

УДК 556.388:661.632.2

**ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ КРУПНОГО  
ОБЪЕКТА ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ)**  
**ASSESSMENT OF THE IMPACT ON THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT  
OF A LARGE CHEMICAL INDUSTRY OBJECT (BELARUS REPUBLIC)**

**О.В. Шершнёв**  
**O.V. Shershnjov**

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

*Francisk Skorina Gomel State University, 104 Sovetskaya St, Gomel, 246019, Republic of Belarus*

*E-mail: gomelgeo@yandex.ru*

*Аннотация.* Приведены результаты современной оценки воздействия на геологическую среду крупного предприятия химической промышленности. Охарактеризованы виды и формы техногенного рельефопреобразования, приведшие к возникновению разнообразных геологических процессов. Рассмотрены изменения естественного почвенного покрова и горных пород в результате техногенного воздействия. По результатам мониторинга подземных вод установлены уровни их химического загрязнения, а также особенности его распространения по площади и в геологическом разрезе. Определена площадь, глубина и степень техногенного воздействия на геологическую среду.

*Résumé.* The paper assesses a technogenic effect, produced by Gomel Chemical Plant on the geological environment. The Gomel Chemical Plant, one of the largest chemical plants in Belarus, produces sulfuric and phosphoric acids, mineral salts, etc.

The work gives detailed factors of relief formation, and corresponding forms of a relief is resulted at anthropogenic lithomorphogenesis. It describes processes technogenic relief transformation and geological process arose due to them. The greatest technogenic relief transformation associated with phosphogypsum dumps. The dumps occupy 0.91 km<sup>2</sup>. Some of these dumps are about 90 m high and can be either plateau-shaped or conic.

The dumpsite as well as production facilities are a steady source of sulfates, phosphates, and nitrogen ammonium that pollute surface water as well as groundwater, and soil. Groundwater contamination represents the main problem, given that it adversely affects the water supply of the city of Gomel and neighbouring settlements. As a rule, the highest contamination levels are observed in surface water and shallow aquifers.

The total area of the impact on the geological environment is estimated at 5–6 km<sup>2</sup>. The depth of the most intense impact on the geological environment, including by chemical pollution is 20 m. However, in local areas, it grows up to 40 m.

*Ключевые слова:* рельеф, геологические процессы, горные породы, загрязнение, подземные воды.

*Key words:* relief, geological processes, rocks, pollution, groundwater.

## **Введение**

В Республике Беларусь одним из крупнейших предприятий химической промышленности является ОАО «Гомельский химический завод» (ГХЗ), ежегодный объем продукции которого составляет около 150 тыс. т фосфорных удобрений и 450 тыс. т серной кислоты. К негативным факторам данного производства относится ежегодное образование до 650–800 тыс. т твердых отходов фосфогипса, общий объем которых за 50-летний период функционирования завода составил 18 млн т или около 70% от накопленных отходов производства в Гомельской области [Состояние ... , 2014]. Таким образом, предприятие представляет определенную экологическую опасность, в особенности по отношению к загрязнению подземных вод, являющихся основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения города Гомеля и прилегающих к нему населенных пунктов. В связи с этим ГХЗ является объектом многолетних научных исследований по оценке его воздействия на окружающую среду. При этом, получаемая информация требует своевременного анализа и интерпретации для принятия

необходимых решений по оптимизации деятельности производства и обеспечения качества геологической среды.

### **Объекты и методы исследования**

Цель работы заключалась в оценке степени проявления негативного воздействия на геологическую среду в результате производственной деятельности Гомельского химического завода.

В качестве объектов исследования выступали: рельеф, почвы и верхние горизонты горных пород, водоносные горизонты, являющиеся объектом мониторинга подземных вод ГХЗ.

В основу исследования положены данные полевых наблюдений выполненных в 2014 г. на территории действующей сети мониторинга подземных вод ГХЗ.

