

## ТРАНСФОРМАЦИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

О. В. ШЕРШНЁВ<sup>1</sup>, А. И. ПАВЛОВСКИЙ<sup>1</sup>, А. Н. ГАЛКИН<sup>2</sup>, И. И. КОСИНОВА<sup>3</sup>,  
И. А. КРАСОВСКАЯ<sup>2</sup>

*natstudy@yandex.ru, aipavlovsky@mail.ru,*

<sup>1</sup>Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины,  
г. Гомель, Беларусь,

*galkin-alexandr@yandex.ru, iakrasovskaya@yandex.ru*

<sup>2</sup>Витебский государственный университет им. П. М. Машерова,  
г. Витебск, Беларусь,

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет,  
г. Воронеж, Россия

**Аннотация.** На территории Республики Беларусь расположено большое количество объектов добычи и переработки минерального сырья. Цель работы – анализ трансформации химического состава подземных вод на примере добычи и переработки минерального сырья в Республики Беларусь. Обобщены данные по выявленным антропогенным очагам загрязнения подземных вод. Проанализирована динамика показателей качества воды и установлены тренды формирования загрязнения. Установлено, что загрязнение дифференцируемо по площади и компонентному составу. Загрязнение носит как устойчивый характер, так и имеет определенную тенденцию снижения, хотя и не постоянную во времени.

**Ключевые слова:** добыча и переработка минерального сырья, подземные воды, карьеры, отвалы, загрязнение, химический состав.

Анализ многолетней динамики за период с 1996 до 2021 г. в структуре общего водоотбора в Республике Беларусь показывает доминирующую роль подземных вод, доля которых составляла от 54 до 58 %. Преобладание добычи подземных вод обусловлено их более высоким качеством по сравнению с поверхностными водами и, как следствие, приоритетным использованием, прежде всего для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Изменение качества подземных вод по различным причинам может привести к формированию локальных и региональных гидрогеохимических аномалий, что потребует дополнительных средств для водоподготовки, а в худшем случае вызвать необходимость разведки нового участка для строительства водозабора.

Поэтому выявление характера изменения показателей качества подземных вод позволяет установить возможные причины таких преобразований и обосновать мероприятия по их устранению.

Задачи настоящего исследования включали:

- 1) обобщение литературных материалов по основным источникам загрязнения подземных вод на территории Республики Беларусь;
- 2) анализ динамики и трендов показателей качества подземных вод в зоне влияния объектов добычи и переработки минерального сырья в Республике Беларусь на основе абсолютных величин показателей загрязнения и количественных критериев.

В качестве количественных критериев, относительно которых характеризуется изменение качества подземных вод, использованы показатели их фонового качества. Для этого используем соотношение  $C_{\text{набл}}/C_{\text{ф}}$ , в котором  $C_{\text{набл}}$  – наблюдаемая концентрация показателя, а  $C_{\text{ф}}$  – фоновая концентрация показателя.

Анализ рядов динамики проведен на основе аналитических показателей темпов прироста, рассчитанных базисным и цепным способами.

Для визуализации, анализа трендов, систематизации и обобщения результатов исследования использованы графические методы представления данных в виде гистограмм и графиков.

Обобщение данных по антропогенным источникам воздействия на компоненты природной среды Республики Беларусь позволило провести структуризацию антропогенных объектов с выявленными очагами загрязнения подземных вод.

Под очагом загрязнения подземных вод понимается приуроченная к антропогенному объекту область водоносного горизонта, содержащая воды существенно иного качества по сравнению с фоновым качеством вод этого горизонта и сформировавшаяся вследствие утечек стоков с поверхности земли [2].

К такому роду объектам относятся:

- территории хранения и захоронения промышленных отходов химической, металлургической, транспортной промышленности и предприятий энергетики;
- места расположения иловых площадок и площадок складирования осадка очистных сооружений объектов водоснабжения и водоотведения;
- полигоны твердых коммунальных отходов;
- объекты хранения, транспортировки и распределения нефтепродуктов;
- участки захоронения непригодных пестицидов;
- территории размещения полей фильтрации и орошения;
- места добычи полезных ископаемых (карьеры).

