

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ И ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПОВТОРНО ОБВОДНЕННЫХ ВЕРХОВЫХ БОЛОТ БОРИСОВО-ГЛУССКОГО ТОРФЯНОГО РАЙОНА (РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ)

О. Н. Ратникова, В. И. Пашкевич, А. Т. Борш, Т. И. Макаренко

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. В статье представлены результаты исследований повторно обводненных верховых болот Борисово-Глуцкого торфяного района торфяно-болотной области крупных верховых и низинных болот полого-волнистой абляционной равнины Беларуси. Они включали изучение гидрологического режима болот (высоких, средних, низких годовых значений уровней грунтовых вод и амплитуды колебаний), гидрохимического режима (общей минерализации грунтовых болотных вод, содержания анионов и катионов, величины окислительно-восстановительного потенциала, кислотности), общетехнических характеристик торфа (ботанического состава и степени разложения торфа, влажности, зольности, эмиссии и поглощения диоксида углерода). Установлено, что болота верхового типа после проведения мероприятий экологической реабилитации проходят две стадии восстановления гидрологического и гидрогеохимического режима. Прослежен положительный эффект от повторного обводнения, выполненного на площади 2,6 тыс. га: уменьшение глубины залегания уровней грунтовых болотных вод в 2,4 раза, уменьшение амплитуды колебаний и сокращение деятельного горизонта в 2 раза и, как следствие, насыщение верхних слоев торфяной залежи водой, что обусловило восстановление видового разнообразия болотных фитоценозов. В настоящее время здесь преобладают сосново-кустарничково-сфагновые фитоценозы с общей минерализацией грунтовых вод до 28–57 мг/л и общим гидрологическим фоном, близким к естественному фону верховых болот Беларуси. Эмиссия углерода сменилась его поглощением и накоплением в торфяной залежи. Благодаря проведенным мероприятиям сформировавшийся гидрологический режим торфяников будет способствовать смягчению климата района и на прилегающих лесо- и сельскохозяйственных территориях, а также обеспечит устойчивую среду обитания для биологического разнообразия.

Ключевые слова: болото; торфяник; торфяно-болотный район; гидрологический режим; гидрогеохимический режим; повторное обводнение; лесохозяйственное использование.

Для цитирования. Ратникова О. Н., Пашкевич В. И., Борш А. Т., Макаренко Т. И. Гидрологический и гидрогеохимический режим повторно обводненных верховых болот Борисово-Глуцкого торфяного района (Республика Беларусь) // Природопользование. – 2026. – № 1. – С. 172–182.

HYDROLOGICAL AND HYDROGEOCHEMICAL REGIME OF RE-FLOODED UPPER BOGS OF THE BORISOVO-GLUSS PEAT REGION (REPUBLIC OF BELARUS)

O. N. Ratnikova, V. I. Pashkevich, A. T. Borsh, T. I. Makarenko

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

Abstract. The article presents the results of research on re-watered raised bogs in the Borisovo-Gluss peat district of the peat-and-bog region of large raised and low-lying bogs in the gently undulating ablation plain of Belarus. They included the study of their hydrological regime (high, medium, and low annual values of groundwater levels and the amplitude of fluctuations), hydrochemical regime (total mineralization of groundwater, content of anions and cations, redox potential, and acidity), general technical characteristics of peat (botanical composition and degree of peat decomposition, moisture content, ash content, and carbon dioxide emission and absorption). It was found that after environmental rehabilitation measures, raised-type bogs undergo two stages of restoration of their hydrological and hydrogeochemical regimes. The positive effects of reirrigation, carried out over an area of 2,600 hectares, were observed: a 2.4-fold reduction in groundwater table depth, a reduction in fluctuation amplitude, and a halving of the active horizon. Consequently, the upper layers of the peat deposit were saturated with water, leading to the restoration of the species diversity of the bog phytocoenoses. Currently, pine-dwarf shrub-sphagnum phytocoenoses predominate here, with a total groundwater mineralization of up to 28–57 mg/L and a general hydrological background similar to that of the natural raised bogs of Belarus. Carbon emissions have been replaced by absorption and accumulation in the peat deposit. Thanks to the measures taken, the established hydrological regime of the peatlands will help mitigate the local climate within both the adjacent forest and agricultural areas, as well as ensure a sustainable habitat for biological diversity.

Keywords: bog peatlands; peat-swamp area; hydrological regime; hydrogeochemical regime; rewatering; forestry use.

For citation. Ratnikova O. N., Pashkevich V. I., Borsh A. T., Makarenko T. I. Hydrological and hydrogeochemical regime of re-flooded raised bogs of the Borisov-Glussky peat region (Republic of Belarus). *Nature Management*, 2026, no. 1, pp. 172–182.

Введение. Болото в естественном состоянии – это единственная из существующих геоэкосистем, где происходит постоянное накопление органического вещества в виде торфа, что обеспечивает долговременный вывод из атмосферы избыточного количества диоксида углерода. Вместе с формированием и аккумуляцией торфа происходит процесс накопления биогенных химических элементов – кислорода, водорода, углерода, фосфора, калия, магния и других микроэлементов, входящих в состав растений-торфообразователей. За счет сохранения тепла болота регулируют микроклимат, увлажняют воздух, делая его более мягким, регулируют сток рек, удерживая и отдавая воду в засушливый период. Однако эти процессы происходят лишь в торфяниках, находящихся в естественном состоянии. Необходимым условием для торфонакопления является преобладание ежегодного прироста новой органической массы над количеством ежегодного разлагающегося материала. Интенсивность протекания этого процесса зависит от положения уровня грунтовых болотных вод (далее – УГВ) в деятельном горизонте, температуры и продолжительности вегетационного периода [1, 2].

Как известно, основным фактором антропогенного воздействия на торфяник является гидротехническая осушительная мелиорация. Сброс воды по осушительным каналам воздействует на естественный УГВ, активируя геохимический вынос минеральных компонентов и других, и, как следствие, обуславливает изменение структуры растительного покрова. Метеорологические условия, торфяные и лесные пожары также приводят к изменению видового состава болотной растительности, однако они имеют непостоянный характер, и с течением времени болотные фитоценозы, испытывавшие их воздействие, восстанавливаются.

Цели работы – оценить динамику гидрологического и гидрогеохимического режима болот, выявить процессы и стадии их восстановления после проведения мероприятий экологической реабилитации.

Объекты исследования – ключевые участки повторно обводненных торфяников Копыш, Рудянец и Червенское верхового типа торфяной залежи, расположенные в Борисово-Глусском торфяном районе торфяно-болотной области крупных верховых и низинных болот пологоволнистой абляционной равнины Беларуси.

Предмет исследования – гидрологический и гидрогеохимический режимы.

