

DEVELOPMENT OF SYSTEMS OF EFFECTIVE DIRECTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF MINING AREAS TO ENSURE THEIR ENVIRONMENTAL SAFETY AND COMFORT OF THE HABITAT

I. I. KOSINOVA¹, V. A. BUDARINA¹, A. I. PAVLOVSKY²,

kosinova777@yandex.ru

¹*FBGEI HE Voronezh State University*

Voronezh, Russia

aipavlovsky@mail.ru

¹*Gomel State University named after F. Skorina,*

Gomel, Belarus

Abstract. Significant environmental impacts of mining complexes on the state of environmental components require the development of systems to ensure the environmental safety of their territories. The purpose of this research was to develop this system for the mining area for the extraction and processing of non-ferrous metal ores. A system consisting of a complex of advanced and environmental blocks for ensuring the environmental safety of the territory is proposed. The leading block forms the information basis of subsequent actions, determines the parameters of the background state of the ecological and geological system. The second block is focused on environmental targets, systematizes modern ways and methods of minimizing negative impacts on the comfort of the habitat.

Key words: system, directions, efficiency of the mining area, environmental safety, favorability, comfort, environment, habitation.

УДК 502.52:504.5:338.45:622(476)

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ДЕПОНИРУЮЩИХ И ТРАНЗИТНЫХ СРЕД В ПРЕДЕЛАХ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

А. И. ПАВЛОВСКИЙ¹, А. Н. ГАЛКИН², И. И. КОСИНОВА³, О. В. ШЕРШНЕВ¹,
С. В. АНДРУШКО¹, И. А. КРАСОВСКАЯ², В. Л. МОЛЯРЕНКО¹

aipavlovsky@mail.ru

¹*Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины,*

г. Гомель, Беларусь,

galkin-alexandr@yandex.ru

²*Витебский государственный университет имени П. М. Машерова,*

г. Витебск, Беларусь,

kosinova777@yandex.ru

³*ФБГОУ ВО Воронежский государственный университет,*

г. Воронеж, Россия

Аннотация. Рассмотрены некоторые пространственные закономерности загрязнения депонирующих (почвы, поверхностные грунты, донные отложения) и транзитных сред (водная и воздушная среды) в пределах одного из основных горнопромышленных производств Республики Беларусь – ОАО «Гомельский химический завод» и зоны

его влияния. Установлены закономерности распределения основных загрязняющих веществ в различных средах, наибольшие концентрации компонентов-загрязнителей, а также характер изменения концентраций.

Ключевые слова: экологические функции, геологическая среда, горнопромышленное производство, депонирующие среды, транзитные среды, экологическая геология.

При изучении трансформации экологических функций геологической среды в районах добычи и переработки полезных ископаемых, анализе пространственных закономерностей загрязнения, важным является анализ состояния депонирующих и транзитных сред территории. К депонирующим средам относят почвы, поверхностные грунты, донные отложения, поверхностные и подземные воды и т.д. К транзитным – в основном водную и воздушную среду. Механизмы транзита и накопления загрязняющих веществ отличаются значительным своеобразием и во многих случаях недостаточно изучены.

Для каждого из них характерна своя миграционная способность, транспортировка и накопление, переход в связанное состояние. В районах добычи и переработки полезных ископаемых формируются техногенные формы рельефа (карьеры, отвалы, пруды-отстойники и др.), которые коренным образом изменяют сложившуюся пространственно-временную структуру перераспределения вещественно-энергетических потоков, не учитывают геохимические барьеры, в результате образуются своеобразные поля распространения и накопления загрязняющих веществ.

Большие объемы отходов производства, на территории Беларуси, связаны с переработкой минерального сырья и, в частности крупного отвала фосфогипса Гомельского химического завода. Длительные мониторинговые исследования на территории этого предприятия позволили выполнить оценку состояния депонирующих и транзитных сред.

Оценка загрязнения атмосферного воздуха на исследуемой территории выполнена на основании данных Национальной системы мониторинга окружающей среды. Основными загрязняющими атмосферный воздух веществами, поступающими с выбросами Гомельского химического завода, являются: диоксид серы, серная кислота, аммиак и гидрофторид.

Динамика выбросов в атмосферу диоксида серы и серной кислоты показывает периодическое возрастание и снижение их концентраций, которые в целом не превышают установленные на выбросы нормативы. Однако для диоксида серы за период 2017 – 2020 гг. прослеживается тенденция возрастания концентраций. Для выбросов серной кислоты за период 2011 – 2020 гг. нет явно выраженной тенденции возрастания или снижения концентраций, которые находятся примерно на одном и том же уровне (рисунок 1).

