

Миграция поллютантов и загрязнение подземных вод при добыче железных руд

© 2018. Ю. А. Бабушкина, аспирант, Н. Н. Назаренко, д. б. н., профессор, Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет, 454080, Россия, г. Челябинск, пр. Ленина, 69, e-mail: yulianna0891@mail.ru, nnazarenko@hotmail.com

В статье рассмотрена проблема миграции химических поллютантов водной среды и загрязнение подземных вод при добыче железных руд на примере АО «Соколовско-Сарбайское горно-обогатительное производственное объединение» (Казахстан). Проанализированы пробы подземных вод, отобранные в период 2012–2016 гг., по следующим показателям: рН, содержание сухого остатка и взвешенных веществ, содержание ионов кальция, магния, сульфат-, хлорид-, фосфат-, гидрокарбонат-, нитрат-, нитрит-ионов, азота аммонийного, железа общего, нефтепродуктов, соединений алюминия, свинца, цинка, никеля, кобальта, марганца и бора. Полученные результаты свидетельствуют, что величины концентрации сульфатов, хлоридов, нитратов, нитритов, азота аммонийного, соединений бора, марганца, содержание сухого остатка в подземных водах непосредственно в районе добычи превышают их предельно допустимые значения. При этом за пределами санитарно-защитной зоны предприятия превышения концентраций загрязняющих веществ не обнаружено, что свидетельствует о незначительной миграции поллютантов за пределы санитарно-защитной зоны предприятия.

Ключевые слова: миграция химических загрязнителей, горнодобывающее предприятие, железная руда, техногенное загрязнение, подземные воды.

Migration of pollutants and contamination of groundwater when mining iron ore

© 2018. Yu. A. Babushkina ORCID: 0000-0002-0684-5384, N. N. Nazarenko ORCID: 0000-0002-2425-3649, South Ural State Humanitarian Pedagogical University, 69, Lenina Prospect, Chelyabinsk, Russia, 454080, e-mail: yulianna0891@mail.ru, nnazarenko@hotmail.com

The article considers the problem of migration of chemical pollutants into the aquatic environment of iron ore mining area on the example of JSC “Sokolovsko-Sarbaiskoye Ore-dressing Production Association” (Kazakhstan). The materials of the study where samples of groundwater selected at the plant for the extraction of magnetite ore, on the border of the sanitary protection zone and beyond. Sampling of water was carried out in accordance with Russian State Standard GOST 31861-2012 in the period 2012–2016 years.

Analysis of samples was carried out by an accredited laboratory on such factors as pH, dry matter, suspended matter, calcium, magnesium, sulfates, chlorides, phosphates, bicarbonates, nitrates, nitrites, ammonia nitrogen, total iron, oil, aluminum, lead, zinc, nickel, cobalt, manganese and boron.

The results shows that the magnitude of the concentration of sulfates, chlorides, nitrates, dryness, nitrites, ammonia nitrogen, boron, manganese in underground water directly in the production area exceed their maximum permissible values.

The critical points of impurities were identified such as a lower sump of quarry, upper sump pit and drainage ditch with the highest rates of sulfates, chlorides, nitrates, dryness, nitrites, ammonia nitrogen, boron, calcium, magnesium and bicarbonates.

The main trends of groundwater pollution in the area of the location of the iron ore mining enterprise are revealed. For the vast majority of pollutants, sharp annual fluctuations of indicators are not observed, the level of pollution is stable, and there is no tendency to reduce the level of groundwater pollution.

At the same time, no excess of pollutants was detected outside the sanitary protection zone of the enterprise. This indicates that migration of pollutants beyond the sanitary protection zone of the enterprise is not observed.

Keywords: migration of chemical pollutants, mining enterprise, iron ore, technogenic pollution, groundwater.

Добыча рудных полезных ископаемых является давней человеческой деятельностью, связанной с промышленным развитием и индустриализацией человечества. При этом горнодобывающая деятельность также приводит к очевидным негативным экологическим последствиям, таким, как загрязнение воды, почвы, атмосферного воздуха и изменение ландшафтов [1]. Прямые экологические последствия добычи железных руд достаточно подробно исследованы специалистами-экологами [2–6].

Добывающая промышленность оказывает воздействие на окружающую среду не только непосредственно в месте добычи руд, но может оказывать влияние далеко за их пределами за счёт движения воздушных масс, поверхностных и подземных стоков, постоянных и временных водотоков. Это воздействие связано, прежде всего, с миграцией химических поллютантов, выбрасываемых и сбрасываемых в окружающую среду при добыче руд.

