

ГЕОЭКОЛОГИЯ

GEOECOLOGY

УДК 556.388:661.632.2

А. Б. Невзорова¹, О. В. Шершнёв²

¹Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого

²Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины

НАКОПЛЕНИЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Промышленное производство неизбежно сопровождается образованием и накоплением значительных объемов отходов, которые оказывают негативное воздействие на природную среду, в том числе на подземные воды. В Республике Беларусь одним из основных источников такого воздействия являются накопленные крупнотоннажные отходы химической и деревообрабатывающей промышленности, представленные в виде отвалов и шламохранилищ. Проанализирована динамика образования и накопления отходов производства в Республике Беларусь за 2000–2022 гг. Установлена общая тенденция роста образования отходов производства со среднегодовым темпом 4,8%. Накопленные отходы производства за этот же период времени возросли на 88,7%. Среди общего объема образующихся отходов производства до 99% приходится на крупнотоннажные отходы, представленные галитом, фосфогипсом и гидролизным лигнином. Рассмотрен компонентный состав крупнотоннажных накопленных отходов производства и веществ – загрязнителей подземных вод, среди которых хлориды, сульфаты, фосфаты, аммонийный азот. Обобщены пути и механизмы миграции загрязняющих веществ в пределах территорий размещения отходов производства, которые в целом обусловлены уплотнением свежееотсыпаемых отходов, выщелачиванием атмосферными осадками с поверхности отвалов и ветровой эрозией. Оценена динамика развития загрязнения в пределах объектов размещения отходов производства, которая свидетельствует об устойчивом, на протяжении десятилетий, загрязнении подземных вод. Загрязнению подвержены грунтовые и межпластовые воды. Концентрации загрязняющих веществ в десятки и сотни раз превышают ПДК для вод хозяйственно-питьевого назначения. Масштабы распространения загрязнения в зависимости от объекта воздействия проявляются на площадях от сотен до тысяч гектаров.

Ключевые слова: отходы производства, солеотвалы, шламохранилища, отвалы фосфогипса, компонентный состав отходов производства, подземные воды, мониторинг, загрязнение.

Для цитирования: Невзорова А. Б., Шершнёв О. В. Накопление отходов производства и их влияние на состояние подземных вод в Республике Беларусь // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2024. № 2 (283). С. 194–200.

DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-22.

A. B. Neuzorava¹, O. V. Shershnyov²

¹Sukhoi State Technical University of Gomel

²Francisk Skorina Gomel State University

ACCUMULATION OF INDUSTRIAL WASTE AND THEIR INFLUENCE ON THE CONDITION OF GROUNDWATER IN THE REPUBLIC OF BELARUS

Industrial production is inevitably accompanied by the formation and accumulation of significant volumes of waste, which have a negative impact on the natural environment, including groundwater. In the Republic of Belarus, one of the main sources of such impact is accumulated large-tonnage waste from the chemical and woodworking industries, presented in the form of dumps and sludge storage facilities. For the period 2000–2022 the dynamics of the formation and accumulation of industrial waste in the Republic of Belarus has been analyzed. A general trend has been established for the growth of production waste generation with an average annual rate of 4.8%. Accumulated production waste over the same period of time increased by 88.7%. Halite, phosphogypsum, and hydrolytic lignin are the main sources

of large-tonnage waste, accounting for up to 99% of the total production waste volume. The component composition of large-tonnage accumulated industrial waste and groundwater pollutants, including chlorides, sulfates, phosphates, and ammonium nitrogen, has been considered. The pathways and mechanisms of pollutants migration within industrial waste disposal territories has been generalized. Compaction of fresh dumped waste, precipitation leaching from the surface of dumps, and wind erosion are the main causes of them in general. The dynamics of pollution development within industrial waste disposal sites has been assessed. It indicates persistent groundwater pollution over decades. Contamination can occur in both groundwater and middle water. Concentrations of pollutants are tens and hundreds of times higher than the maximum permissible concentration for drinking water. The spreading of pollution, depending on the object of impact, can happen in areas that range from hundreds to thousands of hectares.