Химическое воздействие на геологическую среду рассмотрено на примере наиболее распространенных загрязнителей (сульфатов, азота аммонийного и фосфора фосфатного), обнаруживаемых в зоне аэрации и подземных водах. Исследуемыми водоносными горизонтами являлись: безнапорный грунтовый, напорный нижне-среднеплейстоценовый (подморенный), напорный палеогеновый.

Отбор образцов проб для анализа производился в соответствии с установленными требованиями [ГОСТ 17.4.3.01–83, ГОСТ 28168–89, СТБ ГОСТ Р 51592–2001, СТБ ИСО 5667–18–2006]. Определение показателей выполнялось на основании утвержденных методик в центральной заводской лаборатории ГХЗ и Гомельской областной лаборатории аналитического контроля государственного учреждения «Республиканский центр аналитического контроля в области охраны окружающей среды».

### **Результаты и их обсуждение**

Рельефообразование и экзогенные процессы. Территория промышленного комплекса ГХЗ расположена в междуречье притоков р. Сож – р. Уза и его притока р. Рандовки. В геоморфологическом отношении местность представляет плоскую, слабо расчлененную равнину с широким развитием аккумулятивных форм рельефа, обусловленных преимущественно эрозионно-аккумулятивной деятельностью ледника днепровского времени. В бассейне р. Рандовка водно-ледниковая равнина за счет процессов эрозии и денудации приобретает пологоувалистый характер [Матвеев и др., 1988]. Абсолютные отметки поверхности варьируют от 125 м в пойме р. Рандовка до 139.6 м (пункт государственной геодезической сети) на водоразделе в северо-восточной части в 220 м от отвалов фосфогипса. В границах санитарно-защитной зоны ГХЗ преобладают отметки от 132 до 134 м.

Технолитоморфологическое воздействие на земную поверхность в пределах промышленного комплекса привело к трансформации природных форм рельефа и иницированию экзогенных процессов в создавшихся условиях.

Собственно техногенное рельефообразование в результате производственной деятельности ГХЗ распространено на площади около 3.7 км<sup>2</sup> и связано, во-первых, с техногенносозданными формами рельефа, во-вторых, с сооружением рельефоподобных морфообразований.

Техногенносозданный рельеф представлен гипергипсометрическими и гипогипсометрическими формами, которые в совокупности распространены на площади 1.6 км<sup>2</sup>.

Среди гипергипсометрических форм доминирующими являются отвалы фосфогипса, которые занимают площадь около 0.91 км<sup>2</sup>. Они образованы системой гребневидных и конусовидных терриконов, а также платообразных насыпей.

Территория развития техногенного рельефа обладает значительными величинами вертикального расчленения. Выположенные участки рассредоточенного размещения фосфогипсовых отходов находятся на абсолютных отметках от 139 до 142 м и имеют крутизну склонов до 20–30°. Протяженность отдельно расположенных терриконов составляет до 300–400 м, а крутизна их склонов составляет 40–45°. В целом относительная высота отвалов изменяется от 20 до 90 м.

Другие гипсгипсометрические формы представлены единично расположенными линейными объектами – дамбой обвалования, насыпями в пределах технических водоемов, насыпями авто- и железных дорог, предназначенных для движения технического транспорта. Дамба обвалования протяженностью до 170 м и высотой до 1 м окаймляет искусственный водоем в северо-западной части отвалов, принимающий поверхностный сток с отвалов и таким образом, препятствует его дальнейшему распространению. Протяженность насыпей составляет до 800 м, а высота не превышает 2 м.

Гипсгипсометрические техногенно созданные формы включают выемки, на месте которых образованы: озерно-болотная система (площадь 0.09 км<sup>2</sup>, глубина до 1–1.5 м), карьерные водоемы (площадь 0.4 км<sup>2</sup>, глубина до 2 м), пруд-усреднитель, пруд-шламонакопитель и резервные пруды (глубина 1–2 м), а также систему канав, которые расположены по периферии отвалов. Канавы не сообщаются между собой, их общая протяженность составляет около 3 км, ширина от 6 до 20 м, а глубина от 1 до 2 м.

