

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ И ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В РАЙОНЕ ХОТИСЛАВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕЛА И СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЕСКОВ

А. Н. ВИТЧЕНКО¹⁾, Д. А. ШПАКОВА²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

²⁾Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов,
ул. Славинского, 1, корп. 2, 220086, г. Минск, Беларусь

Аннотация. На основе данных мониторинга поверхностных и подземных вод, проводившегося в 2010–2021 гг. в районе Хотиславского месторождения мела и строительных песков, исследованы пространственно-временные тренды их главных гидрогеологических и гидрохимических характеристик. С использованием методов математической статистики, пространственно-временного анализа гидрогеологических и гидрохимических данных, географической систематизации, сравнительно-географического и картографического методов получен ряд новых научно-практических результатов. Тренды уровня поверхностных вод выше карьера и в компенсационном канале в течение исследуемого периода положительные. Они имеют выраженный подъем, что указывает на отсутствие существенных негативных явлений на этих участках водных объектов. Ниже карьера отмечается обратная тенденция, обусловленная последствиями ежегодного регулирования стока р. Риты с частичным опорожнением мелиоративных каналов. Анализ данных о загрязнении поверхностных вод в створах водомерных постов позволяет заключить, что состояние поверхностных вод р. Риты в фоновом створе соответствует общим тенденциям формирования качества речных вод в бассейне р. Мухавец, но отличается более высоким содержанием аммоний-ионов, общего железа, марганца и цинка. Изменения уровня грунтовых и напорных вод в 2010–2021 гг. в районе карьера определялись в основном сезонными вариациями климатических явлений. Его колебания в пунктах наблюдений синхронны. Они коррелируют с тенденциями фоновых изменений. Графоаналитическая интерпретация условий изменения качества грунтовых и напорных вод в районе карьера и анализ их солевого состава указывают на формирование этих вод преимущественно за счет природных факторов. Эксплуатация Хотиславского месторождения мела и строительных песков осуществляется в комплексе с эффективными защитными водоохранными мероприятиями. Наблюдения за колебаниями режима поверхностных и подземных вод с установленной частотой позволяют иметь достоверные данные об изменении их уровня и качества, контролировать воздействие карьера на окружающую среду.

Ключевые слова: гидрогеологическая и гидрохимическая ситуация; месторождение мела и строительных песков; мониторинг окружающей среды; поверхностные и подземные воды; водомерный пост; наблюдательная скважина; компенсационный канал.

Образец цитирования:

Витченко АН, Шпакова ДА. Пространственно-временные особенности гидрогеологической и гидрохимической ситуации в районе Хотиславского месторождения мела и строительных песков. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2024;1:21–36.
EDN: VAGHMI

For citation:

Vitchanka AN, Shpakova DA. Spatial-temporal features of hydrogeological and hydrochemical situation in the area of Khotislavskoye deposit of chalk and construction sands. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2024; 1:21–36. Russian.
EDN: VAGHMI

Авторы:

Александр Николаевич Витченко – доктор географических наук, профессор; профессор кафедры географической экологии факультета географии и геоинформатики.
Дарья Александровна Шпакова – младший научный сотрудник отдела гидрологических исследований.

Authors:

Alexander N. Vitchanka, doctor of science (geography), full professor; professor at the department of geographical ecology, faculty of geography and geoinformatics.
dr.vitchenko@rambler.ru
<http://orcid.org/0000-0003-0409-6479>
Daria A. Shpakova, junior researcher at the department of hydroecological research.
darja.shpakova@mail.ru

SPATIAL-TEMPORAL FEATURES OF HYDROGEOLOGICAL AND HYDROCHEMICAL SITUATION IN THE AREA OF KHOTISLAVSKOYE DEPOSIT OF CHALK AND CONSTRUCTION SANDS

A. N. VITCHANKA^a, D. A. SHPAKOVA^b

^aBelarusian State University, 4 Niezaliezhnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

^bCentral Research Institute for Comprehensive Use of Water Resources,
1 Slavinskaga Street, 2 building, Minsk 220086, Belarus

Corresponding author: A. N. Vitchanka (dr.vitchenko@rambler.ru)

Abstract. Based on surface and underground waters monitoring data conducted in 2010–2021 in the area of Khotislavskoye deposit of chalk and construction sands, an analysis of the spatial-temporal trends of their main hydrogeological and hydrochemical characteristics was carried out. Using the methods of mathematical statistics, spatial-temporal analysis of hydrogeological and hydrochemical data, geographic systematisation, comparative geographic and cartographic methods, a number of new scientific and practical results were obtained. Trends in the surface waters level above the quarry and in the compensation canal during the study period are positive and have a pronounced rise, which indicates the absence of significant negative phenomena in these areas of water bodies. Below the quarry, a reverse trend is observed, which is due to the consequences of the annual regulation of the flow Rita River with partial emptying of reclamation canals. Analysis of data on surface waters pollution at water metering stations allows to conclude that the nature of the state of the surface waters of the Rita River in the background section corresponds to the general trends in the formation of river water quality in the basin of the Mukhavets River, but has a higher background content of ammonium ions, total iron, manganese, and zinc. Changes in ground and pressure waters levels in 2010–2021 in the quarry area were mainly determined by seasonal variations in climatic phenomena. Its fluctuations at observation points are synchronous and correspond to the trends of background changes. Graphic-analytical interpretation of the conditions for changes in quality and analysis of the salt composition of ground and pressure waters in the quarry area indicate their formation mainly due to natural factors. The operation of the Khotislavskoye deposit of chalk and construction sands is carried out in conjunction with effective protective water protection measures. Observations of changes in the regime of surface and underground waters with a set frequency allow to have reliable data on changes in their level and quality, to monitor the impact of the quarry on the environment.

Keywords: hydrogeological and hydrochemical situation; deposits of chalk and construction sands; environmental monitoring; surface and underground waters; water metering station; observation well; compensation canal.

Введение

Эксплуатация месторождения мела и строительных песков влияет на поверхностные и подземные водные объекты, а также на системы местного водоснабжения населения. Изменение водного режима в районе месторождения является наиболее существенным фактором, оказывающим негативное воздействие на природную среду прилегающих к нему территорий. Уровень поверхностных и подземных вод имеет ключевое значение при планировании и обеспечении водоснабжения. Изучение уровня воды позволяет определить ее объемы, доступные для использования, и оценить устойчивость водных объектов в долгосрочной перспективе. Анализ гидрологических циклов, потоков и особенностей взаимодействия между поверхностными и подземными водами помогает установить места размещения водозаборных скважин и запланировать инфраструктуру водоснабжения. Исследование химического состава поверхностных и подземных вод лежит в основе эффективного управления водными ресурсами, способствует выяснению потребностей в обработке и очистке воды, созданию мер по защите и восстановлению водных экосистем, а также прогнозированию возможных проблем, связанных с изменением химического состава воды. Мониторинг поверхностных и подземных вод позволяет определить качество воды, включая содержание в ней различных веществ, таких как минералы, тяжелые металлы, органические соединения и другие загрязнители, выявить степень воздействия антропогенной деятельности, климатических изменений и иных факторов на водные экосистемы и предпринять необходимые меры по устранению или смягчению их негативных последствий.

