польско-украинской территории, применение геофизических методов при выполнении прогнозно-минерагенических исследований, гидрогеохимические аспекты медицинской геологии, агромелиоративные мероприятия введения в сельскохозяйственный оборот залежных земель. Большой интерес у аудитории вызвала дискуссия по вопросу современного состояния и перспектив дальнейшего развития географического образования в Беларуси. В обсуждении этой темы приняли участие представители ведущих вузов страны.

Работа конференции продолжилась на следующий день в рамках пяти секционных заседаний. Выступающие представили результаты исследований в области региональной геологии и минерагении, климатологии и метеорологии, гидрологии, геоэкологии, биологии, медицинской и социально-экономической географии, общих проблем природопользования и природообустройства. Всего было заслушано около 90 докладов от сотрудников высших учебных заведений, производственных, проектных и научных организаций.

На третий, завершающий день конференции была организована экскурсия в г. п. Ружаны Пружанского района и г. Коссово Ивацевичского района Брестской области. В ходе ее участники конференции познакомились с историей Ружанского дворца – резиденцией рода Сапегов (XVII–XVIII вв.), музея-усадьбы Тадеуша Костюшко (здание реконструировано на фундаменте XVIII в.) и Дворцом Пусловских (Коссовский замок) – уникальным памятником неоготической архитектуры XIX в.

М. А. Богдасаров, Е. А. Кухарик

ЮБИЛЕЙ
JUBILEE**К 80-ЛЕТИЮ ПРОФЕССОРА В. Б. КАДАЦКОГО**
TO THE 80th ANNIVERSARY OF V. B. KADATSKY

В июле 2021 г. исполнилось 80 лет со дня рождения одного из ведущих ученых в области биосфероведения, палеогеографии и геохимии ландшафтов доктора географических наук, профессора Валерия Борисовича Кадацкого.

Валерий Борисович родился 28 июля 1941 года в г. Саратове (Россия) в семье служащих. После войны семья переехала в Беларусь в г. Молодечно по месту службы отца. С 1948 по 1958 г. – учеба в Молодечненской школе № 2. По окончании школы два года работал на производстве. Первый опыт географических исследований получил в полевом отряде Аэрогеодезического предприятия в Амурской области.

С 1960 по 1965 г. учился на географическом факультете БГУ, после окончания которого был распределен в Белорусский геологоразведочный институт. В 1973 г. был принят в лабораторию геохимии ландшафтов Института геохимии и геофизики АН Беларуси. Через два года защитил кандидатскую диссертацию на тему «Геология и палеогеография верхнего плейстоцена востока Белорусского Поозерья», за что ему была присвоена ученая степень кандидата геолого-минералогических наук. В 1977 г. был избран на должность старшего научного сотрудника этого же института.

В этот период основными направлениями научной деятельности В. Б. Кадацкого являлись палеогеография антропогенного периода, изучение геохимического фона поверхностных образований территории Беларуси. В период с 1978 по 1981 г. участвовал в проектах по медицинской географии, которые позволили оценить влияния геохимических факторов на распространение онкозаболеваемости населения и охарактеризовать распределение ряда химических элементов в ландшафтах в различным уровнем интенсивности заболеваний.

Судьба Валерия Борисовича распорядилась таким образом, что ему в разные годы пришлось много работать и общаться с академиком К. И. Лукашевым, академиками Г. И. и Р. Г. Гарецкими, членом-корреспондентом В. А. Кузнецовым, профессором Э. А. Левковым, профессионалами в своих областях Л. Н. Вознячуком и А. А. Хомичем. На протяжении полутора десятков лет (1975–1990 гг.) В. Б. Кадацкий являлся членом Совета по Биосфере АН Беларуси и одновременно неизменным секретарем секции Совета по минерально-сырьевым ресурсам. В то время это была своеобразная площадка для обсуждения проблем связанных с разработкой полезных ископаемых и их экологических последствий. Валерий Борисович принимал активное участие в организации выездных сессий непосредственно на горнодобывающие предприятия в Солигорск, Рубу, Микашевичи, Красносельский и др. Все это способствовало становлению В. Б. Кадацкого, как ученого-естественноиспытателя с широким кругозором и энциклопедическими знаниями.