В пределах таких территорий загрязнение подземных вод наблюдается в результате превышения фоновых концентраций по минерализации, хлор-иону, сульфат-иону, аммоний-иону, фосфат-иону, фенолу, нефтепродуктам, тяжелым металлам, СПАВ, ДДТ.

В настоящей работе оценка воздействия на подземные воды проведена по трем промышленным объектам осуществляющих добычу и переработку минерального сырья в Республике Беларусь: Старобинскому месторождению калийных солей, месторождению строительного камня «Микашевичи» и промышленному комплексу по переработке горнохимического сырья ОАО «Гомельский химический завод».

Выбор объектов обусловлен рядом факторов. Предприятия по добыче и переработке минерального сырья относятся к потенциальным объектам возникновения геоэкологических проблем, которые могут проявляться на различных этапах производственной деятельности, включая извлечение полезного ископаемого и его первичную обработку, процесс получения готовой продукции, образование и размещение отходов производства. Рассматриваемые объекты отличаются значительными размерами и длительным периодом функционирования, составляющим более полувека.

Старобинское месторождение калийных солей открыто в 1949 г. Расположено месторождение в пределах Солигорского, Любанского и Слуцкого районов Минской области и занимает площадь около 350 км<sup>2</sup>. Добычу и переработку сырья Старобинского месторождения осуществляет предприятие ОАО «Беларуськалий».

Старобинское месторождение включает в себя 4 шахтных поля, в пределах которых осуществляется добыча калийной соли. Каждое шахтное поле разрабатывается отдельным рудоуправлением, состоящим из рудника и обогатительной фабрики.

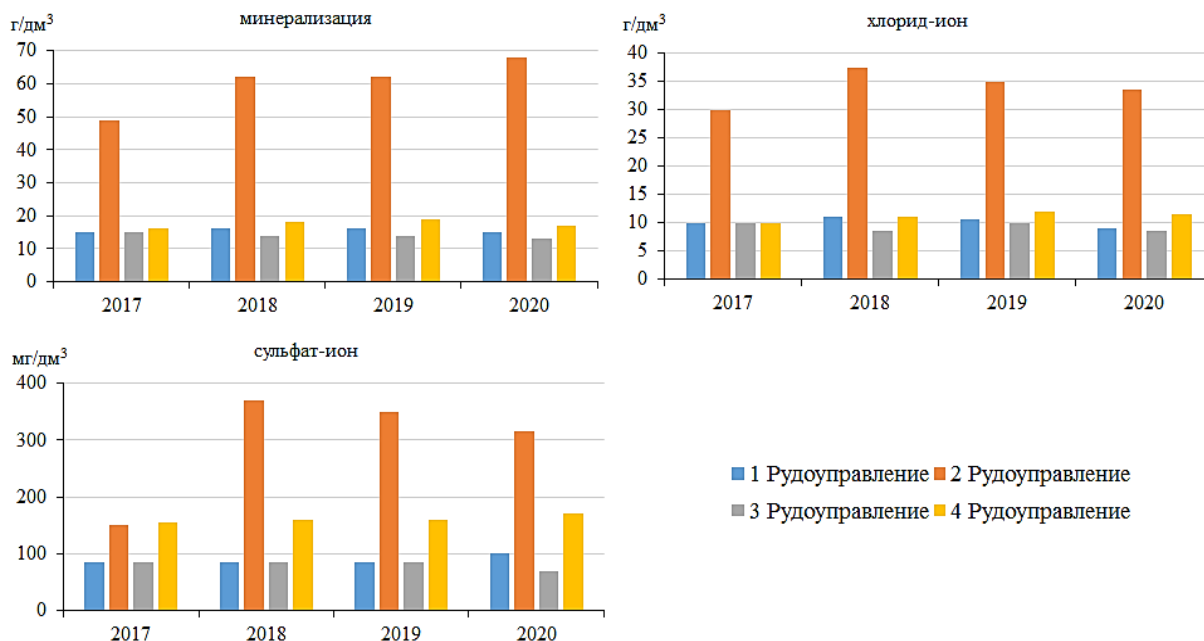
В результате переработки сильвинитовой руды на Солигорском ГОК на земной поверхности образованы солеотвалы отходов, накопленные объем которых составляет более 1 млрд т, а высота до 100 – 120 м. Отходы почти на 90 % состоят из хорошо растворимого галита. Они являются объектом интенсивного воздействия водной и ветровой эрозии. В результате воздействия атмосферных осадков на складированные солевые отходы происходит их выщелачивание и образование рассолов с минерализацией 260 – 350

