

ОЦЕНКА РАЗВИТИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА (РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ)

О. В. Шершнёв

*Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины,
г. Гомель, Республика Беларусь*

Поступила в редакцию 18 февраля 2016 г.

Аннотация: проведена оценка техногенного воздействия твердых отходов Гомельского химического завода на химический состав подземных вод. Оценена пространственная дифференциация загрязняющих веществ в подземных водах по площади и в геологическом разрезе. Проанализирована динамика развития загрязнения подземных вод во времени. Выявлены участки и причины интенсивного загрязнения подземных вод и выполнено их картирование.

Ключевые слова: подземные воды, загрязнение, отвалы фосфогипса.

ESTIMATION OF SCALE OF SUBTERRANEAN WATER CONTAMINATION IN THE INFLUENCE AREA OF CHEMICAL DUMPS (REPUBLIC OF BELARUS)

Abstract: the paper assesses a technogenic effect on water chemical structure, produced by dumps of Gomel Chemical Plant. The author fined a spatial pattern of subterranean water contaminants differentiation that tends to develop both horizontally and vertically. The dynamics of subterranean water contamination development in time has been analyzed. As a result of the study, areas and sources of high subterranean water contamination are determined and mapped.

Key words: subterranean water, contamination, phosphogypsum dumps.

Отходы производства являются одним из наиболее масштабных источников воздействия на природную среду. Территории хранения производственных отходов, при отсутствии необходимой экологической инфраструктуры, могут являться локализаторами техногенных аномалий и приводить к локальному загрязнению компонентов природной среды.

На территории Республики Беларусь объем накопленных отходов производства на объектах хранения достигает 1015 млн т. Наибольшие объемы отходов накоплены в пределах крупных промышленных объектов. Одним из них является ОАО «Гомельский химический завод» (ГХЗ), фосфогипсовые отходы которого составляют около 70% от накопленных отходов производства в Гомельской области. ГХЗ специализируется на производстве минеральных удобрений (аммофос, суперфосфат, азотно-фосфорно-калийные), серной и фосфорной кислот и др. В качестве твердого отхода производства фосфорных удобрений ежегодно образуется до 650–800 тыс. т фосфогипса. За 50-летний период функционирования завода в отвалах, размещенных на площади в 91 га, накоплено около 18 млн т фосфогипса [1]. Отвалы являются постоянно действующим источником загрязнения грунтов, поверхностных и подземных вод.

Цель исследования – оценка пространственного распространения и степени загрязнения подземных вод в зоне влияния Гомельского химического завода.

В зоне влияния промышленной площадки и территории размещения отходов фосфогипса обеспечение контроля за состоянием подземных вод осуществляется посредством мониторинга подземных вод. Оперативный анализ состояния подземных вод проводится с периодичностью один раз в год в период спада весеннего половодья, в соответствии с требованиями п. 31 «Инструкции ...» [2].

При рассмотрении загрязнения подземных вод использовались данные локального мониторинга за период 2010–2014 гг. по скважинам, оборудованным на грунтовый, подморенный ниже-среднеплейстоценовый и палеогеновый водоносные горизонты.

В качестве индикаторов загрязнения подземных вод рассматривались следующие контролируемые показатели: водородный показатель, сульфаты, азот аммонийный, фосфор фосфатный, хлориды и сухой остаток.

Для оценки степени загрязнения подземных вод рассчитаны коэффициент концентрации (K_c) и коэффициент концентрации по ПДК ($K_{пдк}$).

$$K_c = \frac{C_i}{C_\phi} \quad (1)$$

где C_i – концентрация i -го элемента, мг/дм³, C_ϕ – фоновая концентрация этого элемента, мг/дм³.

На основании расчетов K_c подземные воды по степени отклонения их от фона разделены на три класса:

Класс 1: $K_c < 3$ – несущественные отклонения от фона, не выявляющие тенденцию изменения показателя.

Класс 2: $3 < K_c < 10$ – заметные отклонения от фона, показывающие тенденцию роста показателя.

Класс 3: $K_c > 10$ – существенные отклонения от фона, указывающие на весьма значительный рост показателя.

$$K_{\text{ПДК}} = \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \quad (2)$$

где C_i – концентрация i -го элемента, мг/дм³, ПДК_{*i*} – предельно допустимая концентрация этого элемента, мг/дм³.

В соответствии с расчетными значениями $K_{\text{пдк}}$ степень загрязнения водоносных горизонтов оценивалась как: допустимая – $K_{\text{пдк}} < 1$; умеренная – $1 < K_{\text{пдк}} < 3$; высокая – $3 < K_{\text{пдк}} < 10$; чрезвычайно высокая – $K_{\text{пдк}} > 10$.

Для удобства описания анализ загрязнения подземных вод представлен по кустам скважин, расположенных в соответствии с требованиями п. 7.9 ТКП 17.06–01–2007 [3]:

– в пределах источника загрязнения – зона отвалов (куст А) и зона ближней периферии, прилегающая к отвалам фосфогипса (куст Б);

– ниже по потоку подземных вод на расстоянии не далее границы санитарно-защитной зоны по основным направлениям потока подземных вод – северо-западном (куст В) и юго-западном (куст Г);

– вне зоны влияния источника загрязнения на расстоянии одной ширины санитарно-защитной зоны (в юго-восточном направлении), вверх по потоку подземных вод от источника воздействия – фоновый куст скважин (куст Д).

