

УДК 556.388:661.632.2

ТЕХНОГЕННЫЕ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ОТХОДОВ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

О. В. ШЕРШНЁВ¹⁾

¹⁾Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины,
ул. Советская, 104, 246019, г. Гомель, Республика Беларусь

Проведена оценка воздействия твердых отходов Гомельского химического завода на химический состав подземных вод. Проанализирована роль контролируемых макрокомпонентов, представленных SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NH_4^+ и Cl^- , в формировании загрязнения подземных вод. Впервые рассмотрены особенности распространения тяжелых металлов (Cu, Zn, Cr, Co, Pb, Cd, As, Hg) в подземных водах на территории размещения отходов фосфогипса. Установлен уровень техногенных гидрогеохимических аномалий элементов-загрязнителей, а также их пространственная дифференциация по площади и в геологическом разрезе. Выделены участки с различными геохимическими условиями по основным направлениям потоков подземных вод, в пределах которых возможно формирование определенных типов геохимических барьеров, приводящих к снижению контрастности гидрогеохимических аномалий.

Ключевые слова: отходы производства; подземные воды; загрязнение; гидрогеохимические аномалии.

TECHNOGENIC HYDROGEOCHEMICAL ANOMALIES WITHIN THE INFLUENCE AREA OF INDUSTRIAL CHEMICAL DUMPS

O. V. SHERSHNYOV^a

^aFrancisk Skorina Gomel State University, Sovetskaya street, 104, 256019, Gomel, Republic of Belarus

The paper assesses a technogenic effect on groundwater chemical structure, produced by dumps of Gomel Chemical Plant. The role of controlled macrocomponents, presented by SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NH_4^+ and Cl^- , which influence groundwater pollution is analyzed. For the first time the features of the distribution of heavy metals (Cu, Zn, Cr, Co, Pb, Cd, As, Hg) in the groundwater within the phosphogypsum dumps are considered. The levels of technogenic geochemical anomalies of elements-pollutants and their spatial differentiation and in the geological profile are found. Areas with different geochemical features on the main paths of groundwater flow are determined. Within these areas there is a possibility for some types of geochemical barriers, which may reduce the contrasts of hydrogeochemical anomalies.

Key words: industrial wastes; groundwater; contamination; hydrogeochemical anomalies.

На территории Республики Беларусь объем накопленных отходов производства на объектах хранения достигает 1015 млн т. Наибольшее их количество находится в пределах крупных промышленных объектов [1–5]. Как правило, на таких землях формируются локальные техногенные гидрогеохимические аномалии.

Образец цитирования:

Шершнёв О. В. Техногенные гидрогеохимические аномалии в зоне влияния отходов химического производства // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 1. С. 130–136.

For citation:

Shershnyov O. V. Technogenic hydrogeochemical anomalies within the influence area of industrial chemical dumps. *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2017. No. 1. P. 130–136 (in Russ.).

Автор:

Олег Владимирович Шершнёв – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры социально-гуманитарных дисциплин Института повышения квалификации и переподготовки кадров.

Author:

Oleg Shershnyov, PhD (geography), docent; associate professor at the department of social and humanitarian disciplines, Institute of skills development and staff retraining. gomelgeo@yandex.ru

Несмотря на множество научных исследований по оценке такого влияния, для некоторых объектов все еще отсутствуют данные о распространении определенных элементов-загрязнителей в подземных водах. К их числу относится территория ОАО «Гомельский химический завод» (ГХЗ), за 50-летний период функционирования которого накопилось около 18 млн т неутилизированных твердых отходов фосфогипса, размещенных на площади 91 га. Завод специализируется на производстве минеральных удобрений (азотно-фосфорно-калийные, аммофос, суперфосфат), серной и фосфорной кислот и т. д. В качестве твердых отходов производства фосфорных удобрений ежегодно образуется до 650–800 тыс. т фосфогипса [6]. В зоне влияния промышленной площадки и территории размещения отходов фосфогипса контроль за состоянием подземных вод осуществляется посредством их мониторинга. Созданная сеть мониторинга и проведенные научные исследования обеспечили возможность систематической оценки воздействия твердых отходов ГХЗ на состояние подземных вод [7–10].