г/дм<sup>3</sup>, насыщенных *NaCl* и в меньшей степени *KCl*. Хлоридно-натриевые насыщенные рассолы фильтруются в подстилающие грунты и водоносные горизонты [1, 3].

Наблюдение за состоянием подземных вод вблизи солеотвалов и шламохранилищ четырех рудоуправлений ОАО «Беларуськалий» осуществляется посредством локального мониторинга по 129 наблюдательным скважинам [4].

Анализ данных мониторинга за период 2017 – 2019 гг. указывает на устойчивый уровень весьма высоких концентраций хлорид-иона, сульфат-иона и минерализации воды в местах расположения всех четырех рудоуправлений (рисунок 1).

Наиболее высокие концентрации загрязняющих веществ на протяжении длительного времени наблюдаются в подземных водах в скважинах рудоуправления № 2. Средние значения хлорид-иона превышают ПДК для питьевых вод в 100 раз, минерализации в 60 раз, а максимальные концентрации сульфат-иона составляют до 280 ПДК [5].



**Рисунок 1 – Средние концентрации загрязняющих веществ в наблюдательных скважинах рудоуправлений солеотвалов и шламохранилищ ОАО «Беларуськалий» за период 2017 – 2020 гг. По данным [5]**

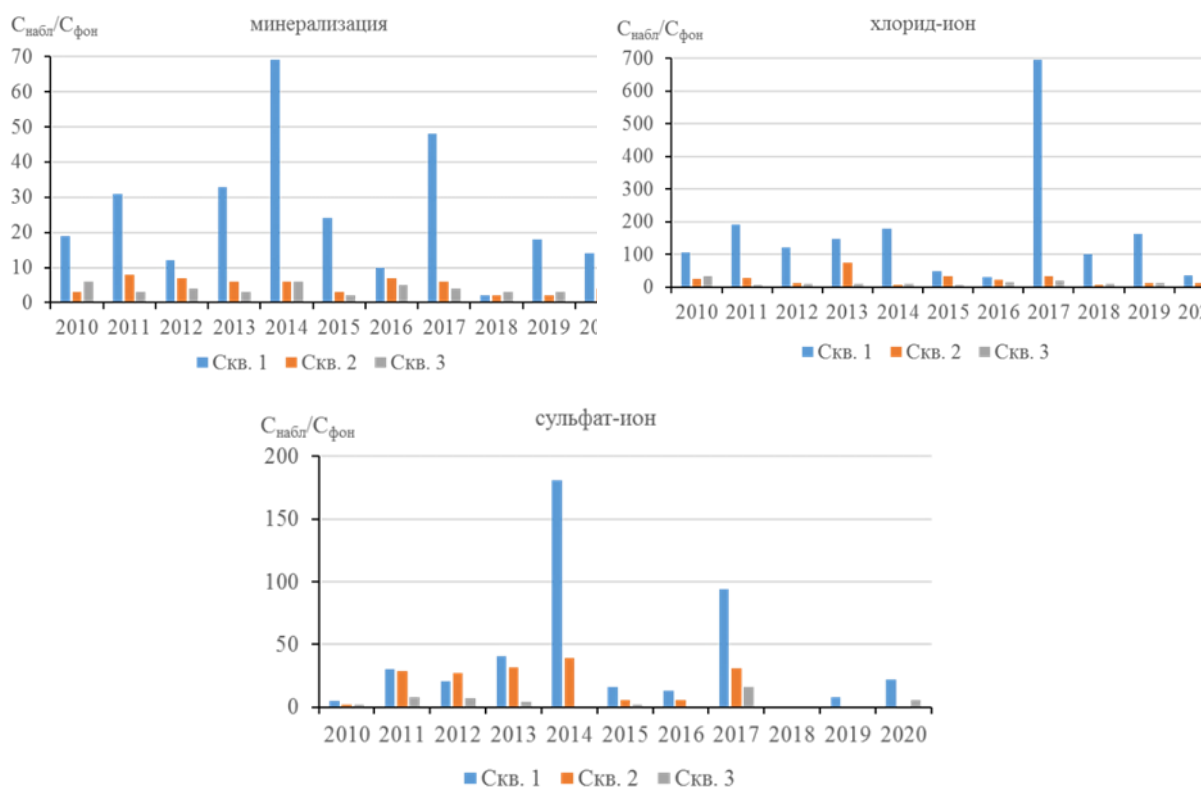
Месторождение строительного камня «Микашевичи» расположено в восточной части Лунинецкого района Брестской области, в 500 м западнее г. Микашевичи.

