УДК 551.131:622.831

Р.Э.ДАШКО, А.А.ТИМЧЕНКО
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ НА ЯКОВЛЕВСКОМ РУДНИКЕ

Приведены основные принципы организации и проведения гидрогеохимического мониторинга в подземных выработках Яковлевского рудника по определенным показателям химического состава дренируемых подземных вод. Реализация такого мониторинга позволяет оценить активность перетекания и вторичного увлажнения богатых железных руд в подземных выработках. В процессе проведения мониторинга обнаружено повсеместное проявление сероводорода различного генезиса. Получены закономерности взаимосвязи содержания сероводорода и хлор-иона. Оконтурены зоны активного перетекания вод из нижнекаменноугольных известняков на горизонтах –425 м и –370 м. Показана возможность протекания коррозии бетонов и металлов под воздействием сероводорода.

The basic principles of the organization and carrying out of hydrogeochemical monitoring on the specified parameters of a chemical compounds of mine waters at Jakovlevsky mine are given. The realization of the monitoring allows estimating activity of an overflowing and secondary humidifying of rich iron ores in the mine. Total appearance of hydrogen sulphide (H_2S) of various genesis is revealed during carrying out of monitoring. The interrelation of H_2S and chlorine-ion maintenances are received. It was contoured zones of active water overflowing from lowcarbonic limestones on horizons –425 m and –370 m. The opportunity of concrete and metals corrosion under influence of H_2S is shown.

В 2005 г. СПГГИ была предложена концепция и структура гидрогеодинамического мониторинга [1], который включает: 1) гидрогеохимические наблюдения, направленные на оценку водопроявлений, развитие фильтрационных деформаций, в том числе и за счет перетекания подземных вод из неосушенного нижнекаменноугольного водоносного горизонта в рудно-кристаллический пласт; 2) геомеханический мониторинг, выполняемый для определения характера деформаций и оценки напряжений в массиве рудных тел и вмещающих пород.

В данной работе основное внимание уделяется проведению гидрогеохимического мониторинга на Яковлевском руднике в 2006 и 2007 гг.:

- наблюдения за измерением расходов действующих скважин во времени проводятся один раз в месяц геологическим отделом рудника; при значительном повышении дебитов скважин во времени интервал времени между замерами сокращается до двух и даже одной недели;
- ежемесячные режимные наблюдения за изменением напоров подземных вод рудно-кристаллического и нижнекаменноугольного водоносных горизонтов в скважинах, пробуренных непосредственно в выработках и с поверхности земли, проводятся геологическим отделом рудника;
- гидрогеохимический мониторинг проводится СПГГИ, при этом оценивается химический состав вод по ряду показателей с целью определения интенсивности перетекания подземных вод из нижнекаменноугольного водоносного горизонта в подземные выработки.

При решении проблемы безопасности ведения горных работ на Яковлевском руднике важнейшее значение имеет процесс перетекания подземных вод из выше-

лежащего высоконапорного нижнекаменноугольного водоносного горизонта в рудное тело (рис.1). Интенсивность этого процесса может быть исследована по содержанию таких ионов, как Cl^-, HCO_3^-, Na^+, F^-, H_2S, а также минерализации воды.

Еще в 2004 г. было установлено, что снижение хлоридов и величины сухого остатка при одновременном повышении содержания фторидов и сероводорода в дренажных скважинах и других водопроявлениях могут служить индикатором перетекания вод из вышележащего нижнекаменноугольного водоносного горизонта в рудное тело.

Особо следует остановиться на наличии сероводорода в длительно функционирующих скважинах. В 2003-2004 гг. было проведено опробование пяти скважин, которые позволили установить следующую закономерность: снижение содержания хлор-иона сопровождается повышением концентрации H_2S в водах рудно-кристаллического горизонта:

Номер скважины	582*	582**	415**	432р**	497**	462**
Cl^-, мг/л	193,4	224,76	591,21	698,7	848,21	2081,44
H_2S, мг/л	1,993	1,336	0,780	0,233	0,249	0,102

* 12.2003 г.
** 06.2004 г.

Известно, что падение содержания хлор-иона вместе с общей минерализацией связано с подтоком маломинерализованных вод из нижнекаменноугольных известняков в рудный пласт, следовательно увеличение концентрации H_2S при снижении минерализации вод объясняется его поступлением из толщи известняков карбона, которые обогащены битуминозной органикой, формирующей анаэробную обстановку и способствующей продуцированию биохимического H_2S. Еще на стадии разведочных работ на Яковлевском месторождении отмечалось, что откачка из известняков сопровождалась выделением H_2S.