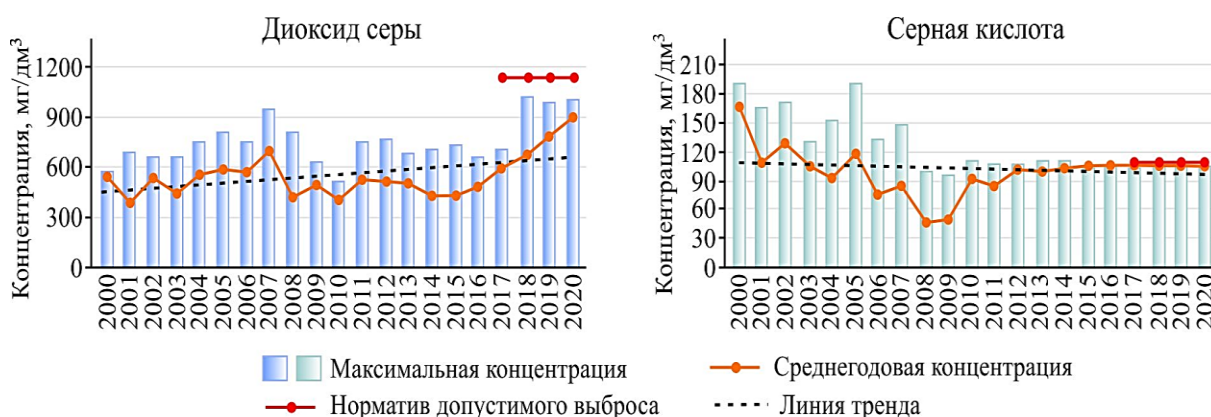


Рисунок 1 – Концентрации контролируемых загрязняющих веществ в атмосферных выбросах ОАО «Гомельский химический завод».
Составлен по данным [1]

На основании выполненных исследований, имеющихся в опубликованных и фоновых источниках данных, проведен анализ природно-техногенной геохимической ситуации по некоторым тяжелым металлам (*Cd*, *Zn*, *Pb*, *Cr*), сформировавшейся в зоне влияния Гомельского химического завода (таблица 1) [4, 5, 6, 7].

Для г. Гомеля и территории Гомельского химического завода содержание тяжелых металлов также является допустимым за исключением отдельных превышений для *Zn* и повышенных концентраций для *Cd* и *Pb*. Концентрации *Cd* и *Cr* для почв близки к фоновым.

Таблица 1 – Среднее содержание анализируемых тяжелых металлов в почвах на сети фонового мониторинга, г. Гомеле, зоне влияния ГХЗ и фосфогипсе, мг/кг [1, 2]

Местоположение	<i>Cd</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Cr</i>
Фоновые значения (РБ)	0,13	22,0	6,8	4,3
Гомельская область	0,1	20,6	6,6	4,5
г. Гомель	0,04–0,40	10,1–81,6	1,1–29,6	1,9–4,9
	0,16	46,9	12,1	3,4
ГХЗ	0,05–0,16	24,8–212,0	5,0–19,4	2,8–8,1
	0,09	95,5	13,0	4,6
Фосфогипс	0,04	84,4	8,1	12,8
ПДК (ОДК)	0,5	55,0	32	100

Примечание: в числителе – минимальное и максимальное значения; в знаменателе – среднее значение.

Зона влияния Гомельского химического завода находится в пределах водосборов рр. Сож, Уза и Рандовка. Анализ состояния вод рр. Сож и Уза показывает, что для этих водных объектов приоритетными загрязняющими веществами являются соединения азота, фосфат-ион, железо и медь. Повышенные концентрации (0,8 – 0,9 ПДК) характерны для цинка (таблица 2).

