

УДК 556.551:[556.3+556.5]:622(470+56)

Условия формирования гидрохимических показателей подземных и поверхностных вод при добыче колчеданных руд открытым способом

Гамм Т. А., Гривко Е. В.

*Оренбургский государственный университет
Оренбург, Россия
grivko-ev@mail.ru, hammtam@mail.ru*

Карьер Блявинского месторождения обрабатывался с тридцатых годов двадцатого века и в настоящее время закрыт. В течение этого периода времени изучались вопросы воздействия на минералы процессов окисления при открытой добыче колчеданных руд, рассматривались пути миграции элементов в зоне окисления. Многочисленные экологические проблемы, возникшие при эксплуатации карьера, а затем и после его закрытия, а не решены до настоящего времени. Поэтому проводятся эколого-геохимические исследования ландшафтов Южного Урала в районе г. Медногорска, где наблюдается загрязнение почв выбросами предприятий цветной металлургии при переработке колчеданных руд, для решения экологических проблем. Исследуются экологические проблемы при процессах формирования состава воды в карьерных озерах Южного Урала. В статье рассмотрены вопросы формирования гидрохимических показателей карьерных вод Блявинского карьера. Показана взаимосвязь поверхностных и подземных вод, влияния карьерных вод на гидрохимические показатели рек на месторождении колчеданных руд в Оренбургской области. Проанализирована динамика уровня подземных вод в многолетнем разрезе, химический состав вод рек и карьерных вод. Рассмотрена роль отвалов рыхлых и скальных пород на формирование химического состава вод карьерных озер и вод в ложбинах стока. Теоретически обосновано образование высоких концентраций сульфатов и тяжелых металлов в водах. Установлено, что карьерные воды отработанного Блявинского карьера загрязнены тяжелыми металлами, сульфатами и другими загрязняющими веществами, имеют кислую реакцию среды, и не могут быть использованы для хозяйственных целей. В настоящее время они не представляют опасности для окружающей среды, в частности для подземных водоносных горизонтов и рек на территории месторождения, так как водоприитоки в карьер прекращены, а карьерные воды локализованы в скальных породах. В связи с изученными процессами в окружающей среде требуется рассмотреть вопросы рекультивации отработанного Блявинского карьера.

Ключевые слова. Гидрохимические показатели, подземные и поверхностные воды, добыча колчеданных руд, открытый способ добычи, отвалы.

ВВЕДЕНИЕ

С самого начала разработки Блявинского месторождения изучались вопросы воздействия на минералы процессов окисления при открытой добыче, рассматривались пути миграции элементов в зоне окисления (Герман, Русакова 1962а, 1962б). Исследования продолжаются и в настоящее время. При этом для получения достоверных данных и расширения спектра исследований тяжелых металлов в почвах применяют рентгеноспектральный анализ без разрушения почвы в течение короткого времени и метод экстракционного фракционирования по российским методикам (Минкина, 2016).

Открытая добыча колчеданных руд связана с воздействием на окружающую среду, ее изменением в результате возникновения техногенных элементов рельефа и формировании отличного от природного химического состава вод. В комплексе с добычей находится переработка руд. При добыче и переработке медноколчеданных руд возникают многочисленные экологические проблемы.

Поэтому для изучения экологических проблем и разработки необходимых мероприятий проводятся экологические и геохимические исследования почв вблизи Медногорска, где отмечают высокие концентрации тяжелых металлов в почвах, связанные с поступлением их от медно-серного комбината (Бодров, 1997; Водяницкий, 2011).

Исследуются экологические проблемы и условия формирования гидрохимического режима вод в карьерах при их затоплении (Удачин, 2001, 2003).

По результатам исследований предлагаются технологические решения экологических проблем при разработке карьерами месторождений медно-цинковых руд на Южном Урале (Паршина, 2003; Зеньков, Логинова и др., 2021).