На основании расчетных зависимостей (1) и (2) для водоносных горизонтов анализируемых кустов скважин составлены ряды приоритетности загрязняющих компонентов. Число в знаменателе компонента ряда соответствует характерному (повторяемость более 50 %) среднему за период 2010–2014 гг., показывающему во сколько раз концентрация компонента в воде превышает его фоновую или ПДК.

Построение картосхем площадного распространения загрязнения подземных вод выполнено на основании расчета суммарного показателя загрязнения по отношению к фону (3) и ПДК (4):

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n-1) \quad (3)$$

$$Z_{\text{ПДК}} = \sum_{i=1}^n K_{\text{ПДК}} - (n-1) \quad (4)$$

где n – число учитываемых элементов.

В пределах объекта исследования водоносные горизонты, испытывающие техногенное воздействие, приурочены к четвертичным и палеогеновым отложениям, глубина залегания которых изменяется от 2 до 35 м. Разделены они двумя регионально выдержанными водоупорами: 1) моренными супесчано-суглинистыми отложениями, разделяющими грунтовой и ниже-среднеплейстоценовый (подморенный) водоносные горизонты; 2) алевроитами, разделяющими подморенный и палеогеновый водоносные горизонты. Процесс поступления загрязняющих веществ в грунтовой водоносный горизонт обусловлен инфильтрацией атмосферных осадков. Дальнейшее продвижение загрязнения в межпластовые водоносные горизонты происходит на участках нисходящей фильтрации [4, 5, 6].

Поступление загрязняющих веществ в подземные воды с поверхности возможно двумя способами. Первый заключается в переносе загрязняющих веществ воздушным путем и выпадении их с атмосферными осадками, либо их оседании на земную поверхность с последующей инфильтрацией в грунтовые воды. Загрязняющими компонентами, переносимыми воздушным путем в виде аэрозолей или с пылевым облаком, являются: сернистый ангидрид, серная кислота, тетрафторид кремния, фториды, аммиак, аммофос, пылевые частицы, которые могут распространяться на расстояние 2–10 км преимущественно в северном и восточном направлениях [7]. В последние годы распространение пылевого загрязнения с отвалов, по-видимому, существенно сократилось, поскольку отсыпка отвалов по канатной дороге не ведется. Старые отвалы существенно уплотнились и укрепились за счет появления на их склонах растительности.

Установлено, что в окрестностях ГХЗ в пробах снега содержание SO_4^{2-} составляло 22,2–34,5 мг/дм³, PO_4^{3-} – 4,6 мг/дм³, Cl^- – 17,7 мг/дм³ [8]. Проведенные исследования в 2012 г. показали, что на расстоянии санитарно-защитной зоны подземных вод содержание анализируемых показателей в водных вытяжках почв составляло, мг/дм³: SO_4^{2-} – 4,6–17,1, NH_4^+ – 0,9–1,2, PO_4^{3-} – 0,8–1,2, Cl^- – 2,6–3,6 мг/дм³, сухой остаток – 34–115.

Второй, наиболее существенный, способ поступления загрязняющих веществ в подземные воды связан с инфильтрационным проникновением в них отжимаемого из отвалов раствора, обладающего сильнокислой реакцией среды и минерализацией до 50 г/дм³ [7].

Оценка степени загрязнения подземных вод проводилась на основании отклонения содержания оцениваемых показателей от их фоновых величин и ПДК. Анализ таблицы 1 показывает, что за рассматриваемый период фоновые концентрации по контролируемым компонентам периодически изменялись, то возрастающая, то снижаясь. При этом, наиболее заметный

Таблица 1

Фоновые значения и ПДК показателей загрязнения подземных вод, 2010–2014 гг.

Водоносный горизонт	pH	Сухой остаток	SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	Cl ₃
Грунтовый	<u>7,7</u> ¹⁾ 6,9–9,2	<u>431</u> 279–611	<u>129,3</u> 28,2–290,7	<u>0,53</u> 0,2–0,8	<u>0,09</u> 0,02–0,08	<u>13,9</u> 3,6–23,7
	+ + - - ²⁾	- - - 0	- - - +	0 + - -	- 0 + -	- - - +
Подморенный	<u>7,89</u> 7,46–8,04	<u>186</u> 148–220	<u>61,7</u> 47,4–115,0	<u>0,12</u> 0,1–0,12	<u>0,04</u> 0,02–0,07	<u>4,3</u> 3,1–5,6
	- 0 - -	- - + +	+ - 0 +	+ 0 0 0	0 + - 0	0 + - +
Палеогеновый	<u>7,6</u> 7,22–8,07	<u>168</u> 136–185	<u>13,7</u> 10,5–19,0	<u>0,23</u> 0,1–0,5	<u>0,06</u> 0,02–0,1	<u>1,8</u> 1,5–2,3
	+ + - -	- - + +	- - + +	+ + - +	- + - +	+ + - +
ПДК [9]	6–9	1000	500	2	1,14 ³⁾	350
Грунтовые воды [10]	7,61–7,83 ⁴⁾	203–219	12,5–19,8	0,35–0,8	н/д	19–30
Артезианские воды [10]	7,8–8,1	185–200	7,2–11,7	0,4–0,9	н/д	11,4–18,3