Постепенно, за счет ввода новых скважин, также развивалась режимная сеть мониторинга. За период с 2005 по 2012 г. для полноты наблюдения за уровнями и химическим составом подземных вод в нее были включены 12 скважин на различных водоносных горизонтах. В связи с этим обновляемая информация требует своевременного анализа и интерпретации. Однако, несмотря на длительный период исследований, касающихся оценки загрязнения подземных вод в районе ГХЗ, данные по распространению в них тяжелых металлов отсутствуют.

Цель настоящего исследования – установить особенности распространения контролируемых элементов-загрязнителей в зоне влияния неутилизированных отходов фосфогипса Гомельского химического завода.

Исходными данными послужили результаты химического анализа, полученные в рамках локального гидрогеохимического мониторинга подземных вод за период с 2010 по 2015 г. В качестве индикаторов загрязнения подземных вод проанализированы следующие химические элементы и соединения: SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NH_4^+ , Cl^- , Cu , Zn , Cr (общ.), Co , Pb , Cd , As , Hg .

Характеристика объекта исследования

Объектом исследования являлись водоносные горизонты, испытывающие техногенное воздействие в зоне влияния неутилизированных отходов фосфогипса ГХЗ. Они приурочены к четвертичным (грунтовый и березинско-днепровский (подморенный) водоносные горизонты) и палеогеновым (палеогеновый водоносный горизонт) отложениям, залегающим на глубине от 2 до 35 м.

Грунтовый безнапорный водоносный горизонт мощностью 0,5–10,0 м распространен в средне-верхнеплейстоценовых, голоценовых и современных техногенных отложениях, образованных песчаными, супесчаными и суглинистыми породами, и залегает на глубине 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 жидкого компонента отвалов фосфогипса. Водоносный горизонт дренируется ближайшими водотоками и искусственными водоемами. Грунтовые воды имеют северо-западное и юго-западное направления потока.

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 глубине от 0,81 м выше поверхности земли до глубины 5,78 м. Питание водоносного горизонта осуществляется за счет атмосферных осадков в пределах водоразделов и заметно возрастает в местах расположения «гидрогеологических окон» в морене. Движение подземных вод происходит в северо-западном и юго-западном направлениях. Реки и мелиоративные каналы являются участками разгрузки водоносного горизонта.

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

Водоносные горизонты разделены двумя регионально выдержанными водоупорами. Первый из них представлен моренными супесчано-суглинистыми отложениями, разделяющими грунтовый и подморенный водоносные горизонты. Второй водоупор сложен алевритами, глинами и суглинками, разделяющими подморенный и палеогеновый водоносные горизонты.

Общий механизм поступления загрязняющих веществ в подземные воды обусловлен инфильтрацией атмосферных осадков в грунтовый водоносный горизонт и дальнейшим продвижением загрязнений в межпластовые водоносные горизонты на участках нисходящей фильтрации. Поступление

загрязняющих веществ в подземные воды с поверхности возможно двумя путями. Первый заключается в их переносе воздушным способом в виде аэрозолей или с пылевым облаком и выпадении с атмосферными осадками либо 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 рассеиваться на расстояние от 2 до 10 км преимущественно в северном и восточном направлениях [9]. В последние годы распространение пылевого загрязнения с отвалов, по-видимому, существенно сократилось, поскольку их отсыпка по канатной дороге не ведется. Старые отвалы уплотнились и укрепились за счет появления на их склонах растительности.

Второй путь поступления загрязняющих веществ в подземные воды связан с инфильтрационным проникновением в них отжимаемого из отвалов раствора, обладающего сильноокислой реакцией среды и минерализацией до 50 г/дм^3 [5–7].

Анализ распределения элементов-загрязнителей в подземных водах представлен по кустам скважин, расположенным в соответствии с требованиями, изложенными в [11, п. 7.9]: 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-западному (куст В) и юго-западному (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) (рис. 1).