Сероводород и фтор-ион относятся к неустойчивым компонентам и в связи с этим определение их содержания необходимо

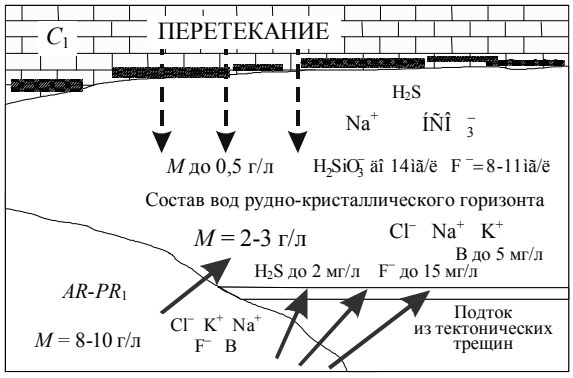


Рис.1. Схема формирования химического состава вод рудно-кристаллического водоносного горизонта

производить непосредственно в подземных выработках.

В рамках проведения гидрогеохимического мониторинга подземных вод Яковлевского рудника в 2006-2007 гг. концентрации фтора и сероводорода определялись непосредственно в подземных выработках отдельно для каждого водопроявления (скважины, тектонические трещины, шурфы) на горизонте –425 м. Измерения проводились при помощи портативного иономера Анион-7020 с использованием селективных электродов на F^- и H_2S. Одновременно замерялись величины pH, минерализации (с помощью портативного кондуктометра Анион-7010) и температуры исследуемых вод. Параллельно с этим отбирались пробы для определения содержания хлоридов, гидрокарбонатов и кальция в лабораторных условиях.

При использовании полевых методов определения сероводорода и фторид-иона были получены весьма интересные результаты: оказалось, что во всех точках опробования присутствует сероводород, а содержание фторидов варьировало в значительных пределах от 2 до 10 мг/л (рис.2).

Содержание F^-, H_2S, Cl^- и HCO_3^- в подземных водах рудно-кристаллического водоносного горизонта:

Место замера	F^-	H_2S	Cl^-	HCO_3^-
Пол.штр., скв.4ж	2,473	0,938	478,575	Не опр.
	1,84	**0,566**	**425,4**	**305**
Тр.орт, скв.666р	**6,76**	**0,018**	**602,65**	**378,2**

Тр.орт, скв.774д	**5,92**	**0,011**	**1098,95**	**335,5**
Тр.орт, скв.664	5,345	0,072	213,36	104,4
	3,44	**0,063**	**319,05**	**286,7**
Тр.орт, скв.689д	8,89	0,903	1205,3	Не опр.
Разв.штр.№ 4, скв.727р	9,52	0,027	376,25	105,4
	4,309	**0,034**	**584,93**	**286,7**
Разв.штр.№ 4, скв.543р	5,435	1,206	604,87	Не опр.
	Сухо	**Сухо**	**Сухо**	**Сухо**
Разв.штр.№ 4, скв.780	8,207	0,068	732,063	Не опр.
	5,56	**0,056**	**478,58**	**323,3**
Разв.штр.№ 4, скв.560	6,215	0,021	726,725	89,5
	5,273	**0,012**	**Не опр.**	**Не опр.**
ШВБ, скв.702р	**5,95**	**0,011**	**921,7**	**298,9**
ШВБ, скв.698р	**6,38**	**0,017**	**Не опр.**	**Не опр.**
ШВБ, тект.тр.	3,47	0,020	1772,5	Не опр.
	Сухо	**Сухо**	**Сухо**	**Сухо**
ШВБ, скв.754	6,578	0,022	787,64	92,0
	Сухо	**Сухо**	**Сухо**	**Сухо**
Разв.штр.№ 5, тект.тр.	2,671	0,657	1807,95	Не опр.
Разв.штр.№ 5скв.767	**2,49**	**0,017**	**248,15**	**251,32**
Разв.штр.№ 5скв.761р	9,023	0,090	957,15	93,7
ШЛБ, тект.тр.	7,834	0,014	543,64	Не опр.
ШЛБ, скв.598	7,887	0,944	872,62	Не опр.
	6,48	**0,783**	**Не опр.**	**Не опр.**
ШЛБ, скв.631д	2,225	2,114	598,46	263,52
ШЛБ, скв.612д	**9,412**	**0,024**	**771,04**	**263,52**
ШЛБ, скв.618д	**7,64**	**0,029**	**709**	**285,48**
ШЛБ, скв.628д	**8,347**	**0,050**	**354,5**	**423,34**
Орт № 10, забой	7,627	1,213	887,86	Не опр.
	8,75	**0,026**	**549,48**	**336,72**
Орт № 10,скв.750	6,991	0,050	992,6	Не опр.
Гор.–370 м; орт 8, забой	**1,86**	**0,012**	**248,15**	**256,2**
Орт № 7, скв.739д	2,253	1,458	567,2	85,8
	2,56	**0,542**	**584,92**	**297,68**
Орт № 7, скв.749д	4,397	1,324	620,375	Не опр.
Орт № 7, скв.736д	**2,24**	**0,018**	**319,05**	**292,8**
Гор.–370 м; орт 7, забой	**1,82**	**0,056**	**248,15**	**239,12**

Примечание. Замеры проводились непосредственно в подземных выработках Яковлевского рудника. Жирным шрифтом показаны замеры февраля 2007 г., остальное – август 2006 г.