Таблица 2 – Состояние рр. Сож и Уза по гидрохимическим показателям за 2018 г. составлено по данным [3, 4]

Наименование ингредиента и показателя	ПДК	р. Сож, г. Гомель, 0,6 км выше города	р. Сож, г. Гомель, 13,7 км ниже города	р. Уза, г. Гомель, 5,0 км ЮЗ города	р. Уза, г. Гомель, 10,0 км ЮЗ города
		Значения ингредиента или показателя			
Взвешенные вещества, мг/дм ³	–	6,8	6,9	7,2	8,3
Растворенный кислород, мгО ₂ /дм ³	≥6 Летом	8,8	8,9	8,1	7,9
ХПК _{Сг} , мгО ₂ /дм ³	30,0	23,5	24,1	26,3	31,0
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	3,0	2,1	2,2	2,3	2,7
Аммоний-ион, мгN/дм ³	0,39	0,25	0,26	0,37	0,45
Нитрит-ион, мгN/дм ³	0,024	0,019	0,019	0,022	0,025
Фосфат-ион, мгP/дм ³	0,066	0,071	0,072	0,075	0,083
Железо, мг/дм ³	0,1	0,381	0,391	0,478	0,494
Медь, мг/дм ³	0,001	0,0009	0,0011	0,0015	0,0017
Цинк, мг/дм ³	0,01	0,006	0,006	0,008	0,009
Никель, мг/дм ³	0,01	0,003	0,003	0,003	0,003
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,05	0,015	0,016	0,026	0,026
СПАВ, мг/дм ³	0,005	0,01	0,01	0,02	0,02
Гидрохимический статус		отличный	отличный	Хороший	хороший

В целом гидрохимический статус р. Сож оценивался как отличный, а р. Уза – хороший. Река Рандовка имеет протяженность 21 км, протекает в окрестностях г. Гомеля на западе и северо-западе и впадает в р. Уза. Источниками воздействия на воды р. Рандовка являются мелиорированные участки, занятые сельхозугодьями, сельские населенные пункты, городская ТЭЦ-2 и отвал фосфогипса. Возможность поступления загрязняющих веществ в р. Рандовка может быть обусловлена стоками с отвала фосфогипса, которые, образуют временные водотоки после выпадения дождей и во время снеготаяния. При смешении стоков с речными водами возможен процесс их разбавления и изменение геохимической обстановки в речной воде.

На основе данных локального мониторинга проанализирована пространственная и временная динамика распределения в поверхностных водных объектах контролируемых загрязняющих компонентов (SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NH_4^+) и показателей (минерализация). В пределах санитарно-защитной зоны наблюдается мозаичность распределения гидрохимических показателей. Кислотно-щелочной баланс поверхностных вод территорий, прилегающих к отвалам фосфогипса, характеризуется кислой средой и возрастанием восстановительных свойств по мере удаления.

На границе санитарно-защитной зоне в воде р. Рандовка наблюдается определенное отклонение от установленных нормативов концентраций аммоний-иона, фосфат-иона, реже сульфат-иона, что, по-видимому, может быть влиянием отвалов фосфогипса (рисунок 2). При этом весьма вероятно влияние на загрязнение воды в реке прочих техногенных объектов: автомагистрали, сельскохозяйственных полей и животноводческих комплексов, ТЭЦ.