В пределах территории размещения отвалов фосфогипса под влиянием экзогенных агентов развиваются геологические процессы: поверхность отвалов интенсивно эродирована в результате капельно-дождевого разбрызгивания частиц грунта и размыва временными ручьевыми потоками, происходит процесс дефляции рыхлого материала.

Флювиальные процессы проявляются в виде полного эрозионно-аккумулятивного цикла, начиная от делювиального смыва, линейной эрозии и заканчивая эрозионно-аккумулятивной деятельностью временных водных потоков. На отдельных участках наиболее крупных терриконов с крутыми не закрепленными растительностью склонами происходит оползание и осыпание субстрата отвалов. Это привело к накоплению в их основании отложений подобных делювиальным шлейфам. Процессы линейной эрозии распространены на уплотненных крутых склонах терриконов. Образуются эрозионные рытвины протяженностью от 1 до 3–5 м, шириной от 0.01–0.03 м до 0.1–0.15 м и глубиной до 0.15–0.3 м. Рытвины, как правило, неразветвленные и достигают высокой плотности – до 3–5 единиц на один метр ширины наклонной поверхности.

Дезинтеграция вещества отвалов под влиянием физического и химического выветривания приводит к миграции наиболее подвижных химических элементов. В вещественном составе отвалов фосфогипса преобладает гипс (около 97%) и около 3% приходится на фосфаты железа и алюминия, ортофосфорную кислоту, фторсиликаты калия и натрия, фториды кальция. Значительное количество смываемого материала поступает по временным водотокам в озерно-болотную систему и систему канав, а часть в результате инфильтрации в водоносные горизонты.

Дефляция приводит к переносу воздушным путем загрязняющих веществ из отвалов фосфогипса. Дальность такого переноса оценивается расстоянием от 2 до 10 км, преимущественно в северном и восточном направлении [Коцур, 2004]. В последние годы распространение пылевого загрязнения с отвалов, по-видимому, существенно сократилось, поскольку отсыпка отвалов по канатной дороге не ведется, проводится частичная планировка поверхности отвалов (выполаживание), давно отсыпанные отвалы существенно уплотнились и укрепились за счет появления на их склонах растительности.

Изменение распределения естественного поверхностного и подземного стока, в том числе за счет техногенного инфильтрационного питания, привело на отдельных площадях к развитию процессов подтопления и заболачивания.

На участках отвалов и терриконов, где прекращено поступление новых отходов фосфогипса, происходит возобновление растительного покрова, местами разреженного, близкого к естественному в данной местности. Они заняты древесными растениями (подрост березы пушистой, осины, сосны) и разнотравьем (иван-чай узколистный, вейник наземный).

Развитие сукцессионных процессов, ведущих к восстановлению растительного покрова, наблюдается также на берегах искусственных водных объектов (водоемов, канав), на насыпных дамбах и пустырях. Например, в прибрежной части большинства водоемов и на заболоченной территории сформировался сомкнутый растительный покров с доминированием гелофитов и гигрофитов (тростник обыкновенный, рогоз широколистный, дербенник иволистный, череда трехраздельная и др.).

Рельефоподобные морфообразования в пределах промышленного комплекса представлены рельефоидами и рельефидами. Рельефоиды образованы системой гипергипсометрически и гипогипсометрически выраженных в рельефе строений и инженерной инфраструктуры. Амплитуда высот таких объектов, как правило, составляет до 20–25 м, в единичных случаях превышает 100 м. К рельефидам относятся объекты парка транспортных средств специального пользования, выполняющие функции внутрипроизводственного перемещения сырья, отходов производства, готовой продукции и др.

Техногенные изменения почв и горных пород проявляются в нарушении почвенного покрова, образовании технолитов и технолититов.

