

Геология, география и глобальная энергия. 2024. № 3 (94). С. 13–22.
Geology, Geography and Global Energy. 2024;3(94):13–22 (In Russ.).

Научная статья
УДК 502/504.556
https://doi.org/10.54398/20776322_2024_3_13

ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОСФЕРЫ В ПРЕДЕЛАХ СТОЙЛЕНСКОГО ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Бударина Виктория Александровна^{1✉}, Лисецкий Федор Николаевич², Косинова Ирина Ивановна³, Курышев Александр Александрович⁴

^{1, 3, 4}Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

²Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

¹budarinav@yandex.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-8091-0730>

²fnliset@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9019-4387>

³kosinova777@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5439-5197>

⁴kaa@geol.vsu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0599-9530>

Аннотация. Проблема трансформации водоносных комплексов в зонах влияния крупных горнопромышленных предприятий является весьма актуальной, так как затрагивает проблемы водоснабжения регионов. Данные проблемы имеют большое значение в районах Центральной России, где плотность населения весьма высокая и достигает 43 человека на квадратный километр. Здесь одним из ведущих направлений техногенной нагрузки является селитебный, агропромышленный и промышленный. Разработка месторождений полезных ископаемых оказывает дополнительный мощный пресс на все компоненты окружающей среды, в особенности на почвы, поверхностные и подземные воды. Определение особенностей трансформации подземной гидросферы в районе крупного горнопромышленного комплекса Центральной части России – Стойленского – стало целью настоящих исследований. Основным методом проведения исследований стал эколого-гидрогеологический мониторинг района Стойленского горнопромышленного комплекса. Система мониторинга формировалась в течение 40 лет эксплуатации комбината. Она включала последовательное включение наблюдательных скважин, охватывающих площадки Стойленского карьера, отвалы ЛПОКа, рудничную площадку, отвал «Стрелица», прилегающие территории. Наиболее плотное опробование осуществляется в пределах промплощадки. Последующие этапы эколого-гидрогеологического мониторинга развивались по системе ориентированных профилей. Профили I–III имеют меридиональное направление. Профиль I–I в качестве объектов наблюдений включает рудничную площадку, границу между Стойленским карьером и отвалом Стрелица, шахту № 3, депо, проходит вдоль восточной границы Восточного отвала, восточной границы хвостохранилища. В связи с особенностями восточного направления потока подземных вод профиль I–I фиксирует изменения в эколого-гидрогеохимической ситуации в непосредственной близости от основных источников. В качестве анализируемых компонентов изучались макрокомпоненты, жесткость, нитраты. Проведена оценка особенностей техногенного преобразования двух верхних водоносных комплексов – средне-верхнечетвертичного и турон-коньякского. Выявлено, что хроническое ухудшение качества подземных вод приповерхностных водоносных комплексов в значительной степени зависит от пространственных особенностей техногенной нагрузки. Практически все объекты Стойленского горнопромышленного комплекса располагаются на площадях областей питания основных водоносных комплексов. Строение геологического разреза, представленного песками, трещиноватыми мелями и мергелями, отсутствие региональных водоупоров обуславливает активную миграцию элементов по разрезу и в пространстве. В процессе исследований выявлено повышенное содержание хлора в водах исследуемых водоносных комплексов. Величины минерализации воды изменяются в исследуемых наблюдательных скважинах от 330 до 1124 мг/дм³, что свидетельствует о значительной трансформации эколого-гидрогеохимической ситуации, характерной для первого от поверхности средне-верхнечетвертичного водоносного комплекса. Рост концентрации хлора с глубиной (до 19 %-экв) является наиболее характерной особенностью вертикальной гидрогеохимической зональности рассматриваемой территории. Данный тренд имеет как природное, так и техногенное происхождение. Техногенное воздействие объектов Стойленского горнопромышленного комплекса на эколого-гидрогеохимическую ситуацию стало причиной трансформации уровня режима и химического состава средне-верхнечетвертичного и турон-коньякского водоносных комплексов. Глубина депрессионной воронки достигает 25 м, формируется сложный нестабильный гидрогеохимический состав подземных вод. Ядро эколого-гидрогеохимической аномалии, охватывающей территории промплощадки и хвостохранилища, составляют воды турон-коньякского водоносного комплекса, состав которых усложнен до сульфатно-гидрокарбонатно-натриево-кальциевого. Радиус аномалии в максимальной части достигает 5 км. Для определения трендов трансформации поверхностных вод и подземных водоносных горизонтов система эколого-гидрогеологического должна быть расширена в направлении р. Оскол.

Ключевые слова: особенности, преобразование, трансформация, подземная, гидросфера, горнопромышленный комплекс, депрессионная воронка, аномалия

Для цитирования: Бударина В. А., Лисецкий Ф. Н., Косинова И. И., Курьшев А. А. Особенности трансформации подземной гидросферы в пределах Стойленского горнопромышленного комплекса // Геология, география и глобальная энергия. 2024. № 3 (94). С. 13–22. https://doi.org/10.54398/20776322_2024_3_13.

Благодарности: проект № 20180180 «Управление процессом воспроизводства экосистем в агроландшафтах» программы «Приоритет – 2030».