Под термином *грунтовые (болотные) воды* понимаются подземные воды первого от поверхности земли безнапорного водоносного горизонта, получающего водное питание на площади его распространения [3]. При этом УГВ – это граница, ниже которой торфяная залежь насыщена водой [4].

Основные исследуемые параметры: гидрологический режим (минимум, максимум и среднегодовые (среднегодовое) значения УГВ, положение кривой хода УГВ относительно поверхности болота в течение гидрологического года (вегетационного периода)); гидрохимический режим (химический состав грунтовых вод) (общая минерализация, содержание анионов и катионов, окислительно-восстановительный потенциал и кислотность воды), а также общетехнические свойства торфа в залежи, величина эмиссии и стока диоксида углерода.

Процесс исследования включал в себя четыре основных этапа.

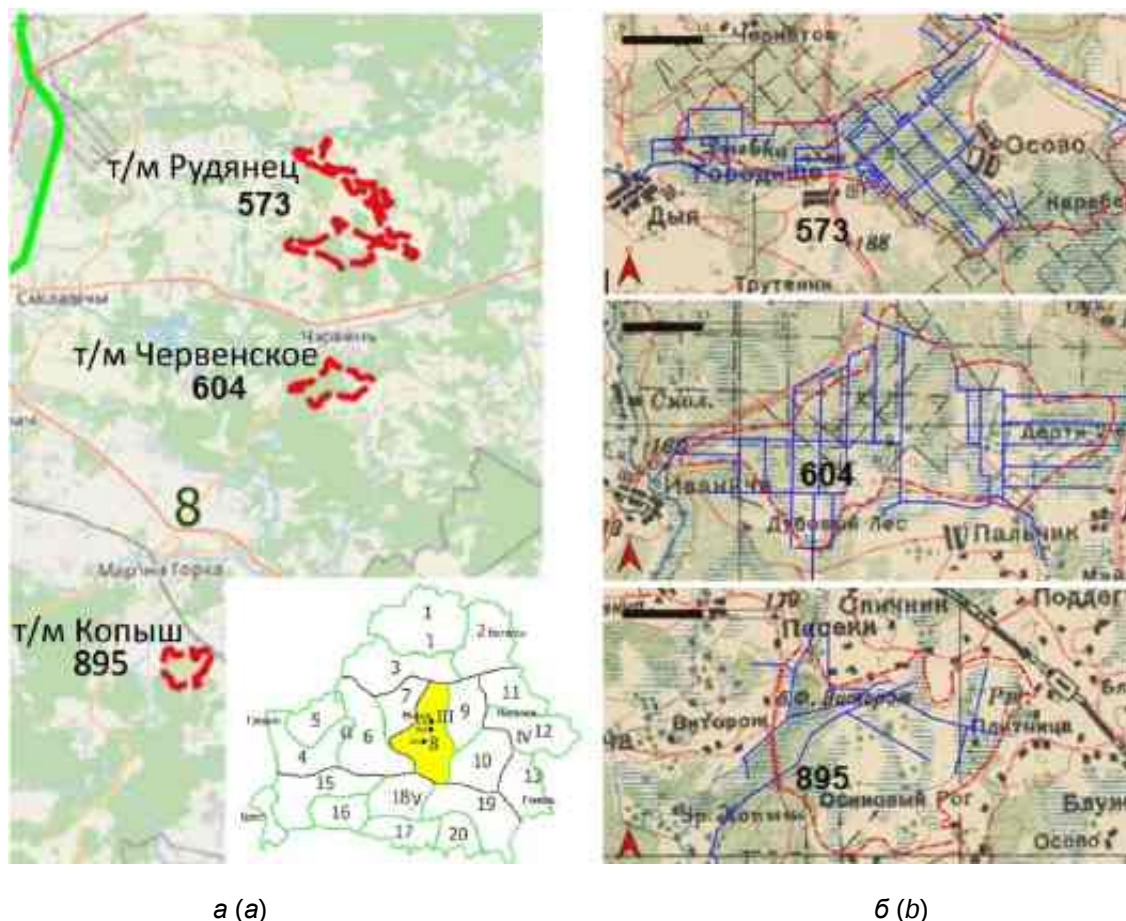
Подготовительный: изучение и анализ имеющейся информации об объектах исследования: геоморфологических, гидрологических характеристик торфяников и торфяного района исследования, а также картографического материала и космоснимков.

Полевой: гидрологические исследования, которые проводили при помощи современного оборудования – автоматических датчиков регистрации, позволявших измерять УГВ дважды в сутки; гидрохимические – в обустроенных смотровых колодцах (скважинах) на пунктах наблюдения (далее – ПН) измерения окислительно-восстановительных потенциалов (Eh) и кислотности (pH) грунтовых (болотных) вод при помощи портативного оборудования, а также отбор проб воды для дальнейших лабораторных исследований химического состава; геологические – включавшие отбор проб торфа торфяным буром, анализ отобранных образцов в полевых условиях на ботанический состав и степень разложения и подготовка образцов для лабораторных испытаний на общетехнический анализ торфа.

Лабораторные исследования, которые включали анализ отобранных образцов (проб) грунтовых болотных вод и торфа стандартизированными методами для каждого параметра в аккредитованной лаборатории биогеохимии и агроэкологии Института природопользования НАН Беларуси.

Информационно-аналитические исследования, которые включали статистическую обработку результатов полевых и лабораторных испытаний; оценку современного состояния гидрологического и гидрогеохимического режима восстанавливаемых болот, прогноз его изменения.

Результаты и их обсуждение. Исследуемые ключевые участки верховых болот Рудянец (кадастровый номер 573), Червенское (604) и Копыш (895) расположены в Борисово-Глуском торфяном районе (№ района 8) торфяно-болотной области крупных верховых и низинных болот пологоволнистой абляционной равнины Беларуси (№ области III) (рис. 1) [5]. Их общая площадь в нулевой границе – 5733 га, площадь восстанавливаемой части верховых болот – 2638 га.



— — граница торфяно-болотной области; — — граница торфяно-болотного района;
I–V – номер торфяно-болотной области [5]; 1–20 – номер торфяно-болотного района [5];
573, 604, 895 – кадастровые номера торфяников Рудянец, Червенское, Копыш;
- - - нулевая граница торфяника; — — современные осушительные каналы

Рис. 1. Картограммы расположения исследуемых торфяников относительно районирования территории Беларуси (а), исторической карты РККА 1933 г. М 1 : 50 000 (б) и современной гидрологической сети

Fig. 1. Map-schemes of the location of the studied peatlands in relation to the zoning of the territory of Belarus (a), the historical RKKA map of 1933 M 1 : 50 000 (b), and the modern hydrological network

На начальной стадии своего существования эти болота, располагавшиеся на больших плоских междуречных территориях, не имели намывного питания, а получали преимущественно грунтовое водно-минеральное питание. По мере роста болота грунтовое питание сократилось, уступая место атмосферному [5]. На слабоволнистой поверхности территории Борисово-Глуского торфяного района формировались болота (участки болот) Рудянец, Червенское и Копыш верхового типа с грядово-мочажинным комплексом растительности. В прошлом болотный массив (Рудянец) представлял сложную систему из отдельных болот, в последующем разросшихся и объединившихся. К верховому типу болот относится южный участок болотного массива Рудянец, на остальной части преобладают низинные виды торфа.