Наличие качественной воды необходимо для жизни, социально-экономического благополучия и безопасности населения. Воду население обычно получает из двух основных природных источников: поверхностных вод, таких как пресные водоёмы, реки, ручьи и подземных вод, таких как скважинная вода и колодезная вода [7, 8]. Горнодобывающая деятельность отрицательно влияет на качество воды за счёт значительных сбросов загрязняющих веществ в виде сточных и дренажных вод [9].

Загрязнённые воды угрожают существованию биотической целостности и, следовательно, препятствуют естественному функционированию природных экосистем. С другой стороны, чистая вода необходима для бытовых и промышленных нужд из-за её многочисленных физических и химических характеристик. В связи с этим, одним из важнейших аспектов оценки экологического состояния территории является определение степени воздействия предприятия по добыче железных руд на качество воды в ближайших источниках водоснабжения.

Поверхностные воды более уязвимы к загрязнению из-за их лёгкой доступности для сброса сточных вод [10, 11]. Профилактика и борьба с загрязнением поверхностных вод должны основываться на достоверной информации о качестве воды и идентификации источников загрязняющих веществ [12, 13]. Оценка же загрязнения подземных вод – более сложное и не всегда доступное мероприятие.

Так, подземные воды инфильтруются и мигрируют через поровые пространства внутри почво-грунтов и горных пород и в процессе миграции реагируют с минералами, образующими почво-грунты и породы [14]. Качество грунтовых вод в любой местности зависит от химического состава водоносного горизонта, через который он мигрирует в соответствии с гидрологическим циклом и направлением потока [15, 16]. Неоспорим факт влияния качества поверхностных вод на подземные воды. Таким образом, в результате непрерывного круговорота в экосистемах происходит миграция загрязняющих веществ в подземные воды. Выявление загрязнения подземных вод в районе горнодобывающих предприятий Северного Казахстана является актуальной задачей, решение которой позволит проследить участие деятельности предприятия по добыче железных руд в миграции химических поллютантов.

Целью настоящей работы является изучение загрязнения подземных вод, выявление динамики этого загрязнения и исследование миграции химических поллютантов в районе расположения Куржункульской промышленной площадки акционерного общества «Соколовско-Сарбайское горнообогатительное производственное объединение» (далее АО «ССГПО»).

Объекты и методы

Объектами исследования являются подземные воды в районе расположения Куржункульского месторождения магнетитовых руд АО «ССГПО», которое находится в Тарановском районе Костанайской области и представлено карьером по добыче магнетитовых руд и отвалами вмещающих пород. Ближайшими населёнными пунктами являются посёлок Октябрьский (10 км), посёлок Новоильинка (12 км) и город Лисаковск (12 км). Эксплуатация месторождения началась в 1983 г. В период с 2001 по 2003 гг. его разработка была приостановлена, а с 2004 г. по настоящее время месторождение вновь разрабатывается. Горные работы ведутся открытым способом (карьер) [17].

Месторождение приурочено к центральной части главной железорудной полосы Тургайского железорудного района, в восточном крыле одноимённой синклинали и характеризуется сложным тектоническим строением. Породы нижнего карбона образуют крупную флексурную складку и повсеместно пере-