FEATURES OF THE TRANSFORMATION OF THE UNDERGROUND HYDROSPHERE IN THE LIMITS OF THE TULA MINING COMPLEX

Victoria A. Budarina^{1✉}, Fyodor N. Lisetsky², Irina I. Kosinova³, Alexander A. Kuryshv⁴

^{1, 3, 4}Voronezh State University, Voronezh, Russia

²Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

¹budarinav@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8091-0730>

²fnliset@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9019-4387>

³kosinova777@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5439-5197>

⁴kaa@geol.vsu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0599-9530>

Abstract. The problem of transformation of aquifers in the zones of influence of large mining enterprises is very relevant, as it affects the problems of regional water supply. These problems are of great importance in the regions of Central Russia, where the population density is very high and reaches 43 people per square kilometer. Residential, agro-industrial and industrial are one of the leading areas of technogenic load here. The development of mineral deposits exerts an additional powerful pressure on all components of the environment, especially on soils, surface and groundwater. The purpose of this research is to determine the features of the transformation of the underground hydrosphere in the area of a large mining complex in the Central part of Russia – Stoilensky. The main method of conducting research was the ecological and hydrogeological monitoring of the Stoilensky mining complex area. The monitoring system was formed during the 40 years of operation of the plant. It included the sequential inclusion of observation wells covering the sites of the Stoilensky quarry, the LGOK dumps, the mine site, the Strelitsa dump, and adjacent territories. The most dense testing is carried out within the industrial site. The subsequent stages of ecological and hydrogeological monitoring developed according to a system of oriented profiles. Profiles I–III have a meridional direction. Profile I–I as objects of observation includes the mine site, the border between the Stoilensky quarry and the Strelitsa dump, mine No. 3, depot, runs along the eastern border of the Eastern Dump, the eastern border of the tailings dump. Due to the peculiarities of the eastern direction of the groundwater flow, profile I–I records changes in the ecological and hydrogeochemical situation. The assessment of the features of the technogenic transformation of two upper aquifer complexes – the Middle-upper Quaternary and Turon-Konyak. It has been revealed that the chronic deterioration of groundwater quality in near-surface aquifers largely depends on the spatial features of the anthropogenic load. Almost all objects of the Stoilensky mining complex are located on the areas of the main aquifers supply areas. The structure of the geological section, represented by sands, fractured chalk and marls, the absence of regional water barriers causes active migration of elements along the section and in space. In the course of the research, an increased chlorine content was revealed in the waters of the studied aquifers. The values of water mineralization vary in the studied observation wells from 330 to 1124 mg/dm³, which indicates a significant transformation of the ecological and hydrogeochemical situation characteristic of the first medium-upper quaternary aquifer complex from the surface. The increase in chlorine concentration with depth (up to 19 %-eq) is the most characteristic feature of the vertical hydrogeochemical zonality of the territory under consideration. This trend has both natural and man-made origins. The technogenic impact of the objects of the Stoilensky mining complex on the ecological and hydrogeochemical situation caused the transformation of the level regime and chemical composition of the Middle-Upper Quaternary and Turon-Konyak aquifers. The depth of the depression funnel reaches 25 m, and a complex unstable hydrogeochemical composition of groundwater is formed. The core of the ecological and hydrogeochemical anomaly covering the territories of the industrial site and the tailings storage facility consists of the waters of the Turon-Konka aquifer complex, the composition of which is complicated to sulfate-bicarbonate-sodium-calcium. The radius of the anomaly in the maximum part reaches 5 km. To determine trends in the transformation of surface waters and groundwater aquifers, the ecological and hydrogeological system should be expanded in the direction of the river Oskol.

Keywords: features, transformation, transformation, underground, hydrosphere, mining complex, depression funnel, anomaly

For citation: Budarina V. A., Lisetsky F. N., Kosinova I. I., Kuryshv A. A. Features of the transformation of the underground hydrosphere in the limits of the Tula mining complex. *Geology, Geography and Global Energy*. 2024;3(94):13–22. https://doi.org/10.54398/20776322_2024_3_13 (In Russ.).

Acknowledgments: project No. 20180180 "Management of ecosystem reproduction in agricultural landscapes" of the Priority 2030 program.

Введение

Горнопромышленные комплексы представляют собой значимые техногенные источники преобразования компонентов окружающей среды. Спектр техногенных воздействий включает и подземную гидросферу. Направления ее преобразования проявляются как в гидродинамическом, так и в гидрогеохимическом планах. Открытая разработка карьеров приводит к сработке приповерхностных водоносных горизонтов и осушению верхней части разреза. Данное обстоятельство также оказывает весьма негативное воздействие на поверхностные воды, происходит

постепенная деградация и обмеление малых рек. Изъятие из гидрологического цикла подземного питания, особенно в меженный период, нередко становится причиной уничтожения малых рек. Сработка верхних водоносных горизонтов за счет дренажных работ формирует мощные депрессионные воронки. Эколого-гидрогеохимическая характеристика подземной гидросферы в районах крупных горнопромышленных комплексов также характеризуется значимыми показателями трансформации. Данным работам посвящены исследования П. В. Голеусова, В. И. Голика, В. Н. Квачева, Ф. Н. Лисецкого, А. Н. Петина, О. Н. Полухина и др. [1–3]. Весьма значимой данная проблема является для территории Центрально-Черноземного экономического района, в пределах которого имеют место следующие экологические особенности:

1. Высокая комфортность природной среды обитания, обусловленная благоприятным климатом, спокойным рельефом, богатой поверхностью и подземной гидросферой, качественными почвами, наличием месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых.
2. Значительный уровень селитебного, промышленного и аграрного освоения территории, связанный с благоприятностью проживания.
3. Наличие крупных горнопромышленных комплексов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.