Исследования зарубежных авторов предусматривают изучение характеристик водных объектов, их окислительно-восстановительные и рН условия, потенциал их восстановления (Castro, 2000; Bachmann, 2001). При изучении рассматривается вопрос чувствительности анализа входной плотности воды в прогнозе рудничных вод, их обороте, изучаются химические реакции скальных пород и процессы адсорбции поверхностью руд (Castendyk, 2007a, 2007b). Также изучается эволюция водной геохимии шахты, происхождение сульфата и эффекты стратификации, влияющие на качество воды (Ramstedt, 2003; Denimal, 2005; Kohfahl, 2007). Научные исследования российских и зарубежных авторов направлены на изучение и решение экологических проблем.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Авторы использовали общепринятые методы и методики отбора проб вод. Отбор, консервация и транспортировка проб воды – в соответствии с ГОСТ Р 51593-2000 и методическим письмом ВСЕГИНГЕО «По отбору, консервации и хранению гидрохимических проб» (1983). Анализы вод выполнены в аккредитованных лабораториях. В почвах определялись подвижные формы металлов, извлекаемые ацетатно-аммонийным буфером (рН=4,8). Лабораторные анализы содержания металлов в воде проводились методами вольтамперометрии и атомной абсорбции. Исследования осуществлялись в интервале с 2016 по 2020 годы. В реках было отобрано пятнадцать проб, а в карьере – в трех точках у кромки и на расстоянии 30 метров от края по три параллели.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разработка Блявинского месторождения колчеданных руд началась в 1934 году и продолжалась подземным способом до 1951 года.

В 1951 году принято решение об открытом способе добычи руд в северной части месторождения, а в 1954 году работы там были прекращены. В южной части месторождения руду добывали подземным способом. В 1953 году началась эксплуатация Блявинского карьера на горизонте 430 м. Разработка карьера велась в длину на 0,8 км, в ширину на 0,4 км, при максимальной глубине до 100 м.

В это время приток вод в карьер направлялся в подземный выработанный участок, затем из него поступал на очистные сооружения, а затем очищенные сточные воды поступали в реку Джереклю. По мере эксплуатации карьера система отвода карьерных вод была уничтожена при углублении вниз.

При разработке проводился производственный мониторинг уровня воды в карьерном водоеме рудника в период с 1971 по 2018 год. Мы посчитали интенсивность динамики годовую и интенсивность динамики среднегодовую. В период с 1971 по 2002 год подъем уровня воды в карьерном водоеме произошел от 0 до 28 м, интенсивность динамики среднегодовая за этот период (30 лет) была 0,9 м/год. В 2002 году интенсивность динамики среднегодовая составляла 11,50, а к 2007 году уменьшилась до 4,0 м/год (табл. 1). С 2014 по 2015 год она составляла менее одного метра в год, а с 2016 по 2017 год увеличилась и составляла более одного метра в год.

В период наиболее высоких водоприток в карьер дебит их был в среднем 30,5 м³/ч. Вероятно в эти годы происходила разгрузка статических запасов воды, а затем наблюдались динамические водопитоки в карьер. В начале отработки карьера данные мониторинга показывали, что грунтовые воды были слабо минерализованными с сухим остатком всего 200 мг/л, сульфатно-гидрокарбонатные магниевые-кальциевые-натриевые.

Таблица 1

Динамика глубины карьерного водоема Блявинского рудника

Период времени мониторинга	Уровень вод, м	Глубина вод, м	Годовая интенсивность динамики, м/год	Среднегодовая интенсивность динамики, м/год
1971 год, июнь	253	0	0	0
2002 год, февраль	281	28	28	11,50
2002 год, май	288	35	7	
2002 год, ноябрь	283	30	5	
2003 год, май	298	45	15	-
2006 год, апрель	313	60	15	8,50
2006 год, сентябрь	315	62	2	
2007 год, май	320	67	5	4,00
2007 год, сентябрь	323	70	3	
2009 год, март	328	75	3	-
2010 год, май	330	77	2	-
2011 год, май	330	77	0	-
25.04.12	333	80	3	-
2013 год, апрель	335	82	2	4,59
2013 год, октябрь	342,1	89,0	7,17	
2014 год, май	342,7	89,6	0,59	0,24
2014 год, сентябрь	342,6	89,5	0,10	
2015 год, май	343,9	90,8	1,30	0,74
2015 год, октябрь	344,1	91,0	0,18	
2016 год, июнь	346,7	93,6	2,63	1,68
2016 год, сентябрь	347,4	94,3	0,72	
2017 год, май	350,3	97,2	2,82	1,46
2017 год, июль	350,4	97,3	0,10	
2018 год, май	351,6	98,5	1,22	-
2019 год, май	352,3	99,24	0,72	-

Основным источником питания карьерных вод являются дождевые и талые воды. На территории Восточного Оренбуржья наблюдается дефицит атмосферных осадков, поэтому питание грунтовых вод невысокое в результате инфильтрации атмосферных осадков в грунтовые воды.