Почвенный покров промышленного комплекса ГХЗ представлен исключительно техногенно измененными почвами. В пределах промышленной площадки техногенно измененный почвенный покров сложен преимущественно захороненными, перемешанными, экранированными почвами и почвогрунтами.

На территории размещения отвалов фосфогипса преобладают захороненные почвы и почвогрунты. Среди захороненных встречаются пахотные почвы на основе дерново-подзолистых супесчаных, а также дерново-глеевые и торфянисто-глеевые почвы.

В пределах карьерных водоемов в юго-западной части ГХЗ почвенный покров полностью разрушен строительными работами. Здесь преобладают перемешанные почвы и почвогрунты, преимущественно песчаного состава.

Образование технолитов связано с перемещением природного материала, нарушением его характера залегания и свойств. На исследуемой территории технолитами образованы дамба обвалования, насыпи в пределах технических водоемов и насыпи автомобильных и железных дорог.

Вертикальная миграция загрязненных вод способствует насыщению ими ионно-солевого комплекса пород и засолению фильтрующих и водовмещающих пород, что приводит к образованию технолититов. Так в южной части отвалов в пределах окаймляющих их водоприемных канав произошло формирование техногенного новообразования в зоне аэрации в виде твердых загипсованных песков. По своему строению гипсовый горизонт неоднороден и представлен слоями различной степени твердости загипсованного песка и гипса. Местами гипс, высыхая, образует твердый окаменелый слой, мощностью более 10 см. Формирование гипсовых новообразований, по-видимому, имеет испарительное происхождение. Этому способствует песчаный состав пород, благоприятная для испарения глубина залегания грунтовых вод – 0.5–1.5 м,  $pH=5-6$ , снижающая растворимость гипса.

Геохимические признаки воздействия на геологическую среду. Вертикальная миграция загрязняющих веществ приводит к формированию литогеохимических и гидрогеохимических аномалий. Из рисунка 1 видно, что максимальные концентрации загрязняющих веществ относятся к зоне аэрации, грунтовым водам и нижне-среднеплейстоценовому (подморенному) водоносному горизонту.

загрязнения по водоносным горизонтам обуславливается несколькими причинами. Во-первых, незначительная мощность зоны аэрации от 0 м под отвалами фосфогипса до 1–5 м на остальной территории, сложенная песчаными терригенными отложениями не препятствует поступлению загрязнения с поверхности в грунтовые воды. Во-вторых, моренные отложения, залегающие в кровле подморенного водоносного горизонта, которые являются литологическим барьером на пути вертикальной миграции загрязнения не выдержаны по мощности, изменяющейся от 4 до 16 м. Кроме этого, защитная способность моренных отложений, представленных суглинками и супесями, в значительной степени ослабляется за счет включений гальки и гравия, а на отдельных участках морена полностью опесчанена. Через такие песчаные «окна» в моренных отложениях осуществляется питание водоносного горизонта путем перетекания из вышезалегающего загрязненного грунтового горизонта. В-третьих, вертикальная миграция загрязнения в палеогеновый водоносный горизонт в части территории в той или иной степени сдерживается алевритами, залегающими в кровле водоносного горизонта. Мощность их в пределах территории исследования незначительная и преимущественно составляет 2–3.5 м, возрастая в южной и западной части отвалов до 5–11 м. Формирование области загрязнения в палеогеновом водоносном горизонте

обусловлено возрастанием опесчаненности алевритов, нисходяще-латеральным движением загрязненных подземных вод, а также подтягиванием загрязнения в область депрессионной воронки, сформированной в результате увеличенного водозабора.