Наличие данных факторов формирует противоречие, связанное с современными технологиями горнопромышленного производства, которые приводят к значимому техногенному преобразованию компонентов окружающей среды, в особенности подземной гидросферы, и необходимостью поддержки высокого уровня комфортности среды обитания региона. В этой связи целью настоящей работы является анализ степени трансформации подземной гидросферы в районе крупнейшего горнопромышленного объекта Курской магнитной аномалии – Стойленского горнопромышленного комплекса на период 64 годовщины его эксплуатации.

Район исследований располагается в северо-восточной части Днепровско-Донецкого артезианского бассейна [4]. Основные гидрогеологические системы, слагающие бассейн, разделены региональными поверхностями размыва, которые являются причиной отсутствия в разрезе некоторых стратиграфических подразделений. Особенности геолого-геоморфологического строения района исследований определяют специфику природной эколого-гидрогеологической и эколого-гидрографической ситуаций. Естественный режим поверхностных и подземных вод района определяется наличием главного водораздела, отделяющего реки Черноморского и Азовского бассейнов. Абсолютные отметки водораздела составляют 250–260 м с максимумом в районе Вязовского неотектонического поднятия – 268 м. Река Северский Донец формирует долину с абсолютной отметкой 115 м. Следует подчеркнуть высокий градиент рельефа, который является причиной активного развития оврагообразования, гравитационных процессов. Неотектоническая характеристика района исследований определяется его приуроченностью к Курскому неотектоническому поднятию 2-го порядка [5].

Материалы и методы исследования

Эколого-гидрогеологические особенности 4 водоносных горизонтов, залегающих в пределах территории Стойленского горнопромышленного комплекса, наблюдаются по сети режимных скважин, включающих 41 объект наблюдений: средне-верхнечетвертичный водоносный горизонт – 4 скважины, турон-коньякский – 17 скважин, альб-сеноманский – 19 скважин и 1 скважина на архей-протерозойский водоносный горизонт. Период наблюдений ежеквартальный. Технические характеристики наблюдательных скважин представлены в таблице.

Таблица – Краткая характеристика режимных скважин СГОКа

№ скважины	Абсолютная отметка устья, м	Высота оголовка, м	Интервал установки фильтра, м абс.	Диаметр фильтровой колонны, мм	Глубина скважины, м: фактическая на 2020 г.
<i>Средне-верхнечетвертичный водоносный комплекс</i>					
1 ^н	201,48	0,63	199,48–145,48	89,0	6,87
10 ^{нп}	215,29	0,48	206,11–202,11	90,0	15,18
6 ^{нп}	219,65	0,40	212,30–210,30	90,0	15,35
18 ^{нп}	218,91	0,65	209,91–205,91	42,0	15,0
<i>Турон-коньякский водоносный комплекс</i>					
2 ^{нв}	139,47	0,40	21,3–24,3	114,0	25,77
3 ^{нв}	164,41	0,57	46,0–49,0	114,0	52,37
4 ^{нв}	218,52	0,63	85,0–88,0	114,0	90,47
5 ^{нв}	205,97	0,73	75,0–78,0	114,0	83,60
11 ^{нв}	193,57	0,65	56,0–59,0	114,0	61,49
12 ^{нв}	182,45	0,59	56,0–59,0	114,0	59,95

Продолжение таблицы

13 ^{нв}	156,28	0,51	36,0–39,0	114,0	40,60
14 ^{нв}	160,45	0,75	42,4–45,4	114,0	47,20
15 ^{нв}	139,43	0,62	21,9–24,9	114,0	26,80
16 ^{нв}	206,72	0,74	80,0–83,0	114,0	89,74
17 ^{нв}	192,73	0,82	85,0–88,0	114,0	91,01
19 ^{нв}	171,97	0,60	58,4–61,4	114,0	64,17
15 ^с	208,75	0,52	6/0	127,0	79,8

Полученные результаты

Высокий уровень техногенной нагрузки при функционировании Стойленского горнопромышленного комплекса трансформирует поверхностную гидросферу, что зеркально влияет на подземные воды.

Настоящая статья посвящена анализу оценки особенностей техногенного преобразования двух верхних водоносных комплексов, имеющих место в пределах исследуемого района, – средне-верхнечетвертичного и турон-коньякского. Средне-верхнечетвертичный входит в серию первых от поверхности водоносных горизонтов [6].