Keywords: industrial waste, salt dumps, sludge storage facilities, phosphogypsum dumps, industrial waste's component composition, groundwater, monitoring, pollution.

For citation: Neuzorava A. B., Shershnyov O. V. Accumulation of industrial waste and their influence on the condition of groundwater in the Republic of Belarus. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2024, no. 2 (283), pp. 194–200 (In Russian).

DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-22.

Введение. Отходы являются неотъемлемой частью материального производства и жизнедеятельности человека. Образование и состав отходов зависит от уровня индустриализации и отраслевой структуры промышленности. Производственные процессы предприятий по добыче горно-химического сырья, выпуску химической продукции, водоподготовке питьевой воды и очистке сточных вод сопровождаются образованием значительных объемов отходов, достигающих сотен и тысяч тонн в год.

Степень использования отходов зависит от различных факторов (объема образования отходов, их генезиса, агрегатного состояния, химического состава, токсичного действия и др.) и может составлять 30–60% и более. Однако значительная доля отходов не перерабатывается, а в течение десятков лет размещается на объектах длительного хранения – отвалах, карьерах, накопителях, площадках или захоранивается. Со временем постоянно увеличиваются объемы и площади, занимаемые под складирование отходов, а значит, возрастает и степень воздействия на природную среду.

Компонентный состав загрязняющих веществ, пути и механизмы их миграции, степень воздействия на подземные воды, как правило, являются типичными для территорий складирования отходов производства в различных промышленных регионах мира. Состав загрязнителей представлен: хлоридами, сульфатами, аммонийным и нитратным азотом, патогенной микрофлорой, тяжелыми металлами и металлоидами (As, Cr, Cd, Cu, Ni, Zn и др.) [1], радионуклидами (^{226}Ra , ^{210}Pb и др.) [2–4] и редкоземельными элементами (Sc, Y, лантаноиды) [5–7].

Загрязнение подземных вод в районах расположения отходов производства возможно несколькими путями. Во-первых, посредством воздушного переноса загрязняющих веществ в результате развевания складированных на поверх-

ности земли отходов, последующего оседания пылевого облака и загрязнения почв и грунтов зоны аэрации, а в дальнейшем инфильтрации загрязнения с атмосферными осадками к зеркалу грунтовых вод. Во-вторых, непосредственно из тела отходов в виде фильтрата, сформированного вследствие выщелачивания химических элементов атмосферными осадками, талыми либо грунтовыми водами в случае близкого их залегания, а также с загрязненным поверхностным стоком. Степень воздействия на подземные воды зависит от защитных свойств геологической среды (мощности зоны аэрации, наличия слабопроницаемых пород в геологическом разрезе, их фильтрационных и сорбционных свойств и др.), рельефа местности, обустройства и условий эксплуатации территории складирования отходов, длительности накопления, объема и площади размещения отходов [8–10].

Цель исследования – анализ тенденций образования и накопления отходов производства и их влияние на динамику развития загрязнения подземных вод.

Обобщение и систематизация многолетних статистических данных по обращению с отходами производства, материалов мониторинга подземных вод на отдельных объектах размещения отходов производства и литературных источников позволяют выполнить анализ динамики загрязнения подземных вод и их современного состояния на объектах хранения отходов производства.

Оценка состояния выполнена путем сравнения фактических концентраций загрязняющих веществ с утвержденными нормативами качества вод хозяйственно-питьевого назначения.

Основная часть. В Республике Беларусь пресные подземные воды распространены повсеместно, залегая в четвертичных и дочетвертичных отложениях зоны активного водообмена на глубинах от нескольких метров до 400–450 м. Они являются

приоритетными для централизованного водоснабжения городов, городских и сельских поселков, промышленных предприятий страны, а также эксплуатируются посредством десятков тысяч шахтных колодцев и неглубоких скважин в сельских населенных пунктах и небольших городах.