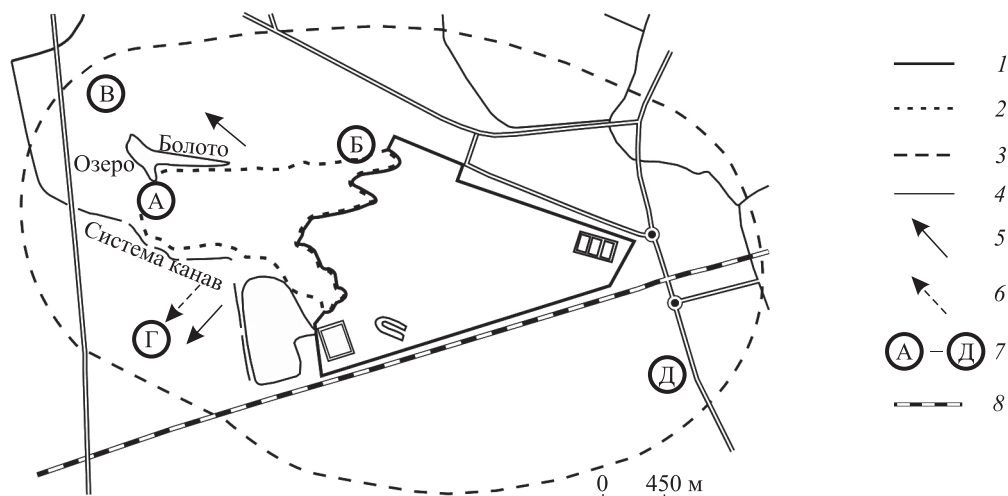


Рис. 1. Схема расположения кустов скважин на территории исследования:

1 – промышленная площадка ГХЗ; 2 – контуры отвалов фосфогипса; 3 – граница санитарно-защитной зоны; 4 – водные объекты; 5 – направление потока грунтового и подморенного водоносных горизонтов; 6 – направление потока палеогенового водоносного горизонта; 7 – кусты скважин; 8 – железная дорога

Fig. 1. The scheme of location of well clusters at the study area:

1 – industrial site area of the GCP; 2 – outline of the phosphogypsum dumps; 3 – sanitary protection zone; 4 – water bodies; 5 – groundwater and submorainic aquifer flow; 6 – Paleogene aquifer flow; 7 – well clusters; 8 – railway

Для оценки степени контрастности содержаний элементов-загрязнителей в подземных водах определены коэффициенты контрастности K_k , которые характеризуются коэффициентом концентрации K_c , рассчитанным как отношение среднего содержания элемента в исследуемом объекте к его среднему фоновому содержанию по формуле

$$K_k = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_\phi}$$

где C_i – обнаруженная концентрация i -го элемента в пробе, мг/дм^3 ; C_ϕ – фоновая концентрация этого элемента, мг/дм^3 .

Фоновые концентрации элементов для исследуемых водоносных горизонтов приняты по результатам опробования фонового куста скважин Д.

Форма записи коэффициента контрастности представляет собой дробь, перед которой пишется цифра, характеризующая его величину. В числителе дроби указываются индексы компонентов, составляющие 25 и более процентов величины K_k . В знаменателе – индексы компонентов, составляющие 25–5 % величины K_k . За дробью фиксируются компоненты, которые в сумме K_k имеют менее 5 %, но обладают собственным K_c более 1. В зависимости от величины K_k судят о степени контрастности гидрогеохимического ореола (табл. 1) [12].