Анализ результатов опробования водопроявлений в подземных выработках Яковлевского месторождения позволил установить, что, возможно, существуют два источника поступления сероводорода в подземные воды. Первый из них – нижнекаменноугольный водоносный горизонт, особенно его нижняя часть разреза, где известняки обогащены органическим материалом, прослоями углистых глин и углей. В этой зоне H_2S имеет биохимическое происхождение. Второй связан с глубинными процессами. Повышенное содержание H_2S отмечается в зонах тектонических трещин гранитного массива, где наблюдается разгрузка подземных вод с повышенной минерализацией (8-10 г/л), в пределах которых H_2S может быть каталитическим или глубинным [3]. Зоны активного перетекания из нижнекаменноугольного горизонта в подземные выработки показаны на рис.2. Следует обратить внимание на водопроявления в выработках на осушенном горизонте –370 м. По всей вероятности такое перетекание наблюдается по зонам тектонических разломов.

Для оценки генезиса сероводорода необходимо провести изотопный состав серы, который позволит использовать эти данные при решении вопросов происхождения и формирования подземных вод Яковлевского рудника. Среди четырех стабильных изотопов серы ^{32}S, ^{33}S, ^{34}S и ^{36}S наиболее распространенными в земной коре является ^{32}S (95,1), затем ^{34}S (4,2), ^{33}S (0,74) и ^{36}S (0,016 %). Двум из них – ^{32}S и ^{34}S – свойственны наибольшие колебания в распространенности, т.е. процессы разделения изотопов серы в природе сравнительно активны. Преобладание легких изотопов ^{32}S будет свидетельствовать о биохимическом происхождении H_2S, тяжелых изотопов – о глубинном происхождении [3].

Для оценки зон перетекания вод из нижнекаменноугольного водоносного горизонта и вторичного увлажнения богатых железных руд проведен анализ взаимосвязи содержания H_2S и хлоридов. Низкие концентрации хлор-иона и одновременное увеличение H_2S и гидрокарбонатов свидетельствуют об активном перетекании вод из неосушенного вышележащего водоносного горизонта. Зависимость увеличения содержания сероводорода и гидрокарбонатов при одновременном снижении концентрации хлор-иона четко видна на графиках, построенных по результатам проведенного гидрогеохимического мониторинга на Яковлев-