Примечания: ¹⁾ – в числителе – среднее, в знаменателе – минимальное и максимальное значение. ²⁾ – знаками “+”, “-”, “0” показана общая тенденция соответственно “роста”, “снижения”, “стабилизации” показателя в течение периодов 2010–2011 гг., 2011–2012 гг., 2012–2013 гг., 2013–2014 гг. ³⁾ – пересчет по Р из СанПиН 10–124 РБ 99. ⁴⁾ – среднее на гидрогеологических постах за 2010–2013 гг. в естественных (слабонарушенных) условиях Республики Беларусь.

размах колебаний, в 6–10 раз, приурочен к грунтовым водам. В целом же по анализируемым водоносным горизонтам фоновые концентрации существенно ниже ПДК и весьма близки к содержанию данных компонентов в естественных (слабонарушенных) условиях Республики Беларусь.

Грунтовый безнапорный водоносный горизонт мощностью 0,5–10 м распространен в средневерхнеплейстоценовых, голоценовых и современных техногенных отложениях, сложенных песчаными, супесчаными и суглинистыми породами, и залегает на глубинах от 0,23 до 2,67 м. Питание горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных

осадков, перетока из нижележащих горизонтов в зонах разгрузки напорных вод, а также отжатия жидкой компоненты отвалов фосфогипса. Водоносный горизонт дренируется ближайшими водотоками и искусственными водоемами. Грунтовые воды имеют северо-западное и юго-западное направление потока.

В рядах приоритетности концентраций показателей по отношению к фону и ПДК лидирует ион SO₄²⁻. При этом в зоне отвалов (куст А) и их ближней периферии (куст Б) он вместе с PO₄³⁻ и NH₄⁺ формирует устойчивую во времени высокую степень загрязнения водоносного горизонта (K_c > 10,0).

$$\text{Куст А (} K_c \text{): } \frac{PO_4^3}{73032} > \frac{SO_4^2}{59,2} > \frac{NH_4^+}{23} > \frac{Cl}{1,7}; (K_{\text{ПДК}}): \frac{PO_4^3}{1300} > \frac{SO_4^2}{8,6} > \frac{NH_4^+}{6,5} > \frac{Cl}{0,05}$$

$$\text{Куст Б (} K_c \text{): } \frac{SO_4^2}{12,1} > \frac{NH_4^+}{7,5} > \frac{Cl}{1,1} > \frac{PO_4^3}{0,6}; (K_{\text{ПДК}}): \frac{SO_4^2}{1,3} > \frac{NH_4^+}{1,0} > \frac{Cl}{0,02} = \frac{PO_4^3}{0,02}$$

$$\text{Куст В (} K_c \text{): } \frac{Cl}{2,5} > \frac{SO_4^2}{0,8} > \frac{NH_4^+}{0,6} > \frac{PO_4^3}{0,3}; (K_{\text{ПДК}}): \frac{NH_4^+}{0,2} > \frac{SO_4^2}{0,1} > \frac{Cl}{0,06} > \frac{PO_4^3}{0,01}$$

$$\text{Куст Г (} K_c \text{): } \frac{SO_4^2}{5,1} > \frac{NH_4^+}{1,4} = \frac{Cl}{1,4} > \frac{PO_4^3}{0,2}; (K_{\text{ПДК}}): \frac{SO_4^2}{0,6} > \frac{NH_4^+}{0,4} > \frac{Cl}{0,03} > \frac{PO_4^3}{0,01}$$

Максимальные концентрации фосфора фосфатного, превышающие фон в десятки тысяч раз, а ПДК более чем в 1000 раз приурочены к его источнику поступления – отвалам фосфогипса, а с удалением к периферии они снижаются до фоновой. Это обусловле-

но низкой миграционной способностью данного элемента, который поглощается корневой системой растений, органикой и связывается в иллювиальном горизонте химическими реакциями [6, 11]. С удалением к ближней периферии отвалов (куст Б) сульфатное

загрязнение является преобладающим, но его абсолютные величины в 5–15 раз ниже, чем в грунтовых водах зоны отвалов, при этом превышая ПДК в 0,5–2 раза. Аналогичная закономерность снижения концентраций прослеживается и для азота аммонийного.

Грунтовые воды дальней периферии на границе санитарно-защитной зоны в северо-западном направлении (куст В) в многолетнем разрезе характеризуются незначительными отклонениями всех анализируемых компонентов от фоновых значений, а их абсолютные величины существенно ниже ПДК. Грунтовые воды юго-западного направления (куст Г) отличаются более высокими коэффициентами концентрации сульфат-иона и азота аммонийного по сравнению с водами северо-западного направления. Возможной причиной их повышения может являться как поступление загрязнения по потоку грунтовых вод, так и воздушный перенос загрязняющих веществ и их инфильтрация с тальмами и дождевыми водами.