Он слагает единую зону водообмена с турон-маастрихтском терригенно-карбонатном комплексом. Большая часть Русской равнины является ледниковым комплексом, однако район исследований не входит в данную генетическую группу. В этой связи в его строении преобладают субаэральные отложения. В целом разрез средне-верхнечетвертичного водоносного комплекса сложен песками, супесями, в верхней части появляются прослои глин. Превышенная глинистость характерна для третьей и четвертой террас. Погребенный аллювий древних террас находится на возвышении относительно современного уреза рек, глубина его залегания составляет около 10 метров. Уровень вод комплекса фиксируется на глубинах от 2 до 15 м, в долинах рек выходит на поверхность в виде родников. В сельских поселениях, удаленных от объекта Стойленского горнопромышленного комплекса, воды средне-верхнечетвертичного водоносного комплекса активно используются в водоснабжении по системам колодцев и родников (рис. 1). Следует подчеркнуть дифференциацию отношения к родникам и колодцам, эксплуатируемым местным населением для хозяйственных, питьевых и технических целей. В большей части качество воды в них зависит от степени охраны и бережного отношения к водным источникам [8–9]. Глубина колодца – 12,5 м, уровень грунтовых вод находится на 8 м. Вода хорошего качества, используется населением для хозяйственно-питьевых целей. Коэффициенты фильтрации вмещающих пород изменяются от 0,2 до 10,34 м/сут. Дебиты родников варьируют от 0,1 до 0,2 л/с. Удельные дебиты скважин и колодцев изменяются от 0,01 до 17,88 л/с.

Турон-коньякский водоносный комплекс (К_{2т-к}) повсеместно распространен на исследуемой территории, вмещающими породами являются мелы высокого уровня трещиноватости [10]. Степень трещиноватости в значительной степени зависит от рельефа и глубины залегания водоносного комплекса. На водоразделах, где глубина турон-коньякского водоносного комплекса достигает 85 м, трещиноватость минимальна, тенденция ее значительного возрастания фиксируется в направлении долин рек, где горизонт максимально приближен к поверхности (5–12 м). Максимальная степень водообильности комплекса проявляется в долинах рек, где достигает 950 м³/сут. Минимальные значения водообильности фиксируются на водораздельных пространствах, количественно составляют около 50 м³/сут. Техногенное преобразование данного водоносного комплекса проявлено в значительной степени его осушения в результате формирования мощной депрессионной воронки, образовавшейся в процессе проведения дренажных работ на системах осушения Стойленского и Лебединского карьеров [11]. Турон-коньякский ярус нижнего мела сложен мелями белыми, писчими, грубыми, различной степени трещиноватости.

Система эколого-гидрогеологического мониторинга Стойленского горнопромышленного комплекса включает площадки Стойленского карьера, отвалы ЛГОКа, рудничную площадку, отвал «Стрелица», прилегающие территории (рис. 2). Система мониторинга достаточно сложная. Она формировалась в течение всех лет эксплуатации месторождения. Наиболее плотное опробование осуществляется в пределах промплощадки. Здесь имеют место наблюдательные скважины (нг), серия скважин, пробуренных при инженерно-геологических работах (иг), которые были впоследствии переведены в статус наблюдательных. Последующие этапы эколого-гидрогеологического мониторинга развивались по системе ориентированных профилей. Профили I–III имеют меридиональное направление. Профиль I–I в качестве объектов наблюдений включает рудничную площадку, границу между Стойленским карьером и отвалом Стрелица, шахту № 3, депо, проходит вдоль восточной границы Восточного отвала, восточной границы хвостохранилища. В связи с особенностями восточного направления потока подземных вод профиль I–I фиксирует изменения в эколого-гидрогеохимической ситуации в непосредственной

близости от основных источников. Профили II–II и III–III секут селитебные зоны севернее промплощадки, непосредственно промплощадку и центральный прудковый отсек хвостохранилища. Профили IV–IV и V–V направлены по потоку подземных вод, предназначены для определения радиуса воздействия источников загрязнения на поверхностные и подземные воды. Большое внимание уделяется эколого-гидрогеохимической ситуации в пределах зоны влияния хвостохранилища.



Рисунок 1 – Колодец в х. Загатево, Ериковское сельское поселение Белгородской области

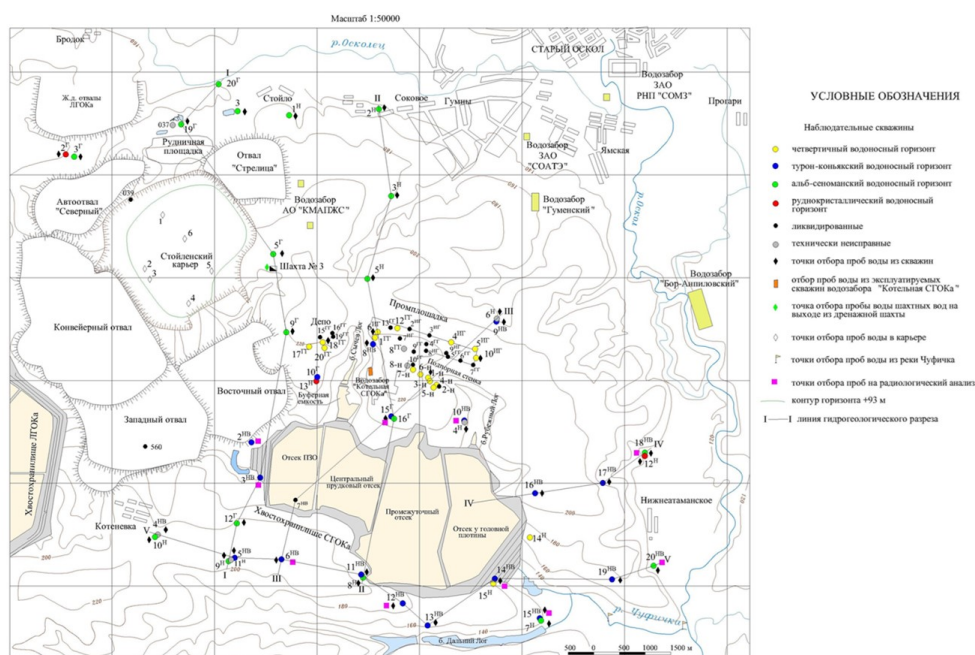


Рисунок 2 – Система эколого-гидрогеологического мониторинга территории Стойленского горнопромышленного комплекса

Максимально наблюдается ситуация по состоянию турон-коньякского и альб-сеноманского водоносных комплексов. Скважины располагаются вдоль границ хвостохранилища, подпорной стенки, промплощадки СГОКа, депо. Сброс осветленных вод хвостохранилища производится в р. Чуфичка, подземный сток ориентирован в восточном направлении.