В условиях, не нарушенных антропогенным воздействием, пресные подземные воды имеют преимущественно гидрокарбонатный магниевый, реже хлоридно-гидрокарбонатный магниевый состав. За многолетний период наблюдений минерализация вод в среднем составляет 258–265 мг/дм³ [11, 12].

Химический состав пресных подземных вод в основном соответствует установленным требованиям качества для централизованных систем питьевого водоснабжения, за исключением повышенного содержания железа, марганца и низких концентраций фтора, йода и окисляемости перманганатной, что обусловлено особенностями природных гидрогеологических условий территории Беларуси. Поэтому они, как правило, требуют предварительной водоподготовки перед подачей водопотребителю [11, 12].

Грунтовые воды испытывают наиболее существенное антропогенное воздействие от складированных отходов, что проявляется в снижении их качества во многих источниках нецентрализованного водоснабжения. Отсутствие в геологическом разрезе регионально выдержанных глинистых водоупоров создает условия для миграции загрязняющих веществ в глубокозалегающие водоносные горизонты.

Долгосрочная динамика ежегодного образования отходов производства в Республике Беларусь показывает устойчивую тенденцию возрастания их объема с 2000 г. За период с 2000 по 2022 г. несмотря на ежегодные колебания темпов прироста от –35,6 до +60,5% среднегодовой темп образования отходов производства составил 2,5%, а общая их масса увеличилась к 2021 г. в 2,7 раза, сократившись до 1,7 раза к 2022 г. За это же время объем накопленных отходов производства вырос на 91,4% (рис. 1).

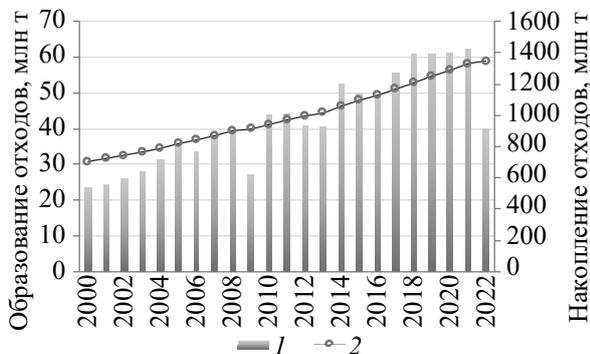


Рис. 1. Образование (1) и накопление (2) отходов производства в Республике Беларусь за 2000–2022 гг. (составлено по данным [12])

Использование образующихся крупнотоннажных отходов достаточно низкое: галитовые отходы – 2,5–3,9%, фосфогипс – 1,3–3,4%. Глинисто-солевые шламы вообще не используются. В наибольшей степени подвергаются переработке отходы гидролизного лигнина – 59–82%. В структуре накопленных промышленных отходов до 98% объема приходится на галитовые отходы и глинисто-солевые шламы (рис. 2).

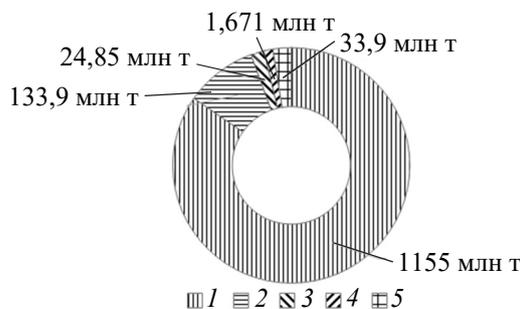


Рис. 2. Структура накопленных отходов производства в Республике Беларусь в 2022 г.: 1 – галитовые отходы; 2 – галитовые, глинисто-солевые шламы; 3 – фосфогипс; 4 – гидролизный лигнин; 5 – прочие (составлено по данным [12, 13])

Твердые галитовые и жидкие глинисто-солевые шламовые отходы образуются в результате производственной деятельности ОАО «Беларуськалий» по добыче и переработке калийных руд на базе Старобинского месторождения. За 2000–2022 гг. наблюдалась тенденция ежегодного возрастания поступления отходов в отвалы и шламонакопители более чем в 2 раза – с 20,0 до 41,4 млн т/год.