Распределение концентраций анализируемых компонентов в грунтовых водах исследуемой территории показывает, что ион хлора не играет роли в формировании их загрязнения. Его концентрации в пределах всей санитарно-защитной зоны незначительно отклоняются от фоновых ($K_c < 3$) и существенно ниже ПДК.

По величине водородного показателя обстановка

грунтовых вод в пределах санитарно-защитной зоны (за исключением зоны отвала фосфогипса) изменяется от нейтральной до слабощелочной.

Анализ динамики за период 2010–2014 гг. подтвердил устойчивость процесса загрязнения грунтовых вод в пределах зоны отвалов и их ближней периферии. Для анализируемых кустов скважин происходит периодическое возрастание и снижение концентраций анализируемых показателей (табл. 2). При этом для грунтовых вод северо-западной периферии колебание содержания анализируемых компонентов является незначительным отклонением от фоновых значений. В пределах ближней и дальней периферии юго-западного направления отмечаются заметные и существенные превышения фоновых значений, а также возрастание относительно ПДК азота аммонийного (до 1,8 ПДК), сульфатов (0,8–2 ПДК) и сухого остатка (0,65–1,3 ПДК).

Наблюдаемое существенное загрязнение в грунтовом водоносном горизонте не имеет сплошного распространения и в основном локализуется в пределах отвалов фосфогипса. Это позволяет сделать вывод, что латеральная миграция загрязнителей относительно незначительна. Загрязнение поглощается породами и частично распространяется вниз в подморенный водоносный горизонт.

Таблица 2

Коэффициенты концентрации загрязняющих веществ (K_c) и их динамика, 2010–2014 гг.

Куст скважин	рН	Коэффициент концентрации (минимальный и максимальный)				
		Сухой остаток	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	Cl ⁻
Грунтовый водоносный горизонт						
А	2,23–2,92	28,6–60,2	16,4–130,2	21,6–49,5	1,4·10 ⁻⁴ –12,3·10 ⁻⁴	0,4–3,4
	+ - - -	- + - -	+ + + -	0 + - +	+ + - +	+ + + -
Б	6,73–7,55	1,3–4,5	2,0–19,1	2,1–15,5	0,1–1,1	0,1–2,8
	+ - - -	- 0 + +	+ + + -	+ - + +	+ - - +	- + + -
В	7,23–8,21	0,4–1,0	0,2–1,6	0,4–1,0	0,07–0,5	0,7–5,5
	+ + 0 -	+ + + +	+ + + -	+ - + +	+ - 0 +	+ + + -
Г	6,04–7,09	0,8–2,3	0,8–6,5	0,8–17,5	0,04–0,7	0,2–2,7
	+ + - -	+ + + +	+ + + -	- + + +	+ + 0 +	+ + + -
Нижне-среднеплейстоценовый водоносный горизонт						
А	6,31–7,58	24,5–36,6	30,6–98,3	3,3–14,2	0,2–2,7	2,0–5,6
	+ - + -	+ - + -	+ - + -	+ - + -	- + 0 +	+ - + -
Б	6,29–7,38	9,8–15,1	21,6–31,3	4,3–14,2	0,1–1,0	13,9–20,3
	+ + - -	- + - -	- + + -	- + - +	- + + +	+ - + -
В	7,9–8,49	1,8–2,0	1,2–2,9	1,0–1,8	1,3–9,5	6,0–10,3
	+ - + -	0 0 0 -	- - 0 -	- 0 + -	- - + +	+ - + -
Г	7,24–7,96	2,1–2,5	1,4–2,5	0,8–1,8	2,4–6,5	1,0–1,6
	+ + - -	+ - 0 -	+ - - -	- + - +	- - + -	0 - 0 +
Палеогеновый водоносный горизонт						
А	7,03–8,0	1,2–1,4	1,3–1,5	0,7–2,1	0,2–1,4	0,8–1,5
	+ + - -	0 - 0 0	+ 0 0 0	- - + -	+ - + -	0 + - -
Б	7,18–7,94	3,9–5,9	23,7–50,2	1,0–2,1	0,2–0,8	7,7–13,8
	+ + - -	+ 0 - +	+ - - +	- + - +	+ - + -	- - + -
В	7,74–8,26	1,5–1,9	5,4–7,8	0,2–1,0	0,8–4,5	11,4–15,2
	+ - 0 -	0 + - +	+ + - 0	- - + +	+ - + -	+ - + -
Г	7,28–7,91	1,7–2,1	3,2–4,3	0,3–3,0	0,2–0,8	1,8–2,9
	+ - - -	+ - 0 +	+ + - +	- - + -	0 + 0 -	- + + -

Нижне-среднеплейстоценовый (подморенный) напорный водоносный горизонт средней мощностью 9 м сложен мелко- и среднезернистыми песками, местами глинистыми. Глубина его залегания, как правило, составляет 13–15 м. Пьезометрические уровни устанавливаются на глубинах +0,81 м до 5,78 м. Питание водоносного горизонта происходит за счет атмосферных осадков в пределах водоразделов и заметно возрастает в местах расположения “гидрогеологи-

ческих окон” в морене. Движение подземных вод происходит в северо-западном и юго-западном направлениях. Реки и мелиоративные каналы являются участками разгрузки водоносного горизонта.

