



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Бурятский государственный университет» (БГУ)

«УТВЕРЖДАЮ»

проректор по научно-исследовательской работе  
к.ф.-м.н., доц. \_\_\_\_\_ Шаранхаев И.К.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2013г.

## ОТЧЕТ

по проекту ГЭФ:

**Разработка технологических решений для минимизации  
антропогенного влияния штольневых и рудничных вод Холоднинского  
полиметаллического месторождения на водные экосистемы  
(Development of technological solutions for minimization of anthropogenic  
impact of adit mine waters of Kholodninsky polymetal deposit  
on water ecosystems)**

**[GPSO/LakeBaikal/042/05July2013\_BSU]**

Руководитель проекта

\_\_\_\_\_  
*подпись*

и.о. зав. лабораторией, к.т.н. Антропова И.Г.

Улан-Удэ  
2013

Список исполнителей:

Антропова И.Г.	и.о. зав. лабораторией, к.т.н.
Плюснин А.М.	профессор кафедры геологии, д.г.-м.н.
Ханхасаева С.Ц.	доцент кафедры неорганической и органической химии, д.х.н.
Гуляшинов А.Н.	доцент, к.т.н.
Ширеторова В.Г.	с.н.с., к.т.н.
Палеев П.Л.	н.с., к.т.н.
Дашинамжилова Э.Ц.	вед. инженер, к.х.н.
Асеев Д.А.	н.с., к.х.н.
Бадмаева С.В.	н.с., к.х.н.
Перязева Е.Г.	н.с., к.г.-м.н.
Жамбалова Д.И.	м.н.с., к.г.-м.н.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<b>Введение</b> .....	4
<b>1. Оценка современного состояния основных водных объектов в пределах Холоднинского месторождения полиметаллических руд</b> .....	6
1.1. Экспедиционные исследования .....	6
1.2. Характеристика района расположения Холоднинского полиметаллического месторождения, оценка экологического состояния основных водных объектов .....	18
<b>2. Обзор современных технологий и методов очистки штольневых и рудничных вод, приводящих к минимизации антропогенного воздействия горнодобывающих предприятий на водные экосистемы</b> .....	48
<b>3. Экспериментальные исследования по очистке рудничных вод из разведочных штолен Холоднинского месторождения от вредных примесей природными сорбционными материалами</b> .....	68
3.1. Сорбция ионов тяжелых металлов из рудничных вод полиметаллического месторождения кальцитсодержащими горными породами .....	68
3.2. Моделирование сорбции ионов тяжелых цветных металлов кальцитсодержащими горными породами .....	79
<b>4. Заключение</b> .....	81
<b>5. Рекомендации</b> .....	83

## Введение

Полиметаллическое месторождение «Холоднинское» расположено в Северо-Байкальском районе Республики Бурятия в 40 км к северу от ж/д станции Холодная Байкало-Амурской магистрали. Северо-Байкальский район расположен на севере Республики Бурятия. Из-за экстремальных природно-климатических условий относится к районам, приравненным к районам Крайнего Севера. Район месторождения «Холоднинское» расположен в Северном Прибайкалье в зоне сочленения хребта Сынныр с хребтом Верхнеангарский (г. отм. 1439 м) и охватывает бассейны рек, впадающих в озеро Байкал (междуречье рек Холодная, Тья) и систему рек Ленского бассейна (река Олокит).

Холоднинское месторождение выявлено в 1968 г. при изучении аэромагнитной аномалии, установленной при проведении поисковых работ на никель, графит и железо.

В 1972-75 гг. на Холоднинском месторождении проведена предварительная разведка, по результатам которой были утверждены временные кондиции. По данным кондициям в 1975 г. и далее в 1978 г. были подсчитаны и поставлены на баланс ВГФ (протокол № 8065) запасы в количестве 265.4 млн. т руды; 1364.7 тыс. т свинца и 8513 тыс. т цинка.

Запасы Холоднинского месторождения были утверждены ГКЗ СССР в 1985г. (протокол № 9703 от 29.03.85г.) по состоянию геологоразведочных работ на 01.08.1984г. в количестве: руды – 339.5 млн. т, свинца – 2.2 млн. т, цинка – 14.2 млн. т.

Кроме запасов трех основных промышленных компонентов (цинк, свинец, сера), полиметаллические руды Холоднинского месторождения содержат медь, кадмий, сурьму, серебро, золото, таллий, селен, висмут, индий. Девять последних попутных полезных ископаемых также учитываются балансом запасов (в Государственном резерве).