Отходы производства складированы на поверхности; твердые галитовые отходы – в солеотвалах высотой до 110–130 м, а глинисто-солевые шламы – в шламохранилищах наливного типа глубиной заполнения 15 м и более. Общая площадь земель, занятая отходами, составляет более 1720 га [12, 14].

Галитовые отходы и глинисто-солевые шламы относятся к 4 классу опасности и являются основными источниками воздействия на подземные воды. Химический состав твердых галитовых отходов в зависимости от метода переработки сильвинитовых руд на 85–92% представлен хлористым натрием. В небольшом количестве также присутствует хлористый калий и хлористый магний, сульфат кальция и сульфат магния, нерастворимый остаток. Глинисто-солевые шламы – суспензия глины в концентрированном растворе (200 г/дм³) хлоридов калия и натрия, количество которых зависит от стадии технологической обработки. Нерастворимый остаток представлен карбонатами, сульфатами, полевым шпатом, кварцем и глинистыми минералами (гидрослюдой) (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав отходов производственной деятельности ОАО «Беларуськалий» [14]

Наименование отхода (метод переработки сырья)	Содержание компонента, %					
	NaCl	KCl	MgCl ₂	MgSO ₄	CaSO ₄	нерастворимый остаток
Галитовые (флотационный)	91,0–92,0	3,0–4,0	0,02–0,06	0,10–0,15	1,1	2,5–4,0
Галитовые (галургический)	85,0–90,0	До 2,5	–	–	–	–
Глинисто-солевые шламы	25,0–30,0		–	–	–	70,0–75,0

Таким образом, основными компонентами загрязнения подземных вод являются хлориды и сульфаты щелочных и щелочноземельных металлов, поступление которых в подземные воды обусловлено несколькими факторами [14, 15]:

- выносом солей с отжимаемой первичной рапой (минерализация до 370 г/дм³) из свежотсыпаемых галитовых отходов;

- выносом солей в результате выщелачивания атмосферными осадками с поверхности солеотвалов и шламохранилищ с образованием рассолов с минерализацией до 340–350 г/дм³;

- выносом солей вследствие ветровой эрозии солеотвалов, а также пылегазовых выбросов обогатительных фабрик и цехов грануляции.

Перенос солей аэральным и водным путем привел к возрастанию концентрации хлоридов натрия и калия в грунтовых водах на площади около 54 тыс. га. Под солеотвалами и шламохранилищами загрязнение распространено до глубины 120–130 м. На отдельных участках минерализация ранее пресных вод достигает 250 г/дм³, а площадь зоны загрязнения напорных подземных вод с общей минерализацией более 1 г/дм³ составляет около 4 тыс. га [12, 14, 15].

Результаты мониторинга подземных вод показывают, что значительные концентрации характерны для хлорид-иона, которые превышают установленные ПДК для вод питьевого назначения в среднем в 40 раз, а максимальные достигают 170 раз (рис. 3).

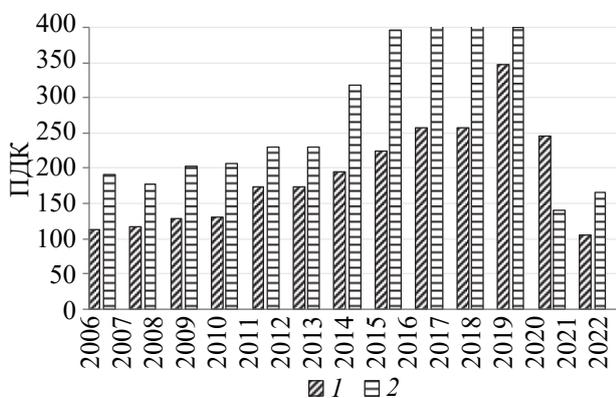


Рис. 3. Максимальные ПДК минерализации (1) и хлорид-иона (2) в подземных водах в зоне влияния отвалов и шламохранилищ ОАО «Беларуськалий» (составлено по данным [11])

В меньшей степени выражено сульфатное загрязнение, в среднем составляющее 0,3–0,5 ПДК. Однако на отдельных площадях концентрации сульфат-иона достигают максимума в 2,0–2,6 ПДК. Для подземных вод характерны также высокие концентрации натрия (до 5,2 ПДК) и калия (более 5000 мг/дм³). На отдельных участках максимальные концентрации некоторых загрязнителей (никеля – 30 ПДК, свинца – 175 ПДК и фенолов – 37 ПДК) существенно превышают ПДК.