Гидрогеохимические условия болот определяются условиями их водно-минерального питания, связанными с геологическим строением торфяно-болотного района и климатом. В целом район исследования характеризуется высокой заторфованностью (около 21 %), торфяники занимают большие площади водоразделов и междуречий в бассейне реки Березины.

Питание болот верхового типа осуществляется восполнением за счет атмосферных осадков. Благодаря устойчивости мхов к разрушению, высокой кислотности среды (рН 2,6–3,6), а также изоляции сфагновых фитоценозов от исходных условий (минерального ложа и грунтовых вод) в болотных водах поддерживается крайне бедная концентрация минеральных веществ – в основном менее 50 мг/л. Ионный состав вод верховых болот имеет генетическое сходство с ионным составом атмосферных осадков (среди катионов преобладают Ca^{2+} и NH_4^+ , среди анионов – Cl^- и SO_4^{2-}).

Первичными очагами заболачивания на исследуемых болотах были незначительные понижения рельефа в различных частях территории, на которых торфообразование происходило в условиях богатого водно-минерального питания за счет активной разгрузки грунтовых вод и вод поверхностного стока с прилегающих суходолов. Это способствовало образованию торфа низинного типа – древесно-сфагнового и древесно-тростникового. Его накопленная мощность не превышала 0,5 м, степень разложения достигала 30–50 %. С ростом залежи и изменением источников водно-минерального питания низинный тип торфа сменялся осоковым, осоково-гипновым, сфагновым, т. е. переходными видами торфа. Когда рельеф болота приобрел выпуклую форму (современный этап развития исследуемых болот), здесь начали откладываться сфагновый, пушицево-сфагновый и комплексный виды торфа верхового типа, мощность которого достигает 3,0 м, степень разложения не превышает 10–25 %.

Анализ отобранных образцов торфа на глубину деятельного горизонта (рис. 2–4), показал, что все общетехнические характеристики торфяной залежи характерны для болота в естественном состоянии, однако наблюдается зазольение торфяной залежи верхнего (0,25 м) слоя на исследуемом ключевом участке торфяника Рудянец (зольность 6,2 %), Копыш (5,6 %) и Червенское (5,3 %). Это связано, прежде всего, с неоднократными торфяными пожарами прошлых лет и процессами минерализации торфа в условиях осушения.

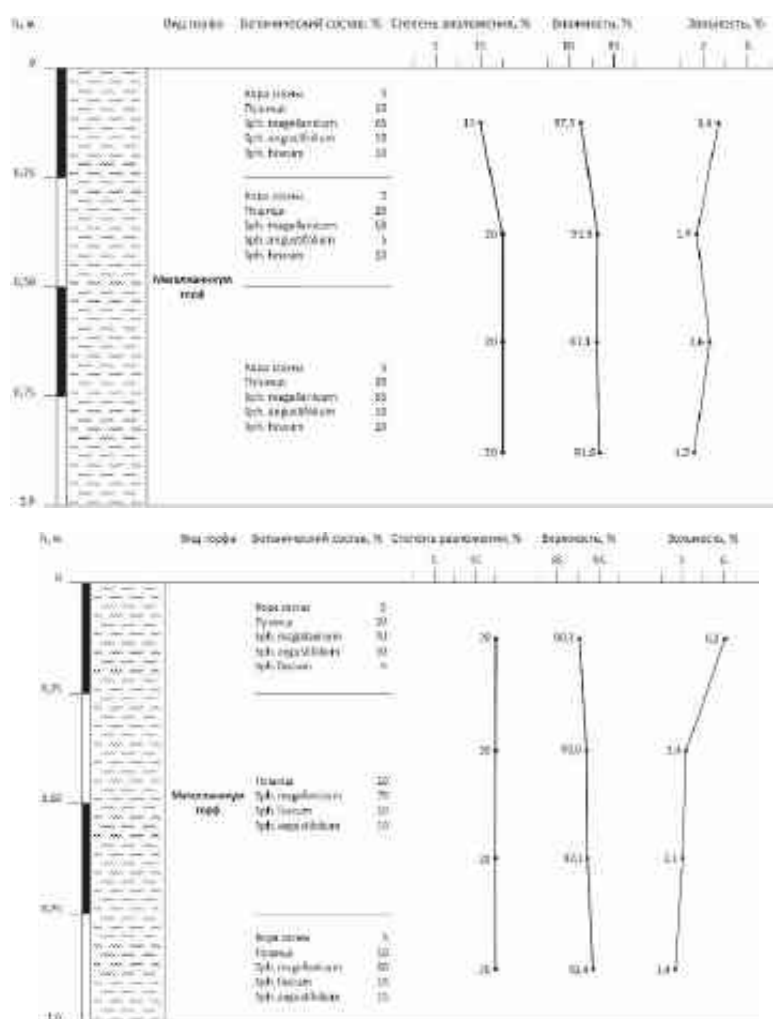


Рис. 2. Стратиграфические колонки верхнего деятельного горизонта торфяной залежи торфяника Рудянец

Fig. 2. Stratigraphic columns of the upper active horizon of the Rudyants peat deposit