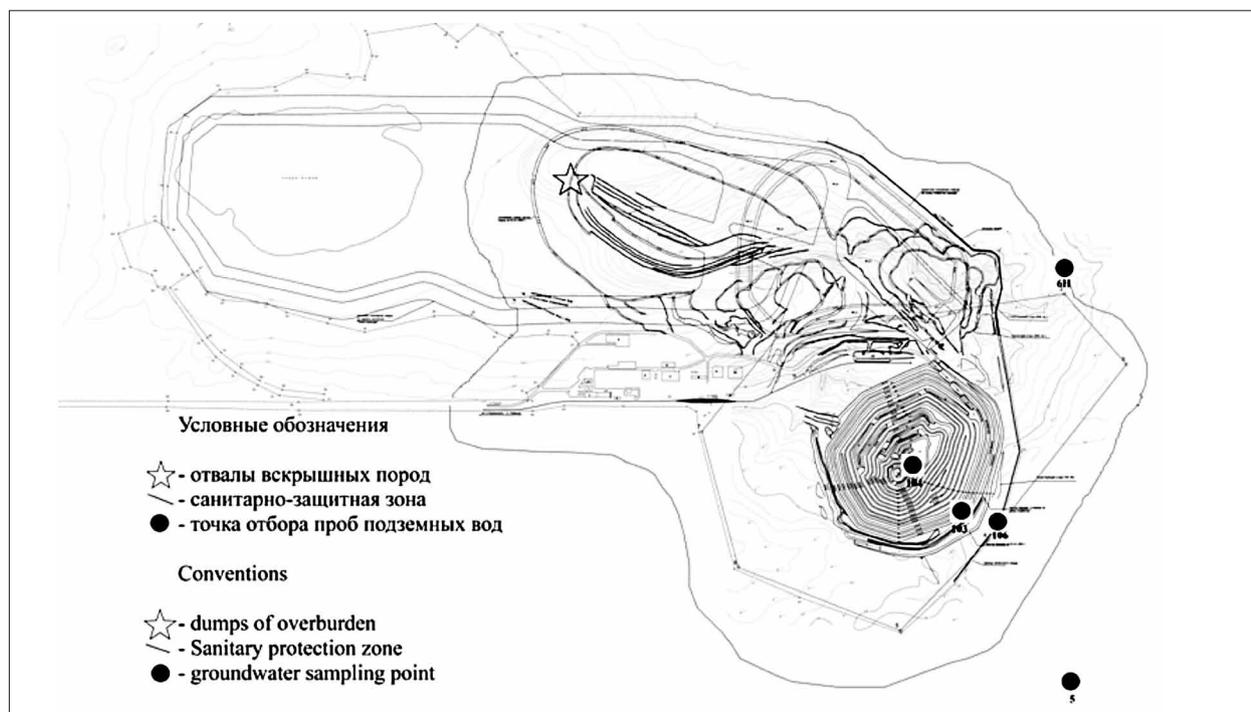


Рис. 1. Карта – схема расположения точек отбора проб в районе исследования
 Fig. 1. Map – layout of the location of sampling points in the study area

крыты рыхлыми отложениями мощностью от 20 до 60 м. Месторождение характеризуется блоковым строением, обусловленным развитием крупных тектонических нарушений. Вскрышные породы представлены глинами, песками, опоками и скальными вулканогенно-осадочными образованиями нижнего палеозоя, среди которых выделяются андезитовые порфириды, в различной степени – метасоматически изменённые и мраморизованные известняки [18].

Факторами, определяющими выбросы и сбросы загрязняющих веществ, являются вскрышные, добычные, буровые и взрывные работы, а также транспортные и ремонтные работы, обслуживание и эксплуатация транспортных средств, погрузочно-разгрузочные работы, дробильный комплекс и другие вспомогательные производства предприятия [19].

Отбор проб подземных вод проводили в период 2012–2016 гг. по ГОСТ 31861-2012 [20]. Участки отбора проб: № 103 – верхний зумпф карьера, № 104 – нижний зумпф карьера, № 106 – водоотводная канава, № 5 – водозаборная скважина за границей санитарно-защитной зоны (рис. 1).

В пробах подземных вод определяли следующие показатели: pH, сухой остаток, взвешенные вещества, содержание катионов кальция и магния, сульфатов, хлоридов, фосфатов, гидрокарбонатов, нитратов,

нитритов, азота аммонийного, железа общего, нефтепродуктов, бора, алюминия и тяжёлых металлов (свинец, цинк, никель, кобальт, марганец). Анализ проб выполняли на базе аккредитованной лаборатории «СевКаз-ГРА Плюс» по утверждённым стандартным методикам. Для полученных показателей выполнена оценка базовых статистических характеристик и проведён дисперсионный анализ показателей по точкам отбора проб и по годам [21]. Все расчёты выполняли в пакете Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Дисперсионный анализ показателей загрязнения подземных вод выявил отсутствие статистически значимых различий между годовыми величинами для подавляющего большинства загрязнителей, что свидетельствует об отсутствии значительных колебаний фильтрации вредных веществ с поверхности, а также их миграции с объектов предприятия. Таким образом, уровень поступления загрязнителей в районе Куржункульского месторождения стабилен без значительных годовых колебаний.