В 1990 г. Валерий Борисович организовал и возглавил лабораторию трансформации вещества и энергии в геосистемах в только что созданном Институте проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси (создан на базе Института торфа АН БССР и географических структурных подразделений из Института геохимии и геофизики АН БССР). В соответствии с тематикой лаборатории основными изучаемыми проблемами становятся вопросы рационального природопользования, геохимических изменений в природной среде под влиянием природных процессов и техногенной деятельности человека, миграции технофильных микроэлементов в ландшафтах Беларуси.



После Чернобыльской катастрофы В. Б. Кадацкий с мая 1986 г. активно включился в радиационную тематику. Неоднократно организовывал и участвовал в экспедициях в 30-км зону, другие регионы Беларуси, подвергнувшиеся интенсивному радиационному загрязнению. Радиационно-геохимические исследования ландшафтов Беларуси, выполняемые под руководством Валерия Борисовича, были поддержаны МАГАТЭ.

По результатам исследований поведения и распределения микроэлементов и радионуклидов в ландшафтах Беларуси в 1995 г. Валерием Борисовичем была успешно защищена докторская диссертация по географическим наукам на тему «Технофильные элементы в ландшафтах Беларуси».

В исследовательской работе В. Б. Кадацкий много внимания уделял и уделяет роли живого вещества в биосфере. И это не случайно. Истоки интереса к живому веществу, его участия в природных процессах относятся еще к периоду работы Валерия Борисовича над кандидатской диссертацией, когда он освоил под руководством известного палинолога Нины Александровны Махнач методику палинологического анализа и применял его в палеогеографических исследованиях. Свидетельством тому первая монография Валерия Борисовича «Развитие биосферы в голоцене» (совместно с К. И. Лукашевым, 1978). В дальнейшем изучая поведение и распределение химических веществ в ландшафтах, формы нахождения, ассоциации химических элементов, Валерий Борисович особое внимание обращает на биогенную форму миграции химических веществ. Обострившиеся глобальные экологические проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды и климатическими изменениями, а также ознакомление с творческим наследием В. И. Вернадского подтолкнули Валерия Борисовича к более плотному занятию проблемой роли живого вещества в биосфере, к разработке им гипотезы о влиянии живого вещества на климатическую составляющую биосферы. Результаты исследований этого периода он изложил в монографиях «Климат как продукт биосферы» (1986) и «Биосфера как система» (1997). В частности, в первой из них им была высказана мысль о том, что на фоне продолжающейся вынужденной трансформации ландшафтной среды климатические сюрпризы будут происходить все чаще, а их амплитуды будут усиливаться.

Почти два десятилетия (с 2003 г.) Валерий Борисович посвятил педагогической деятельности будучи профессором кафедры физической географии Белорусского государственного педагогического университета имени М. Танка. Одновременно продолжая разработку проблемы роли биосферных процессов в изменяющемся мире подготовил по данной тематике монографию «Введение в ноосферологию» (2010) и ряд статей, в частности, «Уроки биосферы» (2017). Одним из уроков биосферы, по мнению профессора Кадацкого, является тот факт, что «нынешнее глобальное потепление не более чем очередной природный ритм и его вариации не зависят от антропогенной деятельности. Однако из-за нарастающей эксплуатации природных ресурсов, деградация ландшафтов в обозримые годы усилятся. Биосфера, как самая сложная система, будет нейтрализовать эти последствия и на локальном, и на глобальном уровне. Поэтому экстремальные погодные сюрпризы и аномалии будут нарастать и далее. И именно эта ситуация, складывающаяся в настоящее время, заставит цивилизацию более осмотрительно и бережно строить взаимоотношение «природа-общество».

По результатам исследований В. Б. Кадацкий подготовил и опубликовал более 200 научных работ, в том числе 7 монографий и учебников, подготовил 3-х кандидатов наук.

Поздравляем Валерия Борисовича с юбилеем и желаем ему здоровья и новых творческих успехов во благо устойчивого развития биосферы и ее перехода в ноосферное состояние.