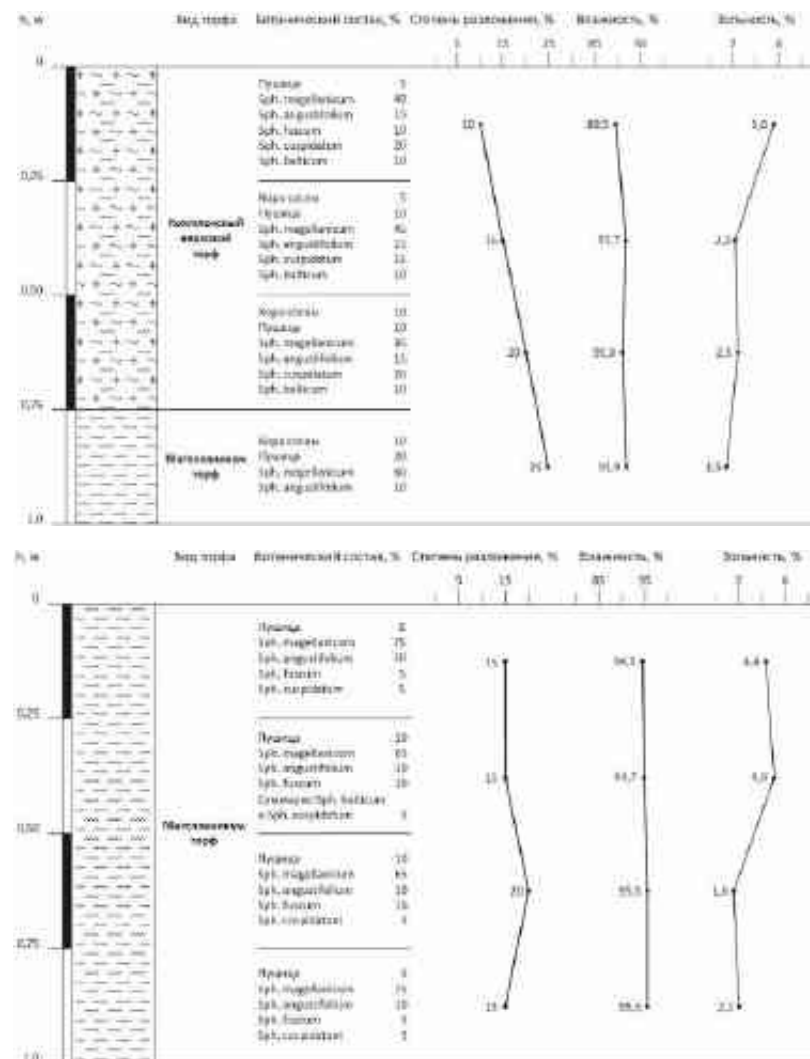


Рис. 3. Стратиграфические колонки верхнего деятельного горизонта торфяной залежи торфяника Червенское

Fig. 3. Stratigraphic columns of the upper active horizon of the peat deposit in the Chervenskoye peat bog

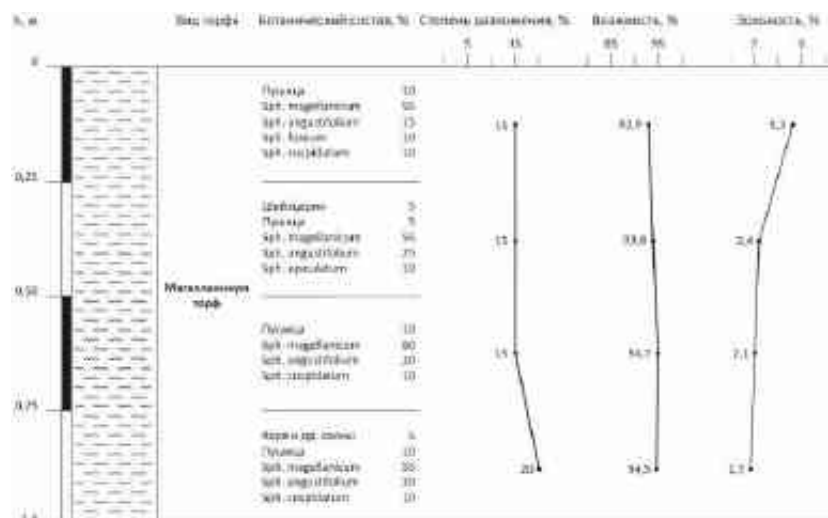


Рис. 4. Стратиграфическая колонка верхнего деятельного горизонта торфяной залежи торфяника Копыш

Fig. 4. Stratigraphic column of the upper active horizon of the peat deposit of the Kopysh peat bog

Гидротехническая мелиорация для лесохозяйственного использования в районе исследований началась совместно с работами, проводимыми по мелиорации земель колхозов и совхозов еще в 1955 г. Основной объем строительства осушительной сети происходил в период 1960–1973 гг. и был направлен, прежде всего, на понижение УГВ.

Разреженная схема осушения для лесохозяйственного использования включала сброс воды по валовым в магистральные каналы (располагаются через 500–1000 м) и далее самотеком в реки-водоприемники. Глубина залегания грунтовых вод в вегетативный период составляла более 0,5 м. Ранее было установлено, что зона влияния магистральных каналов на верховых торфяниках составляет 100–250 м, валовых каналов – 50–100 м [6–8].

Сложившийся специфический гидрологический режим после осушения на исследуемых верховых болотах обуславливал неблагоприятный водно-воздушный режим как для произрастания лесохозяйственных культур, так и для болотной растительности. Увеличение расходных составляющих водного баланса осушенных торфяников за счет интенсивного стока грунтовых болотных вод по действующей осушительной сети, особенно в весеннее половодье, привело к перераспределению их запасов на прилегающих территориях и понижению УГВ. На исследуемых торфяниках вдоль мелиоративных каналов происходили процессы деградации болотных фитоценозов, однако в частях болота, куда не распространялась зона влияния каналов, сохранилась фаза развития первичного очага заболачивания с устойчивыми общими чертами процессов формирования болотных фитоценозов верхового типа третьей фазы развития болотных массивов со слабо выпуклым рельефом поверхности и с преобладанием сосново-кустарничково-сфагновых и сфагново-мочажинных фитоценозов.

Осушение отрицательно сказалось на интенсивности роста массива в вертикальном направлении. На нарушенных участках исследуемых торфяников древесный ярус представлен обгоревшим сухостоем березы и сосны, а также порослью березы (высотой 0,5–2,5 м) и сосны (0,1–2,0 м). В кустарничковом ярусе преобладают багульник болотный, подбел, вереск обыкновенный с площадью покрытия до 100 %; из полукустарничковых – черника, голубика, брусника небольшими участками преимущественно вдоль суходолов, нулевой границы торфяника и лесных дорог. В напочвенном покрове в понижениях встречаются сфагновые мхи (площадь покрытия – 20–50 %), редко – пушица влагалищная.

Гидрологический режим болот за период наблюдений обуславливался достаточным атмосферным увлажнением – в среднем 684 мм в год. Однако отмечались засушливые периоды и периоды избыточного увлажнения. За одиннадцатилетний период исследований наблюдались годы разной водности, в засушливые годы выпадало около 430 мм (2014–2015 гг.) и около 660 мм (2018–2019 г.), а в наиболее влажные годы – свыше 700 мм (2016–2018, 2020–2021 гг.). В теплое время года – с апреля по октябрь – в среднем выпадало 421 мм, т. е. приблизительно 66 % годового количества осадков. Среднегодовая температура воздуха находилась в пределах от +7,9 до +9,1 °C [9].

До экологической реабилитации на нарушенных участках торфяников большую часть года грунтовые воды (УГВ) располагались на уровне 0,32 м ниже поверхности земли, а в меженный период УГВ опускались до отметок 0,80–1,11 м ниже поверхности земли. Среднемесячная амплитуда колебаний УГВ нестабильна на протяжении всего гидрологического года и менялась в широком диапазоне: 0,10–0,99 м (рис. 5). В зимний период УГВ составлял 0,26–0,67 м ниже поверхности земли. Подъем грунтовых вод начинался одновременно с началом снеготаяния. Величина весеннего подъема составляла 0,18–0,36 м. Величина деятельного горизонта, в котором активно шли процессы минерализации верхнего слоя торфяной залежи, достигала 1,11 м.