При этом дисперсионный анализ величин загрязнителей по точкам отбора показал статистически значимое различие по таким показателям, как содержание сульфатов, хлоридов,

Таблица 1 / Table 1

Усреднённые показатели загрязнителей в подземных водах района Куржункульского карьера АО «ССГПО» за 2012–2016 гг. / Average values of pollutants in groundwater in the Kurzunkulsky quarry of JSC «SSGPO» for 2012–2016

Средняя концентрация веществ и ионов мг/л / Average concentration of substances and ions mg/L	Участки отбора проб / Sampling sites					ПДК, мг/л MPC, mg/L
	№ 103	№ 104	№ 106	№ 5	№ 6Н	
SO ₄ ²⁻	1280±310	1280±130	980±160	85±13	48±14	500
Cl ⁻	900±60	1240±50	890±40	141±26	1370±39	350
NO ₃ ⁻	106±38	520±90	92±31	4,0±2,0	0,24±0,10	45
Сухой остаток Dry residue	3450±570	4760±250	3020±310	522±20	2370±70	1500
NO ₂ ⁻	0,48±0,11	11,5±2,3	0,42±0,13	0,052±0,020	0,019±0,010	3,3
N–NH ₄ ⁺	0,31±0,20	52±25	0,24±0,10	0,42±0,30	1,53±0,30	2
B	0,66±0,10	1,61±0,20	0,49±0,10	0,18±0,03	0,56±0,10	0,5
Ca ²⁺	224±40	337±35	212±27	30±5	71±4	–
Mg ²⁺	152±32	67±6	136±16	20±2,0	51±6	–
HCO ₃ ⁻	73±17	98±3,0	84±19	155±20	28±5	–

Примечание: * – жирным выделены показатели, превышающие ПДК; – прочерк (–) означает отсутствие установленных ПДК.

Note: indicators that exceed the MPC are bolded; – a dash (–) indicates the absence of the established MPC.

нитратов, сухого остатка, нитритов, азота аммонийного, бора, кальция, магния, гидрокарбонатов. Таким образом, для Куржункульского рудоуправления определяются критические точки загрязнения подземных вод, требующие наиболее серьёзных мероприятий по предотвращению миграции химических поллютантов в подземные воды. Наименьшее содержание большинства показателей загрязняющих веществ (табл. 1) отмечается в точке № 5, затем – № 6Н; наблюдается увеличение показателей в пробах № 106, 103 и 104. Это можно объяснить нахождением исследуемых участков – проба № 104 (нижний зумпф карьера) аккумулирует большинство поллютантов как нижняя точка подземного и поверхностного стока в анализируемой системе мест отбора проб. Точка № 103 расположена выше и наблюдается уменьшение химических веществ за счёт оттока части поллютантов с подземными водами. Наивысшая точка – проба № 106 – характеризуется самым высоким уровнем оттока подземных вод. Таким образом, чётко наблюдается миграция загрязняющих веществ (ЗВ) с верхних водоносных горизонтов в нижние с их накоплением в последних. При этом в пробе, расположенной за пределами санитарно-защитной зоны предприятия, превышения ЗВ не обнаружено. Это свидетельствует о том, что миграции поллютантов за пределы

санитарно-защитной зоны (СЗЗ) предприятия не наблюдается и для подземных вод зона выполняет свои экологические функции буфера загрязняющих веществ.

Сравнение усреднённых по годам показателей загрязняющих подземные воды веществ (табл. 1) с их предельно допустимыми концентрациями (ПДК) [22] для объектов хозяйственно-питьевого водоснабжения и мест культурно-бытового водопользования выявило критические превышения экологических нормативов для некоторых химических элементов и соединений. Результаты химического анализа показали, что почти для всех проб наблюдается превышение норм ПДК сульфатов в 2–2,6 раз, хлоридов – в 2,5–3,9 раз, боратов – в 1,3–3,2 раза, сухого остатка – в 2,0–3,2 раза. Данное загрязнение подземных вод наиболее вероятно связано с высокой минерализацией сбрасываемых в карьер с дренажом грунтовых вод.

Для нитратов превышение ПДК в подземных водах колеблется в пределах от 2,0 до 11,6 раз, в пробе № 104 нитриты превышают норматив в 3,5 раза, азот аммонийный – в 26,1 раза. Превышение содержания этих ионов в исследуемых образцах предположительно связано с взрывными работами с применением промышленных взрывчатых веществ (порэммит, гранэммит, игданит и др.) на основе

аммиачной селитры, что приводит к попаданию в грунтовые воды соединений азота, приводя к их загрязнению [23].