Цель работы – разработка технологических решений для минимизации антропогенного влияния штольневых и рудничных вод Холоднинского полиметаллического месторождения на водные экосистемы.

Для выполнения этой цели будут решены следующие задачи:

- оценить современное состояние основных водных объектов в пределах Холоднинского месторождения полиметаллических руд;
- проанализировать существующие технологии и современные тенденции развития инженерных методов защиты водных экосистем при проектировании новых горнодобывающих предприятий;
- провести теоретическое и экспериментальное моделирование процессов обезвреживания и очистки штольневых и рудничных вод Холоднинского месторождения с использованием горных пород и минералов местных месторождений;
- разработать рекомендации по очистке штольневых рудничных вод и проектированию гидротехнических сооружений.

# 1. ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОСНОВНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПРЕДЕЛАХ ХОЛОДНИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД

## 1.1. Экспедиционные исследования

Для проведения исследований по очистке рудничных вод из разведочных штолен на Холоднинском месторождения полиметаллическом месторождении были проведены экспедиционные исследования. Цель – обследование природно-технической системы Холоднинского полиметаллического месторождения и отбор проб.

Маршрут полевого отряда на месторождение приведен на рис. 1.

На месторождении были отобраны пробы почв, воды и известняка. Схема отбора проб приведена на рис. 5, координаты точек отбора проб приведены в табл. 1. На фото 2-4 показан район месторождения Холоднинское. На фото 6 представлен образец свинцово-цинковой руды месторождения Холоднинское.

### Описание точек отбора проб

Условные обозначения:

- Ш – штольня;
- ТРТ – техногенное рудное тело;
- И – обнажение известняка;
- ХП – место отбора проб почвы;
- ХД – место отбора донных отложений;
- ХВ – место отбора проб воды;

Точка ХП-1 (N 56 13.859, E 109 51.481. H=1085 м). Отобрана проба массой 0,5 кг. Фото 7.

Точка Ручей (N 56 13.846 E 109 51.550. H= 1083 м). Отобрана проба воды 4.5 л.

Точка ХП-2 (N 56 13.689 E 109 51.978. H= 1037 м). Отобрана проба массой 0,5 кг.

Точка Штольня 1 (N 56 13.458 E 109 52.251. Н= 940 м). Рис. 8. Дебит ручья из штольни № 1 –  $Q = 2,0 \times 0,1 \times 6,0 = 1,2$  л/сек. Перед штольней ровная площадка С – Ю = 84 м, В – З = 84 м. Отвалы штольни № 1 имеют ширину 58 м.

Точка ХВ 1 (N56 13.458 E109 52.251. Н = 940 м). рН = 7,9. Т = 3,9 °С.  $O_2 = 9,7$  мг/л . Отобрана проба воды 4.5 л.

Точка ХП-3 (N56 13 437, E109 52 231. Н= 935 м). Отбор почвы в 40 м от штольни, в 10 м от дороги в зарослях кустарника, вне влияния отвалов. Отобрана проба массой 0,5 кг.

Точка ХП 4 (N56 13.372, E109 52.107. Н = 931 м). Отобраны на повороте дороги к штольне № 2, характеризуют состояние почв южнее участка рекультивации. Отобрана проба массой 0,5 кг.

Точка ХП 5 (N56 13.376, E109 52.244. Н = 912 м). Почвы под отвалами штольни 1 и ТРТ 1. Отобрана проба массой 0,5 кг.

Точка ХП 6 (N56 13.388, E109 52.305. Н = 912 м). Заторфовано, мощность торфа 30 см. Отобрана проба массой 0,5 кг.

Точка И1 (N56 13.300 E109 52.157. Н = 883 м). Обнажение  $CaCO_3$  возле дороги к штольне № 2. Выходы карбонатных пород наблюдаются на расстоянии 10-15 м, несколько мощных обнажений до 30 м. Отобрана проба массой 40кг. Фото 9.

Точка Рч-1 (N56 13.323, E109 52.262. Н = 872 м). Временный водоток от ТРТ 1 направлен в сторону р. Холодная. На камне отложения гидроксида железа. Отобрана проба воды 4,5 л.