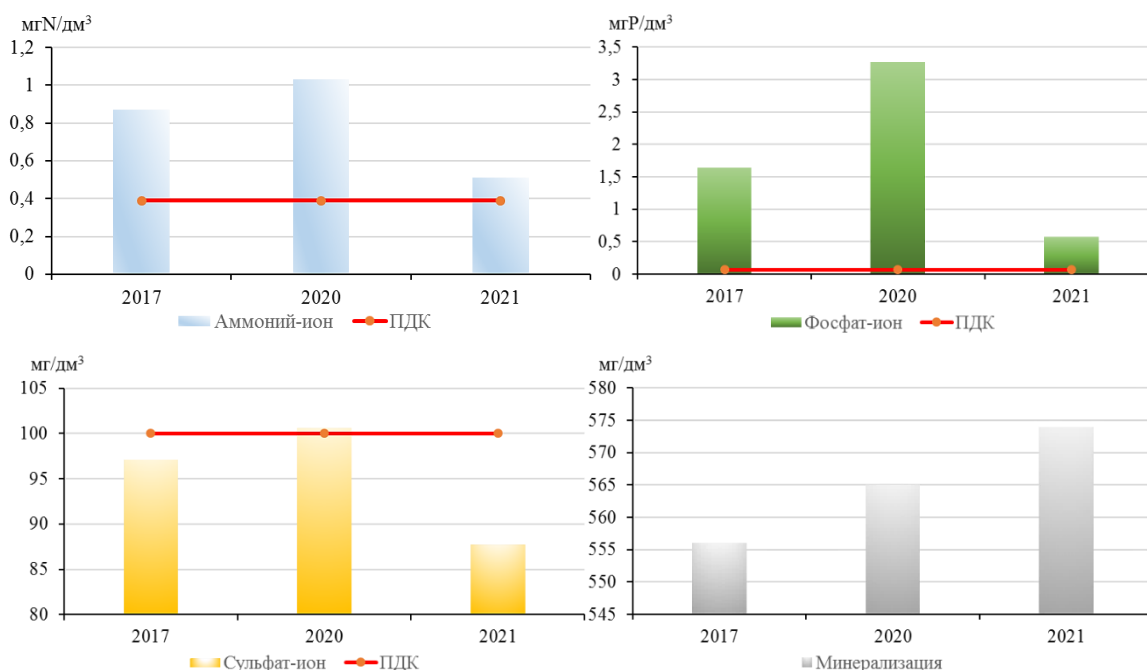


Рисунок 2 – Распределение контролируемых загрязняющих веществ в р. Рандовка в зоне влияния Гомельского химического завода

Динамика распределения характеризуемых загрязняющих компонентов в р. Рандовка показывает периодичность возрастания и снижения их концентраций, которые для аммоний-иона и фосфат-иона характеризуются превышением ПДК.

Особенности строения и мощность зоны аэрации могут оказывать влияние на миграцию загрязняющих веществ, тем самым, определяя защищенность грунтовых вод от загрязнения с поверхности. Часть солей задерживается в зоне аэрации (сорбируется на

породах или отлагается в порах горных пород и почв). На территории Гомельского химического завода размещены отходы производства на площади более 90 га. Они представлены отвалом фосфогипса, который является одним из главных источников формирования загрязнения подземных вод.

Геологическое и гидрогеологическое строение территории были изучены по данным инженерно-геологических изысканий, режимной и локальной сети мониторинга подземных вод в зоне влияния Гомельского химического завода за период 2017 – 2020 гг. Анализ распределения загрязняющих веществ в зоне аэрации на прилегающих к отвалу фосфогипса территориях был проведен посредством изучения водных вытяжек на пяти ключевых участках, расположенных в непосредственной близости от скважин локальной сети мониторинга грунтовых вод. Отбор образцов осуществлялся в пределах трех подзон: почвенной (0,2 м), вадозной (0,6 – 1,6 м) и капиллярной (1,3 – 3,3 м). В качестве анализируемых показателей приняты основные компоненты-загрязнители подземной гидросферы в зоне влияния Гомельского химического завода (сульфат-ион, фосфат-ион, аммоний-ион).

Мощность зоны аэрации не постоянная во времени и в пространстве и зависит от колебания уровня грунтовых вод, а в геологическом отношении – от генезиса, возраста и состава покровных отложений. в пределах санитарно-защитной зоны Гомельского химического завода изменяется от 0 до нескольких метров. Как она правило не превышает 3 – 5 м, а на большей части составляет менее 1 м (рисунок 3). При этом на отдельных площадях, например, в южной части промышленной площадки уровень грунтовых вод находится выше поверхности земли, и зона аэрации отсутствует.



- 1 – площадка ОАО «Гомельский химический завод»,
 2 – контуры размещения отходов производства,
 3 – границы санитарно-защитной зоны, 4 – водоемы и водотоки,
 5 – скважины локальной и режимной сети мониторинга,
 6 – точки отбора проб из зоны аэрации, 7 – изолинии мощности зоны аэрации.

Рисунок 3 – Мощность зоны аэрации в пределах санитарно-защитной зоны Гомельского химического завода (по данным локальной и режимной сети мониторинга подземных вод)

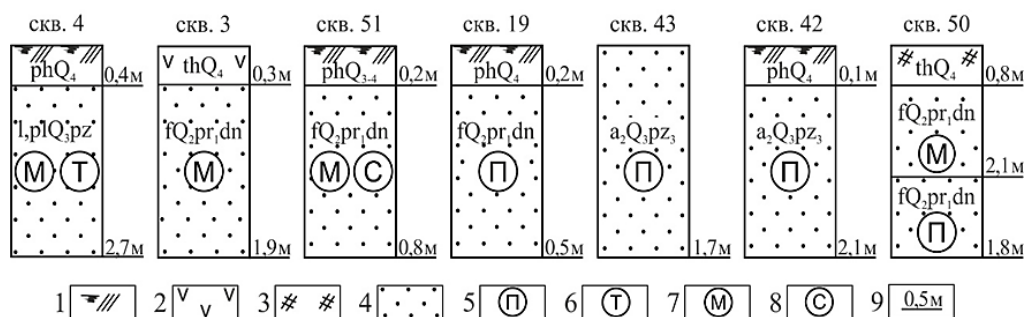
Изменение мощности зоны аэрации связано, прежде всего с сезонными факторами и по распространению зоны аэрации выделены три типа участков.