Почвы территории месторождения имеют тяжелый гранулометрический состав и низкую водопроницаемость, поэтому при значительных крутых элементах рельефа наблюдается

сброс атмосферных осадков по рельефу в ложбины стока. Кроме того, карьер имеет довольно большую площадь, поэтому карьерные воды пополняются при выпадении атмосферных осадков на поверхность карьера. Водоприитоки зависят от атмосферных осадков, выпадающих непосредственно на поле карьера.

На территории месторождения глубина залегания подземных вод варьировала от 5 м на водоразделах до 35 м на клонах.

Питание подземных вод всего месторождения происходит за счет притока со стороны рек Урал и Блява и аккумуляции атмосферных вод в ложбинах стока.

В карьер разгружаются подземные воды, залегающие в трещиноватых эффузивных породах (туфы, спилиты, обеленные иярозитизированные кератофиры) в результате геологического взаимодействия рудного тела с вмещающими породами.

На фоновых участках удельные дебиты подземных вод низкие, за исключением зон трещиноватых пород до глубины 60 м на эрозионных элементах рельефа. Зонами разгрузки подземных вод являются природные водные объекты и техногенные образования. В естественных условиях расход подземных вод неравномерен по территории месторождения и увеличивается по мере приближения к реке Блява. Кроме того, подземный сток направлен в сторону рек Блява, Херсонка и Джеракля. В условиях техногенеза на месторождении карьеры выступают в качестве искусственных локальных дрен.

В результате водопритока происходит постепенное заполнение карьера подземными водами. Рельеф дна отработанного карьера и неполное его заполнение в настоящее время позволяют сформировать на поле карьера искусственные техногенные водоемы и уменьшить высоту депрессионной воронки.

Уровень воды в выработанном пространстве карьера Блявинский с 1971 года по настоящее время изменился с 253 м до 352,3 м, а глубина – с 28 м до 99,24 м.

Вскрышные породы формируют края карьера в верхней его части. Породы рыхлые в верхней части карьера переходят в скальные породы ниже по карьеру. В нижней части карьера скальные породы имеют низкий коэффициент фильтрации, что препятствует распространению карьерных вод в породы и формированию потока подземных техногенных вод. Поэтому при затоплении карьера необходимо соблюдать расчетный уровень карьерных вод, иначе техногенные воды карьера будут просачиваться через верхнюю часть трещиноватых пород бортов карьера и продвигаться вместе с потоком подземных вод в реку Блява. В настоящее время на образующихся внутрикарьерных техногенных водоемах прослеживается тенденция к установлению динамического равновесия между объемами поступления вод и объемами испарения вод с площади зеркала воды.

Обводнение карьеров происходило за счет выпадаемых непосредственно на полях карьеров атмосферных осадков и за счет трещинно-водоносного горизонта, также питающегося за счет атмосферных осадков, выпадающих в границах депрессионных воронок карьеров, на прилегающих к карьерам землях. Общий приток вод в карьеры колеблется в пределах от 6 л/сек до 15 л/сек. В Блявинском карьере накоплено 3230 тыс. м³ карьерных вод, карьер еще окончательно не затоплен.

Карьерные воды отработанного Блявинского карьера имеют гидрокарбонатно-хлоридный и сульфатный тип засоления, что связано с условиями их формирования в карбонатных и засоленных породах, а затем выщелачивания элементов из руд. В результате природных и техногенных процессов формируются кислые карьерные воды, высокоминерализованные с суммой солей от 4,0 до 5,0 г/дм³.