Исключение составляет проба подземных вод за пределами СЗЗ предприятия, что указывает на отсутствие миграции загрязнителей с подземными водами и на буферную роль СЗЗ, предотвращающей негативное воздействие избыточных концентраций поллютантов в районе действия предприятия.

Для содержания алюминия дисперсионный анализ показал статистически значимое различие показателей по годам. Нами рассмотрена динамика этого показателя за 2012–2016 гг. (рис. 2). Наблюдается плавный рост концентрации алюминия в подземных водах с 2012 по 2014 гг., резкое повышение в 2015 г. и незначительное снижение в 2016 г. Такая динамика содержания алюминия требует

дополнительного изучения. При сохранении динамики в грунтовых водах в перспективе превышение экологических нормативов не произойдёт, т. к. концентрация алюминия ниже ПДК.

Дисперсионный анализ показателей по содержанию марганца, железа, свинца, цинка, никеля, кобальта, взвешенных веществ, фосфатов, нефтепродуктов и pH указывает на отсутствие статистически значимых различий между точками отбора проб и годовыми величинами, а средняя концентрация загрязняющих веществ находится ниже установленных ПДК, кроме марганца (табл. 2). Средняя концентрация марганца превышает ПДК в 5,5 раза. Высокая концентрация марганца, вероятно всего, связана с сульфидной минерализацией и магнетитовыми рудами, которые в процессе окисления образуют водораство-

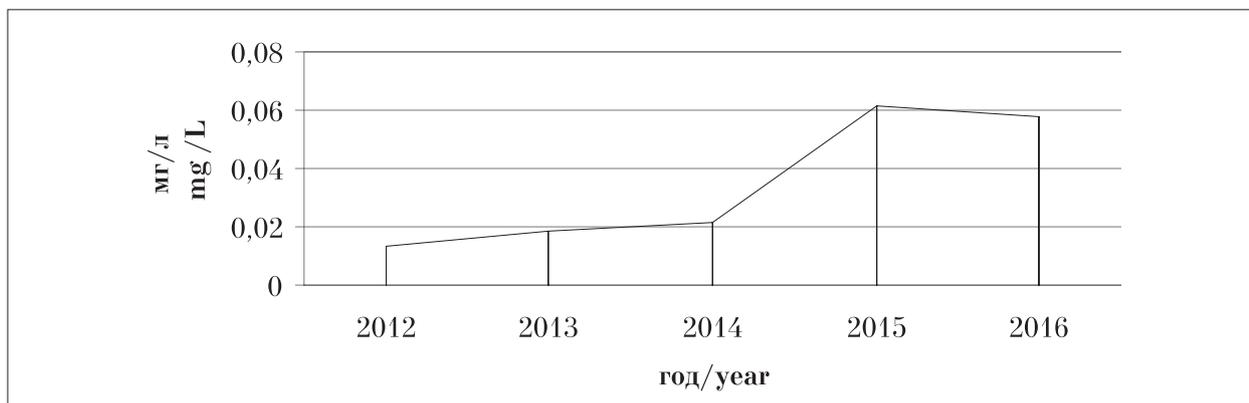


Рис. 2. Динамика содержания алюминия в подземных водах
Fig. 2. Dynamics of aluminum content in groundwater

Таблица 2 / Table 2

Усреднённые показатели загрязнителей в подземных водах района Куржункульского карьера АО «ССГПО» / Average values of pollutants in groundwater in the Kurzunkulsky quarry of JSC «SSGPO»

Название веществ и ионов Name of substances and ions	Средняя концентрация Average concentration	ПДК, мг/л MPC, mg/L
Mn ²⁺	0,55±0,16	0,1
Fe ²⁺	0,26±0,07	0,3
Pb ²⁺	0,0020±0,0005	0,03
Zn ²⁺	0,0055±0,0020	1
Ni ²⁺	0,074±0,020	0,1
Co ²⁺	0,009±0,002	0,1
Взвешенные вещества / Suspended substances	66,3±19,4	–
PO ₄ ³⁻	0,030±0,020	3,5
pH	6,8±0,1	–

Примечание: * – жирным выделены показатели, превышающие ПДК; – прочерк (–) означает отсутствие установленных ПДК.