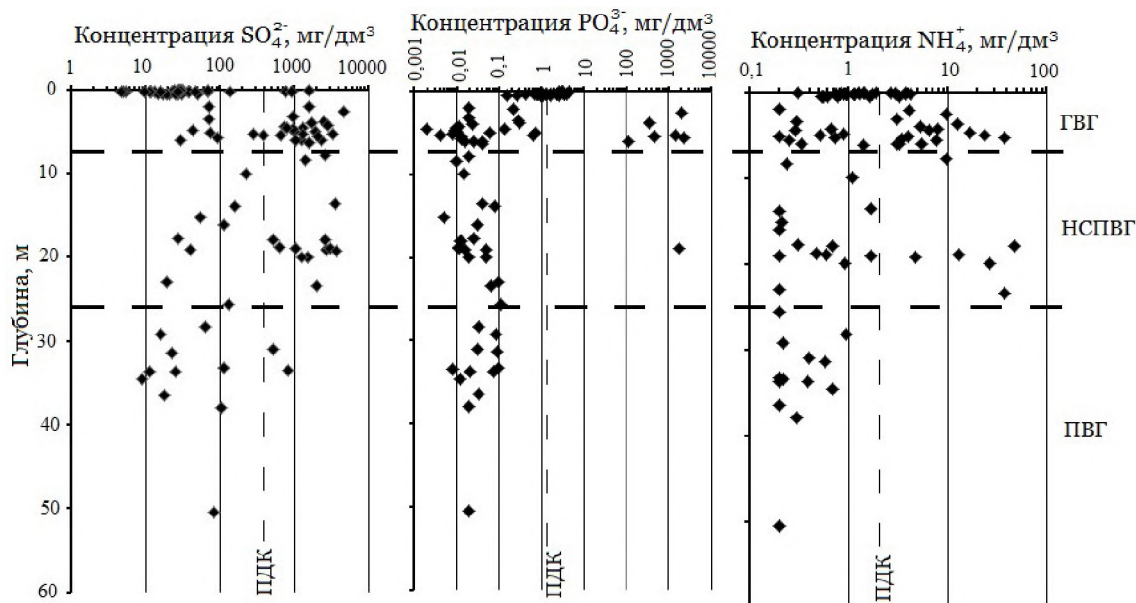


Рис. 1. Распределение загрязняющих веществ в зоне аэрации и водоносных горизонтах:

ГВГ – грунтовый; НСПВГ – ниже-среднеплейстоценовый; ПВГ – палеогеновый

Fig 1. The distribution of pollutants in the unsaturated zone and aquifers:  
GWA – groundwater, LMPA – lower to middle Pleistocene; PA – Paleogene

С геолого-гидрогеологической точки зрения различна степень распределения.

Кроме перечисленных факторов миграция загрязнения во многом зависит от физико-химических процессов, протекающих в системе «горная порода – вода» и, прежде всего, от *pH* среды, которая обуславливает способность загрязнителей к образованию растворимых или устойчивых комплексных соединений [Коцур, 2004].

Причинами высоких концентраций загрязняющих компонентов в почвенном покрове является периодическое затопление отдельных участков исследуемой территории загрязненным поверхностным стоком с отвалов фосфогипса и перенос загрязняющих веществ воздушным путем. Наиболее часто отмечается сульфатное загрязнение (38% случаев), величина которого, как правило, превышает ПДК в 2–5 раз. Вторым по распространенности является аммонийное загрязнение (30% случаев), превышение ПДК по которому в основном составляет 2–6 раз, возрастая на отдельных участках в десятки и сотни раз. Реже отмечается фосфатное загрязнение (23.5% случаев), величина которого, однако, составляет сотни и тысячи ПДК. В палеогеновом водоносном горизонте в единичных случаях встречается лишь сульфатное загрязнение с небольшим превышением ПДК в 1.1–1.6 раза.

Сульфаты являются наиболее подвижными составляющими загрязнения, что определяет наибольшую встречаемость сульфатного загрязнения. В связи с этим примем его в качестве критерия оценки химического воздействия на геологическую среду, установив в качестве граничного значения ПДК=500 мг/дм<sup>3</sup>. Анализ рисунка 2 показывает, что области загрязнения грунтового и подморенного водоносных горизонтов практически совпадают и охватывают территорию размещения отходов фосфогипса и производственную площадку, а глубина воздействия составляет до 20–25 м. На отдельных участках, не имеющих сплошного площадного распространения, максимальная глубина проникновения загрязнения охватила палеогеновый водоносный горизонт и составила 40 м. Приурочены они к зоне ближней периферии отвалов фосфогипса и производственным цехам.