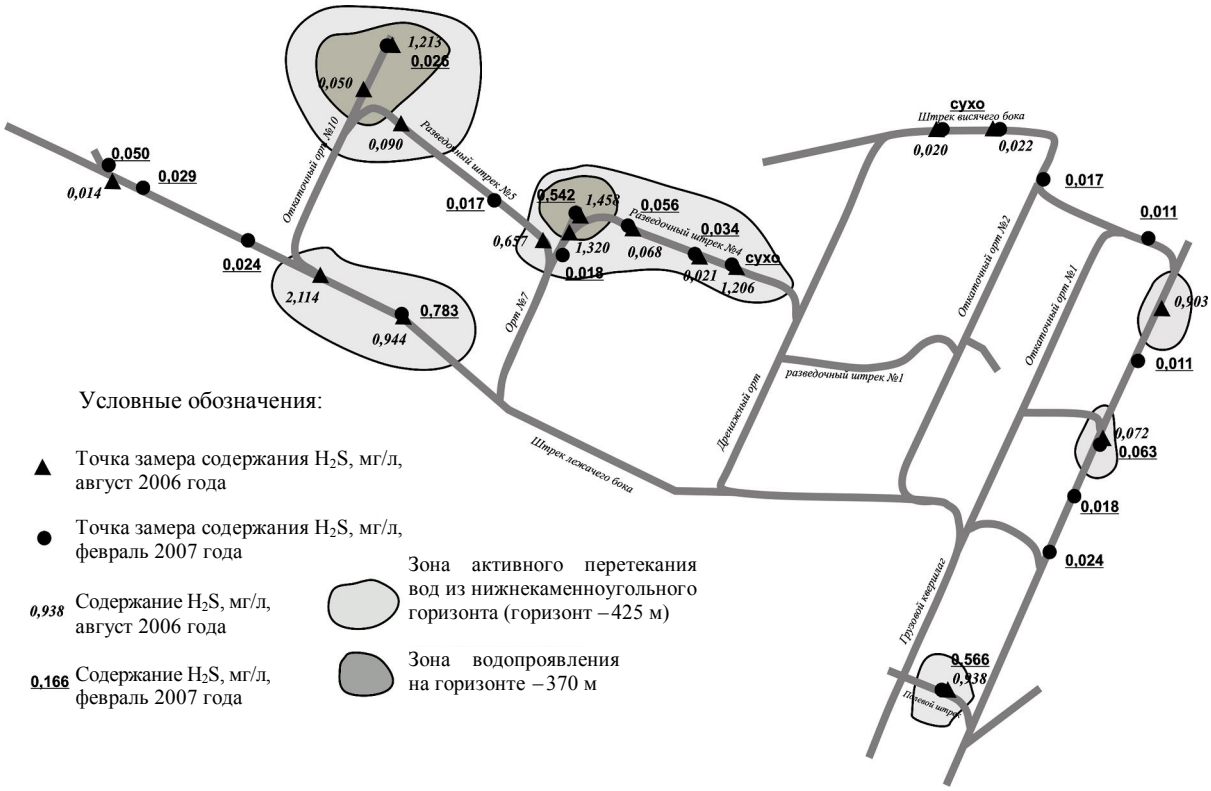


Рис.2. Положение точек опробования на плане горных работ (горизонт –425 м) и зон перетекания вод из нижнекаменноугольного водоносного горизонта

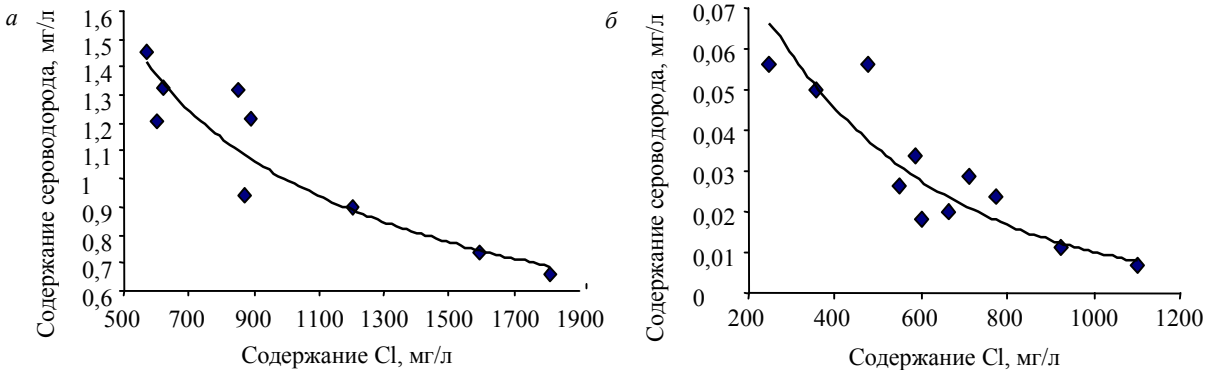


Рис.3. Зависимость содержания H_2S от величины содержания Cl^- по данным замеров в подземных выработках: в августе 2006 г. (*а*) и феврале 2007 г. (*б*)

ском руднике в августе 2006 г. и феврале 2007 г. (рис.3).

Постоянное присутствие H_2S в воде оказывает негативное воздействие на металлические конструкции и цемент, его твердение и устойчивость во времени. Выделение сероводорода способствует формированию анаэробных условий, в которых активно протекают электрохимические процессы, оказывающие влияние на восстановление железа и переход его в растворенное состояние, что приводит к снижению толщины стальных конструкций. Реакции восстановления железа протекают по следующим схемам [2]: ионизация железа $4Fe + 8H^+ \rightarrow 4Fe^{2+} + 4H_2$; образование сульфида железа и гидроокиси $4Fe^{2+} + H_2S + 2OH^- + 4H_2O \rightarrow FeS + 3Fe(OH)_2 + 6H^+$.

Ведение очистных работ на Яковлевском руднике приводит к интенсификации процессов перетока в рудный пласт и подземные выработки вод из вышележащего нижнекаменноугольного водоносного горизонта. Поэтому в настоящее время необходимо продолжить ежемесячные наблюдения за изменением дебита действующих скважин во времени, а также колебаниями содержания в воде хлоридов, гидрокарбонатов, фтора и сероводорода, которые являются индикаторами перетока более пресных вод в рудно-кристаллический водоносный горизонт.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гусев В.Н.* Основные принципы организации и развития гидрогеомеханического мониторинга в подземных выработках Яковлевского рудника / В.Н.Гусев, Р.Э.Дашко, Н.С.Петров // Записки Горного института. Т.168. СПб, 2006. С.149-158.

2. *Шлегель Г.* Общая микробиология: Пер. с нем. М.: Мир, 1987. 567 с.

3. *Якуцени В.П.* Минеральное сырье. Сероводород: Справочник / В.П.Якуцени, О.Н.Яковлев. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. 30 с.