Многолетние наблюдения за уровнем режимом с 2014 г. демонстрируют значительные деформации эколого-гидрогеохимической ситуации (рис. 3). Скважина 18гг ориентирована на мониторинг состояния средне-верхнечетвертичного водоносного комплекса. В связи с тем,

что она располагается выше по потоку подземных вод, вне основных источников загрязнения, эколого-гидрогеохимические показатели воды в данной скважине можно принять за фоновые для средне-верхнечетвертичного водоносного комплекса. Воды отличаются гидрокарбонатно-кальциевым составом, характерным для данного комплекса на основной территории района. Имеет место незначительное количество нитратов.

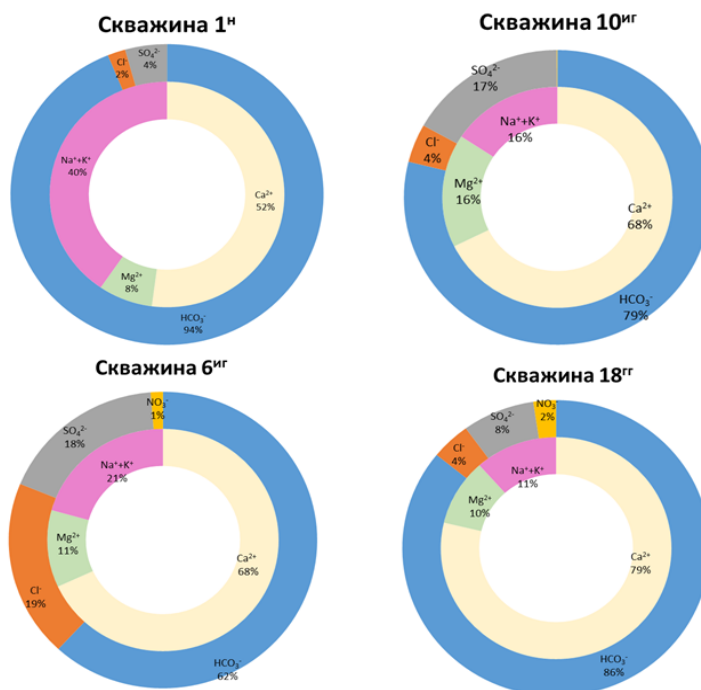


Рисунок 3 – Динамика химического анализа подземных вод средне-верхнечетвертичного водоносного комплекса

Наблюдательная скважина 1^н демонстрирует особенности эколого-гидрогеохимической ситуации в пределах промплощадки. Вода четвертичного водоносного комплекса имеет гидрокарбонатно-кальциево-натриево-калиевый состав. Сульфаты и хлориды имеют сугубо подчиненное значение. Сложность типобразующих составляющих воды отражает их значительное преобразование. В скважинах, размещенных в зоне воздействия хвостохранилища, фиксируется подъем уровней подземных вод от 20 до 40 %. Результаты эколого-гидрогеохимического мониторинга состава средне-верхнечетвертичного водоносного комплекса демонстрируют гидрокарбонатно-кальциевый тип вод. Также для данного горизонта характерно повышенное содержание жесткости (рис. 4) и кремния (рис. 5). Источниками поступления кремния и карбонатов являются вскрышные породы туронского, коньякского, сантонского, кампанского и маастрихтского ярусов, слагающие отвалы Стойленского ГОКа. Инфильтрация данных компонентов с атмосферными осадками, а также их привнос с водами хвостохранилища, формирует эколого-гидрогеохимическую аномалию. Величины минерализации воды изменяются в исследуемых наблюдательных скважинах от 330 до 1124 мг/дм³. Подобная картина свидетельствует о значительной трансформации эколого-гидрогеохимической ситуации, характерной для первого от поверхности средне-верхнечетвертичного водоносного комплекса.

Он характеризуется низкими уровнями природной защищенности, что сказывается на динамике химического состава даже в пределах небольшой площади.

Скважина биг, находящаяся на промплощадке, наблюдает турон-коньякский водоносный комплекс. Тип воды также сложный. Однако для данного комплекса характерна большая динамика анионного состава. Количество хлоридов и сульфатов приближено к 20 %-экв. Появляется незначительное количество нитратов. Скважина 10^{иг} расположена восточнее промплощадки, контролирует состояние турон-коньякского водоносного комплекса. Отмечается аналогичное состояние комплекса, однако количество хлоридов уменьшено в 5 раз относительно промплощадки. Трансформация эколого-гидрогеохимической ситуации в пределах турон-коньякского водоносного комплекса продемонстрирована на рисунке 6.