Note: indicators that exceed the MPC are bolded; – a dash (–) indicates the absence of the established MPC.

римые (подвижные) формы. Усреднённое значение рН = 6,8 единиц свидетельствует о том, что вода является нейтральной.

Заключение

Для подземных вод в районе Куржункульского карьера АО «ССГПО» наблюдается загрязнение (с превышением ПДК) по содержанию сульфатов, хлоридов, сухого остатка, нитратов, нитритов, азота аммонийного, соединений марганца и бора.

Для Куржункульского карьера АО «ССГПО» выявлены точки критического загрязнения, такие как нижний и верхний зумпф карьера и водоотводная канава с наиболее высокими значениями по содержанию сульфатов, хлоридов, нитратов, сухого остатка, нитритов, азота аммонийного, соединения бора, кальция, магния и гидрокарбонатов. Здесь необходимо проводить мероприятия по снижению загрязнения в первую очередь.

Выявлены основные тенденции загрязнения подземных вод в районе расположения предприятия по добыче железных руд. Для подавляющего большинства загрязнителей резких годовых колебаний показателей не отмечается, уровень загрязнения стабильный, тенденции к уменьшению уровня загрязнения подземных вод не наблюдается.

Проведённые исследования показывают, что на горнодобывающем предприятии формируется зона техногенного загрязнения. Однако в пробе, которая отбиралась за пределами санитарно-защитной зоны предприятия, превышения загрязняющих веществ не обнаружено. Это свидетельствует о том, что миграции химических поллютантов за пределы санитарно-защитной зоны предприятия не происходит, и санитарно-защитная зона выполняет свои буферные функции для подземных вод.

Литература

1. Younger P.L. The longevity of mine water pollution: a basis for decision-making // *Sci. Total Environ.* 1997. No. 194. P. 457–466.
2. Boni M., Costabile S., De Vivo B., Gasparrini M. Potential environmental hazard in the mining district of southern Ilesiente (SW Sardinia, Italy) // *J. Geochem. Explor.* 1999. No. 67. P. 417–430.
3. Balistrieri L.S., Box S.E., Bookstrom A.A., Ikramuddin M. Assessing the influence of reacting pyrite and carbonate minerals on the geochemistry of drainage in the Coeur d'Alene mining district // *Environ. Sci. Technol.* 1999. No. 33. P. 3347–3353.

4. Hudson-Edwards K.A., Macklin M.G., Taylor M.P. 2000 years of sediment-borne heavy metal storage in the Yorkshire Ouse basin, NE England, UK // *Hydrol Proc.* 1999. No. 13. P. 1087–1102.
5. Dold B., Fontbote L. A mineralogical and geochemical study of element mobility in sulfide mine tailings of Fe oxide Cu–Au deposits from Punta del Cobre belt, northern Chile // *Chem Geol.* 2002. No. 189. P. 135–163.
6. Espana J.S., Pamo E.L., Santofimia E., Aduvire O., Reyes J., Baretino D. Acid mine drainage in the Iberian Pyrite Belt (Odiel river watershed, Huelva SW Spain): geochemistry, mineralogy and environmental implications // *Appl Geochem.* 2015. No. 20. P. 1420–1356.
7. Ribeiro L., Kretschmer N., Nascimento J., Buxo A., Rotting T.S., Soto G., Soto M., Oyarzun J., Maturana H., Oyarzun R. Water quality assessment of the mining-impacted Elqui River Basin, Chile // *Mine Water Environ.* 2014. No. 33. P. 165–176.
8. Mendie U. The theory, and practice of clean water production for domestic and industrial use // *The nature of water.* Lagos: Lacto-Medals Publishers, 2005. P. 1–21.
9. Boateng T.K., Opoku F., Acquah S.O., Akoto O. Groundwater quality assessment using statistical approach and Water Quality Index in Ejisu-Juaben Municipality, Ghana // *Environ Earth Sci.* 2016. V. 75. 489 p.
10. Howladar M.F., Hasan M.M., Islam S., Shine F.M.M., Quamruzzaman C. Gas blowout impacts on ground water environs around the Tengratila gas field, Chattak, Bangladesh // *J. Water Resour Prot.* 2013. No. 5. P. 164–170.
11. Howladar M.F., Deb P.K., Muzemder A.T.M.S.H., Ahmed M. Evaluation of water resources around Barapukuria Coal Mine Industrial Area, Dinajpur, Bangladesh // *Appl Water Sci.* 2014. No. 4. P. 203–222.
12. Howladar M.F., Deb P.K., Muzemder A.T.M.S.H. Monitoring the underground roadway water quantity and quality for irrigation use around the Barapukuria Coal Mining Industry, Dinajpur, Bangladesh // *Groundw Sustain Dev.* 2017. No. 4. P. 23–34.
13. Simeonov V., Stratis J.A., Samara C., Zachariadis G., Voutsas D., Anthemidis A., Sofoniou M., Kouimtzis T. Assessment of the surface water quality in Northern Greece // *Water Res.* 2003. No. 37. P. 4119–4124.
14. Amadi A.N., Nwankwoala H.O., Olasehinde P.I., Okoye N.O., Okunlola I.A., Alkali Y.B. Investigation of aquifer quality in Bonny Island, Eastern Niger Delta, Nigeria using geophysical and geochemical techniques // *J. Emerg Trends Eng Appl Sci.* 2012. No. 3 (1). P. 180–184.
15. Amadi A.N., Yisa J., Okoye N.O., Okunlola I.A. Multivariate statistical evaluation of the hydrochemical facies in Aba, Southeastern Nigeria // *Int. J. Biol Phys Sci.* 2010. No. 15 (3). P. 326–337.
16. Offodile M.E. The occurrence and exploitation of groundwater in Nigeria basement rocks // *J. Min Geol.* 1983. No. 2. P. 131–146.
17. Попов В.А., Епанчинцев С.Г. Двойники прорастания магнетита в рудах Куржункульского месторождения (Казахстан) // *Новые данные о минералах.* 2010. Вып. 45. 149 с.
18. Экологический атлас Костанайской области. Костанай: ОАО «Комплексная геолого-экологическая экспедиция», 2004. 50 с.