Проблема пространственно-временной оценки гидрогеологической и гидрохимической ситуации, а также прогнозирования режима поверхностных и подземных вод вблизи месторождения полезных ископаемых изучена недостаточно. Обзор зарубежной и отечественной литературы показывает, что особое внимание при пространственно-временной оценке гидроэкологической ситуации уделяется гидрохимическому состоянию водных объектов. Так, работы [1–3] посвящены в основном исследованию

формирования состава поверхностных вод при хозяйственной деятельности по различным химическим показателям, мониторингу их геоэкологической защищенности по геохимическому признаку, разработке методов прогнозирования химического состава этих вод. В статье [4] выполнен сравнительный анализ загрязнения подземных вод исходя из концентрации в них загрязняющих ингредиентов – нитратов и аммонийного азота, определено состояние подземных вод в соответствии с суммарным показателем загрязнения. В публикации [5] очерчен методический подход к оценке гидроэкологического состояния бассейна малой реки, предложен алгоритм расчета интегральных показателей, характеризующих состояние водосбора. Работы [1–5] являются хорошей основой для описания качества воды поверхностных и подземных водных объектов, однако математические расчеты невозможно применить к нашим исследованиям, так как они базируются на ряде массивов специализированных данных. Применительно к Хотиславскому месторождению мела и строительных песков имеются только ежегодные сведения о химическом состоянии поверхностных и подземных вод в пунктах наблюдений, которых недостаточно для комплексных математических расчетов. В диссертации М. Кереза оценивается загрязнение рек бассейна р. Чу различными химическими элементами, рассматриваются динамика и пространственные закономерности природного и антропогенного загрязнения речных вод, проводится районирование территории по степени их загрязнения¹. В работе [6] изучены главные источники формирования химического состава речных вод Восточного Донбасса, осуществлен мониторинг их качества и обрисовано влияние реструктуризации угольной промышленности на современную гидроэкологическую ситуацию. Качество вод измерялось с помощью индекса загрязненности вод и удельного комбинаторного индекса загрязненности вод. В публикации [7] исследованы химические показатели качества воды водоема Косичи, образованного в результате разработки песчаного карьера, приведены гидроморфологические характеристики карьера, установлен уровень экологического состояния этого водоема на основе расчета индекса загрязненности вод. В статье [8] качество водных объектов бассейна р. Малый Салгир также оценивалось исходя из индекса загрязненности вод.

Режим подземных вод рассматривается в работе [9], в которой приведены общие положения их экологического состояния. В материале [10] изучены закономерности пространственно-временных колебаний уровня грунтовых вод (УГВ). Для оценки изменений УГВ выполнен комплексный анализ статистической структуры временных рядов данных за годовые и месячные интервалы. Для выявления циклов колебаний УГВ и специфики их трансформации использовался метод спектрально-временного анализа. В статье [11] поднята проблема, связанная с влиянием подземных вод на наземные и подземные горные выработки во время эксплуатации и рекультивации месторождений, однако основное внимание уделяется теоретическим и практическим аспектам применения методов инженерной сейсморазведки в целях изучения гидрогеологического режима горных выработок. В монографии [12] описано математическое обеспечение, предназначенное для региональной оценки сокращения речного стока исходя из аналитических зависимостей, а также для экологической оценки последствий эксплуатации подземных вод. В публикации [13] предложена математическая модель измерения уровня подземных вод месторождения цементного сырья. В исследованиях [9–13] при математическом моделировании гидроэкологических процессов используются сложные системы уравнений, требующие больших массивов данных. В работах [14–16] приведены альтернативные, более простые статистические методы прогнозирования режима поверхностных и подземных вод, такие как регрессионный анализ, анализ трендов и экстраполяция данных. При дальнейшей эксплуатации Хотиславского месторождения мела и строительных песков для контроля состояния поверхностных и подземных вод и прогнозирования возможного изменения их режима и качества необходима пространственно-временная оценка гидрогеологической и гидрохимической экологической ситуации в районе месторождения, которая позволит повысить эффективность управления водными ресурсами и осуществления природоохранных мероприятий.

Материалы и методы исследования

Хотиславское месторождение мела и строительных песков расположено в Малоритском районе Брестской области, в южной части бассейна р. Мухавец. Оно разведано на общей площади около 120 га. Балансовые запасы мела и строительных песков (полезных ископаемых промышленной категории, доступных к открытой разработке) составляют 116,8 млн т и 93,3 млн м³ соответственно. Техничко-экономические расчеты отработки месторождения выполнены в 1991 г. Для достижения экологически безопасной эксплуатации месторождения было принято решение о его поэтапной разработке, чтобы на начальных этапах освоения отточить технологию применения природоохранных мероприятий и оценить их эффективность. В настоящее время освоение месторождения осуществляется по проекту второй очереди. По состоянию на

¹Керез М. Современное состояние и оценка гидроэкологической ситуации бассейна реки Чу : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36. Бишкек, 2009. 26 с.

глубиной 13–15 м (контрольные скважины 1н, 4н, 5н, фоновая скважина 2н), на напорном водоносном горизонте верхнемеловых отложений – две наблюдательные скважины глубиной 30 м (фоновая скважина 3н, контрольная скважина 6н). Региональная сеть распределена по периферии карьера на удалении 0,6–4,2 км от него и предусмотрена для наблюдений за состоянием грунтовых вод, которые формируются в пределах территории, не подверженной воздействию второй очереди отработки Хотиславского месторождения мела и строительных песков. Она включает контрольные наблюдательные скважины 7н–10н, оборудованные на безнапорном водоносном горизонте грунтовых вод глубиной 13–15 м, и шахтный колодец 11н, который находится в д. Сушитнице по адресу ул. Железнодорожная, 7.

Мониторинг состояния подземных вод в зоне возможного воздействия проведен за период с 2010 по 2021 г. в сравнении с фоновыми характеристиками и региональными особенностями их естественного формирования в бассейнах рек Риты и Мухавец³, принятыми в качестве контрольных. Измерения УГВ осуществлялись 1 раз в 10 дней в пунктах наблюдений локальной сети и 1 раз в месяц в пунктах наблюдений региональной сети. Отбор и химический анализ проб подземных вод выполнялись ежегодно в пунктах наблюдений локальной и региональной сетей. При проведении исследований и обработке полученных данных были использованы методы гидрогеологического и гидрохимического анализа и математической статистики.

Результаты и их обсуждение

В районе отработки Хотиславского месторождения мела и строительных песков расположен один компенсационный (инфильтрационный) канал. Механизм действия компенсационной системы основан на создании водами карьерного водоотлива, фильтрующимися через ложе каналов, подпора движению потока подземных вод за счет формирования купола подъема их уровней, снижения скоростей фильтрации и повышения УГВ в направлении водоразделов. Анализ режима поверхностных вод показывает, что в 2021 г. уровень воды в компенсационном канале определялся в основном сезонными климатическими явлениями. Максимальные уровни воды характерны для периода весеннего половодья, минимальные уровни воды – для периода с июня по сентябрь. Абсолютный максимум уровня воды за период наблюдений был зафиксирован 21 февраля 2017 г. и равнялся 157,96 м по Балтийской системе высот (далее – мБС), а абсолютный минимум уровня воды зарегистрирован 10 декабря 2012 г. и 20 сентября 2013 г. и достиг 156,54 мБС. График колебаний среднегодовых уровней воды в компенсационном канале по данным за 2011–2021 гг. приведен на рис. 2. Абсолютная амплитуда колебания уровня воды составила 1,42 м, среднемноголетняя амплитуда колебания уровня воды – 0,98 м. Для оценки закономерностей изменения режима уровня воды применен трендовый анализ. Линия тренда имеет выраженную положительную тенденцию. Характерные уровни воды в компенсационном канале за 2011–2021 гг. представлены в табл. 1.

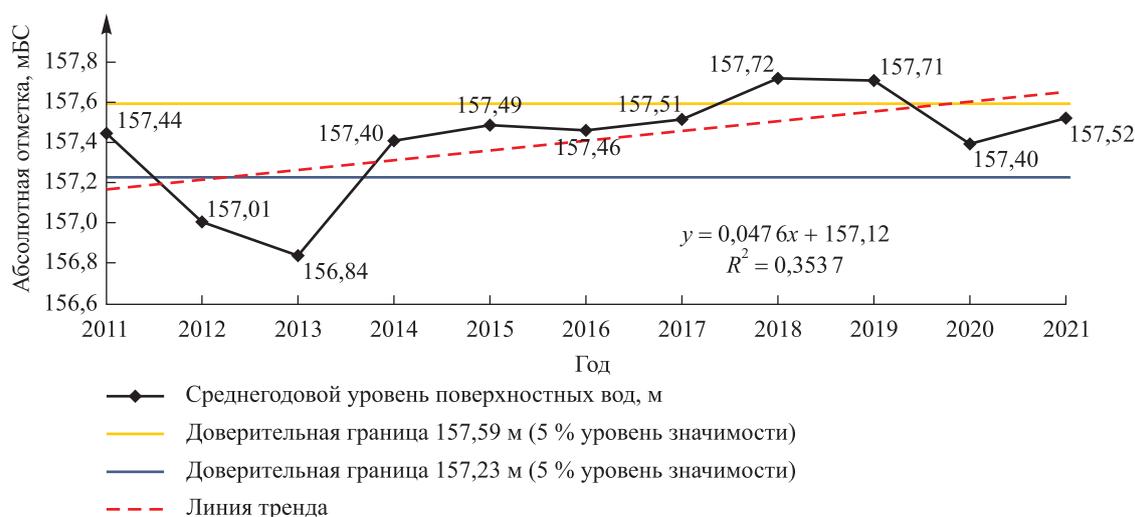


Рис. 2. График колебаний среднегодовых уровней воды в пункте наблюдений мониторинга поверхностных вод ВП-1 (компенсационном канале) по данным за 2011–2021 гг.