Таблица 1

Подразделение гидрогеохимических ореолов по степени контрастности

Table 1

Classification of hydrogeochemical halos according to the degree of contrast

Степень контрастности	Весьма слабая	Слабая	Средняя	Значительная	Весьма значительная	Исключительно высокая
По одному компоненту	2–3	3–5	5–10	10–25	25–50	>50
По сумме компонентов	2–5	5–15	15–30	30–100	100–300	>300

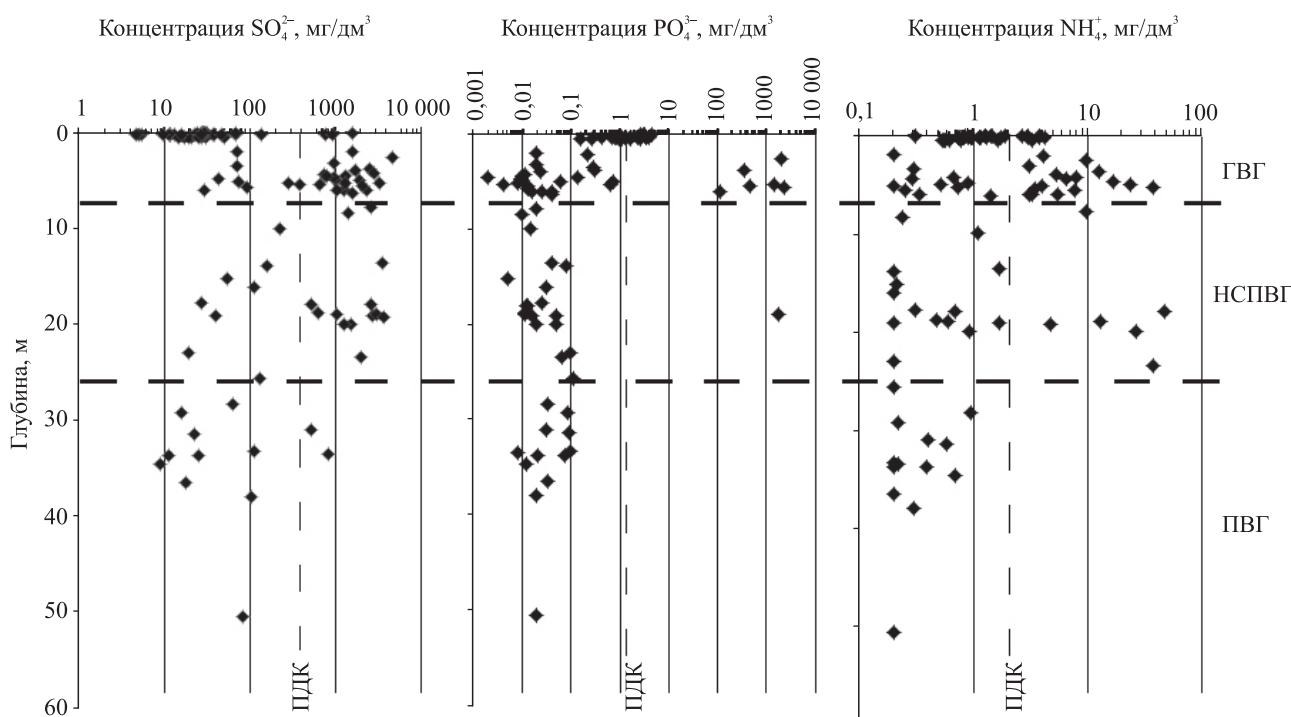


Рис. 2. Распределение загрязняющих веществ в зонах аэрации и водоносных горизонтах: ГВГ – грунтовый; НСПВГ – ниже-среднеплейстоценовый; ПВГ – палеогеновый

Fig 2. The distribution of pollutants in the unsaturated zone and aquifers: GWA – groundwater; LMPA – lower to middle Pleistocene; PA – Paleogene

Результаты исследования и их обсуждение

Из рис. 2 видно, что максимальные концентрации загрязняющих веществ относятся к зоне аэрации, грунтовым водам и ниже-среднеплейстоценовому (подморенному) водоносному горизонту.