Точка Штольня № 2 (N56 13.353, E109 52.527. Н = 851 м). Фото 10, 11. Устье штольни забито в обнажении известняка высотой  $\approx 40$  м, шириной  $\approx 100$  м, высота штольни 3,8 м ширина 3,7 м. Вода из штольни накапливается в пруде (яме) перед отвалами горных пород. Рис. 13. Глубина до 1 м. На дне донные отложения рыжего цвета. Вода из пруда просачивается под ТРТ-1, внизу образуется на мху гипергенные минералы

Точка ХВ 2 (N56 13.353, E109 52.527. Н = 851 м). Фото 12. рН = 7,15. Т = 5,6 °С. О<sub>2</sub> = 8,47 мг/л. Дебит ручья вытекающего из штольни Q = 8×2,5×1,5 = 30 л/с. Отобрана проба воды 150 л. На выходе из штольни из ручья высаживаются донные отложения рыжего цвета. Отобраны пробы ХД 2, перед штольной имеется площадка 50×100 м частично завалена ТРТ 2. На площадке сохранились остов здания из железобетона 2,5×10 м, который может быть использован для очистных сооружений. Ручей из штольни течет в северном направлении в обход ТРТ 2, которое имеет сложное строение с несколькими языками сползания. Выделяются два языка: 1) снизу высота уступа ≈ 15 м, 2) сверху ≈ 10 м. Верхний ярус из 3-х отвалов: 1) l=50м. 2) l=50м. 3) l=24м. Нижний уступ 93 м.

Точка ТРТ -1 (N56 13.394, E109 52.302. Н = 912 м). Длина ТРТ -1 = 141 м. Ширина = 58 м. Фото 14, 15.

Точка ХП 7 (N56 13.264, E109 52.523. Н = 823 м). Отбор проб почв ниже отвала от штольни № 2. Отобрана проба массой 0,5 кг.

Точка ХВ 3 (N56 13.075, E109 52.056. Н = 796 м) – низовье ручья Ав-кит. Q = 3×1×3 = 9 л/с.

Точка ХВ 4 (N56 12.893, E109 52.046. Н = 755 м). Проба отобрана из р. Холодная ниже впадения ручья от штольни № 2. Q = 300×3×5 = 4500 л/с. Донные отложения нормального цвета.

Точка ХВ 5 (N56 12.995 E109 52.252. Н = 762 м). рН = 8,02, Т = 6,6 °С. О<sub>2</sub> = 7,48 мг/л. Устье ручья из штольни Q = 5×0,7×2 = 7 л/с. На дне рыжие отложения гидроокислов железа.

Точка ХП 8. (N56 12.995, E109 52.252. Н = 762 м). Отобрана почва возле дороги на правом берегу ручья.

Точка ХВ 6 (N56 13.006, E109 52.373. Н = 763 м). Фото 16. р. Холодная. рН = 7,83. Т = 7 °С. О<sub>2</sub> = 9,23 мг/л. Q = 80×10×5 = 4000 л/с.