Проведенный ранее анализ состава грунтовых (болотных) вод исследуемых верховых торфяников до экологической реабилитации (в 2014–2016 гг.), т. е. находящихся в нарушенном состоянии, показал, что они характеризовались более нейтральной реакцией среды – от 4,1 до 7,6, а их минерализация достигала 125 мг/л, что нехарактерно для верховых болот Беларуси, находящихся в естественном состоянии [14]. Среди анионов преобладали гидрокарбонаты HCO_3^- (9,9–11,10 мг/л), хлориды Cl^- (6,8–31,5 мг/л) и фосфаты PO_4^{3-} (3,79), содержание других анионов было невелико. В составе катионов преобладали кальций Ca^{2+} (2,8–25,8), магний Mg^{2+} (1,43–45,06), калий K^+ (14,3) и азот аммонийный NH_4^+ (3,21–10,9) [6]. В отношении содержания аммония NH_4^+ , хлорида Cl^- , фосфат-иона PO_4^{3-} и иона калия K^+ можно констатировать, что это были достаточно высокие уровни антропогенного загрязнения. Воды характеризовались гидрокарбонатно-хлоридным аммонийно-кальциево-магниевым составом, нехарактерным для верховых болот, находящихся в естественном состоянии.

Изменение водного режима и неоднократные торфяные пожары на всех исследуемых участках привели к замедлению или прекращению процессов накопления органического вещества, и болотная экосистема потеряла устойчивость к самовосстановлению. Это негативно повлияло на экологическую обстановку района. Формировавшиеся в этих условиях болотные фитоценозы не соответствовали ботаническому составу в верхних слоях торфяной залежи. Эмиссия диоксида углерода с площади исследуемых нарушенных торфяников, рассчитанная по методике [10], составляла 11,3 тыс. т в год.

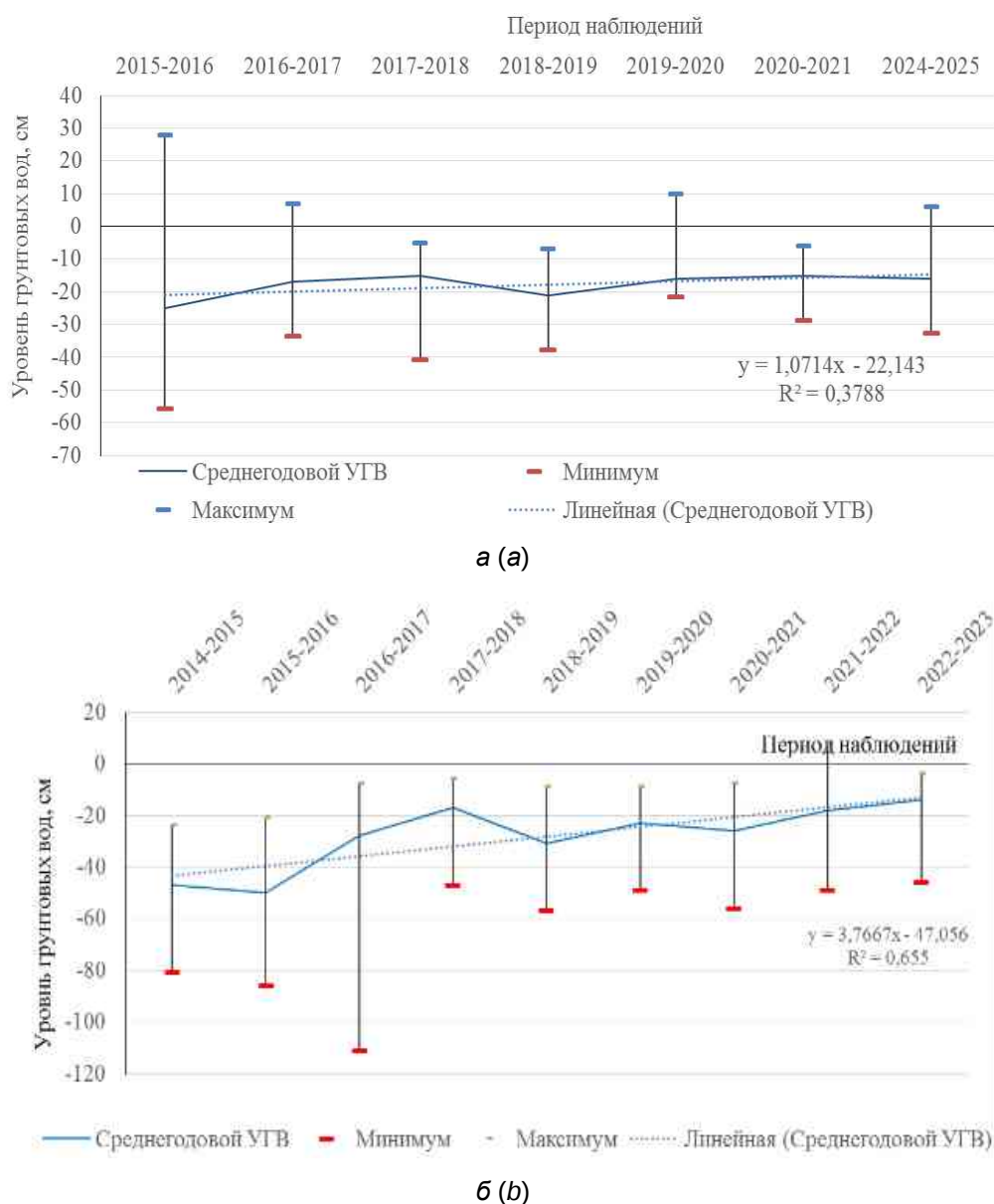


Рис. 5. Режим грунтовых вод на ключевых участках торфяников Рудянец (а), Копыш (б)

Fig. 5. Groundwater regime in key areas of Rudyants (a) and Kopysh (b) peatlands

Возвращение нарушенных торфяников в естественное состояние осуществлялось путем проведения мероприятий экологической реабилитации, направленных на восстановление, прежде всего, УГВ, свойственных болоту в естественном состоянии. Эти мероприятия были реализованы на болотном массиве Червенское в осенне-зимний период 2006 г. и на болотных массивах Копыш и Рудянец (участок Червень) в 2015 г. в рамках проектов международной технической помощи «ПРООН-ГЭФ».