Установлено, что медные сульфидные руды формируют химический состав природных подземных вод на фоновом участке с содержания меди от ЗПДК до 7ПДК для водоемов рыбохозяйственного водопользования, что не позволяет в любом случае их сброс без очистки в поверхностные водные объекты. Однако содержание меди не превышает ПДК для водоемов хозяйственно питьевого водопользования. Очищенные методом флокуляции карьерные воды на очистных сооружениях карьера по содержанию меди не превышают ПДК для водоемов хозяйственно питьевого водопользования.

Химический состав карьерных вод формировался в результате выщелачивания загрязняющих веществ из пород карьера и водоотведения подотвальных вод в карьер. Химический состав карьерных вод формируется при выщелачивании ими элементов из пород: меди, цинка, марганца, железа из сульфидных руд. При окислении сульфидов руд образуются кислые воды с рН от 3 до 4.

По проектным данным при добыче руд карьерным способом в зависимости от химического состава карьерных вод проектируется их водоотведение на очистные сооружения. Химический состав карьерных вод Блявинского рудника не позволяет сбрасывать их из карьера без очистки. Способ очистки выбирается в зависимости от объемов, химического состава и требований к качеству очищенных сточных вод. На Блявинском руднике предусмотрена станция очистки методом флокуляции.

В таблице 2 представлены показатели качества карьерных вод в озере Блявинского карьера у кромки карьера и на расстоянии 30 м от кромки за 2019 год.

Таблица 2

Показатели качества карьерных вод в озере Блявинского карьера у кромки карьера и на расстоянии 30м от кромки карьера

Показатель	У кромки карьера, мг/дм ³	30 метров от кромки карьера, мг/дм ³	ПДК р.х., мг/дм ³	ПДК х.п., мг/дм ³	Класс опасности
Cu ²⁺	18,3±2,7	6,6±1,0	0,001	1,0	3
Zn ²⁺	40,9±5,7	22,4±3,1	0,01	1,0	3
Cr ⁶⁺	0,031±0,009	0,042±0,012	0,02	0,05	3
SO ₄ ²⁻	3801,1	3742,9	100	500	-

На расстоянии 30 м от кромки карьера наблюдается более низкая концентрация сульфатов, меди и цинка в результате разбавления в большем объеме вод, но концентрация хрома выше. У кромки карьера наблюдается превышение ПДК р.х. по меди в 18300 раз, по цинку – в 4090 раз, по хрому шестивалентному – в полтора раза, ПДК х.п.в по меди – в 18 раз, цинку – в 41 раз, хром шестивалентный не превышает ПДК х.п.в.

На расстоянии 30 м от кромки карьера наблюдается превышение ПДК р.х. по меди в 16500 раз, по цинку – в 2240 раз, по хрому шестивалентному – в два раза, ПДК х.п.в по меди – в 7 раз, цинку – в 22 раза, хром шестивалентный не превышает ПДК х.п.в.

Поверхностные водные объекты территории находятся под влиянием загрязненных высокоминерализованных карьерных вод

Результаты проведенных исследований поверхностных вод на участке изысканий представлены в таблице 3.

В реках территории месторождения наблюдается значительное превышение ПДК р.х. по тяжелым металлам. В настоящее время с учетом многолетнего воздействия карьера в реке Херсонка наблюдается превышение ПДК р.х. по следующим веществам: марганец (42 ПДК), железо (19 ПДК), медь (37 ПДК), цинк (101 ПДК), не наблюдается превышение ПДК р.х. по мышьяку. На величину рН высокие концентрации тяжелых металлов в водах реки не влияют, она находится в нормативных пределах и составляет около 7, кроме реки Джеракля до слияния с рекой Блява.

В подотвальных водах, которые выщелачивают загрязняющие вещества из отвалов вскрышных пород колчеданных руд, наблюдаются высокие концентрации магния, алюминия, марганца, железа, кобальта, меди, цинка. В основном на месторождении подотвальные воды собираются и отводятся в карьер, однако наблюдается, что они свободно растекаются по поверхности, стекают по элементам рельефа.