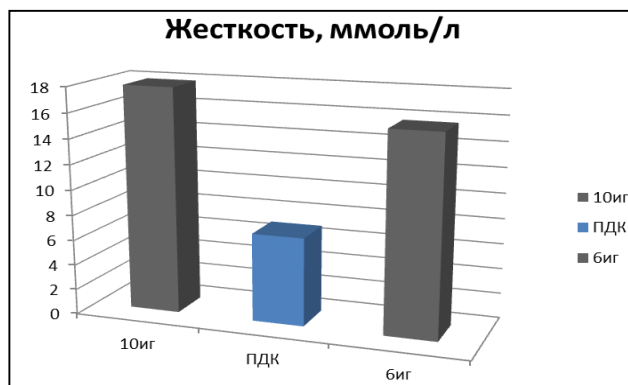


Рисунок 4 – Превышения жесткости в водах средне-верхнечетвертичного водоносного комплекса

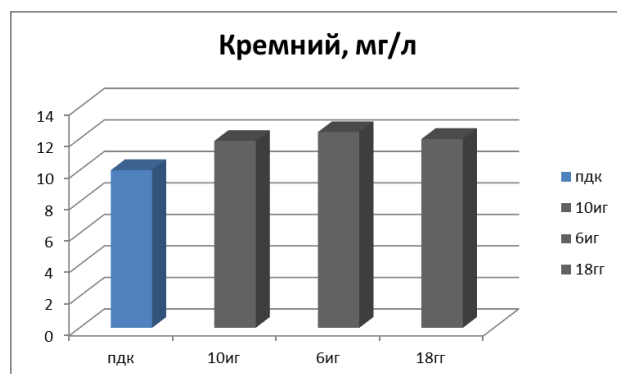


Рисунок 5 – Содержание кремния в водах средне-верхнечетвертичного водоносного комплекса

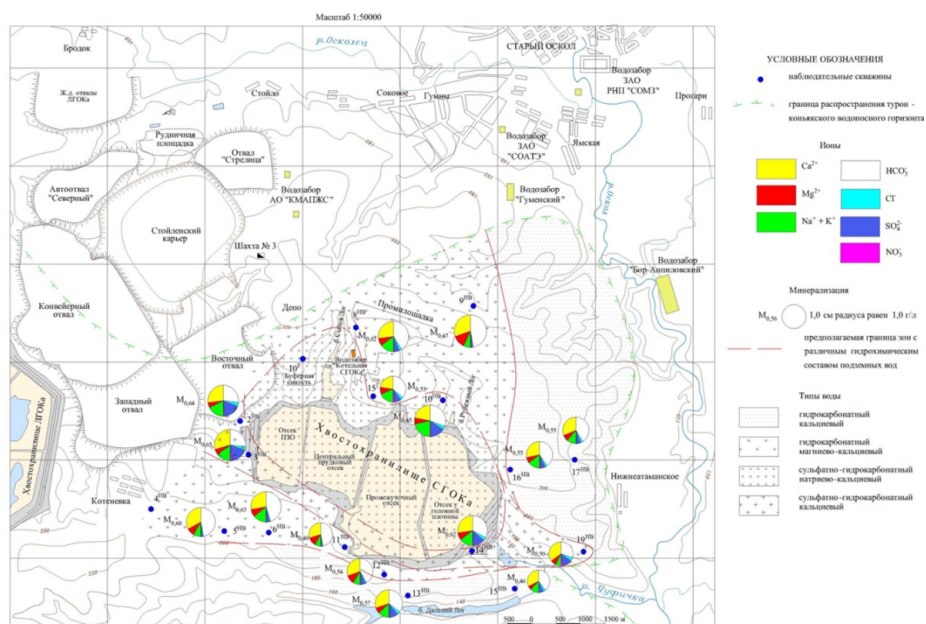


Рисунок 6 – Эколого-гидрогеохимическая характеристика турон-коньского водоносного комплекса в районе промплощадки и хвостохранилища Стойленского ГОКа

При анализе данной карты обращает на себя внимание наличие на незначительной площади четырех типов воды – от гидрокарбонатно-кальциевого, характерного для фоновых участков, до сложного сульфатно-гидрокарбонатно-натриево-кальциевого. Наиболее характерный

фоновый состав вод турон-коньякского водоносного комплекса гидрокарбонатно-кальциевый. Данный тип воды характерен для исследуемого водоносного комплекса в восточной части территории, у долины реки Оскол. Ядро эколого-гидрогеохимической аномалии составляют воды комплекса, состав которых усложнен до сульфатно-гидрокарбонатно-натриевого-кальциевого. Последний тип вод характерен для участка непосредственного размещения хвостохранилища. Эколого-гидрогеохимическая аномалия имеет округлую форму, ориентируется по направлению потока подземных вод. Воды сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевые окаймляют ядро аномалии, приуроченное к хвостохранилищу, распространены в пределах промплощадки комбината. Следует подчеркнуть, что техногенное преобразование турон-коньякского водоносного комплекса, несмотря на значительную глубину залегания, проявляется в двух направлениях: осушение и трансформация воды на уровне типа. Осушение проявляется, в первую очередь, в уничтожении малых рек региона. Исследования, которые были проведены в июне-июле 2024 г. на территориях сельских поселений, расположенных выше по потоку подземных вод относительно Стойленского горнопромышленного комплекса, выявили отсутствие малых водотоков по балкам и оврагам. Это были малые реки без названия, которые в настоящее время полностью исчезли. На исследуемой территории, по данным [12], за 10 лет имеет место, следующее снижение уровней подземных вод: для рудно-кристаллического – на 8,7 м, альб-сеноманского – 2,2 м, турон-коньякского – 1,3 м.

