

В.Я. Захарова, Е.Н. Сквалецкий

V.Y.Zaharova, E.N.Skvaletsky

*Отдел геоэкологии Оренбургский научный центр УрО РАН
Geoecology Department Urals Branch RAS*

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ УСЛОВИЙ РАЗРАБОТКИ ЮЖНО-УРАЛЬСКИХ МЕДНОКОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ GEOENVIRONMENTAL PREDICTIONS CONDITIONS FOR THE DEVELOPMENT OF SOUTH-URAL CHALCOPYRITE DEPOSITS

Аннотация. Рассмотрены две основные схемы динамики геоэкологической обстановки при разработке медноколчеданных месторождений в зависимости от состава складированных вскрышных и пустых пород. При инфильтрации атмосферных осадков через отвалы формируются либо кислые сильно минерализованные агрессивные техногенные подотвальные воды с высоким содержанием серной кислоты (Гайский тип), либо слабо минерализованные нейтральные не агрессивные рудничные и подотвальные воды (Домбаровский тип).

Abstract. Two basic schemes of development of geoecological conditions are considered by working out copperpyzite deposits depending on structure of the dead rocks stored in sailings. The infiltration of an atmospheric precipitation through sailing are formed or sour in high mineralized aggressive technogenic under spoit waters with the high maintenance of sulfuric acid (Gaisky type), or it is weak mineralized neutral not aggressive miner and under spoil waters (Dombarovsky type)

Добыча и переработка медноколчеданных руд на Южном Урале (Гайское, Блявинское, Барсучий Лог, Летнее, Осеннее и другие месторождения) негативно влияет на природную среду, усложняя гидрогеолого-экологическую обстановку и требует затратных природоохранных мероприятий, что подтверждает опыт Гайского ГОК в оренбургской части бассейна р. Урал. Отдел геоэкологии ОНЦ УрО РАН (до 2006 г. – Оренбургский филиал Горного Института УрО РАН) после 1980 г. проводил многолетний геоэкологический мониторинг за состоянием геологической среды, включая подземные воды на Гайском и Летнем месторождениях, а авторы разработали проекты мониторинга на них, согласно которым в 2000-2010 гг. проводился геоэкологический контроль; результаты этих работ использованы в предлагаемой статье.

На Гайском месторождении в 1980 – 2000 гг. сформировался техногенный горизонт грунтовых вод [1]. Их уровень постепенно приблизился к дневной поверхности и в 2000 – 2005 гг., в основном, фиксировался на глубинах 0,5 – 3,5 м. Режим уровня – климатический, с наивысшим его положением после снеготаяния в мае и низшим с декабря по март. Колебания УГВ составляли 0,6 – 2,0, реже до 3,5 м/год. Состав грунтовых вод в 1996 – 2005 гг. был стабилен по содержанию как макрокомпонентов (сухой остаток, сульфаты, хлориды), так и загрязнителей (Cu, Fe, Zn), а его тип, структура, состав катионов и анионов не корреспондируют воде прудов обогатительной фабрики. На площади отвалов техногенный горизонт получил наиболее широкое распространение.

Наибольшую опасность представляет территория, прилегающая к отвалам карьеров №№1 и 2 (глубиной соответственно 380 и 300 м). Площадь отвалов около 5 км², высота их составляет 40 – 65 м. Из-за загрязненности кислыми подотвальными водами, после 1980 г. она находилась в неудовлетворительном геоэкологическом состоянии, а протекающие реки Колпачка и Елшанка несли загрязненные стоки; под угрозой оказался основной водоток – р. Урал [1, 2]. На медно-колчеданных месторождениях Гайского типа основным источником загрязнения являются отвалы пустых пород и некондиционных руд. При инфильтрации через них атмосферных осадков в кислородной среде сульфиды окисляются, обогащая подземные воды сульфатами, серной кислотой, железом, алюминием, медью, цинком. При окислении пирита образуется сульфат железа и свободная серная кислота, халькопирита-сульфаты