Первый тип занимает наибольшую площадь и характеризуется постоянным наличием зоны аэрации при высоких и низких уровнях грунтовых вод.

Второй тип представлен участками постоянного отсутствия зоны аэрации, когда грунтовые воды смыкаются с поверхностными: это русла рр. Рандовки и Мильчанской канавы, пруды-усреднители, выпуски технических вод в Мильчанскую канаву, отдельные участки Западного и Южного каналов, примыкающие к отвалу фосфогипса, отдельные карьерные водоемы, расположенные между отвалом фосфогипса и железной дорогой Гомель-Речица.

Третий тип включает участки, периодически затопляемые и на которых на период затопления зона аэрации исчезает. К ним относятся: площади в пределах заболоченных территорий, отдельные участки Западного и Южного каналов удаленные от отвала, участки отдельных пересыхающих карьерных водоемов, расположенных между отвалом фосфогипса и железной дорогой Гомель-Речица, отдельные пониженные участки между высокими отвалами, территория, примыкающая к отвалу фосфогипса с севера, территория между промплощадкой и железной дорогой Гомель-Речица и др.

Строение зоны аэрации представлено различными генетическими типами геологических образований. Среди них выделяются: отложения днепровской морены (супеси и суглинки), водноледниковые отложения времени отступления днепровского ледника (пески мелкие, пески пылеватые, супеси), аллювиальные отложения второй надпойменной террасы р. Сож (пески мелкие и пылеватые), эоловыми отложения верхлеплейстоцен-голоценового времени (пески мелкие), аллювиальные отложения пойм рр. Мильча и Рандовка (пески мелкие и пылеватые), аллювиальные старичные отложения (пески мелкие гумуссированные, ил), болотные отложения (зоторфованный грунт с сильно разложившейся органикой), техногенные насыпные и намывные отложения (фосфогипс, строительные отходы, насыпной песчаный грунт, песчано-глинистый грунт строительных планировок и обратных засыпок). В разрезе зона аэрации может быть представлена однослойной толщей одного генетического типа, двухслойной толщей одного или двух генетических типов и трехслойной толщей двух или трех генетических типов (рисунок 4).

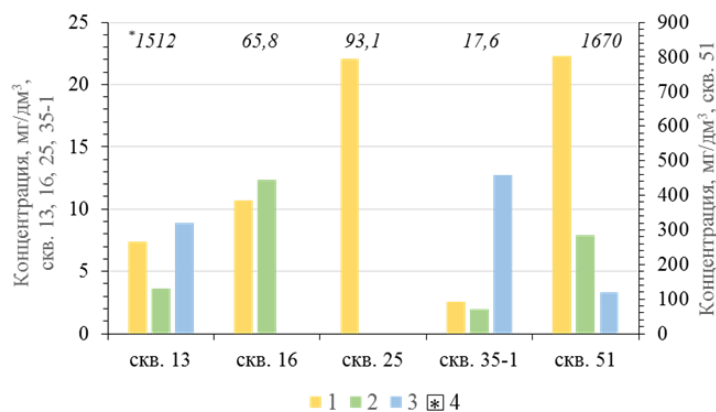


1 – почвенно-растительный слой, 2 – торф, 3 – насыпной грунт,
4 – песок; зерновой состав песка: 5 – пылеватый, 6 – тонкий, 7 – мелкий, 8 – средний;
9 – мощность отложений

*Примечание – Положение скважин см. на рис. 3.

Рисунок 4 – Типовые геолого-литологические колонки зоны аэрации территории исследования

Распределение загрязняющих компонентов в зоне аэрации. Концентрации сульфат-иона в зоне аэрации во всех исследуемых точках существенно ниже по сравнению с грунтовыми водами (рисунок 5). Наиболее высокая концентрация сульфат-иона характерна для зоны аэрации в точке наблюдения, расположенной у скважины 51 в западной части отвалов фосфогипса. На остальных участках концентрации сульфат-иона в той или иной степени близки между собой.