Разработка полезного ископаемого (диориты, гранодиориты, граниты) осуществляется открытым способом РУПП «Гранит» и предусматривает ведение вскрышных, буровзрывных и добычных работ. Карьер является крупнейшей в Центральной Европе открытой горной выработкой и простирается с запада на восток примерно на 2990 м, а с севера на юг около 1770 м. Глубина карьерной выемки существенно превышает естественную глубину расчленения и составляет до 150 м от поверхности или -20 м в абсолютных высотах.

Определенное негативное влияние на химический состав подземных вод оказывают карьерные воды, которые обогащены хлоридами, сульфатами, соединениями железа, цинка, никеля, меди и свинца. В них также присутствуют взвешенные вещества, нефтепродукты, хром, что обусловлено производственной деятельностью всего комплекса предприятий РУПП «Гранит».

В районе карьера «Микашевичи» локальный мониторинг подземных вод осуществляется на 4 пунктах наблюдения: в 3 наблюдательных скважинах и 1 фоновой [5].

За более чем десятилетний период наблюдений постоянно обнаруживается превышение фоновых концентраций минерализации воды, сульфат-иона и хлорид-иона. Наиболее существенное превышение фоновых концентраций (в десятки и сотни раз) характерны для скважины №1 (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Уровень воздействия ( $C_{набл./C_{фон}}$ ) загрязняющих веществ в скважинах карьера «Микашевичи» за период 2010 – 2020 гг. По данным [5]**

За период 2010 – 2020 гг. в отдельных наблюдательных скважинах отмечается постоянное или периодическое превышение ПДК для вод хозяйственно-питьевого назначения.

В то же время динамика распределения концентраций загрязняющих веществ в подземных водах наблюдательных скважин указывает на определенную тенденцию, хотя и не постоянную во времени, снижения концентраций загрязняющих веществ.

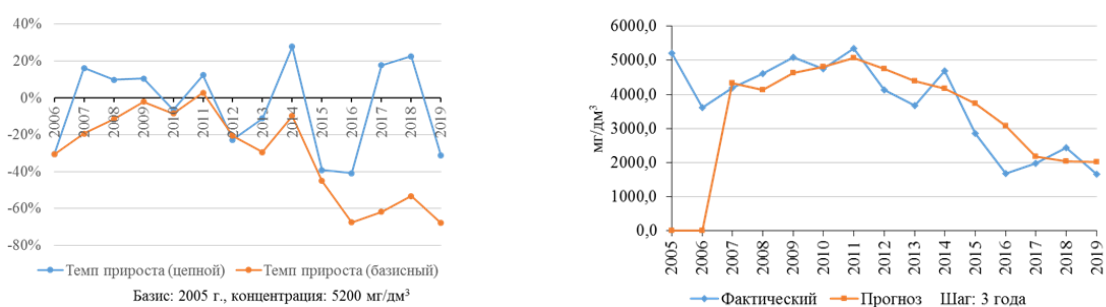
Гомельский химический завод размещен в Гомельском районе на северо-западной окраине г. Гомеля. Предприятие является одним из крупнейших в нефтехимической отрасли Республики Беларусь производителем фосфорсодержащих минеральных удобрений, тукосмесей, серной и фосфорной кислот и др.