В рядах приоритетности для зоны отвалов (куст А) и их ближней периферии (куст Б) лидирующим является ион SO_4^{2-} , концентрации которого существенно превышают фоновые и обуславливают высокую степень загрязнения водоносного горизонта.

$$\text{Куст А (} K_c \text{): } \frac{SO_4^2}{61,4} > \frac{NH_4^+}{6,5} > \frac{Cl}{5,7} > \frac{PO_4^3}{0,9}; (K_{\text{ПДК}}): \frac{SO_4^2}{6,8} > \frac{NH_4^+}{0,5} > \frac{Cl}{0,05} > \frac{PO_4^3}{0,02}$$

$$\text{Куст Б (} K_c \text{): } \frac{SO_4^2}{26,9} > \frac{Cl}{15,2} > \frac{NH_4^+}{7,5} > \frac{PO_4^3}{0,7}; (K_{\text{ПДК}}): \frac{SO_4^2}{2,7} > \frac{NH_4^+}{0,5} > \frac{Cl}{0,2} > \frac{PO_4^3}{0,03}$$

$$\text{Куст В (} K_c \text{): } \frac{Cl}{8,2} > \frac{SO_4^2}{2,2} > \frac{PO_4^3}{1,7} > \frac{NH_4^+}{1,3}; (K_{\text{ПДК}}): \frac{SO_4^2}{0,2} > \frac{NH_4^+}{0,1} = \frac{PO_4^3}{0,1} = \frac{Cl}{0,1}$$

$$\text{Куст Г (} K_c \text{): } \frac{PO_4^3}{5,0} > \frac{SO_4^2}{1,9} > \frac{Cl}{1,4} > \frac{NH_4^+}{1,1}; (K_{\text{ПДК}}): \frac{SO_4^2}{0,2} > \frac{NH_4^+}{0,1} = \frac{PO_4^3}{0,1} > \frac{Cl}{0,02}$$

В пределах ближней периферии происходит постоянный рост его концентраций, что, по-видимому, вызвано растеканием купала загрязнения под отвалом в ближнюю периферию, возможно диффузионным путем (таблица 2). По-прежнему, как и в грунтовом водоносном горизонте, заметные отклонения от фоновых величин характерны для азота аммонийного, концентрации которого все же в большинстве случаев не превышают ПДК. Концентрация фосфора фосфатного находится в пределах фоновых значений, что указывает на отсутствие его миграции через моренные супесчано-суглинистые отложения в напорные водоносные горизонты.

Анализируемые компоненты в водах дальней периферии характеризуются преимущественно несущественными отклонениями от фоновых значений и не превышают 0,2–0,3 ПДК. Заметные отклонения от фоновых величин фосфора в водах юго-западного направления (куст Г) скорее носят случайный характер, либо вызваны другим источником его поступления, поскольку фосфор не является активным мигрантом. Систематические заметные отклонения хлор-иона от фоновых значений в водах северо-западного направления (куст В) по-видимому, не относятся к загрязнению. Его повышенные абсолютные концентрации относительно фоновых скорее являются естественными, поскольку величина их вариационного размаха за период наблюдений изменилась весьма незначительно от 31,4 до 36,4 мг/дм³.

По сравнению с фоновой слабощелочной средой, воды ниже-среднеплейстоценового горизонта являются преимущественно нейтральными и слабощелочными.

Палеогеновый напорный водоносный горизонт представлен песками разномелкозернистыми, преимущественно мелкозернистыми мощностью около 17 м. Глубина залегания водоносного горизонта составляет 30–35 м, пьезометрические уровни которого составляют от +0,73 м над поверхностью земли до 7,44 м. Питание горизонта происходит путем перетекания вод из вышележащих отложений, а дренирование – ближайшими водотоками. Направление потока подземных вод ориентировано в южном и юго-западном направлениях.

По степени отклонения от фоновых значений и превышения ПДК в рядах приоритетности лидирующим является ион SO_4^{2-} . При этом лишь в зоне ближней периферии отвалов (куст Б) наблюдаются его существенные отклонения от фона и он является приоритетным загрязнителем, превышая ПДК в 1,1 раза. Отмечаемое здесь сульфатное загрязнение, очевидно, обусловлено сложной гидравлической циркуляцией подземных вод (нисходяще-латеральное движение), изменчивостью проницаемости геологического разреза (увеличение опесчаненности отдельных участков разреза), а также длительностью процесса загрязнения (около 30 лет) на данном участке складирования отвалов фосфогипса.