Весь объем образующихся в стране отходов фосфогипса связан с производством фосфоросодержащих минеральных удобрений Гомельского химического завода. За 2000–2022 гг. ежегодное образование отходов фосфогипса возросло почти в 3 раза – с 314,0 до 877,7 тыс. т/год, а сформированные к настоящему времени отвалы фосфогипса занимают около 91 га земель [12, 13]. Фосфогипс относится к 4 классу опасности, основными компонентами которого являются оксиды кальция и серы. В меньших количествах присутствуют также оксиды алюминия, кремния, фосфора, фтора и железа (табл. 2).

Поступление загрязняющих веществ в подземные воды связано преимущественно с отжимаемой рапой и выносом солей из влажных отвалов фосфогипса в результате выщелачивания атмосферными осадками с поверхности отвалов.

По данным мониторинга подземных вод наиболее существенное сульфатное и фосфатное загрязнение наблюдается в грунтовом водоносном горизонте на площадях, приуроченных к отвалам фосфогипса. В грунтовом водоносном горизонте под отвалами фосфогипса сформировалась единая зона загрязнения (около 500 га), максимальная минерализация грунтовых вод которой составляет 3,9–4,9 г/дм³, а концентрация сульфатов и фосфатов в разы превышает ПДК для вод питьевого назначения (рис. 4) [8, 10, 12, 16].

Близкие по значению к грунтовому водоносному горизонту концентрации загрязняющих веществ наблюдаются и в нижележащем подморенном (нижне-среднеплейстоценовом) водоносном горизонте. На удалении от территории размещения отвалов происходит существенное снижение загрязнения.

Таблица 2

Химический состав фосфогипс-дигидрата Гомельского химического завода [17]

Содержание компонента, %											
SO ₃	CaO	H ₂ O	P ₂ O ₅ (общ)	P ₂ O ₅ (в.р)	P3Э	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	F	Al ₂ O ₃	MgO	R ₂ O ₃
44,32	31,35	18,00	2,50	1,70	0,92	0,76	0,72	0,70	0,50	0,14	0,13

Таблица 3

Содержание отдельных компонентов в составе лигнина из отвала Бобруйского завода биотехнологий [18]

Среднее содержание компонента, мг/кг								
C ₆ H ₆ O	CH ₄ O	CH ₂ O	Ni	Mn	Cr	Pb	Cu	Zn
20,4	50,2	3,2	1,2	22,3	7,7	1,7	10,5	4,3

Накопленные в стране промышленные отходы гидролизного лигнина образованы в результате производственной деятельности двух предприятий: Бобруйского завода биотехнологий и Речицкого опытно-промышленного гидролизного завода, который прекратил свою деятельность в 2011 г. Снижение производства и, соответственно, образования отходов, а также утилизация образованных отходов привели к сокращению накопленных отходов. Так, максимальный накопленный объем гидролизного лигнина (более 5,7 млн т) приходился на 2005 г., а к 2022 г. он сократился в 4,5 раза [12]. Однако сформированные на протяжении десятилетий отвалы высотой от 1 до 20 м и площадью от 7 до 20 га создают угрозу загрязнения компонентов природной среды. Гидролизный лигнин является отходом 3 класса опасности, а отходы, образующиеся от сортировки лигнина, имеют 4 класс опасности. Загрязнение подземных вод может происходить в результате выноса из отвалов дождевыми и тальными водами фенолов, метанола, формальдегида и микроэлементов (табл. 3).