Производственный процесс получения готовой продукции приводит к ежегодному образованию более 800 тыс. т твердых отходов фосфогипса, складированного в отвалах. Их накопленная масса составляет более 23 млн. т [6].

Данные локального мониторинга подземных вод свидетельствуют, что на территории размещения отвалов фосфогипса сохраняется, сформировавшееся в течение длительного времени загрязнение, преимущественно представленное сульфатами и фосфатами. Наиболее высокие концентрации сульфат-иона и фосфат-иона, периодически превышающие 4000 мг/дм<sup>3</sup>, обнаруживаются в грунтовых водах и подморенном водоносном горизонте [4]. При удалении от отвалов фосфогипса к его периферийной части и далее к границе санитарно-защитной зоны, их концентрации существенно снижаются, вплоть до величин ниже ПДК для вод хозяйственно-питьевого назначения.

Рассмотрим динамику загрязнения грунтового водоносного, используя временной ряд за 2005 – 2019 гг. для сульфат-иона. Интенсивность и относительную скорость изменения концентраций сульфат-иона исследуем с помощью коэффициента роста (снижения) и темпа прироста (сокращения), а общую тенденцию – методом скользящей средней. За базу сравнения примем концентрацию сульфат-иона в 2005 г.

Динамика сульфатного загрязнения грунтового водоносного горизонта имеет колебательный характер с периодическим сокращением от 10 до 30 % (по цепному показателю), либо возрастанием примерно на такую же величину (рисунок 3). Снижение концентраций сульфат-иона (за исключением 2011 г.) по отношению к базисному 2005 г. наиболее выражено в период 2015 – 2019 гг., когда они составляли 0,2 – 0,55 от базисного показателя. К 2015 г. концентрации сократились на 45 %, а к итоговому 2019 г. сокращение составило почти 68 %. С 2011 г. наблюдается тенденция снижения концентраций сульфат-иона и определенное их выравнивание в последние 4 года до 1700 – 2400 мг/дм<sup>3</sup>.



**Рисунок 3 – Динамика (темпа прироста) и тенденция изменения (скользящее среднее) концентраций сульфат-иона в грунтовом водоносном горизонте (скважина 51) за 2005 – 2019 гг. Составлено по данным полевых исследований**

Таким образом, проведенное исследование показало, что в пределах рассмотренных объектов добычи и переработки минерального сырья сформировались долгое время существующие очаги химического загрязнения подземных вод. Главными признаками химического загрязнения является повышенные значения показателей качества воды по сравнению с фоновыми.

Химическое загрязнение в пределах объектов исследования представлено следующими основными видами: повышенной минерализацией, повышенными концентрациями хлоридов и сульфатов. Загрязнение носит как устойчивый характер, так и имеет определенную тенденцию снижения, хотя и не постоянную во времени.

### Список литературы

1. Губин, В.Н., Экология геологической среды / В.Н. Губин, А.А. Ковалев, С.А. Сладкопечев, М.Г. Ясовеев. – Минск : БГУ, 2002. – 120 с.
2. Методические рекомендации по выявлению и оценке загрязнения подземных вод / ВНИИ гидрогеологии и инж. геологии; В.М. Гольдберг [и др.]. – М. : ВСЕГИНГЕО, 1988. – 76 с. 61 с.
3. Мониторинг качества питьевых вод в Солигорском горнопромышленном районе: обзор информ. / С.С. Бачила, С.М. Зайко, Л.Ф. Вашкевич. – Минск : БелНИЦ «Экология», 2004. – 50 с.
4. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2019 год. – Минск, 2020. – 493 с.
5. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2020 год. – Минск, 2021. – 591 с.
6. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень. – Минск : РУП «ЦНИИКИВР», 2021. – 150 с.