$$\text{Куст А (} K_c \text{): } \frac{SO_4^2}{1,4} > \frac{NH_4^+}{1,3} > \frac{Cl}{1,0} > \frac{PO_4^3}{0,8}; (K_{\text{ПДК}}): \frac{NH_4^+}{0,1} > \frac{SO_4^2}{0,04} > \frac{PO_4^3}{0,03} > \frac{Cl}{0,01}$$

$$\text{Куст Б (} K_c \text{): } \frac{SO_4^2}{35,1} > \frac{Cl}{8,2} > \frac{NH_4^+}{1,7} > \frac{PO_4^3}{0,4}; (K_{\text{ПДК}}): \frac{SO_4^2}{1,1} > \frac{NH_4^+}{0,2} > \frac{Cl}{0,05} > \frac{PO_4^3}{0,02}$$

$$\text{Куст В (} K_c \text{): } \frac{Cl}{12,8} > \frac{SO_4^2}{6,2} > \frac{PO_4^3}{1,0} > \frac{NH_4^+}{0,7}; (K_{\text{ПДК}}): \frac{SO_4^2}{0,2} > \frac{NH_4^+}{0,1} = \frac{PO_4^3}{0,1} = \frac{Cl}{0,1}$$

$$\text{Куст Г (} K_c \text{): } \frac{SO_4^2}{3,9} > \frac{Cl}{2,3} > \frac{NH_4^+}{1,4} > \frac{PO_4^3}{0,6}; (K_{\text{ПДК}}): \frac{SO_4^2}{0,1} = \frac{NH_4^+}{0,1} > \frac{PO_4^3}{0,03} > \frac{Cl}{0,01}$$

Остальные анализируемые компоненты присутствуют в водоносном горизонте в незначительных количествах, измеряемых в десятых и даже сотых долях ПДК. По величине водородного показателя воды палеогенового горизонта относятся к нейтральным и слабощелочным, а их абсолютные значения близки к фоновым.

Анализ картосхем, построенных на основании расчета суммарных показателей загрязнения (рис. 1, 2), и рядов приоритетности загрязняющих веществ по ключевым направлениям потоков подземных вод показал, что наибольшее загрязнение наблюдается в грунтовом и ниже-среднеплейстоценовом водоносном горизонте, локализуясь в пределах центральной части размещения отвалов фосфогипса и их ближней периферии. Отдельные очаги существенного отклонения концентраций анализируемых компонентов от фона и чрезвычайно высокая степень загрязнения проявляются также в пределах производственной

площадки ГХЗ. Степень загрязнения палеогенового водоносного горизонта в границах санитарно-защитной зоны оценивается как допустимая, а концентрации контролируемых компонентов, как правило, не существенно отклоняются от фона.

Прогнозные оценки распространения загрязнения показывают, что даже к 2050 г. в грунтовом и ниже-среднеплейстоценовом водоносных горизонтах не произойдет образования сплошного ореола загрязнения, поскольку перенос загрязнений вдоль напластования горных пород протекает медленно. Наиболее быстро во времени, в результате нисходящей фильтрации подземных вод, происходит сульфатное загрязнение палеогенового водоносного горизонта. Прогнозируется, что к 2050 г. загрязнение не только распространится в палеогеновом водоносном горизонте, но и возможно достигнет турон-маастрихтского водоносного горизонта, в котором содержание сульфатов может возрасти до 300–350 мг/дм³ [7, 12].