железа, меди и H_2SO_4 , сфалерита-сульфат цинка и серная кислота. Последняя растворяет и разрушает алюмосиликаты в рудосодержащих и пустых породах, насыщая подземные воды, кроме того, кальцием, магнием, тяжелыми металлами. За счет этого минерализация подотвальных вод на Гайском ГОКе выросла до 25 – 40 г/дм³, они стали сильноокислыми (рН 2,0 – 3,5), железистыми ($\text{Fe} > 500$ мг/дм³), ультрасульфатными. По химическому составу подотвальные воды относятся к сульфатно-железисто-алюминиевым, а образование серной кислоты связано с поступлением в отвалы рудного материала. На Гайском месторождении, где переход от рудных залежей к пустой породе происходит постепенно, аккумуляция сульфидов в отвалах неизбежна. Некондиционные руды с низким содержанием Cu и Zn направлялись в отдельный отвал, под которыми воды техногенного горизонта были наиболее кислыми (рН=2) и чрезвычайно агрессивными.

В результате строительства прудов-накопителей и системы перекачки из них подотвальных вод в кислый пруд, сброс их в реки был прекращен в 1997 – 2000 гг. Это положительно сказалось на качестве природных вод; в последующие 3 – 5 лет, в среднем в 1,6 – 2 раза в них снизились минерализация, содержание сульфатов, тяжелых металлов и других загрязнителей.

В зоне горного отвода и среде экологического влияния рудника Гайского ГОК и его предприятий находятся поселки Камейкино и Калиновка. На территории последнего близкое залегание уровня грунтовых вод (0,1 – 1,0 м) наблюдалось в восточной части поселка. При годовой амплитуде колебаний до 0,6 – 0,7 м, здесь отмечалась низкая минерализация воды (0,3 – 0,8 г/дм³), невысокое содержание сульфатов (1,3 – 6,9 мг-экв), а также железа, меди, цинка; основное влияние на формирование и режим близко залегающих грунтовых вод оказывают атмосферные осадки. В западной части поселка с глубоким положением уровня (7,2 – 10 м) из-за дренирующего влияния карьера, осадки не достигают грунтовых вод, которые загрязнены подотвальными стоками. Минерализация их достигает 17,6 – 21,7 г/дм³ за счет хлоридов и сульфатов; воды слабокислые с рН=6,4 – 5,0. На остальной части территории грунтовые воды в 2001 – 2005 гг. залегали на умеренных глубинах 1,8 – 6,2 м, годовая амплитуда колебаний уровня – 1,0 – 1,4 м. Здесь минерализация подземных вод пестрая, они в различной степени загрязнены сульфатами, металлами (Cu, Zn). Содержание железа повсеместно высокое (до 180 – 880 мг/дм³), водородный показатель рН=5,0 – 8,2. Значительные колебания содержания отдельных компонентов объясняются периодическим поступлением в грунтовые воды подотвальных вод. Дренирующее воздействие глубоких (300 – 380 м) карьеров на грунтовые воды распространяется до 1,0 – 1,1 км, и уже на расстоянии 1,4 – 1,5 км не сказывалось [2]. Это связано со слабой водопроницаемостью покровных суглинисто-глинистых отложений.

На территории, прилегающей к пос. Камейкино наиболее экологически опасным являлся пруд кислых вод, в котором содержание солей ранее достигало 16 – 21 г/дм³, а рН – 2,0. В результате внедрения оборотного водоснабжения, после 2005 г. обстановка стабилизировалась. Минерализация воды в пруде была умеренной (9,3 – 12,7 г/дм³), а весной снижалась до 6,2 – 6,4 г/дм³. Преобладали сульфаты 3430 – 6920 мг/дм³ (71 – 144 мг-экв), хлоридов (112 – 747 мг/дм³) было на порядок меньше (3,2 – 21,3 мг-экв), соотношение $\text{SO}_4:\text{Cl}$ (в мг-экв форме) колебалось от 7 до 21. Содержание меди и цинка в воде меняется до 8.5 раз: меди обычно содержится 160 – 230 мг/дм³, цинка – 90 – 140 мг/дм³. Количество железа в воде достигает 1060 мг/дм³. Значение рН=2,4 – 3,0, что характерно для сильно кислых вод. Влияние кислого пруда на грунтовые воды несущественно; горизонт воды в нем составлял 370 м, а уровень грунтовых вод в 120 – 150 м от пруда не превышал 358,03 – 365,0 м, что свидетельствует об отсутствии гидравлической связи между ними и фильтрационной изоляции кислого пруда. Подъем УГВ на 0,9 – 1,9 м на прилегающей к нему территории наблюдается только весной, синхронно с обильным снеготаянием.