*Р. Г. Гарецкий, В. С. Хомич, М. П. Оношко,
Т. И. Кухарчик, С. В. Савченко, И. П. Самсоненко*

ПАМЯТИ УЧЕНОГО
IN THE MEMORY OF A SCIENTIST

ПАМЯТИ ОРГАНИЗАТОРА АКАДЕМИЧЕСКОЙ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ НАУКИ
А. А. ХОМИЧА
IN THE MEMORY OF THE ORGANIZER OF ACADEMIC GEOGRAPHIC SCIENCE
A. A. KHOMICH



2 октября 2021 г. накануне своего 90-летия не стало Александра Александровича Хомича – известного географа, с именем которого связана организация и дальнейшее развитие географической науки в НАН Беларуси.

Окончив географический факультет БГУ в 1957 г. и проработав полтора года учителем в Осовской средней школе Бегомльского района (ныне Докшицкого), А. А. Хомич поступил в аспирантуру Института геологических наук АН БССР, после окончания которой остался работать в институте. В 1963 г. Институт геологических наук был переведен в систему Госгеолкома, а геохимическая лаборатория, в которой работал А. А. Хомич, была преобразована в Лабораторию геохимических проблем и оставлена в АН БССР. В 1971 г. на ее базе академиком К. И. Лукашевым был организован Институт геохимии и геофизики АН БССР.

Во время обучения в аспирантуре и в 1960-е гг. основными научными направлениями исследований А. А. Хомича являлись геохимия и генезис озерных отложений. В 1964 г. Александром Александровичем была защищена кандидатская диссертация на тему «Современные озерные отложения водоемов Белорусского Поозерья, их состав и размещение». Результаты исследований, включающие типизацию озерных отложений, условия их образования, особенности залегания и размещения, были опубликованы в коллективной монографии «Геохимия озерно-болотного литогенеза» (1971).

В 1971 г. в только что созданном Институте геохимии и геофизики АН БССР А. А. Хомич организовал и возглавил лабораторию геохимии ландшафтов с целью развития географических исследований в недрах академии наук. Под его руководством в институте получили развитие пионерные для 1970–1980-х гг. научные и научно-прикладные исследования, касающиеся различных аспектов воздействия человека на природные комплексы Беларуси. В этот период им были выдвинуты идеи об использовании элементарных ландшафтов и локальных природно-техногенных комплексов в качестве объектов исследований при анализе воздействий на природную среду, вызванных ими изменений и последствий, а также при решении различных прикладных задач. Данные идеи и методические подходы, разработанные А. А. Хомичем, были использованы его учениками при исследованиях горнопромышленных комплексов, гидрохимической индикации ландшафтной обстановки водосборов, городских, мелиоративных, сельскохозяйственных, санирующих природно-техногенных комплексов, при изучении особенностей трансформации болот.

С целью развития географических исследований в Академии наук и подготовки научных кадров Александр Александрович приглашал лучших студентов-выпускников географического факультета БГУ. Ряд молодых сотрудников лаборатории были направлены в целевую аспирантуру ведущих географических центров Советского Союза – Института географии АН СССР, Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Института географии Сибирского отделения АН СССР (Иркутск), где они защитили кандидатские диссертации. Еще 6 кандидатов географических наук подготовил сам Александр Александрович. В последующем они составили кадровый костяк географических исследований в Институте геохимии и геофизики АН БССР, а с 1990 г. – в Институте проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси (Институте природопользования НАН Беларуси с 2008 г.).

В Институте проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси, лаборатория, возглавляемая Александром Александровичем, была переименована в лабораторию оптимизации геосистем и организации территории. Позже в 1994 г. лаборатория получила название «Оптимизации геосистем», в которой Александр Александрович проработал до конца 2000 г. в должности ведущего научного сотрудника.

Учитывая эрудицию и профессионализм А. А. Хомича, способность всесторонне анализировать проблемы природопользования он активно привлекался к работе в Научном совете по проблемам биосферы АН Беларуси, в Экологической комиссии при Президиуме АН Беларуси, в Межведомственных комиссиях по разработке научных и научно-технических программ по природоведческой тематике. Александр Александрович являлся руководителем межведомственной рабочей группы по разработке «Прогноза возможных изменений в биосфере в результате развития отраслей народного хозяйства Белорусской ССР на перспективу до 2000 года», выполненного в 1974–1975 гг. под руководством академика К. И. Лукашева.