Весьма значительная и исключительно высокая контрастность макрокомпонентов-загрязнителей в водоносных горизонтах приурочена к зоне отвалов (куст А) и их ближней периферии (куст Б) (табл. 2). При этом наибольшая трансформация природного химического состава произошла в грунтовом водоносном горизонте. Грунтовые воды здесь имеют сульфатно-фосфатный или фосфатно-сульфатный натриевый состав, а содержание сухого остатка в них достигает 8–20 г/дм³.

Коэффициенты контрастности макрокомпонентов-загрязнителей

Table 2

Contrast ratios of macro-pollutants

Водоносный горизонт	Коэффициент контрастности
Грунтовый	$\text{Куст А: } K_k \frac{73 \text{ PO}_4 \text{ 99}}{116} \text{ SO}_4 \text{ 0,08 NH}_4 \text{ 0,03 Cl 0,002};$ $\text{куст Б: } K_k \frac{21 \text{ SO}_4 \text{ 58 NH}_4 \text{ 36}}{15}; \text{ куст В: } K_k \frac{4 \text{ Cl 62}}{-}; \text{ куст Г: } K_k \frac{8 \text{ SO}_4 \text{ 64}}{\text{NH}_4 \text{ 17 Cl 17}}$
Подморенный	$\text{Куст А: } K_k \frac{74 \text{ SO}_4 \text{ 83}}{\text{NH}_4 \text{ 9 Cl 18}}; \text{ куст Б: } K_k \frac{50 \text{ SO}_4 \text{ 54 Cl 30}}{\text{NH}_4 \text{ 15}};$ $\text{куст В: } K_k \frac{13 \text{ Cl 61}}{\text{SO}_4 \text{ 16 PO}_4 \text{ 13 NH}_4 \text{ 10}}; \text{ куст Г: } K_k \frac{9 \text{ PO}_4 \text{ 53}}{\text{SO}_4 \text{ 20 Cl 15 NH}_4 \text{ 12}}$
Палеогеновый	$\text{Куст А: } K_k \frac{4 \text{ SO}_4 \text{ 31 NH}_4 \text{ 29}}{-}; \text{ куст Б: } K_k \frac{45 \text{ SO}_4 \text{ 53}}{\text{Cl 18}} \text{ NH}_4 \text{ 4};$ $\text{куст В: } K_k \frac{21 \text{ Cl 62 SO}_4 \text{ 30}}{-}; \text{ куст Г: } K_k \frac{8 \text{ SO}_4 \text{ 48 Cl 28}}{\text{NH}_4 \text{ 17}}$

В грунтовых водах зоны отвалов формирование техногенной гидрогеохимической аномалии в первую очередь обусловлено исключительно высокими концентрациями фосфора фосфатного, превышающими фон в десятки тысяч раз и снижающимися до фоновых значений по мере удаления к периферии. Это определяется низкой миграционной способностью данного элемента, который поглощается корневой системой растений и органикой и связывается в иллювиальном горизонте химическими реакциями [8; 13]. В зоне ближней периферии отвалов (куст Б) превалирует загрязнение сульфатами и азотом аммонийным. Грунтовые воды дальней периферии (кусты В и Г) характеризуются весьма слабой и слабой контрастностью анализируемых компонентов – их абсолютные величины существенно ниже предельно допустимой концентрации.

В подморенном водоносном горизонте областью весьма значительной контрастности макроэлементов-загрязнителей по-прежнему являются зона отвалов (куст А) и их ближняя периферия (куст Б). Основная причина формирования гидрогеохимической аномалии – весьма значительная и исключительно высокая концентрация SO_4^{2-} . Как и в грунтовом водоносном горизонте в направлении дальней периферии движения вод подморенного горизонта, контрастность макроэлементов-загрязнителей существенно снижается, отмечаются лишь слабые отклонения от фоновых значений.

В палеогеновом водоносном горизонте наибольшая контрастность элементов, вызванная весьма значительным превышением концентрации SO_4^{2-} над его фоновым содержанием, отмечается в зоне ближней периферии отвалов (куст Б). Обнаруженное здесь сульфатное загрязнение, очевидно, обусловлено сложной гидравлической циркуляцией подземных вод (нисходяще-латеральным движением), изменчивостью проницаемости геологического разреза (увеличением опесчаненности отдельных участков разреза), а также длительностью процесса загрязнения (около 30 лет) на данном участке складирования отвалов фосфогипса. Для остальных кустов скважин анализируемые макрокомпоненты-загрязнители, как правило, характеризуются слабыми и средними отклонениями от фона.