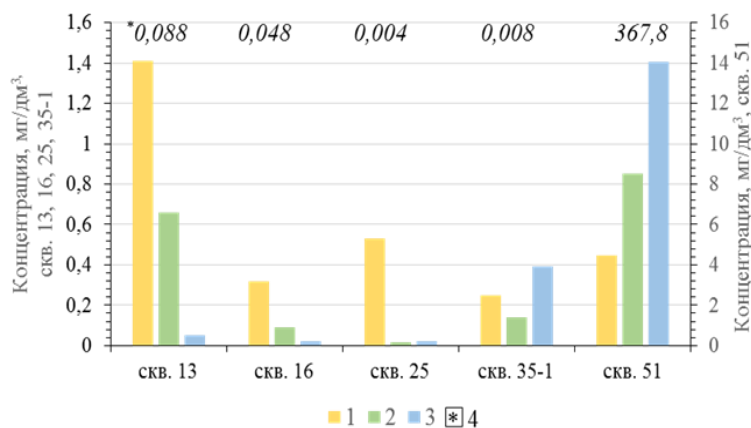


подзоны: 1 – почвенная, 2 – вадозная, 3 – капиллярная;
4 – концентрация компонента в грунтовых водах

Рисунок 5 – Распределение концентраций сульфат-иона в зоне аэрации на территории исследования

Распределение концентраций сульфат-иона в разрезе зоны аэрации на всех исследуемых участках не имеет четко выраженной однонаправленной закономерности. Наблюдается либо сокращение концентрации химического компонента от почвенной подзоны к вадозной и последующее возрастание в капиллярной подзоне (скв. 13, 35-1), либо последовательное снижение концентраций вниз по разрезу зоны аэрации (скв. 51).

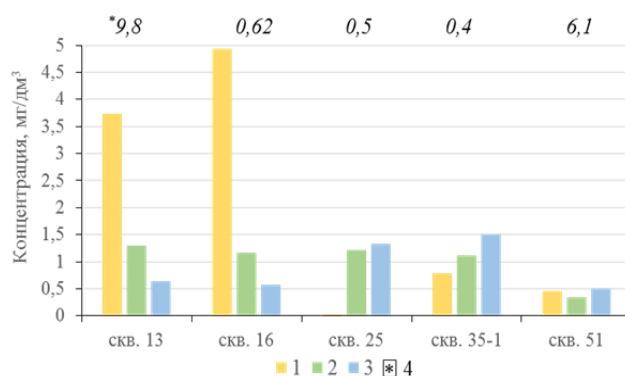
Концентрации фосфат-иона (в пересчете на P) в зоне аэрации во всех исследуемых точках, за исключением скв. 51 значительно выше, чем в грунтовых водах (рисунок. 6).



подзоны: 1 – почвенная, 2 – вадозная, 3 – капиллярная;
4 – концентрация компонента в грунтовых водах

Рисунок 6 – Распределение концентраций фосфат-иона (в пересчете на P) в зоне аэрации на территории исследования

Наблюдается несколько случаев изменения концентрации фосфат-иона по вертикальному профилю зоны аэрации: 1 – постепенное сокращение концентраций (скв. 13, 16), 2 – постепенное возрастание концентраций (скв. 51), 3 – сокращение концентрации химического компонента от почвенной подзоны к вадозной и последующее возрастание концентрации в капиллярной подзоне (скв. 25, 35-1). Концентрации аммоний-иона (в пересчете на N) в зоне аэрации ниже, чем в грунтовых водах лишь в точках в районах скв. 13, 51 (рисунок 7).



подзоны: 1 – почвенная, 2 – вадозная, 3 – капиллярная;
4 – концентрация компонента в грунтовых водах

Рисунок 7 – Распределение концентраций аммоний-иона (в пересчете на N) в зоне аэрации на территории исследования

Наблюдается несколько случаев изменения концентрации аммоний-иона по вертикальному профилю зоны аэрации: 1 – постепенное сокращение концентраций (скв. 13, 16), 2 – постепенное возрастание концентраций (скв. 25, 35-1), 3 – сокращение концентрации химического компонента от почвенной подзоны к вадозной и последующее возрастание концентрации в капиллярной подзоне (скв. 51).

Выводы:

Основными загрязняющими атмосферный воздух веществами, являются: диоксид серы, серная кислота, аммиак и гидрофторид. Динамика выбросов в атмосферу имеет колебательный характер, а концентрации, в целом не превышают установленные на выбросы нормативы.