Александру Александровичу как талантливому организатору удалось сплотить вокруг себя коллектив единомышленников, создать хорошую творческую атмосферу. Как результат, географическое направление, организованное и длительное время им возглавляемое, устойчиво развивается и в настоящее время. Научные результаты, успешные защиты кандидатских и докторских диссертаций его учениками и учениками его учеников обеспечили повышение кадрового потенциала и развитие географической науки в НАН Беларуси. В существовании и дальнейшем развитии академической эколого-географической научной школы безусловно большая заслуга ее организатора Александра Александровича Хомича.

Александр Александрович Хомич останется в нашей памяти как Ученый и Учитель с большой буквы, географ по призванию, человек, который всегда щедро делился с учениками и коллегами своими идеями и энциклопедическими знаниями настоящего естествоиспытателя.

*Р. Г. Гарецкий, И. И. Лиштван, В. Ф. Логинов, А. В. Матвеев,
В. С. Хомич, Т. И. Кухарчик, С. В. Какарека,
О. В. Кадацкая, Н. В. Ковальчик, М. И. Струк*

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция журнала «Природопользование» просит авторов руководствоваться приведенными ниже правилами.

I. Статьи о результатах работ, проведенных в научных учреждениях, должны иметь разрешение на опубликование (сопроводительное письмо ректората или дирекции соответствующего института либо выписку из протокола заседания ученого совета, отдела или кафедры, а также акт экспертизы).

II. Статья представляется в редакцию на белорусском или русском языках; шрифт – Arial, кегль – 10 (в том числе в формулах); межстрочный интервал – одинарный. Занумерованные формулы выключаются в отдельную строку. Статья должна быть подписана всеми авторами.

III. Статья должна иметь следующую структуру:

1. Индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК);
инициалы и фамилии авторов;

название статьи;

полное наименование учреждений, где работают авторы, с указанием города и страны.

2. Аннотация (авторское резюме) объемом 150–250 слов должна кратко представлять результаты работы и быть понятной, в том числе и в отрыве от основного текста статьи; должна быть информативной, хорошо структурированной (один из вариантов написания аннотации – краткое повторение структуры статьи, включающее введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение или выводы).

3. Ключевые слова – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования; рекомендуемое количество ключевых слов 5–10.

4. Затем метатекстовые данные (все то, что предшествует основному тексту статьи) приводятся на английском языке, причем аннотация должна быть оригинальной (т. е. не являться дословным переводом русскоязычной аннотации). Если статья англоязычная – вышеуказанные данные приводятся на русском (белорусском) языке.

5. Основной текст статьи должен составлять 10–16 с. (т. е. около 40 тыс. знаков); в этот объем также входят таблицы и рисунки, число которых не должно превышать 10. Изложенный материал должен быть четко структурированным: введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы). В русско- и белорусскоязычных статьях рекомендуется делать подрисуночные подписи и надписи на самих иллюстрациях на двух языках – русском (белорусском) и английском.

6. Список использованной литературы (не более 40 ссылок) оформляется в соответствии с требованиями Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь (ГОСТ 7.1-2003). Цитированная литература приводится общим списком по мере упоминания, ссылки в тексте даются порядковым номером в квадратных скобках (напр., [1]); ссылки на неопубликованные работы не допускаются).

7. Затем приводится список цитированных источников в романском алфавите («References») со следующей структурой: авторы (транслитерация), название статьи в транслитерированном варианте [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках], название русскоязычного источника (транслитерация) [перевод названия источника на английский язык – парафраз (для журналов можно не делать)], выходные данные с обозначениями на английском языке.

7. Если присутствует информация о финансировании (поддержке грантами проектов и т. п.), ее следует давать на русском (белорусском) и английском языках под заголовками «Благодарности» («Падяяка»), «Acknowledgements».

IV. Для подготовки метаданных (так называемый информационный лист) на отдельной странице следует указать на русском и английском языках для каждого автора: фамилию, имя и отчество (полностью), звание, должность, место работы с указанием адреса, контактную информацию (e-mail, телефоны).