Эколого-геохимические исследования, проведенные в ряде сельских поселений, демонстрируют влияние Стойленского горнопромышленного комплекса на расстояние до 50 км [13]. В радиусе до 25 км отсутствуют колодцы, которые характерны для остальной территории Белгородской области. Водоснабжение населения осуществляется из глубоких водоносных комплексов, преимущественно из альб-сеноманского терригенного комплекса (К_{1а-с}). На водоразделах его глубина достигает 120 м. Это защищенный водоносный комплекс, который тем не менее представляет собой экологическую мишень для воздействия горнопромышленного предприятия [14].

Выводы

Проведенные исследования позволяют выделить следующие тренды трансформации эколого-гидрогеологической ситуации в пределах Стойленского горнопромышленного комплекса:

1. Хроническое ухудшение качества подземных вод приповерхностных водоносных комплексов в значительной степени зависит от пространственных особенностей техногенной нагрузки. Практически все объекты Стойленского горнопромышленного комплекса располагаются на площадях областей питания основных водоносных комплексов – от четвертичных до верхнего мела включительно, что определяет негативное преобразование их качества. Данное обстоятельство предполагает реализацию комплекса мероприятий, ориентированных на техногенную разгрузку пространств областей питания. В этой связи часть объектов должна быть перенесена на иные участки, характеризующиеся более высокими уровнями природной защищенности. Хвостохранилище как объект высокого уровня экологической опасности должно быть реконструировано в направлении строительства инженерных сооружений противодиффузионного типа.

2. Особенностью формирования современной эколого-гидрогеохимической ситуации в пределах района исследований также являются природные условия водообмена гидрогеологических подразделений. Исследуемые водоносные комплексы располагаются в зоне активного водообмена. Строение геологического разреза, представленного песками, трещиноватыми мелями и мергелями, отсутствие региональных водоупоров обуславливает активную миграцию элементов по разрезу и в пространстве. Данное обстоятельство также является элементом экологической опасности, который должен учитываться при проведении эколого-геологических изысканий, а также при оценке воздействия объектов на окружающую среду. В настоящее время Стойленский горнопромышленный комплекс активно перестраивается, реконструируется. В данном процессе должны быть учтены запретительные меры на дополнительную эколого-гидрогеохимическую нагрузку.

3. В процессе исследований выявлено повышенное содержание хлора в водах исследуемых водоносных комплексов. Рост концентрации хлора с глубиной является наиболее характерной особенностью вертикальной гидрогеохимической зональности рассматриваемой территории. Данный тренд имеет как природное, так и техногенное происхождение.

4. Техногенное воздействие объектов Стойленского горнопромышленного комплекса на эколого-гидрогеохимическую ситуацию стало причиной трансформации уровня режима и химического состава средне-верхнечетвертичного и турон-коньякского водоносных комплексов. Глубина депрессионной воронки достигает 25 м, формируется сложный нестабильный гидрогеохимический состав подземных вод. Ядро эколого-гидрогеохимической аномалии, охватывающей территории промплощадки и хвостохранилища, составляют воды турон-коньякского водоносного комплекса, состав которых усложнен до сульфатно-гидрокарбонатно-натриевого-кальциевого. Радиус аномалии в максимальной части достигает 5 км.

5. Для определения трендов трансформации поверхностных вод и подземных водоносных горизонтов система эколого-гидрогеологического мониторинга территории Стойленского горнопромышленного комплекса в профиле IV–IV должна быть дополнена двумя наблюдательными скважинами в направлении р. Оскол. Это позволит оценить влияние депрессионной воронки и эколого-гидрогеохимической аномалии, сформировавшейся в верхних водоносных комплексах, на режим и качество реки Оскол.