Таблица 3

Химический состав вод речной сети в районе влияния Блявинского рудника

Показатели	ПДК р.х.	Концентрации загрязняющих веществ, мг/дм ³				
		река Блява после впадения реку Джеракля	река Блява после впадения реки Херсонка	река Херсонка при впадении в реку Блява	река Джеракля ниже слияния с рекой Блява	река Джеракля до слияния с рекой Блява
2016 г.						
pH		7,2	7,7	7,5	7,0	4,5
Cu	0,001	1,974	0,103	0,258	4,356	17,078
Fe	0,1	6,84	0,33	0,30	10,04	10,13
Zn	0,01	2,363	0,286	0,261	4,561	8,52
As	0,05	0,095	0,007	0,006	0,034	0,164
Mn	0,01	2,68	0,22	0,48	3,05	5,17
2018 г.						
pH		7,2	7,7	7,4	7,1	4,5
Cu	0,001	0,109	0,035	0,05	0,663	9,233
Fe	0,1	0,49	0,23	0,18	1,4	1,08
Zn	0,01	1,187	0,095	0,129	1,821	5,0
As	0,05	0,137	0,018	0,02	0,043	0,237
Mn	0,01	2,32	0,12	0,31	2,84	4,80
2020 г.						
pH		7,3	7,8	7,4	7,3	4,6
Cu	0,001	0,128	0,037	0,015	0,763	9,687
Fe	0,1	0,51	0,19	0,318	1,89	1,98
Zn	0,01	1,197	1,005	0,279	1,721	5,675
As	0,05	0,127	0,028	0,032	0,053	0,136
Mn	0,01	2,85	0,42	0,41	2,76	4,91

В водах, сосредоточенных в пониженных элементах рельефа, в ложбинах стока по всем рассматриваемым веществам наблюдается превышение ПДК р.х. Наибольшие концентрации загрязняющих веществ характерны для логов и лощин, где собираются подотвальные воды. В водах отмечены высокие концентрации по следующим веществам: магний, алюминий, марганец, железо, кобальт, медь, цинк. В водах повышена минерализация, сухой остаток, в составе ионов доминируют сульфаты, также повышена жесткость вод. В этих же водах наименьшие показатели pH то 4,5 до 4,8, воды кислые.

Образование легкорастворимых сульфатов при окислении находящихся в отвалах остатков забалансовых сульфидных руд предопределяет решающее значение гидрогеохимической миграции в рассеянии и концентрации тяжелых металлов. Состав вод определяется скоростью окисления сульфидов, растворимостью и устойчивостью сульфатов в водных растворах, количеством и составом накопленных на испарительных барьерах водорастворимых солей, а также эффективностью геохимических барьеров, действующих в отвалах. Основным агентом, обеспечивающим окисление сульфидов в отвале, является вода: она доставляет окислители и удаляет продукты окисления – сульфаты. Инфильтрационные потоки внутренних зон отвала растворяют сульфаты и транспортируют металлы в ионной форме в основание отвала.

Отвалы вскрышных пород отличаются от естественной геологической среды тем, что находятся в зоне аэрации выше уровня подземных вод, отличаются высокой диспергированностью слагающего их материала и подвергаются активному воздействию агентов внешней среды: физическому и химическому выветриванию. В этих условиях происходит мобилизация и миграция элементов.

Одной из форм миграции токсикантов из отвалов являются гидрогенные потоки в виде жидких подотвальных вод. Гипергенные изменения рудных минералов месторождений колчеданной формации приводят к переводу труднорастворимых сульфидов (пирит, халькопирит, сфалерит и др.) в хорошо растворимые сульфаты.

Химический состав вод Блявинского озера характеризуется высокими концентрациями железа, цинка и меди, которые сформировались как в природных условиях, так и под влиянием техногенных факторов. Высокоминерализованные карьерные воды имеют в своем составе высокое содержание магния, кальция и натрия, что определяет их засоленность. Исследование перераспределения загрязняющих веществ показало, что содержание меди и цинка в водах при малых глубинах уменьшается с глубиной, возле кромки формируется зона испарения и аккумуляции породами основания озера тяжелых металлов. Хром обладает большей активностью, а его концентрация увеличивается с глубиной. В числе других элементов, концентрации которых в 100 и более раз превышают фоновые концентрации поверхностных вод, следует отметить кадмий, кобальт, свинец, никель.