На первой стадии повторного заболачивания после проведения мероприятий экологической реабилитации, направленных на накопление влаги (повторное увлажнение) в деятельном слое торфяной залежи, произошло снижение ее аэрируемости и, как следствие, усиление восстановительных процессов и ослабление окислительных. На всех участках ускорились процессы восстановления болотной растительности, характерной для верховых болот исследуемого района: происходило замещение вышних ярусов на нижние. Крутые берега магистральных каналов ушли под воду, вдоль бровки каналов наблюдалось угнетение древесного яруса (березы) и шли процессы зарастания пушицей влагалищной *Eriophorum vaginatum* и осокой топяной *Carex limosa*. Наблюдалось увеличение площади покрытия сфагновыми мхами *Sph. magellanicum*, *Sph. angustifolium* и др. На начальной стадии зарастания магистральных каналов большую роль в составе сообществ играли сплошные заросли белокрыльника. Валовые каналы интенсивно зарастали пушицей и сфагнумом.

Наблюдения за параметрами УГВ восстанавливаемых участков торфяников верхового типа позволили сделать выводы о положительной динамике уровней уже в первые годы после проведения мероприятий экологической реабилитации. Среднегодовые значения УГВ в этот период составили от 0,09 до 0,35 м ниже поверхности земли. Наблюдалась прямая корреляция УГВ с количеством выпавших осадков и обратная – с температурой воздуха.

После экологической реабилитации ход линии УГВ в течение гидрологического года существенно изменился, деятельный горизонт уменьшился до 0,6 м. Также прослеживалась динамика изменения УГВ в зависимости от сезона года: повышение УГВ весной в период интенсивного снеготаяния до 0,02 м выше поверхности земли и постепенное снижение уровней, достигающих летнего минимума, до 0,53 м ниже поверхности земли, что обуславливалось повышенным суммарным испарением с болот. Осеннее повышение уровней объясняется сокращением испарения в связи со снижением температуры воздуха.

Годовое изменение уровней характеризовалось высокими значениями УГВ в зимний и весенний периоды. Весенний подъем уровней в марте – апреле сменялся летне-осенним их снижением.

Положительный эффект от экологической реабилитации прослеживался и на смежном участке торфяника Рудянец, находившийся в естественном состоянии. Здесь наблюдались тренд повышения средних УГВ до 0,17 м ниже поверхности земли и сокращение деятельного горизонта на 0,10 м.

На второй стадии повторного заболачивания происходило увеличение обводненности за счет насыщения торфяной залежи водой. Влажность в верхнем слое (0,25 м) достигала 88–90 %, т. е. приблизилась к влажности торфа на ненарушенном участке, где она составляла 91–93 %. Сохранившиеся в естественном и находящиеся в восстанавливаемом состоянии участки верхового типа исследуемых торфяников площадью около 2,6 тыс. га стали выполнять газорегуляторную функцию. Ежегодно они начали выводить (поглощать) из атмосферы около 2,0 тыс. т диоксида углерода и выделять в атмосферу 1,8 тыс. т кислорода. Проведенные мероприятия экологической реабилитации способствовали сохранению в торфяной залежи этих торфяников около 2,1 млн т углерода, а также 57,7 млн т воды.

На исследуемых участках вследствие подъема УГВ происходит угнетение древесного яруса (березы), отмирание сухолюбивых ассоциаций и увеличение площади покрытия сфагновых мхов с преобладанием *Sph. magellanicum*, *Sph. angustifolium*, *Sph. fuscum* и др. Эта стадия развития болота может длиться весьма долгий период. При этом наблюдаются лишь некоторые изменения в соотношении растительных группировок и в их взаимном расположении.

Для данной стадии развития болот характерно образование кочек, гряд и мочажин. Такое изменение микрорельефа происходит потому, что ежегодный прирост различных видов сфагновых мхов неодинаков. Разным является и прирост торфа, образующегося из этих мхов, таких как *Sph. fuscum* и *Sph. angustifolium*. *Sph. fuscum* дает больший ежегодный прирост органического материала, а *Sph. angustifolium*, наоборот, меньший прирост торфа. Поскольку отдельные дернины сфагновых мхов остаются связанными с определенным участком произрастания в течение многих лет, это приводит к тому, что участки, занятые *Sph. angustifolium*, отстают в своем росте. Образующиеся таким образом углубления постепенно заполняются водой и превращаются в мочажины. Здесь уже *Sph. angustifolium* развиваться не может и сменяется другими мочажинными сфагновыми мхами (*Sph. Dusenii*, *Sph. balticum*, *Sph. cuspidatum*) и шейхцерией.

Гидрохимический режим вод повторно обводненных верховых болот в настоящее время формируется под воздействием совокупности факторов окружающей среды, важнейшими из которых являются атмосферные осадки, температура воздуха, влажность торфяной залежи и положение УГВ относительно поверхности болота.

Анализ гидрологического режима восстановленных болот показал, что среднемноголетние значения УГВ изменяются здесь в диапазоне от 0,10 м до 0,29 м ниже поверхности земли. Среднемноголетняя амплитуда колебаний УГВ не превышает 0,31–0,53 м. Величина деятельного горизонта составляет 0,34–0,58 м, т. е. сократилась в 2 раза. На всех исследуемых участках в грунтовых (болотных) водах преобладает слабовосстановительная геохимическая обстановка. На современном этапе развития (2025 г.) величина окислительно-восстановительного потенциала (Eh) этих вод составляет от +152 до +239 мВ. Воды кислые, величина pH 3,6–3,7, что соответствует болотам верхового типа, находящимся в естественном состоянии [11, 12]. Величина минерализации (по сумме ионов) составляет 37,8–56,8 мг/л, т. е. воды являются ультрапресными, что также характерно для верховых болот Беларуси в естественном состоянии. Изученные воды характеризуются очень высокой цветностью, достигающей 1361,0–1853,7 градусов, это обусловлено высоким содержанием растворенных в них органических веществ растительного происхождения (гуминовых и фульвовых кислот).

Грунтовые (болотные) воды на исследуемых участках характеризуются схожим катионным составом с преобладанием ионов кальция Ca^{2+} (4,0–8,1 мг/л), магния Mg^{2+} (2,34–2,43 мг/л), натрия Na^+ (0,9–6,4 мг/л) и анионным составом с преобладанием хлоридов Cl^- (10,3–21,0 мг/л), сульфатов SO_4^{2-} (4,4–17,3 мг/л) и нитратов NO_3^- (9,3–9,7 мг/л) (Рудянец и Червенское).

Таким образом, грунтовые (болотные) воды торфяников имеют достаточно сложный и весьма изменчивый химический состав. На торфяниках Рудянец и Червенское содержание в водах ионов Cl^- , NO_3^- и Na^+ несколько превышает уровни природного геохимического фона в грунтовых водах верховых болот Беларуси [13, 14], находящихся в естественных условиях, что можно рассматривать в качестве признаков небольших следов старого антропогенного загрязнения поверхностных вод. Это соответствует экологическому статусу данного торфяника, который восстанавливается в рамках мероприятий экологической реабилитации 2016 и 2008 г.