Минерализация грунтовых вод вокруг кислого пруда стабильна, они относятся к нейтральным (рН=6,1 – 8,2), содержание сухого остатка в 1997 – 2001 гг. составляло 2,8 – 4,3 г/дм³, сульфатов 1004 – 1692 мг/дм³ (21 – 35 мг-экв), хлоридов 433 – 751 мг/дм³ (12 – 21 мг-

экв). Соотношение $SO_4:Cl$ устойчиво и равно 1,66 – 1,75. Максимальное содержание меди, как и цинка в грунтовой воде – 0,14 – 0,15 мг/л, минимальное 0 – 0,003 мг/дм³. Количество железа более изменчиво от 6,0 до 285 мг/дм³ и не связано с колебаниями в пруде. Слабое влияние пруда кислых вод на нижележащие земли объясняется глинистым составом и низкой водопроницаемостью грунтов в основании, а также противифльтрационным экраном в ложе пруда.

Прекращение карьерной разработки Гайского месторождения и переход на подземный способ упростили методику утилизации пустых пород, которые используются для заделки пройденных подземных выработок. Помимо экологического эффекта это предотвращает от провалов и оседания земной поверхности, хотя проблемы с ранее созданными отвалами и борьба с подотвальными водами остались актуальными на обозримую перспективу. Аналогичные экологические последствия разработки медноколчеданных руд наблюдались на Сибайском, Блявинском и других месторождениях Гайского типа, связанных с образованием экологически опасных отвалов.

Иными горногеоэкологическими условиями характеризуются Барсучий Лог, Летнее, Весеннее, Аларчинское и другие месторождения Домбаровского рудного района. Наиболее крупным среди них являлось Летнее, которое разрабатывалось в 2000 – 2008 гг. и принадлежало к колчеданным месторождениям Уральского (Домбаровского) типа. Рудные тела залегают на глубине от 10 до 170 м, рудовмещающие породы представлены, в основном, диабазами, порфиритами нижнего девона (D₁). Рудными минералами являлись пирит, халькопирит, халькозин и сфалерит. Месторождение Летнее с запасом руды 6,0 млн. т. содержало меди 3,2%, цинка 1,29% и разрабатывалось открытым способом. В проекте освоения Летнего в качестве аналога принималось Гайское месторождение со всеми негативными последствиями его эксплуатации. Подобные геоэкологические сопоставления были одной из основных причин многолетней (20 – 25 лет) задержки освоения Летнего месторождения, которое, между тем, характеризовалось четкими границами рудных тел, отсутствием некондиционных руд, вследствие чего в отвалы поступает пустая порода, которая практически не влияет на изменение геохимической и экологической обстановки. Концентрации загрязняющих примесей (S, Fe, Cu, Zn, Co, Pb, As, Ni) в пустых породах ничтожно малы, близки к природным кларковым значениям и не могли влиять на окружающую среду. Сопоставления (табл.) подтверждают существенные различия между составом рудничных и подотвальных вод, которые и определяют различные экологические последствия разработки этих объектов.