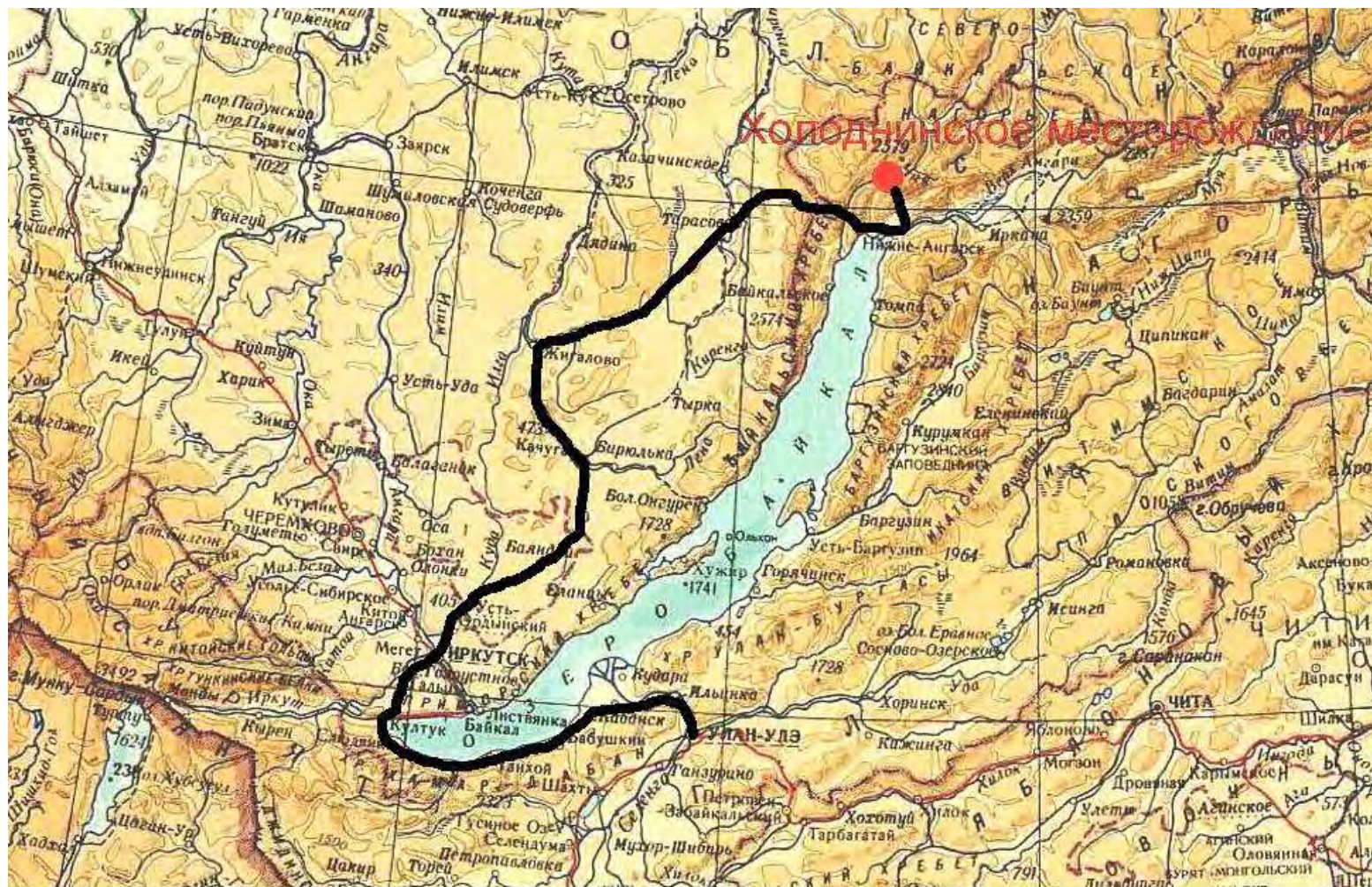


Рис. 1. Маршрут движения на месторождение Холодинское



Фото 2. Панорама долины р.Холодная



Фото 3. Река Холодная.