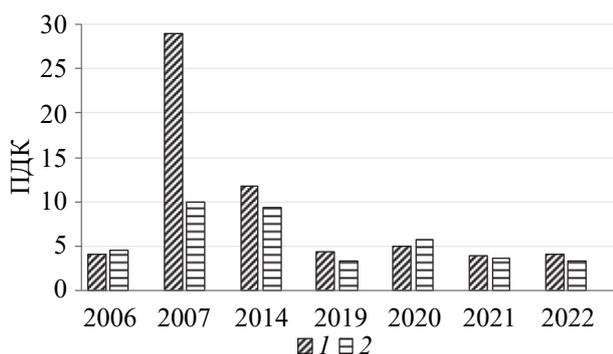


Рис. 4. Максимальные ПДК минерализации (1) и сульфат-иона (2) в подземных водах в зоне влияния отвалов фосфогипса Гомельского химического завода (составлено по данным [11])

Обнаруживаемое загрязнение относится преимущественно к грунтовым водам, в которых наблюдается периодическое превышение

концентрации аммонийного азота до 10,1–24,7 ПДК. Концентрации фенола (0,005–0,090 мг/дм³) значительно ниже ПДК, а загрязнения микроэлементами не происходит. На расстоянии 320–340 м от границы отвалов в пределах санитарно-защитной зоны концентрации химических элементов снижаются до фоновых [11].

Заключение. Результаты исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Проблема загрязнения подземных вод в пределах территорий размещения накопленных отходов производства является актуальной на сегодняшний день в Республике Беларусь. Прежде всего это относится к крупнотоннажным отходам (галитовым, глинисто-солевым шламам, фосфогипсу), объемы образования и свойства которых не позволяют с достаточной эффективностью осуществить их возврат в сферу производства, и степень их использования остается на достаточно низком уровне.

2. За 23-летний период установлена тенденция роста образования и накопления галитовых, глинисто-солевых и фосфогипсовых отходов, которые являются источником постоянного загрязнения пресных подземных вод хлоридами, сульфатами, фосфатами и возрастания их минерализации.

3. Наибольшая степень загрязнения обнаружена в не глубокозалегающих от поверхности водоносных горизонтах, величина которого превышает ПДК для вод питьевого назначения в десятки и сотни раз. Ореолы распространения загрязнения преимущественно ограничиваются площадями, непосредственно прилегающими к местам складирования отходов, а на удалении от них происходит существенное сокращение загрязнения.

4. Сформированные объемы накопленных отходов производства не позволяют осуществить их полную и краткосрочную утилизацию, что предопределяет необходимость постоянного проведения пространственно-временного мониторинга подземных вод существующих объектов размещения отходов. Многие из таких объектов требуют расширения охвата наблюдений как по площади, так и по геологическому разрезу.