Закключение. Комплексные исследования гидрологического и гидрогеохимического режима верховых торфяников Борисово-Глусского торфяного района торфяно-болотной области крупных верховых и низинных болот пологоволнистой абляционной равнины Беларуси до и после повторного обводнения позволили выявить несколько стадий восстановления:

– *на нулевой стадии*, т. е. до начала экологической реабилитации, среднегодовой уровень грунтовых вод составлял 0,26–0,48 м ниже поверхности земли, а минимальные значения достигали 0,80–1,11 м ниже поверхности земли. Химический состав грунтовых вод характеризовался более нейтральной реакцией среды и большей минерализацией, достигавшей в некоторых случаях 124 мг/л, превышенным содержанием аммония NH_4^+ (до 10,0 мг/л), хлоридов Cl^- (до 31,5 мг/л), фосфат-ионов PO_4^{3-} (до 3,79 мг/л), кальция Ca^{2+} (до 25,8 мг/л), магния Mg^{2+} (до 45,6 мг/л), калия K^+ (до 14,3 мг/л). Это существенно превышало уровни естественного гидрогеохимического фона верховых болот и являлось результатом окислительной деструкции торфа либо прямого поступления антропогенного загрязнения. Воды характеризовались гидрокарбонатно-хлоридным, аммонийно-кальциево-магниевым составом, нехарактерным для верховых болот в естественном состоянии;

– *на первой стадии* восстановления после проведения мероприятия экологической реабилитации прослеживалось интенсивное поднятие среднегодовых УГВ в 2,0 раза, уменьшение деятельного горизонта в 1,6 раза. Это стадия перехода болота из фазы дополнительного грунтового питания в фазу атмосферного питания. Начиналось восстановление болотообразовательного процесса, который происходил до гидротехнической мелиорации;

– *на второй стадии* наблюдалась стабилизация среднегодовых уровней на отметках 0,09–0,24 м ниже поверхности земли, сокращение амплитуды колебаний УГВ до 0,28 м и деятельного горизонта до 0,25–0,40 м. Ход кривой УГВ относительно поверхности земли приобретал сглаженный характер. Отмечалось повышение влажности торфяной залежи деятельного горизонта при кислой реакции водной среды ($\text{pH} < 3,6$) и меньшей ее минерализации (29–56 мг/л). При этом воды характеризовались аммонийно-хлоридным, нитратно-хлоридным, натриево-магниевым-кальциевым составом.

Мероприятия экологической реабилитации исследуемых участков торфяников способствовали повышению среднегодовых значений УГВ до уровня поверхности земли, эмиссия сменилась поглощением и накоплением в торфяной залежи диоксида углерода. Эта стадия развития болота может длиться весьма длительный период и требует тщательного наблюдения. На данной стадии прогнозируются изменения в соотношении растительных группировок и их взаимном расположении, в скорости роста торфяной залежи и ежегодном приросте органического материала. Сформировавшийся благодаря проведенным мероприятиям гидрологический и гидрогеохимический режим положительно отразится на всех биосферных функциях болот, обеспечив устойчивую среду обитания для биологического разнообразия, восстановлению верховых болот, а также уменьшит вероятность возникновения пожаров на торфяниках.

Благодарности. Исследования выполнены в рамках мероприятия 139 «Проведение наблюдений, оценка состояния торфяников» подпрограммы 5 «Национальная система мониторинга окружающей среды» государственной программы «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2021–2025 годы.

Acknowledgements. The research was carried out as part of Activity 139 “Observations and Assessment of Peatlands” of Subprogram 5 “National Environmental Monitoring System” of the State Program “Environmental Protection and Sustainable Use of Natural Resources” for 2021–2025.

Список использованных источников

1. Иванов, К. Е. Гидрология болот / К. Е. Иванов. – Л. : Гидрометеоиздат, 1953. – 296 с.
2. Carbon sequestration in riparian forests: A global synthesis and meta-analysis / К. Е. Dybala, V. Matzek, T. Gardali, N. E. Seavy // *Global Change Biology*. – 2019. – Vol. 25, № 1. – P. 57–67.
3. Об охране и использовании торфяников : Закон Респ. Беларусь от 18 дек. 2019 г. № 272-3.
4. Торф. Термины и определения : СТБ 2308-2013. – Мн. : Госстандарт : БелГИСС, 2013. – 47 с.

5. Пидопличко, А. П. Торфяные месторождения Белоруссии / А. П. Пидопличко; под ред. М. И. Нейштадт. – Мн. : Изд-во Акад. наук Бел. ССР, 1961. – 193 с.
6. Ракович, В. А. Восстановление нарушенного мелиорацией лесного болота Червенское (Галое) / В. А. Ракович, О. Н. Ратникова // Природопользование : сб. науч. тр. – Мн., 2012. – Вып. 21. – С. 155–165.
7. Ратникова, О. Н. Категории нарушенности гидрологического режима на торфяных месторождениях и болотах / О. Н. Ратникова // Молодежь в науке – 2014 : прил. к журн. «Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» : в 5 ч. / Нац. акад. наук Беларусі [и др.] ; редкол.: С. А. Усанов (гл. ред.) [и др.]. – Мн. : Бел. навука, 2015. – Ч. 1 : Серия хим. наук. – С. 77–81.
8. Ратникова, О. Н. Оценка эффективности мероприятий экологической реабилитации на торфяном месторождении Рудянец I / О. Н. Ратникова // Молодежь в науке – 2017 : сб. материалов Междунар. конф. молодых ученых, Минск, 30 окт. – 2 нояб. 2017 г. : в 2 ч. / Нац. акад. наук Беларусі [и др.] ; редкол.: В. Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Мн. : Бел. навука, 2018 ; Ч. 2. Гуманитарные, медицинские, физико-математические, физико-технические, химические науки. – С. 398–402.
9. Погода и климат. – URL: <https://www.pogodaiklimat.ru/history.php?id=by> (дата обращения: 07.04.2026).
10. Охрана окружающей среды и природопользование. Климат. Выбросы и поглощение парниковых газов. Правила расчета выбросов и поглощения от естественных болотных экосистем, осушенных торфяных почв, выработанных и разрабатываемых торфяных месторождений : ТКП 17.09-02-2011 (02120). – Мн. : Минприроды, 2011. – 21 с.
11. Шебеко, В. Ф. Гидрологический режим осушаемых территорий / В. Ф. Шебеко. – Мн. : Урожай, 1970. – 300 с.
12. Бамбалов, Н. Н. Роль болот в биосфере / Н. Н. Бамбалов, В. А. Ракович. – Мн. : Бел. навука, 2005. – 285 с.
13. Стандарт отрасли. Воды подземные, классификация по химическому составу и температуре : ОСТ 41-05-263-86. – М. : ВСЕГИНГЕО, 1986. – 14 с.
14. Кудельский, А. С. Региональная гидрогеология и геохимия подземных вод Беларуси / А. С. Кудельский, В. И. Пашкевич. – Мн. : Бел. навука, 2014. – 271 с.