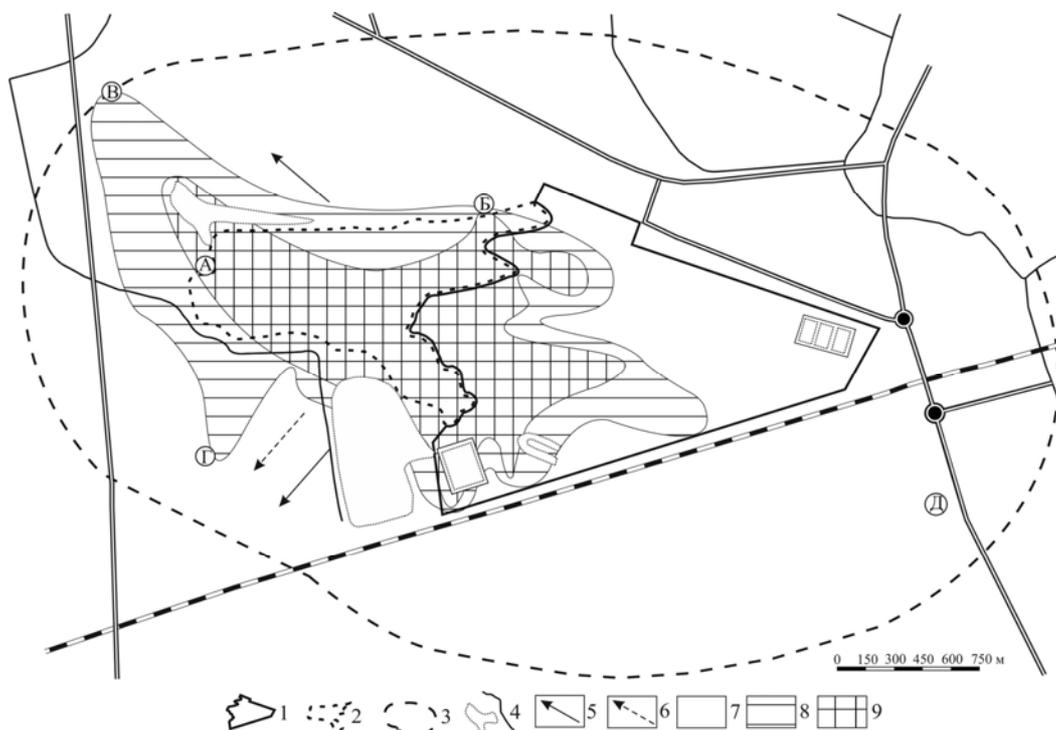


Рис. 1. Распространение загрязнения подземных вод по суммарному показателю загрязнения Z_c : 1 – промышленная площадка ГХЗ; 2 – контуры отвалов фосфогипса; 3 – граница санитарно-защитной зоны; 4 – водные объекты; 5 – направление потока грунтового и подморенного водоносного горизонта; 6 – направление потока палеогенового водоносного горизонта, 7 – несущественные отклонения от фона; 8 – заметные отклонения от фона; 9 – существенные отклонения от фона.

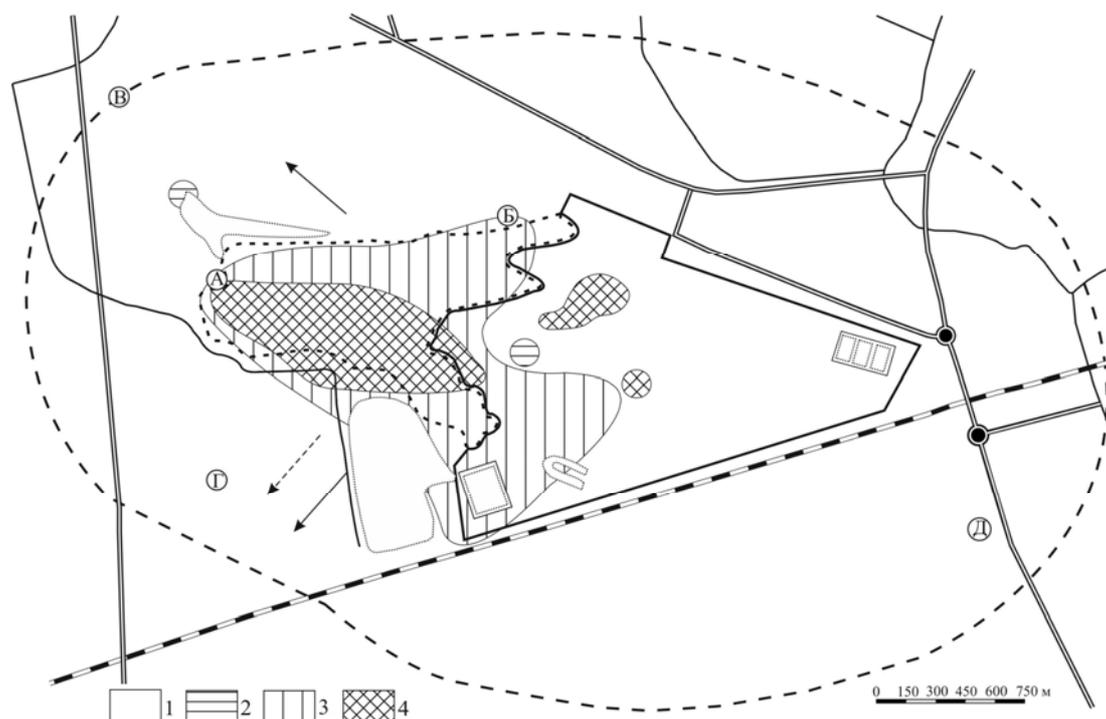


Рис. 2. Распространение загрязнения подземных вод по суммарному показателю загрязнения $Z_{ПДК}$, степень загрязнения: 1 – допустимая; 2 – умеренная; 3 – высокая; 4 – чрезвычайно высокая.

Анализ распределения загрязняющих компонентов за период 2010–2014 гг. указывает на периодичность возрастания и снижения концентраций от года к году (таблица 2). Не наблюдается устойчивой тенденции значительного роста загрязнения на периферии санитарно-защитной зоны. По величине сухого остатка подземные воды рассматриваемых горизонтов характеризуются несущественными отклонениями от фоновых значений. Однако концентрация сульфатов в них часто характеризуется заметными отклонениями от фоновых величин. При этом их абсолютные значения в подземных водах северо-западного и юго-западного направления дальней периферии близки между собой. По-видимому, первые порции сульфатного загрязнения во всех водоносных горизонтах уже достигли дальней периферии в пределах санитарно-защитной зоны. Но концентрация сульфатов в них никогда не превышает ПДК, составляя в среднем 0,1–0,6 ПДК в грунтовом водоносном горизонте, 0,1–0,2 ПДК – в нижне-среднеплейстоценовом и палеогеновом водоносном горизонте.