Список литературы

1. Distribution of Natural Radionuclides, Rare Earth Elements, Metals and Metalloids in a Phosphogypsum Stockpile / M. J. Madruga [et al.] // *International Journal of Waste Resources*. 2019. Vol. 9 (1). Article 363. DOI: 10.35248/2252-5211.19.9.363.
2. Phosphogypsum weathering and implications for pollutant discharge into an estuary / R. Millán-Becerro [et al.] // *Journal of Hydrology*. 2023. Vol. 617 (A). Article 128943. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2022.128943.
3. The possibility of the phosphogypsum use in the production of brick: Radiological and structural characterization / P. Kuzmanović [et al.] // *Journal of Hazardous Materials*. 2021. Vol. 413. Article 125343. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.125343.
4. Development of a process for the removal of natural radionuclides and other stable pollutants from acid phosphogypsum stacks leachates / S. M. Pérez-Moreno [et al.] // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2023. Vol. 11 (1). Article 109032. DOI: 10.1016/j.jece.2022.109032.
5. Mobility of rare earth elements, yttrium and scandium from a phosphogypsum stack: Environmental and economic implications / C. R. Cánovas [et al.] // *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 618. P. 847–857. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.220.
6. Process for lanthanides-Y leaching from phosphogypsum fertilizers using weak acids / M. S. Gasser [et al.] // *Journal of Hazardous Materials*. 2019. Vol. 378. Article 120762. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2019.120762.
7. Nanominerals assemblages and hazardous elements assessment in phosphogypsum from an abandoned phosphate fertilizer industry / S. F. Lütke [et al.] // *Chemosphere*. 2020. Vol. 256. Article 127138. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.127138.
8. Жогло В. Г., Галкин А. Н. Мониторинг подземных вод на водозаборах и экологически опасных объектах юго-востока Беларуси. Витебск: ВГУ им. П. М. Машерова, 2008. 161 с.
9. Невзорова А. Б. Влияние изменения климата на сферу обращения с активным илом сточных вод. Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2022. 109 с.
10. Жогло В. Г., Галкин А. Н., Ковалева А. В. Особенности создания системы инженерной защиты геологической среды от негативных техногенных процессов в районе Гомельского химического завода // *Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. 2009. № 2. С. 1–13.
11. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений. Минск, 2007–2023. URL: <https://www.nsmos.by/publikacii> (дата обращения: 26.02.2024).
12. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень. Минск, 2001–2023. URL: <https://www.minpriroda.gov.by/ru/bulleten-ru/> (дата обращения: 26.02.2024).
13. Государственный кадастр отходов: государственный информационный ресурс. URL: <https://www.ecoinfo.by/> (дата обращения: 26.02.2024).
14. Смычник А. Д., Богатов Б. А., Шемет С. Ф. *Геозкология калийного производства*. Минск: Юнипак, 2005. 204 с.
15. *Природная среда Беларуси* / под ред. В. Ф. Логинова. Минск: БИП-С, 2002. 422 с.
16. Шершнёв О. В. Оценка развития загрязнения подземных вод на территории размещения твердых отходов химического производства (Республика Беларусь) // *Вестник ВГУ. Серия: Геология*. 2016. № 2. С. 123–140.
17. Адсорбция вредных примесей из фосфогипса / В. С. Комаров [и др.] // *Доклады АН БССР*. 1991. Т. 35, № 5. С. 437–441.
18. Болтовский В. С. Состав гидролизного лигнина из отвалов ОАО «Бобруйский завод биотехнологий» и рациональные направления его использования // *Труды БГТУ*. 2014. № 4: Химия, технология органических веществ и биотехнология. С. 105–108.

References

1. Madruga M. J., Prudencio M. I., Corisco G. J., Mihalik J., Marques R., Santos M., Reis M., Paiva I. F., Dias M. I. Distribution of Natural Radionuclides, Rare Earth Elements, Metals and Metalloids in a Phosphogypsum Stockpile. *International Journal of Waste Resources*, 2019, vol. 9 (1), article 363. DOI: 10.35248/2252-5211.19.9.363
2. Millán-Becerro R., Pérez-López R., Cánovas C. R., Macías F., León R. Phosphogypsum weathering and implications for pollutant discharge into an estuary. *Journal of Hydrology*, 2023, vol. 617 (A), article 128943. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2022.128943.
3. Kuzmanović P., Todorović N., Mrđa D., Forkapić S., Petrović L. F., Miljević B., Hansman J., Knežević J. The possibility of the phosphogypsum use in the production of brick: Radiological and structural characterization. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, vol. 413, article 125343. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.125343.

4. Pérez-Moreno S. M., Romero C., Guerrero J. L., Gázquez M. J., Bolívar J. P. Development of a process for the removal of natural radionuclides and other stable pollutants from acid phosphogypsum stacks leachates. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2023, vol. 11 (1), article 109032. DOI: 10.1016/j.jece.2022.109032.

5. Cánovas C. R., Macías F., López R. P., Nieto J. M. Mobility of rare earth elements, yttrium and scandium from a phosphogypsum stack: Environmental and economic implications. *Science of the Total Environment*, 2018, vol. 618, pp. 847–857. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.220.

6. Gasser M. S., Ismail Z. H., Abu Elgoud E. M., Abdel Hai F., Ali O. I., Aly H. F. Process for lanthanides-Y leaching from phosphogypsum fertilizers using weak acids. *Journal of Hazardous Materials*, 2019, vol. 378, article 120762. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2019.120762.