References

1. Ivanov K. E. *Gidrologiya bolot* [Hydrology of wetlands]. Leningrad, Gidrometizdat Publ., 1953, 296 p. (in Russian)
2. Dybala K. E., Matzek V., Gardali T., Seavy N. E. Carbon sequestration in riparian forests: A global synthesis and meta-analysis. *Global Change Biology*, 2019, vol. 25, no 1, pp. 57–67.
3. Zakon Respubliki Belarus' ot 18 dekabrya 2019 g. № 272-Z «*Ob ohrane i ispol'zovanii torfyanikov*» [Law of the Republic of Belarus of December 18, 2019 No. 272-Z “On the Protection and Use of Peatlands”].
4. STB 2308-2013 *Torf. Terminy i opredeleniya* [Standard of the Republic of Belarus (SRB) 2308-2013 Peat. Terms and Definitions]. Minsk, State Standard, BelGISS Publ., 2013, 47 p. (in Russian)
5. Pidoplichko A. P. *Torfyanyye mestorozhdeniya Belorussii* [Peat deposits of Belarus]. Ed. by M. I. Neishtadt. Minsk, Publ. House of the Academy of Sciences of the Byelorussian SSR, 1961, 193 p. (in Russian)
6. Rakovich V. A., Ratnikova O. N., *Vosstanovlenie narushennogo melioratsionnogo lesnogo bolota Chervenskoye (Galoe)* [Restoration of the Chervenskoye (Galoe) forest swamp damaged by melioration]. *Prirodopol'zovanie: sbornik nauchnykh trudov* [Nature management: a collection of scientific papers]. Minsk, 2012, no. 21, pp. 176–189 (in Russian)
7. Ratnikova O. N. *Kategorii narushennosti gidrologicheskogo rezhima na torfyanix mestorozhdeniyax i bolotax* [Categories of disturbance of the hydrological regime in peat deposits and swamps] / *Molodezh' v nauke – 2014 : pril. k zhurn. “Vesci Natsyonal'noj akademii navuk Belarusi”*. v 5 ch. [Youth in Science – 2014 : supplement to the journal “News of the National Academy of Sciences of Belarus”: in 5 parts] / *Nacz. akad. nauk Belarusi [i dr.] ; redkol.: S. A. Usanov (gl. red.) [i dr.]* [National Academy of Sciences of Belarus [et al.]; editorial board: S. A. Usanov (editor-in-chief) [et al.]]. Minsk, Belaruskaya Navuka Publ., 2015, Ch. 1. *Seriya xim. Nauk* [Part 1. Chemical series. sciences], pp. 77–81. (in Russian)
8. Ratnikova O. N. *Ocenka effektivnosti meropriyatij ekologicheskoy rehabilitatsii na torfyanom mestorozhdenii Rudyanecz I* [Evaluation of the effectiveness of environmental rehabilitation measures at the Rudyanets I peat deposit] // *Molodezh' v nauke – 2017 : sb. materialov Mezhdunar. konf. molodykh uchenykh*, Minsk, 30 okt. – 2 noyab. 2017 g. : v 2 ch. / *Nacz. akad. nauk Belarusi [i dr.] ; redkol.: V. G. Gusakov (gl. red.) [i dr.]* [Youth in Science – 2017: collection of materials from the International Conf. of Young Scientists, Minsk, October 30 – November 2, 2017: in 2 parts] / *National Academy of Sciences of Belarus [et al.] ; editorial board: V. G. Gusakov (editor-in-chief) [et al.]*. Minsk : Belaruskaya Navuka Publ., 2018. Ch. 2. *Gumanitarnyye, medicinskie, fiziko-matematicheskie, fiziko-texnicheskie, ximicheskie nauki* [Part 2. Humanities, medical, physical and mathematical, physical and technical, chemical sciences], pp. 398–402. (in Russian)
9. *Pogoda i klimat* [Weather and climate.]. URL: <https://www.pogodaiklimat.ru/history.php?id=by> (accessed April 7, 2026). (in Russian)
10. ТКП 17.09-02-2011 (02120) *Oxrana okruzhayushhej sredy i prirodopol'zovanie. Klimat. Vybrosoy i pogloshhenie parnikovyx gazov. Pravila rascheta vybrosov i pogloshheniya ot estestvennykh bolotnykh ekosistem, osushennykh torfyanых почв, vyrabotannykh i razrabatyvaemykh torfyanых mestorozhdenij* [Environmental Protection and Nature Management. Climate. Greenhouse Gas Emissions and Removals. Rules for Calculating Emissions and Removals from Natural Wetland Ecosystems, Drained Peat Soils, and Existing and Developed Peat Deposits]. Minsk, Ministry of Natural Resources Publ., 2013, 23 p. (in Russian)

11. Shebeko V. F. *Gidrologicheskij rezhim osushaemy'x territorij* [Hydrological regime of drained areas]. Minsk, Urozhaj Publ., 1970, 300 p. (in Russian)
12. Bambalov N. N., Rakovich V. A. *Rol' bolot v biosphere* [The role of swamps in the biosphere]. Minsk, Belaruskaya Navuka Publ., 2005, 285 p. (in Russian)
13. OST 41-05-263-86 *Standart otrasli. Vody podzemnye, klassifikaciya po ximicheskomu sostavu i temperature* [Industry standardization system (ISS) Industry Standard. Groundwater Classification by Chemical Composition and Temperature]. Moscow, VSEGINGEO Publ, 1986. 14 p. (in Russian)
14. Kudel'skij A. S., Pashkevich V. I. *Regional'naya gidrogeologiya i geoximiya podzemnyx vod Belarusi* [Regional hydrogeology and geochemistry of groundwater in Belarus]. Minsk, Belaruskaya Navuka Publ., 2014. 271 p. (in Russian)

Информация об авторах

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

Пашкевич Василий Иванович – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: pashkevich@nature-nas.by

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

Макаренко Татьяна Ивановна – научный сотрудник Института природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: tanyulchik.m@gmail.com

Information about the authors

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

Vasily I. Pashkevich – Ph. D. (Geological and Mineral Sciences), Leading Researcher Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny St., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: pashkevich@nature-nas.by

Anna T. Borsh – Research Fellow Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny St., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: anna.borsh.1992@mail.ru

Tatiana I. Makarenko – Research Fellow Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny St., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: tanyulchik.m@gmail.com