19. Иванов С.Л., Убисова К.М., Ахтямова Д.В. Проект предельно-допустимых выбросов (ПДВ) загрязняющих веществ в атмосферу для Куржункульской промышленной площадки. Костанай: ТОО «НПК ЭкоУмит», 2013. 242 с.

20. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2013. 35 с.

21. Пузаченко Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях. М.: Академия, 2004. 416 с.

22. Приказ Министра национальной экономики Республики Казахстан от 16 марта 2015 года № 209. Об утверждении Санитарных правил «Санитарно-эпидемиологические требования к водоемным объектам, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов». Астана: РГП на ПХВ Республиканский центр правовой информации Министерства юстиции Республики Казахстан, 2015. 139 с.

23. Хохряков А.В., Студенок А.Г., Студенок Г.А. Исследование процессов формирования химического загрязнения дренажных вод соединениями азота на примере карьера крупного горного предприятия // Известия Уральского государственного горного университета. 2016. № 4 (44). С. 35–37.

References

1. Younger P.L. The longevity of mine water pollution: a basis for decision-making // *Sci. Total Environ.* 1997. No. 194. P. 457–466.

2. Boni M., Costabile S., De Vivo B., Gasparrini M., Potential environmental hazard in the mining district of southern Iglesias (SW Sardinia, Italy) // *J. Geochem. Explor.* 1999. No. 67 P. 417–430.

3. Balistrieri L.S., Box S.E., Bookstrom A.A., Ikramuddin M. Assessing the influence of reacting pyrite and carbonate minerals on the geochemistry of drainage in the Coeur d'Alene mining district // *Environ. Sci. Technol.* 1999. No. 33. P. 3347–3353.

4. Hudson-Edwards K.A., Macklin M.G., Taylor M.P., 2000 years of sediment-borne heavy metal storage in the Yorkshire Ouse basin, NE England, UK // *Hydrol Proc.* 1999. No. 13. P. 1087–1102.

5. Dold B., Fontbote L., A mineralogical and geochemical study of element mobility in sulfide mine tailings of Fe oxide Cu–Au deposits from Punta del Cobre belt, northern Chile // *Chem Geol.* 2002. No. 189. P. 135–163.

6. Espana J.S., Pamo E.L., Santofimia E., Aduvire O., Reyes J., Baretino D., Acid mine drainage in the Iberian Pyrite Belt (Odiel river watershed, Huelva SW Spain): geochemistry, mineralogy and environmental implications // *Appl Geochem.* 2015. No. 20. P. 1420–1356.