Содержание тяжелых металлов является допустимым за исключением отдельных превышений для *Zn* и повышенных концентраций для *Cd* и *Pb*. Концентрации *Cd* и *Cr* для почв близки к фоновым.

В целом гидрохимический статус речной сети (рр. Зож, Уза, Рандовка) и поверхностных водоемов находится в пределах нормы. Поступления загрязняющих веществ в р. Рандовка может быть обусловлена стоками с отвала фосфогипса, после выпадения дождей и во время снеготаяния. При смешении стоков с речными водами возможен процесс их разбавления и изменение геохимической обстановки в речной воде. В пределах санитарно-защитной зоны наблюдается мозаичность распределения гидрохимических показателей.

В распределении концентраций анализируемых компонентов в зоне аэрации нет единой выраженной закономерности. Наблюдается разнонаправленный характер изменения концентраций с глубиной, представленный сокращением/возрастанием компонентов вниз по разрезу зоны аэрации, либо сокращением концентрации химического компонента от почвенной подзоны к вадозной и последующим возрастанием в капиллярной подзоне. Подобное распределение концентраций требует дальнейшего более глубокого определения и анализа естественного сложения, гранулометрического и минералогического состава пород зоны аэрации, естественной и гигроскопической влажности, техногенного воздействия на различном удалении от источника загрязнения.

По результатам проведенного исследования в пределах санитарно-защитной зоны Гомельского химического завода установлены три вида участков с различной мощностью, строением зоны аэрации и площадью распространения. Зоны аэрации преимущественно сложена песками различного гранулометрического состава (пылеватыми, мелко- и среднезернистыми), реже супесями и суглинками аллювиального, ледникового и водноледникового генезиса. На локальных территориях с поверхности распространены техногенные грунты. Мощность зоны аэрации на большей части исследуемой территории не превышает 1,0 м.

Наибольшие концентрации компонентов-загрязнителей сульфат-иона и фосфат-иона наблюдаются в зоне аэрации на западном участке в непосредственной близости от размещения отвалов фосфогипса. В распределении концентраций анализируемых элементов в зоне аэрации нет единой выраженной закономерности. Наблюдается разнонаправленный характер изменения концентраций с глубиной, что требует детализации исследований по изучению водно-физических свойств горных пород в зоне аэрации.

Исследование выполнено при поддержке грантов БРФФИ № X20P-284 и РФФИ № 20-55-00010/20 «Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов».

Список литературы

1. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2018 год. Минск, Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды. – 2019. – 476 с.
2. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2020 год. – Минск, Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды. – 2021. – 591 с.
3. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 2017 год). – Минск, 2018. – 223 с.
4. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 2018 г.). – Минск, 2019. – 222 с.
5. Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь: результаты наблюдений, 2016 год. – Минск, 2017.
6. Хомич, В.С. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси / В.С. Хомич [и др.]. – Минск : РУП «Минсктипроект», 2004. – 260 с.
7. Петухова, Н.Н. Геохимия почв Белорусской ССР / Н.Н. Петухова. – Минск : Наука и техника, 1987. – 229 с.
8. Петухова, Н.Н. Оценка загрязнения почв Республики Беларусь тяжелыми металлами / Н.И. Петухова, В.М. Феденя, В.И. Матвеева // Природные ресурсы. – 1996. – № 1. – С. 20–23.

ASSESSMENT OF THE CONDITION OF DEPOSITING AND TRANSIT MEDIA WITHIN MINING AND INDUSTRIAL PRODUCTION OF THE REPUBLIC OF BELARUS

A. I. PAVLOVSKY¹, A. N. GALKIN², I. I. KOSINOVA³, O. V. SHERSHNEV¹,
S. V. ANDRUSHKO¹, I. A. KRASOVSKAYA², V. L. MOLYARENKO¹

aipavlovsky@mail.ru

¹*Gomel State University named after F. Skorina,
Gomel, Belarus,*

galkin-alexandr@yandex.ru

²*Vitebsk Masharov State University,
Vitebsk, Belarus,*

kosinova777@yandex.ru

³*FBGEI HE Voronezh State University*

Abstract. *Some spatial regularities of pollution of depositing (soils, surface soils, bottom sediments) and transit media (water and air) within one of the main mining and industrial production of the Republic of Belarus - "Gomel Chemical Plant" and its zone of influence are*