Фото 4. Панорама бывшего поселка геологов Перевал в районе месторождения

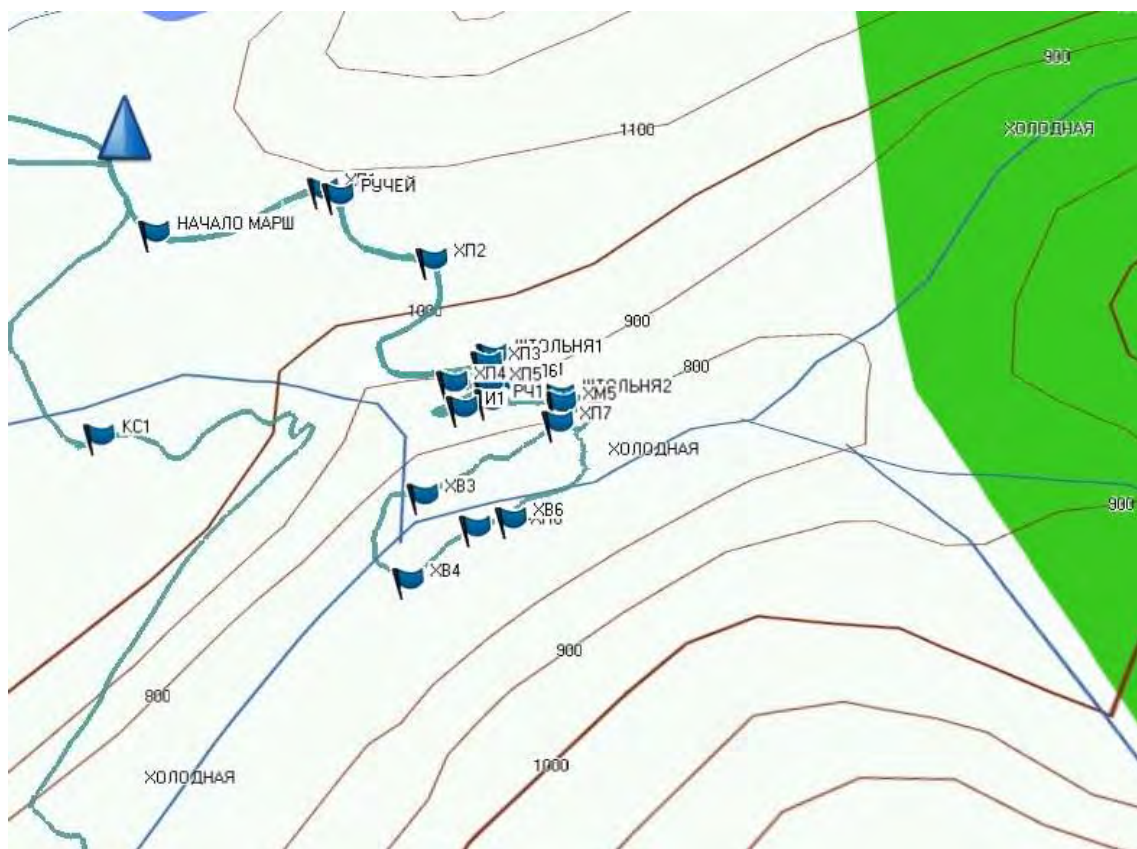


Рис. 5. Схема отбора проб почв, воды и известняка

Таблица 1. Координаты точек отбора проб

№ п/п	Имя точки	Координаты	Высота
15	ХП 1	N 56 13.859 E 109 51.481	1085 м
6	Ручей	N 56 13.846 E 109 51.550	1083 м
16	ХП 2	N 56 13.689 E 109 51.978	1037 м
22	Штольня 1	N 56 13.458 E 109 52.251	940 м
17	ХП 3	N 56 13.437 E 109 52.231	935 м
18	ХП 4	N 56 13.372 E 109 52.107	931 м
19	ХП 5	N 56 13.376 E 109 52.244	912 м
20	ХП 6	N 56 13.388 E 109 52.305	912 м
2	И 1	N 56 13.300 E 109 52.157	883 м
7	РЧ 1	N 56 13.323 E 109 52.262	872 м
23	Штольня 2	N 56 13.353 E 109 52.527	851 м
8	ТРГ 1	N 56 13.394 E 109 52.302	912 м
14	ХМ 5	N 56 13.329 E 109 52.533	846 м
21	ХП 7	N 56 13.264 E 109 52.523	823 м
9	ХВ 3	N 56 13.075 E 109 52.056	796 м
10	ХВ 4	N 56 12.895 E 109 52.046	755 м
11	ХВ 5 – ХП 8	N 56 12.995 E 109 52.252	762 м
12	ХВ 6	N 56 13.006 E 109 52.373	763 м



Фото 6. Свинцово-цинковая руда Холоднинского месторождения



Фото 7. Образец пробы почвы



Фото 8. Штольня № 1.



Фото 9. Выход известняка



Фото 10. Штольня № 1.



Фото 11. Штольня № 2.



Фото 12. Разгрузка штольни № 2.



Фото 13. Пруд (яма) у штольни № 2





Фото 14. Отвал у штольни № 2



Фото 15. Отвал у штольни № 2.



Фото 16. Отбор пробы воды.

## 1.2. Характеристика района расположения Холоднинского полиметаллического месторождения, оценка экологического состояния основных водных объектов

**Рельеф.** Холоднинское полиметаллическое месторождение расположено в Северо-Байкальском районе Республики Бурятия, в 80 км от озера Байкал, в его Центральной экологической зоне. Площадь рудного поля Холоднинского месторождения составляет 4 км<sup>2</sup>, в т.ч. детально разведанная его часть (участок Первой рудной зоны) – 2 км<sup>2</sup>. Месторождение приурочено к водоразделу рек Тьи и Холодной на отрезке их максимального сближения. Часть месторождения располагается в долине р. Холодной. Район месторождения характеризуется интенсивной расчлененностью рельефа, относительное превышение хребтов над долинами составляет 300-500 м. Участок детальной разведки (Первая рудная зона) расположен в пределах абсолютных отметок 1000-1100 м.

Водораздел рек Тья и Холодная отличается холмистым рельефом, на фоне которого выделяются сглаженные высоты и седловины. На северо-вос-

точном фланге месторождения проявлены экзарационные формы рельефа в виде котловин, выпавших ледником, в которых располагаются озера Аэ-лита, Баир.