7. Lütke S. F., Oliveira M. L. S., Silva L. F. O., Cadaval T. R. S., Dotto G. L. Nanominerals assemblages and hazardous elements assessment in phosphogypsum from an abandoned phosphate fertilizer industry. *Chemosphere*, 2020, vol. 256, article 127138. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.127138.

8. Zhoglo V. G., Galkin A. N. *Monitoring podzemnykh vod na vodozaborakh i ekologicheski opasnykh ob'yektakh yugo-vostoka Belarusi* [Groundwater monitoring at water intakes and environmentally hazardous facilities in southeastern Belarus]. Vitebsk, VGU imeni P. M. Masherova Publ., 2008. 161 p. (In Russian).

9. Neuzorava A. B. *Vliyaniye izmeneniya klimata na sferu obrashcheniya s aktivnym ilom stochnykh vod* [The impact of climate change on the treatment of activated wastewater sludge]. Gomel, GGTU imeni P. O. Sukhogo Publ., 2022. 109 p. (In Russian).

10. Zhoglo V. G., Galkin A. N., Kovaleva A. V. Features of the creation of a system of engineering protection of the geological environment from negative technogenic processes in the area of the Gomel chemical plant. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya* [Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology], 2009, no. 2, pp. 1–13 (In Russian).

11. The National Environmental Monitoring System of the Republic of Belarus: Observation Result. Available at: <https://www.nsmos.by/publikacii> (accessed 26.02.2024) (In Russian).

12. State of the natural environment of Belarus: environmental bulletin. Available at: <https://www.minpriroda.gov.by/ru/bulleten-ru/> (accessed 26.02.2024) (In Russian).

13. State waste cadastre: state information resource. Available at: <https://www.ecoinfo.by/> (accessed 26.02.2024) (In Russian).

14. Smychnik A. D., Bogatov B. A., Shemet S. F. *Geoekologiya kaliynogo proizvodstva* [Geoecology of potash production]. Minsk, Unipak Publ., 2005. 204 p. (In Russian).

15. *Prirodnaya sreda Belarusi* [Natural environment of Belarus]. Ed. by V. F. Loginov. Minsk, BIP-S Publ., 2002. 422 p. (In Russian).

16. Shershnyov O. V. Estimation of scale of subterranean water contamination in the influence area of chemical dumps (Republic of Belarus). *Vestnik VGU. Seriya: Geologiya* [Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology], 2016, no. 2, pp. 123–140 (In Russian).

17. Komarov V. S., Itskovich S. M., Rat'ko A. I., Nedoseko I. V. Adsorption of harmful impurities from phosphogypsum. *Doklady AN BSSR* [Reports of the Academy of Sciences of the BSSR], 1991, vol. 35, no. 5, pp. 437–441 (In Russian).

18. Boltovskiy V. S. The composition of a hydrolytic lignin from dumps of JSC “Bobruisk Plant of Biotechnologies” and rational directions for its use. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 4: Chemistry, Organic Substances Technology and Biotechnology, pp. 105–108 (In Russian).

Информация об авторах

Невзорова Алла Брониславовна – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой нефтегазоразработки и гидропневмоавтоматики. Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого (246029, г. Гомель, пр-т Октября, 48, Республика Беларусь). E-mail: anevzorova@gstu.by

Шершнёв Олег Владимирович – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры переподготовки и повышения квалификации. Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины (246028, г. Гомель, ул. Советская, 104, Республика Беларусь). E-mail: natstudy@yandex.ru

Information about the authors

Neuzorava Alla Bronislavovna – DSc (Engineering), Professor, Head of the Department of Oil and Gas Exploration and Hydropneumoautomatics. Sukhoi State Technical University of Gomel (48, Oktyabrya Ave., 246029, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: anevzorova@gstu.by

Shershnyov Oleg Vladimirovich – PhD (Geography), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Retraining and Skills Development. Francisk Skorina Gomel State University (104, Sovetskaya str., 246028, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: natstudy@yandex.ru

Поступила 10.03.2024