Fig. 2. Graph of fluctuations in average annual water levels at the observation point for monitoring surface waters «Water metering station – 1» (compensation canal) based on data for 2011–2021

³Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nsmos.by/> (дата обращения: 24.01.2024).

Таблица 1

Уровни воды в пункте наблюдений мониторинга
поверхностных вод ВП-1 (компенсационном канале)
относительно нуля графика (158,45 мБС) по данным за 2011–2021 гг.

Table 1

Water levels at the observation point for monitoring surface waters
«Water metering station – 1» (compensation canal) relative to the zero
of the graph (158.45 meters according to the Baltic height system) based on data for 2011–2021

Год	Максимальный уровень воды в период весеннего половодья		Минимальный уровень воды в период летне-осенней межени		Минимальный уровень воды в период зимней межени	
	Высота, м	Дата	Высота, м	Дата	Высота, м	Дата
2011	0,71	2 февраля	0,73	10 октября	0,71	30 декабря
2012	0,68	29 марта	1,26	20 сентября	1,40	10 декабря
2013	0,66	31 мая	1,40	20 сентября	1,86	31 декабря
2014	0,88	10 июня	1,01	10 октября	1,90	11 января
2015	0,88	30 апреля	1,12	31 августа	1,04	11 марта
2016	0,80	20 февраля	1,36	20 сентября	0,95	11 декабря
2017	0,58	31 марта	1,74	11 сентября	1,37	10 ноября
2018	0,67	20 февраля	0,84	11 июля	0,75	11 декабря
2019	0,70	21 мая	0,90	20 октября	1,03	20 декабря
2020	0,97	20 марта	1,23	10 июня	1,08	17 декабря
2021	0,86	19 марта	0,88	8 июня	1,10	21 января

Примечание. Диапазон максимальных уровней воды в период весеннего половодья составляет 0,58–0,97 м, диапазон минимальных уровней воды в период летне-осенней межени – 0,73–1,40 м, в период зимней межени – 0,71–1,90 м; сумма максимальных уровней воды в период весеннего половодья равняется 8,39 м, сумма минимальных уровней воды в период летне-осенней межени – 12,47 м, в период зимней межени – 13,19 м; среднее значение максимальных уровней воды в период весеннего половодья достигает 0,76 м, среднее значение минимальных уровней воды в период летне-осенней межени – 1,13 м, в период зимней межени – 1,20 м; среднемноголетний уровень воды составляет 157,40 мБС.

Уровень воды р. Риты в контрольном фоновом створе выше карьера в 2021 г. определялся мелиоративным регулированием и сезонными климатическими явлениями. В створе поста расположен шлюз-регулятор, затвор которого обеспечивал подпорный уровень воды в канале р. Риты, с установленным выпуском воды по руслу реки. Максимальные уровни воды характерны для периода весеннего половодья, минимальные уровни воды типичны в основном для периода с сентября по февраль. Абсолютный максимум уровня воды за период наблюдений был зафиксирован в апреле 2012 г. и равнялся 158,25 мБС, а абсолютный минимум уровня воды зарегистрирован 20 декабря 2019 г. и достиг 156,41 мБС. График колебаний среднегодовых уровней воды в контрольном фоновом створе выше карьера по данным за 2011–2021 гг. приведен на рис. 3. Абсолютная амплитуда колебания уровня воды составила 1,84 м, среднемноголетняя амплитуда колебания уровня воды – 0,75 м. Линия тренда имеет выраженный подъем. Характерные уровни воды в контрольном фоновом створе выше карьера за 2011–2021 гг. представлены в табл. 2.

В 2021 г. уровень воды р. Риты в контрольном створе ниже карьера изменялся в зависимости от сезонных климатических явлений и мелиоративного регулирования (в створе поста находится открытый шлюз-регулятор). В период весеннего половодья осуществлялся сброс воды с частичным опорожнением каналов прилегающей мелиоративной системы. Абсолютный максимум уровня воды за период наблюдений был зафиксирован 15 сентября 2014 г. и равнялся 156,69 мБС, а абсолютный минимум уровня воды зарегистрирован 28 мая 2018 г. и достиг 153,85 мБС. График колебаний среднегодовых уровней воды в контрольном створе ниже карьера по данным за 2011–2021 гг. приведен на рис. 4. Абсолютная амплитуда колебания уровня воды составила 2,84 м, среднемноголетняя амплитуда колебания уровня воды – 1,09 м. Линия тренда имеет выраженную отрицательную тенденцию. Характерные уровни воды в контрольном створе ниже карьера за 2011–2021 гг. представлены в табл. 3.



Рис. 3. График колебаний среднегодовых уровней воды в пункте наблюдений мониторинга поверхностных вод ВП-2 (контрольном фоновом створе выше карьера) по данным за 2011–2021 гг.

Fig. 3. Graph of fluctuations in average annual water levels at the observation point for monitoring surface waters «Water metering station – 2» (control background section above the quarry) based on data for 2011–2021

Таблица 2

**Уровни воды в пункте наблюдений мониторинга
поверхностных вод ВП-2 (контрольном фоновом створе выше карьера)
относительно нуля графика (160,80 мБС) по данным за 2011–2021 гг.**

Table 2

**Water levels at the observation point for monitoring surface waters
«Water metering station – 2» (control background section above the quarry)
relative to the zero of the graph (160.80 meters according to the Baltic height system)
based on data for 2011–2021**

Год	Максимальный уровень воды в период весеннего половодья		Минимальный уровень воды в период летне-осенней межени		Минимальный уровень воды в период зимней межени	
	Высота, м	Дата	Высота, м	Дата	Высота, м	Дата
2012	3,18	16 апреля	3,75	15 сентября	4,11	15 декабря
2013	3,04	15 мая	4,01	15 октября	3,87	15 ноября
2014	3,11	15 мая	3,81	15 октября	3,82	15 марта
2015	2,85	15 апреля	3,78	15 июня	3,86	15 февраля
2016	3,03	15 февраля	3,91	21 октября	3,25	3 ноября
2017	3,40	25 мая	4,02	10 августа	4,0	19 января
2018	3,09	21 марта	3,60	17 октября	3,90	20 декабря
2019	3,13	29 мая	3,45	20 сентября	4,39	20 декабря
2020	3,22	20 марта	3,35	20 октября	3,60	30 января
2021	3,10	19 марта	3,62	30 июля	3,75	10 декабря

Примечание. Диапазон максимальных уровней воды в период весеннего половодья составляет 2,85–3,40 м, диапазон минимальных уровней воды в период летне-осенней межени – 3,35–4,02 м, в период зимней межени – 3,25–4,39 м; сумма максимальных уровней воды в период весеннего половодья равняется 31,15 м, сумма минимальных уровней воды в период летне-осенней межени – 37,30 м, в период зимней межени – 38,55 м; среднее значение максимальных уровней воды в период весеннего половодья достигает 3,12 м, среднее значение минимальных уровней воды в период летне-осенней межени – 3,73 м, в период зимней межени – 3,86 м; среднемноголетний уровень воды составляет 157,23 мБС.