Исключительно высокая контрастность тяжелых металлов приурочена к центральной части отвалов фосфогипса (куст А):

$$\text{куст А: } K_k \frac{1895 \text{ Cu 83}}{\text{Cd 8 Co 7}} \text{ Cr 1 Zn 0,5 As 0,08 Pb 0,07}; \text{ куст Б: } K_k \frac{19 \text{ Cu 61}}{\text{Zn 9 Co 8}};$$

$$\text{куст В: } K_k \frac{8 \text{ Cu 26}}{\text{Zn 17}}; \text{ куст Г: } K_k \frac{11 \text{ Zn 45}}{\text{Cu 12}}.$$

Основная роль в формировании аномалии принадлежит меди, а также кадмию и кобальту, концентрации которых превышают фоновые более чем в 100 раз. На участке ближней периферии (куст Б) контрастность в содержании элементов снижается до значительной. За период наблюдений лишь для

Cu отмечаются периодические отклонения от фона. Его концентрации изменяются от минимальных значений до величин, превышающих фон более чем в 10 раз. В зоне дальней периферии (кусты В и Г) наблюдаются только единичные случаи значительного отклонения от фона для Zn, которые не позволяют говорить о выраженной тенденции роста элемента.

В водах подморенного и палеогенового горизонтов для всех кустов скважин наблюдается слабая контрастность по сумме компонентов (K_k составляет 6–10). Концентрации элементов находятся на уровне порога чувствительности метода определения и не превышают значения фона, а некоторые из них (Cu, Zn и Cr) ощутимо ниже фоновых (K_c составляет 0,2–0,5).

В пределах территории исследования по основным направлениям потока грунтовых вод распространены участки с достаточно разнообразными геохимическими условиями, когда наряду с кислородной обстановкой встречаются глеевая и сероводородная. По величине водородного показателя обстановка грунтовых вод в пределах санитарно-защитной зоны изменяется от сильноокислой и кислой в центральной части отвалов и на отдельных участках промышленной площадки до слабоокислой и слабощелочной на остальной территории. Величина окислительно-восстановительного потенциала (Eh) грунтовых вод преимущественно составляет 150–350 мВ, достигая 300–350 мВ в центральной части отвалов. В пределах северной, западной и южной границ отвалов расположены техногенные объекты, которые могут оказывать существенное влияние на условия миграции загрязняющих компонентов, образуя геохимические барьеры.

Юго-западную часть отвалов оконтуривает система каналов, являющихся приемниками поверхностных техногенных вод из отвалов. Песчаный состав грунтов, незначительная глубина залегания грунтовых вод (0,5–1,5 м) и сильноокислая среда (рН составляет 2,0–2,6) создают в их пределах условия для формирования испарительного геохимического барьера ($F1$). В результате на данных участках на глубине до 1 м произошло формирование гипсового горизонта мощностью от 0,1 до 0,3 м и более [13].

Озеро и болото граничат с отвалами в северо-западной части и являются приемниками поверхностного стока. В анаэробных условиях донных отложений озера создаются благоприятные условия для распространения сульфатвосстанавливающих бактерий. Продуцирование сероводорода в верхней части отложений на территории озера обуславливает формирование сероводородного геохимического барьера ($B1, B2$). Встречающиеся в отложениях озера горизонты с высокой глинистостью и содержанием органики выступают в качестве сорбционного барьера ($G1, G2$ при $Eh = 200...400$; $G5, G6$ при $Eh = 9...200$). Тростниковое болото может рассматриваться как природный буфер, в котором процессы илоосаждения и торфообразования создают условия для формирования восстановительного глеевого геохимического барьера ($C1, C2$).