Максимальная величина сухого остатка в карьерных (рудничных) водах Летнего прогнозировалась 2,48 г/дм³, а минерализация подотвальных вод 3,56 г/дм³ при колебаниях от 1,9 под отвалами пустых пород до 5,6 г/дм³ под рудными отвалами, т.е. в 2,5 – 9,6 раз меньше, чем на Гайском ГОК [2]. На 1 – 3 порядка (2,4 – 40 мг/дм³ на Летнем) против 406 – 3890 мг/л на Гайском различается содержание железа, а наиболее агрессивный компонент –

Таблица

Химический состав рудничных и подотвальных вод на Летнем и Гайском месторождениях

Показатели	Летнее месторождение		Гайское месторождение	
	Рудничные воды	Подотвальные воды	Рудничные воды	Подотвальные воды
Сухой остаток, г/дм ³	2,48	3,56	9,8	10,7 – 34,3
pH	6,5	7,2	2,9	2,8 – 2,3
SO ₄ , мг/дм ³	144	1920	5340	7465 – 25620
Cl, мг/дм ³	82	93	350	380 – 490
HCO ₃ , мг/дм ³	360	330	не опр.	не опр.
Mg, мг/дм ³	21	100	180	120 – 130
Ca, мг/дм ³	410	720	640	620 – 540
Na+K, мг/дм ³	121	120	не опр.	не опр.
Fe _{сум.} , мг/дм ³	2,4	40	406	420 – 3890
Cu, мг/дм ³	0,63	6	235	220 – 760
Zn, мг/дм ³	1,14	4,7	154	415 – 420
H ₂ SO ₄ , мг/дм ³	0	0	123	688 – 2635

серная кислота (H_2SO_4) отсутствует как в рудничных, так и в подотвальных водах на Летнем, в то время как на Гайском месторождении ее содержание достигло 688 – 2635 мг/дм³.

На карьере Летнего месторождения рудничные воды прогнозировались нейтральными или слабо щелочными, что подтвердил опыт его разработки; только на конечном этапе разработки они перешли в слабокислые. В этом отношении карьерные и подотвальные воды Летнего месторождения не только существенно отличаются от Гайского, но и практически не влияют на экологическую обстановку. Очистка подотвальных, карьерных и дождевых сточных вод в прудах-накопителях и головном пруде Летнего месторождения предусматривалась и осуществлялась с доведением их качества до регламентируемых норм, при содержании в них металлов и других загрязнителей ниже, чем в природных водах. Ожидать неблагоприятных последствий при разработке Летнего месторождения не было оснований, что подтвердил опыт его разработки. Поэтому на других медно-колчеданных месторождениях Домбаровского рудного района гидрогеолого-экологические прогнозы в целом аналогичны и при выполнении проектных природоохранных мероприятий и учете местных особенностей, экологическая обстановка остается нормальной и контролируемой (Домбаровский тип).

Рассмотренные две основные схемы динамики геоэкологической обстановки при разработке медноколчеданных месторождений Уральского типа на примере Гайского и Летнего месторождений не исчерпывают их многообразия, которое в значительной мере зависит от состава и объема вскрышных и пустых пород, направляемых в отвалы. При наличии отвалов с высоким содержанием сульфитов необходимо заблаговременно и непрерывно предохранять формируемые отвалы от проникновения влаги, покрывая их суглинисто-глинистым чехлом мощностью 1,5 – 2,0 м, что по данным опытных площадей снижает инфильтрацию атмосферных осадков и образование техногенного водоносного горизонта с кислыми агрессивными грунтовыми водами. Возможно также использовать безотходную технологию (в отношении опасных сульфидов) путем их утилизации для приготовления серной кислоты, особенно при высоком содержании в отходах пирита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самарина В.С., Гаев А.Я., Нестеренко Ю.М. и др. Техногенная метаморфизация химического состава природных вод - Екатеринбург: Изд. УрО РАН, 1999 - 444 с.
2. Сквалецкий Е.Н., Паршин Н.П., Чаплыгина Н.С. Геоэкологическое сопоставление условий разработки медно-колчеданных месторождений на Южном Урале // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова №8, т. V. Белгород: Изд. БГТУ им. Шухова, 2004 - С. 124 – 126.