Список литературы

1. Бударина В. А., Игнатенко И. М., И. И. Косинова Особенности загрязнения почв и грунтов ряда сельских поселений Белгородской области тяжелыми металлами // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2023. № 4. С. 113–121.
2. Бударина В. А., Сигора Г. А., Смоленская Т. Ю., Ничкова Л. А., Игнатенко И. М. Особенности эколого-гидрогеохимических исследований качества родниковых вод // Вестник ВГУ. Серия: География и геоэкология. 2024. № 2. С. 120–127.
3. Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии. Т. 1. Геология. Кн. 2. Осадочный комплекс / под ред. Д. Н. Утехина. Москва: Недра, 1972. 360 с.
4. Голик В. И., Полухин О. Н., Петин А. Н., Комашенко В. И. Экологические проблемы разработки рудных месторождений КМА // Горный журнал. 2013. № 4. С. 91–94.
5. Еланцева Л. А. Ведение геоэкологического мониторинга подземных и поверхностных вод в зоне влияния объектов Стойленского ГОКа. Белгород: ООО НТЦ НОВОТЭК, 2018. 137 с.
6. Житинская О. М., Ярл Л. А. Изменение компонентов природной среды при длительной разработке месторождений открытым способом (на примере КМА) // Новые идеи в науках о Земле: труды XII Междунар. науч.-практ. конф. Москва, 2017. Т. 2. С. 181–182.
7. Квачев В. Н. Гидрогеологическая стратификация и районирование Белгородской области для целей водоснабжения // Вестник Воронеж. ун-та. Сер. Геология. 2004. № 2. С. 194–204.
8. Лисецкий Ф. Н., Голуусов П. В. Геоэкологические исследования современного состояния природных сред в зоне влияния Курской магнитной аномалии // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2006. № 1. С. 222–225.
9. Петин А. Н., Спиридонов А. И. Техногенное воздействие и экологического состояние геологической среды Белгородской области // Научные ведомости БелГУ. Сер. Экология. 2000. № 3 (12). С. 40–47.
10. Раскатов Г. И., Лукьянов В. Ф., Старухин А. А., Сычев И. А., Холмовой Г. В., Шишов В. В. Тектоника восточной части Воронежского кристаллического массива и его осадочного чехла. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1976. 120 с.
11. СанПиН 2.1.3684–21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».
12. Стратиграфия СССР. Четвертичная система. Полутом 2 / гл. редакторы Д. В. Наливкин, В. С. Соколов. Москва: Недра, 1984. 556 с.
13. Холмовой Г. В. Неоген-четвертичный аллювий и полезные ископаемые бассейна Верхнего Дона. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1993. 100 с.

References

1. Budarina V. A., Ignatenko I. M., Kosinova I. I. Features of soil and soil pollution in a number of rural settlements of the Belgorod region with heavy metals. *Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geology*. 2023;4:113–121 (In Russ.).
2. Budarina V. A., Sigora G. A., Smolenskaya T. Yu., Nychkova L. A., Ignatenko I. M. Features of ecological and hydrogeochemical studies of spring water quality. *Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geography and Geoecology*. 2024;2:120–127 (In Russ.).
3. *Geology, hydrogeology and iron ores of the Kursk magnetic anomaly basin. Vol. 1. Geology. Book 2. Sedimentary complex*. Edited by D. N. Utekhin, Moscow: Nedra; 1972:360 (In Russ.).
4. Golik V. I., Polukhin O. N., Petin A. N., Komashchenko V. I. Environmental problems of the development of KMA ore deposits. *Mining Journal*. 2013;4:91–94 (In Russ.).
5. Elantseva L. A. *Conducting geoecological monitoring of groundwater and surface waters in the zone of influence of Stoilensky GOK facilities*. Belgorod: NTC NOVOTEK LLC; 2018:137.
6. Zhitinskaya O. M., Yarg L. A. Changing the components of the natural environment during long-term open-pit mining (on the example of KMA). *New ideas in Earth Sciences: Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference*. Moscow, 2017;2:181–182 (In Russ.).
7. Kvachev V. N. Hydrogeological stratification and zoning of the Belgorod region for water supply purposes. *Bulletin of Voronezh. Univ. Ser. Geology*. 2004;2:194–204 (In Russ.).
8. Lisetsky F. N., Goleusov P. V. Geoecological studies of the current state of natural environments in the zone of influence of the Kursk magnetic anomaly. *Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geology*. 2006; 1:222–225 (In Russ.).
9. Petin A. N., Spiridonov A. I. Technogenic impact and ecological state of the geological environment of the Belgorod region. *Scientific bulletin of BelSU. Ser. Ecology*. 2000;3(12):40–47 (In Russ.).

10. Raskatov G. I. Lukyanov V. F., Starukhin A. A., Sychev I. A., Kholmovoy G. V., Shishov V. V. *Tectonics of the eastern part of the Voronezh crystalline massif and its sedimentary cover*. Voronezh: VSU Publishing House; 1976:120 (In Russ.).
11. *SanPiN 2.1.3684–21 "Sanitary and epidemiological requirements for the maintenance of urban and rural settlements, for water bodies, drinking water and drinking water supply, atmospheric air, soils, residential premises, operation of industrial, public premises, organization and implementation of sanitary and anti-epidemic (preventive) measures"* (In Russ.).
12. *Stratigraphy of the USSR*. The quaternary system. Half volume 2. Chief editors D. V. Nalivkin, V. S. Sokolov. Moscow: Nedra; 1984:556 (In Russ.).
13. Kholmovoy G. V. *Neogene-Quaternary alluvium and minerals of the Upper Don basin*. Voronezh: VSU Publishing House; 1993:100 (In Russ.).

Информация об авторах

Бударина В. А. – кандидат юридических наук, доцент;
Лисецкий Ф. Н. – доктор географических наук, профессор;
Косинова И. И. – доктор геолого-минералогических наук, профессор;
Курышев А. А. – кандидат геолого-минералогических наук, доцент.

Information about the authors

Budarina V. A. – Cand. Sci. (Juridical), Associate Professor;
Lisetsky F. N. – Doct. Sci. (Geographical), Professor;
Kosinova I. I. – Doct. Sci. (Geological and Mineralogical), Professor;
Kuryshchev A. A. – Cand. Sci. (Geological and Mineralogical), Associate Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 17.06.2024; одобрена после рецензирования 10.07.2024; принята к публикации 25.07.2024.

The article was submitted 17.06.2024; approved after reviewing 10.07.2024; accepted for publication 25.07.2024.