К северу от озера в условиях неглубокого залегания подземных вод (0,5–1,0 м) создаются условия для формирования испарительного барьера ($F1, F2$). При инфильтрации сильноокислых и кислых загрязненных вод в глеевую обстановку нижней части почвенного профиля может возникать глеевый барьер ($C1, C2$), а при их поступлении в нейтральную и слабоокислую обстановки луговых почв – щелочной глеевый барьер ($D5, D6$).

Выделенные типы геохимических барьеров и их пространственное положение по основным направлениям потоков грунтовых вод, вероятно, обеспечивают сокращение латеральной миграции преимущественно тяжелых металлов. Супесчано-суглинистые отложения, разделяющие грунтовый и подморенный водоносные горизонты, по-видимому, образуют сорбционный барьер ($G1$) и контролируют миграцию тяжелых металлов в подморенный горизонт.

Выводы

В результате проведенного исследования установлено, что техногенный ореол исключительно высокой контрастности загрязняющих элементов локализован в пределах отвалов фосфогипса на площади около 91 га, где наблюдается устойчивое загрязнение подземных вод в результате инфильтрации отжимаемого из отвалов раствора. Основным загрязняющим макрокомпонентом 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 образуется за счет азота аммонийного, а также фосфора фосфатного, концентрации которого превышают фоновые в тысячи раз. Существенным барьером на пути проникновения загрязнения в палеогеновый водоносный горизонт в зоне отвала фосфогипса являются алевриты верхней части палеогеновой толщи, для которых характерны очень слабая проницаемость и, вероятно, высокая сорбционная способность.

Глубина распространения аномалий тяжелых металлов ограничивается трехметровой зоной залегания грунтовых вод. Латеральная и глубинная миграции тяжелых металлов контролируются окислительно-восстановительными и кислотнo-щелочными условиями вод, процессами растворения, осаждения, сорбции и др.

Определено, что аномалии элементов-загрязнителей становятся менее контрастными по основным направлениям потока грунтовых вод от периферии отвалов к границе санитарно-защитной зоны.

Библиографические ссылки

1. Бачила С. С., Зайко С. М., Вашкевич Л. Ф. Мониторинг качества питьевых вод в Солигорском горнопромышленном районе : обзорная информация. Минск, 2004.
2. Экологические аспекты захоронения твердых коммунальных отходов на полигонах / Д. М. Ерошина [и др.]. Минск, 2010.
3. Ерошина Д. М., Демидов А. Л., Ходин В. В. Влияние на подземные воды полигонов промышленных отходов, расположенных в отработанных карьерах на территории Минской области // Природ. ресурсы. 2012. № 1. С. 58–68.
4. Лысухо Н. А., Ерошина Д. М. Отходы производства и потребления, их влияние на природную среду. Минск, 2011.
5. Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси. Минск, 2004.
6. Состояние природной среды Беларуси : экол. бюл. 2013 г. / под ред. В. Ф. Логинова. Минск, 2014.
7. Жогло В. Г., Акулевич А. Ф., Коцур В. В. Опыт ведения мониторинга подземных вод в зоне влияния Гомельского химзавода. Минск, 1997.
8. Коцур В. В. Гидрогеохимия зоны интенсивного водообмена территории Гомельского химического завода // Литосфера. 2000. № 13. С. 93–100.
9. Коцур В. В. Геохимия подземных вод зоны активного водообмена на территории влияния Гомельского химического завода : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук : 25.00.09. Минск, 2004.
10. Шершнев О. В., Павловский А. И., Прилуцкий И. О. Оценка масштаба и степени загрязнения подземных вод на территории влияния Гомельского химического завода // Природ. ресурсы. 2013. № 1. С. 44–50.
11. 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, 2007.
12. Кирюхин В. А. Прикладная гидрогеохимия. СПб., 2011.
13. Особенности формирования ландшафтно-геохимических барьеров в зоне влияния отходов химических производств (Гомельский химический завод) / А. П. Гусев [и др.] // Геоэкология. Инженер. геология. Гидрогеология. Геокриология. 2013. № 2. С. 147–152.