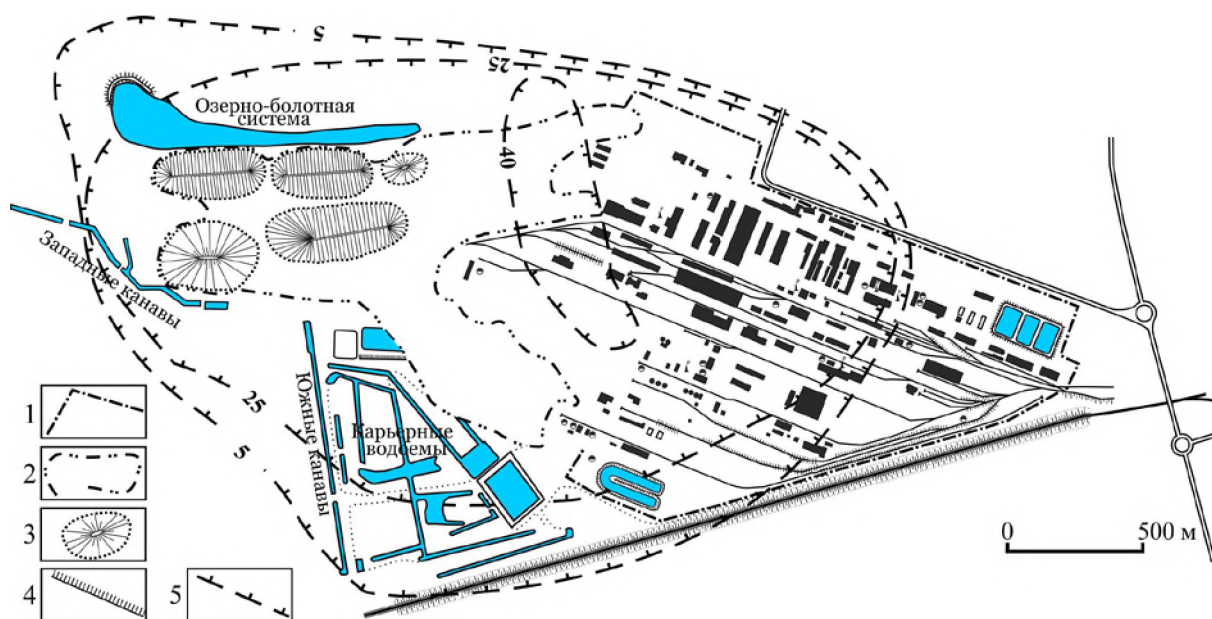


Рис. 2. Пространственное распространение химического загрязнения на геологическую среду:

1 – контур промышленной площадки ГХЗ, 2 – контур отвалов фосфогипса, 3 – терриконы, 4 – насыпи и дамбы, 5 – области и глубина химического загрязнения геологической среды

Fig. 2. The spatial distribution of chemical contamination of the geological environment:

1 – outline of the industrial site; 2 – outline of the phosphogypsum dumps; 3 – heaps; 4 – mounds and dams; 5 – area and depth of the chemical pollution of the geological environment

На площадях загрязнения естественный гидрокарбонатный кальциевый (магниево-кальциевый) состав подземных вод изменился на сульфатно-фосфатный или фосфатно-сульфатный натриевый состав. На особенно загрязненных участках вода становится кислой и сильнокислой ( $pH=2.3-4.7$ ), а солесодержание возрастает с  $0.15-0.25$  г/дм<sup>3</sup> до  $2-12$  г/дм<sup>3</sup> и даже  $30-70$  г/дм<sup>3</sup>.