V. Электронный вариант статьи предоставляется на диске, флэшке или присыпается по электронной почте в редакцию журнала – info@nature-nas.by. Текст должен быть набран в Word под Windows, формулы – в редакторе MathType.

Правила оформления статьи:

параметры страницы – формат А4; поля – верхнее и нижнее по 2,5 см, левое и правое по 2 см (**страницы не нумеровать!**);

текст набирается шрифтом Arial, кегль 10;
межстрочный интервал – одинарный;
абзацный отступ – 10 мм.

Вставку символов выполнять через меню «Вставка\Символ». Выключку вверх и вниз (C², C₄) выполнять через меню «Формат\Шрифт\Верхний индекс», «Формат\Шрифт\Нижний индекс». Латинские буквы необходимо набирать курсивом, греческие – прямо (для набора греческих символов следует пользоваться гарнитурой Symbol). Обозначения математических функций (lim, sup, In, sin, Re, Im и т. п.), символы химических элементов (N, C1) также набираются прямым шрифтом.

VI. Черно-белые и цветные рисунки вставляются в текст статьи (Word) после первого упоминания о них, а также даются в виде отдельных файлов в графическом формате (300 точек на дюйм). Фотографии, помещаемые в статье, должны иметь контрастное черно-белое или цветное изображение. Желательно предоставлять иллюстрации в формате оригинала (Corel, диаграммы в Excel и т. д.), т. е. в той программе, в которой они выполнены. Текст на рисунках набирается основной гарнитурой, причем начертание символов (греческое, латинское) должно соответствовать их начертанию в тексте. Размер кегля соизмерим с размером рисунка (желательно 9 пунктов). Фотографии представляются в виде файлов (tif, jpg, png, eps) и в распечатанном виде. **Таблицы** должны иметь названия на русском и английском языках и располагаться непосредственно по тексту. Не рекомендуется выполнять горизонтальные таблицы. Следует различать дефис «-» и тире «—». В тексте тире отделяется единичными пробелами, между цифрами и числами тире ставится без пробелов.

VII. Поступившая в редакцию статья направляется на рецензию. Основным критерием целесообразности публикации является новизна и информативность статьи. Если по рекомендации рецензента статья возвращается автору на доработку, то переработанная рукопись вновь рассматривается редколлегией. Статьи не по профилю журнала возвращаются авторам после заключения редколлегии.

Материалы для публикации следует направлять по адресу: ул. Ф. Скорины, 10, комн. 202, редакция журнала «Природопользование», 220076, г. Минск, Республика Беларусь, либо по электронной почте: info@nature-nas.by. Тел. для справок: +375 17 325 84 55.

Научное издание
Scientific publication

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ
NATURE MANAGEMENT

№ 2, 2021

Редактор Н. Т. Гавриленко
Editor N. T. Gavrilenko

Компьютерная верстка Т. Н. Козловская
Computer page making T. N. Kozlovskaya

Переводчик М. Ю. Кравченко
Translator M. U. Kravchenko

Подписано в печать 28.12.2021. *Signed into print 28.12.2021.*
Формат 60×90/8. Бумага офсетная. *60×90/8 format. Office paper.*
Гарнитура Ариал. Печать цифровая. *Arial garniture. Digital print.*
Усл. печ. л. 18,7. *Conditional printed sheets 18,6.*
Уч.-изд. л. 15,03. *Conditional edited sheets 15,03.*
Тираж 120 экз. *Circulation 120 copies.*
Заказ № 73. *Order No. 73.*

Полиграфическое исполнение
Государственное предприятие
«СтройМедиаПроект».
Свидетельство о государственной
регистрации издателя,
изготовителя, распространителя
печатных изданий
№ 2/42 от 13.02.2014.
Ул. В. Хоружей, 13/61, 220123, г. Минск

Polygraph execution
State Enterprise
‘StroiMediaProject’.
The Certificate of state registration
of the publisher, manufacturer,
distributor of
printed publications.
No. 2/42 from 13.02.2014.
13/61, V. Choruzhey Str., 220123, Minsk