Содержания сульфатов уменьшается с глубиной в результате разбавления, на кромке вод формируется зона испарения с повышенной концентрацией, а, соответственно, минерализацией вод. В карьерных водах формируется сульфатный тип засоления, доминирующим анионом является сульфат-ион. Засоление вод доходит до 6,0 г/л.

В локализованных в карьере техногенных водах в дальнейшем будут повышаться концентрации тяжелых металлов (медь, цинк, мышьяк, марганец, медь) и формирующих кислый характер и высокую минерализацию ионов (алюминий, сульфаты, магний, кальций и натрий) при выщелачивании их агрессивными карьерными водами из пород стенок карьера.

В настоящее время интенсивность динамики среднегодовая подземных вод в период 2018–2020 годы равна нулю. Водопритоки в карьер не наблюдаются.

В поверхностные водные объекты будет происходить разгрузка сформировавшихся потоков, загрязненных кислых подземных вод. В настоящее время отток подземных вод из карьера локализован. В подземных водах начинается процесс самоочищения.

ВЫВОДЫ

1. Таким образом, карьерные воды Блявинского месторождения загрязнены тяжелыми металлами, сульфатами и другими загрязняющими веществами, имеют кислую реакцию среды и не могут быть использованы для хозяйственных целей.

2. В настоящее время карьерные воды Блявинского месторождения не представляют опасности для окружающей среды, в частности для подземных водоносных горизонтов и рек на территории месторождения, так как водопритоки в карьер прекращены, а карьерные воды локализованы в скальных породах.

3. В связи с сформированными техногенными процессами в окружающей среде требуется рассмотреть вопросы рекультивации отработанного Блявинского карьера.

Список литературы

Герман А. К., Русакова Л. Д. Медноколчеданное месторождение Блява на Южном Урале. – Материалы по геологии и полезным ископаемым Южного Урала. – 1962а. – Вып. 3. – С. 180–187.

Герман А. К., Русакова Л. Д. Миграция элементов в зоне окисления Блявинского медноколчеданного месторождения на Южном Урале // Труды Института геологии и геохимии – 1962б. – Вып. 68. – 128 с.

Минкина Т. М., Солдатов А. В., Невидомская Д. Г., Мотузова Г. В., Подковырина Ю. С., Манджиева С. С. Новые подходы в изучении соединений тяжелых металлов в почвах с применением рентгеноспектрального анализа и экстракционного фракционирования // Геохимия. – 2016. – № 2. – С. 212–219. – Режим доступа: <https://doi.org/10.7868/S0016752515120067> (просмотрено 15.10.2021).

Бодров С. С. Эколого-геохимические исследования ландшафтов Южного Урала (Район г. Медногорска) / Изменение природной среды: глобальный и региональный аспекты [Под ред. А. Н. Геннадиева и Е. В. Милановой]. – М.: Изд-во Московского университета, 1997. – 200 с.

Водяницкий Ю. Н., Плеханова И. О., Прокопович Е. В., Савичев А. Т. Загрязнение почв выбросами предприятий цветной металлургии // Почвоведение. – 2011. – № 2. – С. 240–249.