Рис. 4. График колебания среднегодовых уровней воды в пункте наблюдений мониторинга поверхностных вод ВП-3 (контрольном створе ниже карьера) по данным за 2011–2021 гг.

Fig. 4. Graph of fluctuations in average annual water levels at the observation point for monitoring surface waters «Water metering station – 3» (control section below the quarry) based on data for 2011–2021

Таблица 3

**Уровни воды в пункте наблюдений мониторинга
поверхностных вод ВП-3 (контрольном створе ниже карьера)
относительно нуля графика (159,10 МБС) по данным за 2011–2021 гг.**

Table 3

**Water levels at the observation point for monitoring surface waters
«Water metering station – 3» (control section below the quarry) relative to the zero
of the graph (159.10 meters according to the Baltic height system) based on data for 2011–2021**

Год	Максимальный уровень воды в период весеннего половодья		Минимальный уровень воды в период летне-осенней межени		Минимальный уровень воды в период зимней межени	
	Высота, м	Дата	Высота, м	Дата	Высота, м	Дата
2012	2,78	15 марта	3,01	15 сентября	4,0	15 декабря
2013	2,91	15 мая	3,34	15 июня	4,0	15 января
2014	2,68	15 мая	4,08	15 октября	4,08	15 декабря
2015	2,53	15 мая	3,10	15 сентября	3,75	15 декабря
2016	2,57	15 апреля	4,35	20 сентября	4,0	3 ноября
2017	3,26	23 марта	4,32	21 октября	4,20	4 декабря
2018	3,07	21 марта	5,25	28 мая	4,01	19 ноября
2019	3,05	20 апреля	3,8	20 июля	4,17	20 декабря
2020	3,68	20 марта	4,32	10 сентября	4,18	30 ноября
2021	3,95	19 марта	4,16	30 июня	4,16	21 января

Примечание. Диапазон максимальных уровней воды в период весеннего половодья составляет 2,53–3,95 м, диапазон минимальных уровней воды в период летне-осенней межени – 3,01–5,25 м, в период зимней межени – 3,75–4,18 м; сумма максимальных уровней воды в период весеннего половодья равняется 30,48 м, сумма минимальных уровней воды в период летне-осенней межени – 39,73 м, в период зимней межени – 40,55 м; среднее значение максимальных уровней воды в период весеннего половодья достигает 3,05 м, среднее значение минимальных уровней воды в период летне-осенней межени – 3,97 м, в период зимней межени – 4,06 м; среднее многолетнее значение уровня воды составляет 155,54 МБС.

Для мониторинга качества поверхностных вод в пределах зоны возможного воздействия отработки Хотиславского месторождения мела и строительных песков отбор проб осуществлялся из р. Риты в контрольных створах ВП-2 и ВП-3, а также из устья отводящего канала. Перечень контролируемых показателей каче-

ства воды водных объектов включал параметры концентрации основных загрязняющих ингредиентов в поверхностных водах, в том числе показатели содержания в воде взвешенных веществ, биогенных веществ, тяжелых металлов, биохимического потребления кислорода за 5 сут и бихроматной окисляемости.

Известно, что р. Рита принадлежит к бассейну р. Мухавец. В 2010–2020 гг. по химическому составу воды р. Мухавец относились к гидрокарбонатному классу кальциевой группы⁴. Концентрация гидрокарбонатов может составлять 51,0–310,5 мг/дм³, ионов кальция – 24–99 мг/дм³, минерализация воды – 186–395 мг/дм³. Загрязненные воды в бассейнах р. Мухавец и других притоков р. Западный Буг в 2020 г. характеризовались высоким среднегодовым содержанием на отдельных участках рек аммоний-ионов (0,44–0,76 мгN/дм³ (1,1–2,0 ед. предельно допустимой концентрации (ПДК))), нитрит-ионов (0,0097–0,0280 мгN/дм³ (1,2 ПДК)), общего железа (0,15–4,84 мг/дм³ (15,4 ПДК)), марганца (0,010–0,498 мг/дм³ (17,8 ПДК)) и цинка (0,0024–0,0470 мг/дм³ (3,9 ПДК)). Общей тенденцией содержания данных загрязняющих веществ в воде водотоков бассейна р. Мухавец к 2021 г. является небольшое, но стабильное снижение их концентраций⁵.

По данным мониторинга поверхностных вод, представленным в табл. 4, в 2010–2021 гг. качество воды р. Риты в контрольном фоновом створе выше карьера соответствовало региональным особенностям формирования поверхностных вод в бассейне р. Мухавец, в том числе по перечню приоритетных загрязняющих веществ: аммоний-ионов (0,608 мгN/дм³ (1,56 ПДК)), нитрит-ионов (0,082 мгN/дм³ (3,4 ПДК)), общего железа (1,3 мг/дм³ (4,1 ПДК)), марганца (0,076 мг/дм³ (2,7 ПДК)) и цинка (0,014 мг/дм³ (1,17 ПДК)). В компенсационном канале качество поверхностных вод, в сравнении с фоновыми показателями и региональными особенностями формирования поверхностных вод в бассейне р. Мухавец, характеризовалось повышенным содержанием загрязняющих веществ: аммоний-ионов (0,234 мгN/дм³ (0,6 ПДК)), нитрит-ионов (0,025 мгN/дм³ (1,04 ПДК)), общего железа (0,38 мг/дм³ (1,2 ПДК)), марганца (0,084 мг/дм³ (3,0 ПДК)) и цинка (0,029 мг/дм³ (2,4 ПДК)). При этом в 2021 г. превышение фоновых значений анализируемых показателей (более чем на 50 %) для других загрязняющих ингредиентов отмечалось только по сульфат-ионам (в 2,8 раза). В контрольном створе ниже карьера качество воды также отличалось повышенным содержанием приоритетных загрязняющих веществ: аммоний-ионов (0,64 мгN/дм³ (1,6 ПДК)), нитрит-ионов (0,086 мгN/дм³ (3,6 ПДК)), общего железа (1,3 мг/дм³ (4,1 ПДК)), марганца (0,087 мг/дм³ (3,1 ПДК)) и цинка (0,019 мг/дм³ (1,6 ПДК)). В отличие от контрольного фонового створа выше карьера в контрольном створе ниже карьера в 2021 г. превышение фоновых значений рассматриваемых показателей (более чем на 50 %) не установлено.

В бассейне р. Риты формируются грунтовые и напорные воды в основном гидрокарбонатного класса кальциево-магниевого группы. В пределах бассейнов рек Риты и Мухавец качество грунтовых вод нестабильно. В отдельные периоды наблюдаются превышения ПДК по содержанию аммоний-ионов (до 2,05 ПДК), нитрат-ионов (до 2,7 ПДК), общего железа (до 103–240 ПДК), марганца (до 1,8 ПДК) и по перманганатной окисляемости (до 1,9 ПДК). В 2020 г. состояние грунтовых и напорных вод на участке Масевичского гидрогеологического поста было удовлетворительным, превышение нормативов качества воды по контрольным показателям не отмечалось. Повышенное содержание загрязняющих компонентов в подземных водах в бассейнах рек Риты и Мухавец связано с наличием локальных источников загрязнения преимущественно сельскохозяйственного и бытового происхождения, а повышенное содержание железа и марганца является следствием региональных гидролого-гидрогеологических особенностей их речных бассейнов⁶.

В 2018–2020 гг. сезонный режим грунтовых вод в бассейне р. Риты характеризовался выраженными весенним половодьем и летне-осенней меженью. Сезонный режим напорных вод был аналогичен сезонному режиму грунтовых вод вследствие тесной гидрологической связи между водоносными горизонтами.