### Выводы

Результаты исследования показывают, что на территории производственной деятельности ОАО «Гомельский химический завод» на протяжении полувека происходит активное воздействие на геологическую среду. Пространственно это выражается в технолитоморфологическом воздействии на земную поверхность, формировании литогеохимических и гидрогеохимических аномалий.

Рельефообразование охватывает всю территорию промышленного комплекса и обусловлено, прежде всего, созданием положительных и отрицательных форм рельефа в связи с размещением твердых отходов производства, а также прочих объектов инженерного и производственного назначения. В результате произошло существенное, в десятки раз, возрастание амплитуды вертикального расчленения рельефа.

Проявление ранее не встречавшихся здесь экзогенных геологических процессов привело не только к дальнейшему преобразованию поверхности, но и к переносу водным и ветровым путем загрязняющих веществ. Поступление их в горные породы обусловило образование технолитов в пределах зоны аэрации и загрязнение подземных вод.

Общая площадь воздействия на геологическую среду оценивается в  $5-6$  км<sup>2</sup>. Глубина наиболее интенсивного воздействия на геологическую среду, в том числе за счет химического загрязнения составляет  $20$  м. Однако на локальных площадях она возрастает до  $40$  м.

Наиболее распространенным загрязняющим компонентом подземных вод является  $SO_4^{2-}$ -ион, доля которого в сухом остатке воды высокой степени загрязнения достигает  $60-70\%$ . Кроме сульфатов высокая степень загрязнения грунтовых вод и первого от поверхности напорного водоносного горизонта вызвана присутствием в них фосфатов и азота аммонийного, а их распространение приурочено к отвалам фосфогипса, производственным цехам и складам хранения сырья.

Общей тенденцией является снижение содержания загрязняющих веществ в подземных водах по мере удаления от отвалов фосфогипса и производственной площадки. Можно констатировать, что сокращение загрязнения до уровня ПДК прослеживается при продвижении к границам санитарно-защитной зоны промышленного комплекса (1000 м), а также вниз по геологическому разрезу, что обусловлено литологией горных пород, а также, физико-химическими процессами в системе «горная порода – вода».

### Список литературы References

1. ГОСТ 17.4.3.01–83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. Дата введения 01.07.84.  
GOST 17.4.3.01–83. Nature protection. Soils. General requirements for sampling. Date of introduction 01.07.84. (in Russian)
2. ГОСТ 28168–89. Почвы. Отбор проб. Дата введения 01.04.90.  
GOST 28168–89. Soils. Sampling. Date of introduction 01.04.90. (in Russian)
3. Коцур В.В. 2004. Геохимия подземных вод зоны активного водообмена на территории влияния Гомельского химического завода. Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Минск, 21.  
Kotsur V.V. 2004. Geohimija podzemnyh vod zony aktivnogo vodoobmena na territorii vlijanija Gomeľ'skogo himičeskogo zavoda [Geochemistry of underground waters in the zone of active water exchange on the territory influenced by Gomel chemical plant]. Abstract. diss. ... cand. geol.-min. sciences. Minsk, 21. (in Russian)
4. Матвеев А.В., Гурский Б.Н., Левицкая Р.И. 1988. Рельеф Белоруссии. Минск, Университетское, 320.  
Matveev A.V., Gurskij B.N., Levickaja R.I. 1988. Rel'ef Belorussii [The relief of Belarus]. Minsk, Universitetskoe, 320. (in Russian)
5. Состояние природной среды Беларуси. 2014. Минск, 364.  
The state of environment of Belarus. 2014. Minsk, 364. (in Russian)
6. СТБ ГОСТ Р 51592–2001. Вода. Общие требования к отбору проб. Дата введения 01.11.2002.  
STB GOST R 51592–2001. Water. General requirements for sampling. Date of introduction 01.11.2002. (in Russian)
7. СТБ ИСО 5667–18–2006. Качество воды. Отбор проб. Дата введения 15.11.2006.  
STB ISO 5667–18–2006. Water quality. Sampling. Date of introduction 15.11.2006. (in Russian)