- Удачин В. Н., Филиппова К. А., Дерягин В. В. Процессы формирования состава воды в карьерных озерах Южного Урала // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии. – Челябинск. – 2003. – С. 115 – 118.
- Удачин В. Н., Дерягин В. В. Процессы формирования состава воды в двух карьерных озерах Южного Урала // Школа экологической геологии и рационального недропользования. Материалы II межвузовской конференции. – СПб: СПбГУ, 2001. – С. 100–102.
- Филиппова К. А., Дерягин В. В. Гидрохимия карьерных озер Бакальской геотехнической системы (Южный Урал) // Водные ресурсы. – 2005. – № 4. – С. 470 – 476.
- Зеньков И., Логинова Е., Гильц Н., Сычева Е., Кондрашов П., Конов В., Павлова П., Брежнев Р., Скорнякова С. Технологические решения экологических проблем при разработке карьерами месторождений медно-цинковых руд на Южном Урале. Экология и промышленность России. – 2021. – 25 (1). – С. 54–59. – Режим доступа: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-1-54-59> (просмотрено 15.10.2021).
- Паршина И. Н., Стряпков А. В. Сорбция ионов металлов органическими катионитами из карьерных растворов // Вестник ОГУ – 2003. – № 5. – С.107–109.
- Bachmann T. M., Friese K., Zachmann D. W. Redox and pH conditions in the water column and in the sediments of an acidmining lake // Journal of Geochemical Research. – 2001. – V. 73. – P. 75–86.
- Castro J. M., Moore J. N. Pit lakes: their characteristics and the potential for their remediation // Environmental Geology, – 2000. – V. 39. – N 11. – P. 1254–1260.
- Castendyk D., Webster – Brown J. D. Sensitivity analyses in pit lake prediction, Martha Mine, New Zealand 1: Relationship between turnover and input water density // Chemical Geology. – 2007a. – V. 244. – P. 42–55.
- Castendyk D., Webster – Brown J. D. Sensitivity analyses in pit lake prediction, Martha mine, New Zealand 2: Geochemistry, water–rock reactions, and surface adsorption // Chemical Geology. – 2007b. – V. 244. – P. 56–73.
- Denimal S., Bertrand C., Mudry J., Paquette Y., Hochart M., Steinmann M. Evolution of the aqueous geochemistry of mine pit lakes – Blanzay–Montceau–les–Mines coal basin (Massif Central, France): origin of sulfate contents; effects of stratification on water quality // Applied Geochemistry. – 2005. – V. 20. – P. 825–839.
- Kohfahl C., Greskowiak J., Pekdeger A. Effective diffusion and microbiologic activity as constraints describing pyrite oxidation in abandoned lignite mines // Applied Geochemistry. – 2007. – V. 22. – P. 1–16.
- Ramstedt M., Carlsson E., Lovgren L. Aqueous geochemistry in the Udden pit lake, northern Sweden // Applied Geochemistry. – 2003. – V. 18. – P. 97 – 108.

Gamm T.A., Grivko E.V. Conditions for formation of hydrochemical indicators of ground and surface water in open cast pyrite ore mining // Ekosistemy. 2021. Iss. 28. P. 62–69.

The open pit of the Blyavinsky deposit has a long history of mining. It started in 1930th but it is currently closed. The problem of impact of oxidation on minerals during open cast pyrite ore mining was the subject of the research during all this period. Moreover, migration paths of elements in the oxidation zone was analyzed. Numerous environmental problems that occurred when the quarry was in operation, and were actual later after its closure, are still not resolved. Therefore, environmental and geochemical studies of the landscapes of the Southern Urals were conducted in the vicinity of Mednogorsk to solve environmental problems. Researchers registered that soil was contaminated by emissions from non-ferrous metallurgy enterprises during pyrite ore processing. The research studied environmental problems in the processes of water composition formation in quarry lakes of the Southern Urals. The article focuses on the issues of formation of hydrochemical indicators of the open pit water in the Blyavinsky quarry. The interrelation of surface and ground water, the influence of open pit water on the hydrochemical indicators of rivers in the deposits of pyrite ore in the Orenburg region is shown. The dynamics of the groundwater level in the long-term section, the chemical composition of river water and open pit water is analyzed. The role of stockpiles consisting of loose and rocky rocks for formation of chemical composition of water formation in quarry lakes and in the runoffs is considered. The formation of concentrations of sulfates and heavy metals in waters is theoretically substantiated. The obtained results indicate that the open pit water of the abandoned Blyavinsky quarry is contaminated with heavy metals, sulfates and other polluting substances, therefore, it has acidic reaction and cannot be used for economic purposes. At present, the water is of no danger for the environment, in particular for underground aquifers and rivers on the territory of the deposit. Water inflow into the quarry is blocked, and the quarry water is localized in rocks. The research highlights that it is necessary to consider the issues of recultivation of the abandoned Blyavinsky quarry.

Key words. hydrochemical indicators, ground and surface water, mining of pyrite ore, open pit mining, stockpiles.

*Поступила в редакцию 21.10.21
Принята к печати 22.11.21*