Диапазон изменений среднегодовых УГВ на участке Великоритского гидрогеологического поста (скв. 550) за 1995–2020 гг. составил 0,54–1,33 м, диапазон изменений среднегодовых уровней напорных вод на участке Великоритского гидрогеологического поста (скв. 546) за тот же период наблюдений – 0,43–1,36 м, а в бассейнах рек Риты и Мухавец – 0,4–0,8 м. В 2020 г. среднегодовая амплитуда колебаний УГВ в бассейнах рек Риты и Мухавец достигала 0,44 м, а среднегодовая амплитуда колебаний уровней напорных вод находилась в пределах 0,31 м. В 2020 г. в бассейнах рек Риты и Мухавец произошло общее понижение УГВ (в среднем на 0,2 м) и уровней напорных вод (на 0,11 м)⁷. Глубина залегания УГВ в пунктах наблюдений локальной сети мониторинга подземных вод в зоне возможного воздействия Хотиславского месторождения мела и строительных песков в значительной степени определяется вариациями сезонных климатических явлений.

⁴Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nsmos.by/> (дата обращения: 24.01.2024).

⁵Там же.

⁶Там же.

⁷Там же.

Качество поверхностных вод в пунктах наблюдений (ВП) по данным за 2010, 2016 и 2021 гг.

Table 4

The quality of surface waters at the observation points (water metering stations) based on data for 2010, 2016 and 2021

Показатели загрязнения	ПДК	ВП-1 (отводящий канал)		ВП-2 (контрольный фоновый створ выше карьера)			ВП-3 (контрольный створ ниже карьера)			
		2010 г.	2016 г.	2021 г.	2010 г.	2016 г.	2021 г.	2010 г.	2016 г.	2021 г.
pH	6,5–8,5	6,88	7,4	7,7	6,63	7,0	7,1	7,75	7,22	7,2
Минерализация (сухой остаток), мг/дм ³	1000	161	396	327	360	319	280	362	328	282
Взвешенные вещества, мг/дм ³	25	8,8	16,4	12,7	1,6	6,5	15,1	11,9	11,9	13,8
Биохимическое потребление кислорода за 5 сут, мгО ₂ /дм ³	6,0	1,47	3,0	1,6	1,17	3,0	2,3	3,0	3,0	2,2
Бихроматная окисляемость, мгО ₂ /дм ³	30	35,7	62,2	6,4	60,9	97,8	9,2	Н. с.	71,10	8,8
Аммоний-ион, мгN/дм ³	0,39	0,65	Н. о.	0,218	0,75	Н. о.	0,608	0,1	Н. о.	0,64
Нитрит-ион, мгN/дм ³	0,024	Менее 0,017	Менее 0,01	0,025	0,017	0,18	0,082	Менее 0,01	0,18	0,086
Нитрат-ион, мгN/дм ³	9,03	0,49	0,25	0,24	0,85	0,4	0,3	0,4	0,8	0,3
Хлорид-ион, мг/дм ³	300,0	10,0	15,4	20,3	23,3	21,6	20,1	23,5	22,3	20,2
Сульфат-ион, мг/дм ³	100,0	19,6	85,4	81,6	75,0	23,0	29,5	71,6	49,1	34,2
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,05	0,021	Н. о.	0,013	0,01	Н. о.	0,018	Н. о.	Н. о.	0,012
Общее железо, мг/дм ³	0,315*	13,9	1,69	0,381	0,41	4,52	1,3	2,49	2,66	1,3
Марганец, мг/дм ³	0,028*	0,182	0,07	0,085	0,257	0,07	0,076	Н. с.	0,07	0,087
Медь, мг/дм ³	0,004*	0,0013	Н. о.	0,0037	Н. с.	Н. о.	0,0035	Н. с.	Н. о.	0,037
Цинк, мг/дм ³	0,012*	0,020	0,01	0,029	Менее 0,001	0,01	0,014	Н. с.	0,01	0,019
Свинец, мг/дм ³	0,014	Менее 0,001	Н. о.	Менее 0,005	Менее 0,001	Н. о.	Менее 0,005	Менее 0,001	Н. о.	Менее 0,005
Кадмий, мг/дм ³	0,005	Менее 0,001	Н. о.	Менее 0,0005	Менее 0,001	Н. о.	Менее 0,0005	Н. с.	Н. о.	Менее 0,0005
Хром, мг/дм ³	0,005	Н. о.	Н. о.	Менее 0,002	Н. о.	Н. о.	Менее 0,002	Н. о.	Н. о.	Менее 0,002

Примечания: 1. ПДК загрязняющих веществ в воде поверхностных водных объектов приводятся в соответствии с постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 30 марта 2015 г. № 13 «Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов»⁸. 2. Знаком * отмечены фоновые показатели в соответствии с упомянутым постановлением. 3. Н. с. – нет сведений; н. о. – содержание не установлено. 4. Полу жирным шрифтом выделены значения показателей загрязнения, превышающие ПДК.

⁸Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов : постановление М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 30 марта 2015 г. № 13 [Электронный ресурс] // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&ru=W21529808> (дата обращения: 24.01.2024).

Анализ графиков колебаний УГВ с 2011 по 2021 г. показывает, что максимальные значения УГВ характерны в основном для периода весеннего половодья (февраль – апрель), а его минимальные значения – для конца летне-осенней межени (июль – октябрь). В целях оценки изменения УГВ в пунктах наблюдений локальной сети мониторинга подземных вод, как и для измерения колебаний уровня поверхностных вод, применен трендовый анализ с использованием данных, полученных в течение 2011–2021 гг. Абсолютный максимум УГВ в скв. 2н был отмечен 20 февраля 2011 г. и составил 1,62 м (или 157,73 мБС), а абсолютный минимум УГВ зафиксирован 20 августа 2017 г. и достиг 3,26 м (или 156,09 мБС). Абсолютная амплитуда колебания УГВ в фоновой скважине за период наблюдений равнялась 1,64 м, среднемноголетняя амплитуда колебания УГВ – 0,68 м (рис. 5).



Рис. 5. График изменения среднегодовой глубины залегания грунтовых вод в фоновом пункте наблюдений локальной сети мониторинга подземных вод (скв. 2н) по данным за 2011–2021 гг.

Fig. 5. Graph of changes in the average annual depth of ground waters at the background observation point of the local underground waters monitoring network (well 2n) based on data for 2011–2021

Диапазон амплитуд колебаний УГВ за 2011–2021 гг. составил 0,25–1,37 м, что соответствует диапазону среднегодовых амплитуд колебаний УГВ на региональных гидрогеологических постах Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (НСМОС) за 1995–2020 гг. (0,54–1,33 м)⁹. Среднемноголетняя амплитуда колебаний УГВ в фоновой скважине 2н достигла 0,68 м, что также близко к аналогичным показателям на региональных гидрогеологических постах НСМОС (0,79 м). Ход изменений УГВ в контрольных скважинах 1н, 4н и 5н в основном коррелирует с тенденциями изменения УГВ в фоновой скважине 2н. Среднемноголетние амплитуды колебаний УГВ в контрольных скважинах 1н, 4н и 5н за 2011–2021 гг. (0,62–0,71 м) также соответствуют фоновому значению (0,68 м) и региональным изменениям на гидрогеологических постах НСМОС (0,54–1,33 м). Тренды изменения УГВ в пунктах наблюдений локальной сети мониторинга подземных вод в 2011–2021 гг. положительные. Они имеют выраженный общий подъем, что указывает на формирование УГВ в 2021 г. выше среднемноголетних значений. В то же время в 2021 г. наблюдалось снижение среднегодового УГВ в пунктах наблюдений локальной сети мониторинга подземных вод, которое коррелирует с тенденциями, отмечающимися на участках региональных гидрогеологических постов НСМОС¹⁰ (табл. 5).

Как показали замеры УГВ в скважинах 1н, 2н, 4н и 5н, в 2011–2021 гг. уровень воды в компенсационном канале постоянно находился выше, чем глубина залегания грунтовых вод в этих скважинах. По состоянию на декабрь 2021 г. разность отметок напорных и грунтовых вод в смежных скважинах 5н и 6н, расположенных на расстоянии около 100 м от карьера, составила +0,26 м, а разность отметок этих вод у границы Беларуси и Украины в смежных скважинах 2н и 3н, размещенных на удалении около 200 м от карьера, достигла –0,8 м. В 2021 г. разность отметок напорных и грунтовых вод в пределах скважин 5н и 6н и скважин 2н и 3н равнялась +0,23 и –0,12 м соответственно. Анализ колебания УГВ в пунктах наблюдений

⁹Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nsmos.by/> (дата обращения: 24.01.2024).