References

1. Bachila S. S., Zaiko S. M., Vashkevich L. F. Monitoring kachestva pit'evykh vod v Soligorskom gornopromyshlennom raione: obzornaya informatsiya. Minsk, 2004 (in Russ.).
2. Eroshina D. M., Khodin V. V., Zubritskii V. S., et al. Ekologicheskie aspekty zakhoroneniya tverdykh kommunal'nykh otkhodov na poligonakh. Minsk, 2010 (in Russ.).
3. Eroshina D. M., Demidov A. L., Khodin V. V. Vliyanie na podzemnye vody poligonov promyshlennykh otkhodov, raspolozhennykh v otrabotannykh kar'erakh na territorii Minskoj oblasti [Influence of Industrial Waste Dumps Disposed in Abandoned Quarries on the Groundwater in the Territory of the Minsk Region]. *Prir. Resursy*. 2012. No. 1. P. 58–68 (in Russ.).
4. Lysukho N. A., Eroshina D. M. Otkhody proizvodstva i potrebleniya, ikh vliyanie na prirodnyuyu sredu. Minsk, 2011 (in Russ.).
5. Khomich V. S., Kakareka S. V., Kukharchik T. I. Ekogeokhimiya gorodskikh landshaftov Belarusi. Minsk, 2004 (in Russ.).
6. Sostoyanie prirodnoi sredy Belarusi : ekol. byul. 2013. Ed. by V. F. Loginov. Minsk, 2014 (in Russ.).
7. Zhoglo V. G., Akulevich A. F., Kotsur V. V. Opyt vedeniya monitoringa podzemnykh vod v zone vliyaniya Gomel'skogo khimzavoda. Minsk, 1997 (in Russ.).
8. Kotsur V. V. Gidrogeokhimiya zony intensivnogo vodoobmena territorii Gomel'skogo khimicheskogo zavoda [Hydrogeochemistry of the Intensive Water Exchange Zone Within the Gomel Chemical Plant Territory]. *Litosfera*. 2000. No. 13. P. 93–100 (in Russ.).
9. Kotsur V. V. Geokhimiya podzemnykh vod zony aktivnogo vodoobmena na territorii vliyaniya Gomel'skogo khimicheskogo zavoda : avtoref. dis. ... kand. geol.-mineral. nauk : 25.00.09. Minsk, 2004 (in Russ.).
10. Shershnev O. V., Pavlovskii A. I., Prilutskii I. O. Otsenka masshtaba i stepeni zagryazneniya podzemnykh vod na territorii vliyaniya Gomel'skogo khimicheskogo zavoda [Estimation of Scale and Extent of Contamination of Subterranean Water in the Influence Area of the Gomel Chemical Plant]. *Prir. Resursy*. 2013. No. 1. P. 44–50 (in Russ.).
11. Okhrana okruzhayushchei sredy i prirodopol'zovanie. Gidrosfera. Pravila razmeshcheniya punktov nablyudenii za sostoyaniem podzemnykh vod dlya provedeniya lokal'nogo monitoringa okruzhayushchei sredy : ТКП 17.06–01–2007. Minsk, 2007 (in Russ.).
12. Kiryukhin V. A. Prikladnaya gidrogeokhimiya. Saint Petersburg, 2011 (in Russ.).
13. Gusev A. P., Shershnev O. V., Pavlovskii A. I., et al. Osobennosti formirovaniya landshaftno-geokhimeskikh bar'erov v zone vliyaniya otkhodov khimicheskikh proizvodstv (Gomel'skii khimicheskii zavod) [Specifics of Formation of Geochemical Barriers In the Zone Influenced by Industrial Chemical Dumps (Gomel Chemical Plant)]. *Geoekol. Inzhenernaya Geol. Gidrogeol. Geokriol.* 2013. No. 2. P. 147–152 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 12.06.2016.
Received by editorial board 12.06.2016.