Таким образом, результаты исследования позволили установить контуры площадного развития загрязнения подземных вод и выявить наличие зон с различной степенью загрязнения. Площади максимального загрязнения подземных вод приурочены к зоне отвалов фосфогипса и ближней к нему периферии. Сокращение загрязнения прослеживается при продвижении к дальней периферии в границах санитарно-защитной зоны.

Поступление загрязняющих веществ в подземные воды происходит за счет инфильтрации загрязнения с поверхности земли. Основным загрязняющим компо-

нентом водоносных горизонтов является сульфат-ион, доля которого в сухом остатке вод высокой степени загрязнения достигает 60–70 %. Высокая степень загрязнения в пределах территории размещения отвалов фосфогипса происходит за счет азота аммонийного ($K_c > 20$) и фосфора фосфатного, концентрации которого превышают фоновые в тысячи раз.

Наибольшая степень загрязнения характерна для грунтовых вод зоны отвалов фосфогипса, в которых содержание загрязняющих веществ, как правило, превышает фоновые величины и ПДК в десятки раз. Значительное загрязнение наблюдается и в нижне-среднеплейстоценовом водоносном горизонте. Однако превышение фоновых значений и ПДК в нем существенно ниже, чем в грунтовом водоносном горизонте. Снижение содержания загрязняющих компонентов в нижне-среднеплейстоценовом водоносном горизонте определяется поглощающей способностью днепровских моренных супесей и суглинков, которая проявляется дифференцировано (активно поглощается фосфор фосфатный, в меньшей степени сульфаты и азот аммонийный). Химический состав палеогенового водоносного горизонта за исследуемый период не претерпел заметных изменений, за исключением случаев возрастания концентрации сульфатов и сухого остатка в пределах ближней периферии отвалов фосфогипса, превышающих фоновые значения и ПДК. Существенным барьером на пути проникновения загрязнения в палеогеновый водоносный горизонт в зоне отвала фосфогипса являются алевроиты верхней части палеогеновой толщи, для которых характерна очень слабая проницаемость и вероятно высокая сорбционная способность. По-видимому, первые пор-

ции загрязненных сульфатами вод продвинулись к периферийной области в пределах санитарно-защитной зоны. Однако динамика их концентраций за период 2010–2014 гг. не отражает устойчивой тенденции к возрастанию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Состояние природной среды Беларуси: экол. бюл. 2013 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2014. – 364 с.
2. Инструкция о порядке проведения локального мониторинга окружающей среды юридическими лицами, осуществляющими эксплуатацию источников вредного воздействия на окружающую среду. Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2007. – № 148, 8/16640. – С. 121–136.
3. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила размещения пунктов наблюдений за состоянием подземных вод для проведения локального мониторинга окружающей среды: ТКП 17.06–01–2007. Минск: Минприроды, 2007. – 12 с.
4. Жогло, В. Г. Опыт ведения мониторинга подземных вод в зоне влияния Гомельского химзавода / В. Г. Жогло, А. Ф. Акулевич, В. В. Коцур. – Минск: БелНИЦ «Экология», 1997. – 41 с.
5. Жогло, В. Г. К оценке интенсивности площадного питания подземных вод / В. Г. Жогло, А. А. Плетнев // Докл. АН Беларуси. – 1992. – Т. 36. – № 11–12. – С. 1005–1007.
6. Коцур, В. В. Гидрогеохимия зоны интенсивного водообмена территории Гомельского химического завода /

В. В. Коцур // Литосфера, 2000. – № 13. – С. 93–100.

7. Коцур, В. В. Геохимия подземных вод зоны активного водообмена на территории влияния Гомельского химического завода: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук: 25.00.09. – Минск: ИГН НАН Беларуси, 2004. – 21 с.
8. Бондаренко, С. В. Влияние хозяйственной деятельности человека на окружающую среду (на примере Гомельского промрайона) / С. В. Бондаренко, Ж. А. Герасимова // Влияние хозяйственной деятельности на гидрогеологические и инженерно-геологические условия республики. – Минск: БелНИГРИ, 1989. – С. 104–110.
9. СанПин 10–124 РБ 99 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – Минск, 2000.
10. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2013 / Под ред. М. А. Ереско. – Минск, «Бел НИЦ «Экология». – 2014.
11. Гусев, А. П. Особенности формирования ландшафтно-геохимических барьеров в зоне влияния отходов химических производств (Гомельский химический завод) / А. П. Гусев, О. В. Шершнев, А. И. Павловский и [др.] // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2013. – № 2. – С. 147–152.
12. Жогло, В. Г. Система численных геофильтрационных моделей верхнего этажа гидrolитосферы юго-востока Республики Беларусь / В. Г. Жогло. – Минск: ИГН НАН Беларуси, 2001. – 176 с.

Гомельский государственный университет имени
Ф. Скорины

Шершнёв Олег Владимирович, кандидат географических наук, доцент кафедры социально-гуманитарных дисциплин Института повышения квалификации и переподготовки кадров учреждения образования
E-mail: gomegeo@yandex.ru

Francisk Skorina Gomel State University

Shershneyov O. V., Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Institute of Skills Development and Staff Retraining
E-mail: gomegeo@yandex.ru