¹⁰Там же.

региональной сети мониторинга подземных вод показал, что ход изменений УГВ в контрольных скважинах 7н–10н и шахтном колодце 11н в основном является синхронным. Максимальные уровни УГВ характерны для периода весеннего половодья (февраль – апрель, реже май), а минимальные уровни УГВ – для периода с августа по декабрь. Диапазоны изменения среднегодовых амплитуд колебаний УГВ в данных скважинах (см. табл. 5) близки по величине к диапазонам амплитуд колебаний УГВ в пунктах наблюдений локальной и региональной сетей мониторинга подземных вод НСМОС¹¹. В то же время линии трендов изменений УГВ в пунктах наблюдений региональной сети мониторинга подземных вод в 2021 г. являются нисходящими, что обусловлено формированием УГВ на данных участках ниже среднемноголетних значений (см. табл. 5).

Первые от поверхности напорные воды в районе Хотиславского месторождения мела и строительных песков относятся к водоносному карбонатному горизонту верхнемеловых отложений, залегающих на глубине от 15–18 м. Фоновым пунктом наблюдений, относительно которого выполнен анализ, является скв. 3н. Данные локального мониторинга показали, что колебания уровня напорных вод в пунктах наблюдений по данным за 2011–2021 гг. в пределах зоны возможного воздействия карьера закономерно повторяли колебания УГВ, т. е. определялись сезонными климатическими явлениями. Максимальные значения уровня напорных вод также характерны для периода весеннего половодья (февраль – апрель), а его минимальные значения – для конца летне-осенней межени (август – декабрь). Ход изменений уровня напорных вод в наблюдательных скважинах 3н и 6н соответствует тенденциям изменения УГВ в фоновой скважине 2н в частности и в пунктах наблюдений локальной сети мониторинга поверхностных вод в целом.

Линии трендов уровня напорных вод в пунктах наблюдений в течение 2011–2021 гг. являются положительными, что указывает на формирование пьезометрического уровня напорных вод в районе карьера в среднем за 2021 г. выше среднемноголетних значений. Тенденция роста глубины залегания уровня напорных вод в 2021 г. также соответствует общим закономерностям формирования напорных вод на гидрогеологических постах НСМОС. Среднемноголетняя амплитуда колебаний уровня напорных вод в скважинах 3н и 6н за период 2011–2021 гг. составила 0,64 м, что соответствует региональным изменениям диапазона среднегодовой амплитуды колебания уровня напорных вод в бассейнах рек Риты и Мухавец (0,5–0,8 м за 1995–2020 гг.)¹².

Для анализа изменения качества подземных вод в 2021 г. определены приоритетные загрязняющие вещества по рН, минерализации, содержанию биогенных веществ азотной группы, хлорид-ионов, сульфат-ионов, нефтепродуктов, общего железа, марганца и некоторых тяжелых металлов. В 2021 г. в районе карьера качество подземных вод оценено по данным всех пунктов наблюдений локальной и региональной сетей мониторинга подземных вод. Так, в 2010–2021 гг. качество грунтовых вод в фоновой скважине 2н не соответствовало допустимым нормативам качества по показателям содержания общего железа (1,21 мг/дм³ (4 ПДК)) и марганца (0,012 8 мг/дм³ (1,3 ПДК)).

В контрольных пунктах наблюдений локальной сети мониторинга подземных вод по состоянию на 2021 г. в скв. 1н наблюдалось превышение фоновых показателей качества грунтовых вод (более чем на 50 %) по минерализации (в 2,2 раза), содержанию сульфат-ионов (в 15,9 раза), общего железа (в 7,4 раза), марганца (в 1,8 раза), меди (в 1,5 раза) и нефтепродуктов (в 3,3 раза), в скв. 4н – по концентрации меди (в 3,3 раза), в скв. 5н – по содержанию аммоний-ионов (в 16,6 раза), общего железа (в 5,9 раза), марганца (в 2,3 раза), меди (в 4 раза) и нефтепродуктов (в 1,7 раза). Кроме того, в фоновой скважине 2н были превышены нормативы качества грунтовых вод по концентрации общего железа (0,97–2,24 мг/дм³ (3,2–7,4 ПДК)) и марганца (0,013 8–0,022 5 мг/дм³ (1,4–2,3 ПДК)), а в скв. 5н – по рН воды (8,9 ед. (1,05 ПДК)).

На участках региональной сети в 2010–2021 гг. качество грунтовых вод соответствовало региональным особенностям формирования подземных вод в бассейне р. Мухавец, в том числе по сходному перечню приоритетных загрязняющих веществ. В этом отношении были превышены нормативы качества по содержанию общего железа (0,661–6,030 мг/дм³ (2,2–20,1 ПДК)) и рН воды (8,7 ед. (1,03 ПДК)) в скв. 8н и концентрации марганца (0,115 мг/дм³ (1,15 ПДК)) в скв. 7н.

В контрольных пунктах наблюдений региональной сети для грунтовых вод в 2021 г. наблюдалось превышение фоновых показателей скв. 2н (более чем на 50 %): в скв. 7н – по минерализации (в 2,5 раза), содержанию аммоний-ионов (в 9,8 раза), меди (в 2,5 раза) и нефтепродуктов (в 3,5 раза), в скв. 8н – по концентрации аммоний-ионов (в 13,6 раза), общего железа (в 5 раз) и нефтепродуктов (в 1,6 раза), в скв. 9н – по содержанию меди (в 1,8 раза), в скв. 10н – по минерализации (в 1,6 раза), концентрации аммоний-ионов (в 4,3 раза), меди (в 4,3 раза) и нефтепродуктов (в 2,3 раза), в шахтном колодце 11н – по минерализации (в 2,5 раза), содержанию аммоний-ионов (в 20,2 раза), нитрат-ионов (в 34,5 раза), сульфат-ионов (в 5,3 раза) и меди (в 2,1 раза). Содержание других показателей соответствовало фоновым значениям либо оставалось близким к ним.

¹¹Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nsmos.by/> (дата обращения: 24.01.2024).

¹²Там же.

Статистические характеристики режима грунтовых вод
в пунктах наблюдений (наблюдательных скважинах)
по данным за 2011–2021 гг.

Table 5

Statistical characteristics of the ground waters regime
at the observation points (observation wells)
based on data for 2011–2021

Параметры	Год	Наблюдательная скважина									
		1н	2н	4н	5н	7н	8н	9н	10н	11н	
Диапазон изменения среднегодового УГВ, м	–	1,59–2,69	2,28–2,91	1,83–2,86	2,44–3,18	2,07–2,74	2,73–3,28	2,15–2,67	0,83–1,25	2,03–2,70	
	–	1,78–2,36	2,37–2,68	2,04–2,50	2,68–3,02	2,18–2,44	2,78–2,99	2,24–2,44	0,93–1,10	2,21–2,47	
	–	157,20	157,17	157,01	155,99	157,75	156,22	157,44	157,38	156,91	
Референсный диапазон среднегодового УГВ 5 % значимости, м	2011	1,51	1,37	1,86	1,26	1,48	1,35	0,96	0,84	0,98	
	2012	0,63	0,25	0,68	0,40	0,87	1,07	0,57	0,21	0,77	
	2013	0,79	0,89	0,78	0,73	0,75	0,53	1,05	0,83	1,05	
	2014	0,86	0,69	0,86	0,83	0,99	0,84	0,52	0,44	1,01	
	2015	0,30	0,46	0,36	0,39	0,87	0,75	0,69	0,72	0,67	
	2016	0,74	0,79	0,67	0,63	0,70	0,55	0,97	0,51	0,47	
Годовая амплитуда колебаний УГВ, м	2017	0,76	0,93	0,80	0,86	0,67	0,66	1,05	0,68	0,77	
	2018	0,29	0,38	0,36	0,44	0,41	0,62	0,71	0,61	0,47	
	2019	0,36	0,67	0,44	0,37	0,97	0,70	0,45	0,94	1,02	
	2020	0,19	0,59	0,24	0,22	0,32	0,29	0,37	0,36	0,40	
	2021	1,46	0,45	1,15	0,63	0,35	0,24	0,23	0,17	0,37	
Среднегодовое колебание амплитуды колебаний УГВ, м	–	0,74	0,68	0,75	0,61	0,76	0,69	0,69	0,57	0,73	