7. Ribeiro L., Kretschmer N., Nascimento J., Buxo A., Rotting T.S., Soto G., Soto M., Oyarzun J., Maturana H., Oyarzun R. Water quality assessment of the mining-impacted Elqui River Basin, Chile // *Mine Water Environ.* 2014. No. 33. P. 165–176.

8. Mendie U. The theory and practice of clean water production for domestic and industrial use // *The nature of water.* Lagos: Lacto-Medals Publishers, 2005. P. 1–21.

9. Boateng T.K., Opoku F., Acquah S.O., Akoto O. Groundwater quality assessment using statistical approach and Water Quality Index in Ejisu-Juaben Municipality, Ghana // *Environ Earth Sci.* 2016. V. 75. 489 p.

10. Howladar M.F., Hasan M.M., Islam S., Shine F.M.M., Quamruzzaman C. Gas blowout impacts on ground water environs around the Tengratila gas field, Chattak, Bangla-desh // *J. Water Resour Prot.* 2013. No. 5. P. 164–170.

11. Howladar M.F., Deb P.K., Muzemder A.T.M.S.H., Ahmed M. Evaluation of water resources around Barapukuria Coal Mine Industrial Area, Dinajpur, Bangladesh // *Appl Water Sci.* 2014. No. 4. P. 203–222.

12. Howladar M.F., Deb P.K., Muzemder A.T.M.S.H. Monitoring the underground roadway water quantity and quality for irrigation use around the Barapukuria Coal Mining Industry, Dinajpur, Bangladesh // *Groundw Sustain Dev.* 2017. No. 4. P. 23–34.

13. Simeonov V., Stratis J.A., Samara C., Zachariadis G., Voutsas D., Anthemidis A., Sofoniou M., Kouimtzis T. Assessment of the surface water quality in Northern Greece // *Water Res.* 2003. No. 37. P. 4119–4124.

14. Amadi A.N., Nwankwoala H.O., Olasehinde P.I., Okoye N.O., Okunlola I.A., Alkali Y.B. Investigation of aquifer quality in Bonny Island, Eastern Niger Delta, Nigeria using geophysical and geochemical techniques // *J. Emerg Trends Eng Appl Sci.* 2012. No. 3 (1). P. 180–184.

15. Amadi A.N., Yisa J., Okoye N.O., Okunlola I.A. Multivariate statistical evaluation of the hydrochemical facies in Aba, Southeastern Nigeria // *Int. J. Biol Phys Sci.* 2010. No. 15 (3). P. 326–337.

16. Offodile M.E. The occurrence and exploitation of groundwater in Nigeria basement rocks // *J. Min. Geol.* 1983. No. 2. P. 131–146.

17. Popov V.A., Epanchintsev S.G. Twins of Magnetite Sprouting in the Ores of the Kurzunkul Deposit (Kazakhstan) // *Novyye dannyye o mineralakh.* 2010. V. 45. 149 p. (in Russian).

18. Ecological atlas of the Kostanay region. Kostanay: Kompleksnaya geologo-ekologicheskaya ekspeditsiya, 2004. 50 p. (in Russian).

19. Ivanov S.L., Ubisova K.M., Akhtyamova D.V. The project of maximum permissible emissions (MPE) of pollutants into the atmosphere for the Kurzunkul industrial site. Kostanay: LLP “NPK EkoUmit”, 2013. 242 p. (in Russian).

20. GOST 31861-2012. Water. General requirements for sampling. Moskva: Standartinform, 2013. 35 p. (in Russian).

21. Puzachenko Yu.G. Mathematical methods in ecological and geographical studies. Moskva: Akademiya, 2004. 416 p. (in Russian).

22. Order of the Minister of National Economy of the Republic of Kazakhstan of March 16, 2015, No. 209. On Approval of the Sanitary Regulations “Sanitary and epidemiological requirements for water sources, water intake points for household and drinking purposes, domestic and drinking water supply and places of cultural and household water use and safety of water objects”. Astana: RGP na PKhV Respublikanskiy tsentr pravovoy informatsii Ministerstva yustitsii Respubliki Kazakhstan, 2015. 139 p. (in Russian).

23. Khokhryakov A.V., Studenok A.G., Studenok G.A. Study of the processes of formation of chemical contamination of drainage waters by nitrogen compounds on the example of a quarry of a large mining enterprise // *Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta.* 2016. No. 4 (44). P. 35–37 (in Russian).