Напорные воды верхнемеловых отложений в районе карьера на участках наблюдательных скважин 3н (фоновой) и 6н (контрольной) характеризовались близкими параметрами контролируемых показателей грунтовых вод. Превышение фоновых значений в 2021 г. более чем на 50 % по содержанию общего железа (в 1,9 раза) и рН (в 1,54 раза) зафиксировано в скв. 6н. Превышение допустимых нормативов качества напорных вод в 2021 г. в скважинах установлено только по содержанию общего железа (11,1–21,3 ПДК) и рН (1,07 ПДК). Диапазоны изменения концентраций контролируемых компонентов в напорных водах являются близкими по величине и остаются в рамках диапазонов их содержания, наблюдавшегося в контрольных региональных пунктах наблюдений НСМОС¹³.

Заключение

Анализ данных мониторинга поверхностных вод в пределах зоны возможного воздействия отработки второй очереди Хотиславского месторождения мела и строительных песков за 2011–2021 гг. показывает, что гидрологический режим р. Риты в контрольных створах выше и ниже карьера находился в зависимости от климатических изменений, но был в значительной степени зарегулированным и определялся режимом эксплуатации подпорных гидротехнических сооружений мелиоративных систем «Вир» и «Сушитница». Зависимость от климатических изменений и подъем уровня воды в компенсационном канале выражены в гораздо меньшей степени, чем в р. Рите. Режим наполнения канала поддерживается за счет отведения дренажных карьерных вод. Тренды уровня поверхностных вод в компенсационном канале и выше карьера в течение 2011–2021 гг. положительные. Они имеют сильный подъем, что указывает на отсутствие существенных негативных явлений на данных участках водных объектов. Тренд уровня поверхностных вод ниже карьера отрицательный. Данный факт обусловлен последствиями ежегодного регулирования стока р. Риты с частичным опорожнением мелиоративных каналов. Анализ данных о загрязнении поверхностных вод в створах водомерных постов за 2010–2021 гг. позволяет заключить, что состояние поверхностных вод р. Риты в фоновом створе соответствует общим тенденциям формирования качества речных вод в бассейне р. Мухавец, но отличается более высоким фоновым содержанием аммоний-ионов, общего железа, марганца и цинка. В 2021 г. пределы изменения показателей качества вод р. Риты в контрольном створе ниже карьера в основном соответствовали или были ниже их значений в фоновом створе, превышение нормативов качества воды наблюдалось по сходному перечню показателей. Учитывая характер закономерностей загрязнения воды в отводящем канале, являющихся однотипными, но менее выраженными, чем в фоновом и контрольном (ниже карьера) пунктах наблюдений, можно заключить, что формирование качества воды в р. Рите в 2021 г. не зависело от воздействия отработки карьера. Река Рита в районе месторождения выступает водоприемником стока мелиоративных систем «Вир», «Сушитница», «Гутянская», поэтому источником загрязнения ее вод в 2010–2021 гг. в контрольных створах водомерных постов является прежде всего дренажный сток из этих мелиоративных систем.

Изменения уровня грунтовых и напорных вод в 2010–2021 гг. в районе карьера в основном определялись сезонными вариациями климатических явлений. Его колебания в пунктах наблюдений синхронные. Они соответствуют тенденциям фоновых изменений. Максимальный уровень подземных вод характерен для периода весенних половодий, а их минимальный уровень – для периодов летне-осенней и зимней межени. Данные локального мониторинга подземных вод в районе Хотиславского месторождения мела и строительных песков за 2021 г. коррелируют с данными региональных пунктов наблюдений за состоянием подземных вод НСМОС в бассейне р. Риты¹⁴. Специфика формирования солевого состава грунтовых и напорных вод на участках пунктов наблюдений локальной и региональной сетей соответствует региональным особенностям формирования подземных вод в бассейне р. Мухавец, принятым в качестве контрольных. Диапазоны изменения концентраций анализируемых веществ в грунтовых и напорных водах скважин близки по величине, они остаются в рамках диапазонов регионального (контрольного) содержания. В 2021 г. грунтовые воды в районе карьера характеризовались повышенной минерализацией и содержанием (с превышением фоновых значений) таких веществ, как аммоний-ионы, сульфат-ионы, общее железо, марганец, медь и цинк, в отдельных контрольных скважинах, а также нитрат-ионов в шахтном колодце. Все скважины, на участках которых допущено превышение фоновых показателей, расположены в пределах пониженных и переувлажненных форм рельефа.

С использованием полученных данных проведена графоаналитическая интерпретация условий изменения качества грунтовых вод. Анализ показывает наличие синхронности основных тенденций содержания загрязняющих веществ в грунтовых водах, выше и ниже карьера (на участках пунктов на-

¹³Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nsmos.by/> (дата обращения: 24.01.2024).

¹⁴Там же.

блюдений локальной сети мониторинга), а также на дальних подступах к нему (на участках региональной сети). При этом основная тенденция минерализации отрицательная, а период содержания сульфатов нейтральный и отрицательный, что указывает на отсутствие на данных участках источника загрязнения, способного оказать комплексное воздействие на качество грунтовых вод. Концентрация аммоний-ионов, которые (наряду с общим железом и марганцем) являются приоритетными загрязняющими веществами, в районе карьера уменьшается. Такая тенденция изменения содержания аммоний-ионов, особенно на фоне снижения среднегодовой глубины залегания УГВ на данных участках, указывает на наличие однотипных нетехногенных источников негативного воздействия на режим УГВ. Соответствие диапазонов изменения концентраций веществ и солевого состава грунтовых и напорных вод контрольному региональному содержанию¹⁵ свидетельствует о формировании их качества в районе карьера и зоне возможного воздействия преимущественно за счет природных факторов.

По состоянию на декабрь 2021 г. эксплуатация Хотиславского месторождения мела и строительных песков осуществляется в комплексе с эффективными защитными водоохранными мероприятиями. Компенсационный канал обеспечивает стабилизацию УГВ в районе карьера и прилегающей к нему территории. Наблюдения за изменением режима поверхностных и подземных вод с установленной частотой позволяют иметь достоверные данные об изменении их уровня и качества, осуществлять контроль за воздействием карьера на окружающую среду.

Библиографические ссылки

1. Марченко НВ, Козак МФ. Эколого-биологическая оценка воздействия загрязнения воды рек Нижней Волги. *Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки*. 2006;3:87–93.
2. Гоман АВ. Геоэкологическое состояние верхней части подземной гидросферы Астраханского Прикаспия. *Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии*. 2005;3:217–223. EDN: KFPVTT.
3. Романенко ВД, Афанасьев СА, Васенко АГ, Осадчий ВИ, Андрейченко ЮИ, Набиванец ЮБ. *Идентификация и оценка источников загрязнения водных объектов («горячих точек») в бассейне Днепра на территории Украины*. Галяпа АА, редактор. Киев: Полиграфконсалтинг; 2004. 282 с.
4. Белозеров ДА, Хованская МА. Пространственно-временная оценка уровней загрязнения подземных вод соединениями азота в зоне влияния предприятия по производству минеральных удобрений. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2015;1:118–124. EDN: TRZODL.
5. Минуллина АА, Мустакимова ИВ, Мавляудинова ГС. Расчет различных показателей состояния бассейна малой реки (на примере реки Степной Зай). *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2010;12(1–4):963–966. EDN: NDXXVUJ.
6. Закруткин ВЕ, Иваник ВМ, Гибков ЕВ, Скларов ВВ. Оценка влияния ликвидируемых шахт Восточного Донбасса на гидрохимический состав малых рек бассейна Северского Донца. *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки*. 2010;3:84–87. EDN: MSLTNV.
7. Климец ЕС, Видыш ТД. Гидроэкологическое состояние карьерного водоема Косичи как антропогенного водного объекта. В: Шалобыга НН, редактор. *Сборник конкурсных научных работ студентов и магистрантов. Часть 1, Проблемы водохозяйственного строительства и охраны окружающей среды*. Брест: Брестский государственный технический университет; 2020. с. 27–31.
8. Волкова НЕ, Иванютин НМ, Подовалова СВ. Оценка гидроэкологического состояния водных объектов бассейна реки Малый Салгир. *Вестник Московского университета. Серия 5, География*. 2021;3:27–36. EDN: CPLLJV.
9. Вартанян ГС, Гродзенский ВД, Плотникова РИ. *Подземные воды России: проблемы изучения, использования, охраны и освоения*. Москва: Геоинформмарк; 1996. 95 с.
10. Волчек АА, Шешко НН. Изменения уровня режима грунтовых вод территории Национального парка «Беловежская пушча». В: Журавков МА, редактор. *Актуальные вопросы инженерной геологии, гидрогеологии и рационального недропользования. Материалы IX Университетских геологических чтений; 3 апреля 2015 г.; Минск, Беларусь*. Минск: Издательский центр БГУ; 2015. с. 15–17.
11. Романов ВВ, Мальский КС. Анализ возможностей изучения гидрогеологического режима карьеров и подземных горных выработок инженерной сейсморазведкой. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;6:74–78. EDN: UOIZEX.
12. Гриневский СО. *Гидрогеодинамическое моделирование взаимодействия подземных и поверхностных вод*. Москва: Инфра-М; 2016. 151 с.
13. Седых ИА. Прогнозирование уровня подземных вод месторождения цементного сырья на основе динамических окрестностных моделей. *Вестник Донского государственного технического университета*. 2018;18(3):326–332. DOI: 10.23947/1992-5980-2018-18-3-326-332.
14. Зекцер ИС. *Подземный сток и ресурсы пресных подземных вод*. Москва: Научный мир; 2012. 374 с.
15. Черепанский ММ. *Теоретические основы гидрогеологических прогнозов влияния подземных вод на речной сток*. Москва: НИА-природа; 2005. 260 с.
16. Корнеев ВН, Дубенок СА, Музыкин ВП, Булак ИА. Прогноз речного стока и гидродинамического режима подземных вод для территорий бассейна реки Припять с нарушенным гидрологическим и гидродинамическим режимом. *Природные ресурсы*. 2022;1:25–37.

¹⁵Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nsmos.by/> (дата обращения: 24.01.2024).

References

1. Marchenko NV, Kozak MF. [Ecological and biological assessment of the impact of water pollution in the Lower Volga rivers]. *Bulletin of the MSRU. Series: Natural Sciences*. 2006;3:87–93. Russian.
2. Goman AV. [Geoecological state of the upper part of the underground hydrosphere of the Astrakhan Caspian Sea]. *Yuzhno-Rossiiskii vestnik geologii, geografii i global'noi energii*. 2005;3:217–223. Russian. EDN: KFPVTT.
3. Romanenko VD, Afanas'ev SA, Vasenko AG, Osadchii VI, Andreichenko YuI, Nabivanets YuB. *Identifikatsiya i otsenka istochnikov zagryazneniya vodnykh ob'ektov («goryachikh tochek») v basseine Dnepra na territorii Ukrainy* [Identification and assessment of sources of pollution of water bodies in the Dnieper basin on the territory of Ukraine]. Galyapa AA, editor. Kyiv: Poligrafkonsalting; 2004. 282 p. Russian.
4. Belozеров DA, Hovanskaya MA. Spatial-temporal evaluation levels of groundwater pollution with nitrogen compounds in the zone of enterprises for the production of mineral fertilizer. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*. 2015;1:118–124. Russian. EDN: TRZODL.
5. Minullina AA, Mustakimova IV, Mavlyautdinova GS. Calculation of various parameters of the small river basin condition (on the example of River Stepnoy Zay). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*. 2010;12(1–4):963–966. Russian. EDN: NDXVUJ.
6. Zakrutkin VE, Ivanik VM, Gibkov EV, Sklyarov VV. Influence estimation of liquidated mines of East Donbass on a hydrochemical compound of the small rivers of Seversky Donets Pool. *Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Sciences*. 2010;3:84–87. Russian. EDN: MSLTNV.
7. Klimets ES, Vidysh TD. [Hydroecological state of the Kosichi quarry reservoir as an anthropogenic water body]. In: Shalobyta NN, editor. *Sbornik konkursnykh nauchnykh robot studentov i magistrantov. Chast' 1, Problemy vodokhozyaistvennogo stroitel'stva i okhrany okruzhayushchei sredy* [Collection of competitive scientific works of students and undergraduates. Part 1, Problems of water management construction and environmental protection]. Brest: Brest State Technical University; 2020. p. 27–31. Russian.
8. Volkova NE, Ivanyutin NM, Podovalova SV. Assessment of the hydroecological state of water bodies in the Maly Salgir River basin. *Lomonosov Geography Journal*. 2021;3:27–36. Russian. EDN: CPLLJV.
9. Vartanyan GS, Grodzenskii VD, Plotnikova RI. *Podzemnye vody Rossii: problemy izucheniya, ispol'zovaniya, okhrany i osvoeniya* [Groundwater in Russia: problems of study, use, protection and development]. Moscow: Geoinformmark; 1996. 95 p. Russian.
10. Volchek AA, Sheshko NN. [Changes in the level regime of groundwater in the territory of the Belovezhskaya Pushcha National Park]. In: Zhuravkov MA, editor. *Aktual'nye voprosy inzhenernoi geologii, gidrogeologii i ratsional'nogo nedropol'zovaniya. Materialy IX Universitetskikh geologicheskikh chtenii; 3 aprelya 2015 g.; Minsk, Belarus'* [Current issues of engineering geology, hydrogeology and rational use of subsoil. Proceedings of the 9th University geological readings; 2015 April 3; Minsk, Belarus]. Minsk: Izdatel'skii tsentr BGU; 2015. p. 15–17. Russian.
11. Romanov VV, Mal'skiy KS. Analysis of possibilities to study the hydrogeological regime of open pits and underground mining engineering seismic. *Mining information and analytical bulletin*. 2015;6:74–78. Russian. EDN: UOIZEX.
12. Grinevskii SO. *Gidrogeodinamicheskoe modelirovanie vzaimodeistviya podzemnykh i poverkhnostnykh vod* [Hydrogeodynamic modelling of the interaction of groundwater and surface water]. Moscow: Infra-M; 2016. 151 p. Russian.
13. Sedykh IA. Forecasting the groundwater level of cement raw materials deposit based on dynamic neighborhood models. *Vestnik of Don State Technical University*. 2018;18(3):326–332. Russian. DOI: 10.23947/1992-5980-2018-18-3-326-332.
14. Zektser IS. *Podzemnyi stok i resursy presnykh podzemnykh vod* [Groundwater flow and fresh groundwater resources]. Moscow: Nauchnyi mir; 2012. 374 p. Russian.
15. Cherepanskiy MM. *Teoreticheskie osnovy gidrogeologicheskikh prognozov vliyaniya podzemnykh vod na rechnoi stok* [Theoretical foundations of hydrogeological forecasts of the influence of groundwater on river flow]. Moscow: NIA-priroda; 2005. 260 p. Russian.
16. Korneev VN, Dubenok SA, Muzykin VP, Bulak IA. Forecast of river runoff and hydrodynamic regime of groundwater for the territories of the Pripjat River basin with disturbed hydrological and hydrodynamic regime. *Natural Resources*. 2022;1:25–37. Russian.

Получена 10.12.2023 / исправлена 25.01.2024 / принята 29.02.2024.
Received 10.12.2023 / revised 25.01.2024 / accepted 29.02.2024.