**Климат.** Специфической чертой климата района исследований является его резкая и частая пространственная изменчивость: наличие горных хребтов разной высоты и ориентации, существование межгорных впадин и межгорных долин – все это сильно влияет на местную циркуляцию воздушных масс, резко меняет основные климатические показатели и создает мозаично пеструю картину неоднородности климата.

Для рассматриваемой территории характерен резко континентальный климат с большими годовыми и суточными колебаниями температуры воздуха и с неравномерным распределением атмосферных осадков по сезонам года.

Тип мезоклимата узких горных долин характеризуется достаточно суровой зимой и, в зависимости от ширины долины, прохладным или умеренным летом. По глубоким долинам рек в осенне-зимний период, часто дуют северо-западные холодные ветры. Климатическое влияние Байкала в долинах рек полностью отсутствует, доминирует влияние выстуженных в высокогорьях материковых воздушных масс.

Климатические условия на горных склонах определяют орографическое строение местности (высота, экспозиция склонов), эффекты котловинности и дождевой тени, а также материковые факторы, связанные со стеканием холодных воздушных масс. Поэтому мезоклимату присущи четко выраженные черты континентальности с пониженной температурой воздуха летом и весьма низкой зимой.

Зимой над районом господствует устойчивая область высокого давления (Сибирский антициклон), циклоническая деятельность в этот период выражена слабо. В связи с этим зимой осадков выпадает мало по сравнению с летним периодом. Со времени образования устойчивого снежного покрова (конец третьей декады октября) высота его постепенно увеличивается (от 2 -

3 см в октябре до 37 см в третьей декаде марта).

С прекращением устойчивых морозов начинается весенний период. Время устойчивого перехода средней суточной температуры через 0 °С выпадает на третью декаду апреля. В горах весна запаздывает, примерно, на 10 дней.

Весной, в тылу проходящих с запада на восток циклонов, часто приходят потоки холодного арктического воздуха, вызывающие резкие похолодания. Поэтому последние заморозки в среднем могут наблюдаться до конца мая, но вероятность появления заморозков существует до конца второй декады июня. Таким образом, продолжительность безморозного периода составляет в среднем 112 дней.

Летом происходит перестройка барического поля. Над районом преобладает обширная область пониженного давления. В связи с этим над территорией района, особенно в июле и августе, возрастает повторяемость атмосферных процессов, которые способствуют поступлению воздушных масс морского происхождения. Летние осадки связаны преимущественно с атмосферными фронтами, возникающими в циклонических системах.

Осень наступает быстро. Устойчивый переход температуры воздуха через 0 °С осуществляется в первой декаде октября. Циркуляционные условия осеннего периода характеризуются развитием общего западно-восточного переноса, который прерывается вторжениями холодных воздушных масс с севера.

Заморозки начинаются уже в конце второй декады сентября при сравнительно высоких среднесуточных значениях температуры воздуха. В отдельные годы заморозки возможны в конце августа.

Устойчивый снежный покров устанавливается в конце третьей декады октября, разрушается в начале апреля. Число дней со снежным покровом -182.

**Гидрология.** Все реки типично горные с быстрым течением, обилием порогов и невыработанным продольным профилем. Ширина русел колеблется от 10-15 до 40-50 м. Поймы рек в значительной степени

заболочены. Уровень воды в реках непостоянный и целиком зависит от величины снежного покрова, интенсивности снеготаяния и количества атмосферных осадков в летний период. Глубина рек колеблется от 0,5 м в осенний период до 1-2 м в период снеготаяния. На перекатах реки промерзают до дна, что вызывает ранней весной образование мощных наледей.

Район Холоднинского месторождения, характеризуется высоким коэффициентом поверхностного стока – 0.71. Распределение стока внутри года неравномерное. По характеру водного режима все реки данного района относятся к типу рек с четко выраженным весенне-летним половодьем, дождевыми паводками в теплую часть года, летне-осенней и зимней меженью. На продолжительную зимнюю межень (октябрь-март) приходится 13% годового стока. Значительная часть стока (50-60% годовой величины) приходится на период весенне-летнего половодья. Максимальные расходы воды наблюдаются в июне - июле. Сток за время паводочного периода достигает 30-40 %, за время летне-осенней межени – 10-12 % годовой величины. Водный режим рек в течение паводочного периода отличается крайней неустойчивостью. Наряду с паводками отмечаются периоды относительно низкой водности.

Весеннее половодье начинается обычно в конце первой - начале второй декады мая, пик половодья достигается в первой декаде июня и заканчивается в первой декаде июля. Средняя продолжительность половодья составляет около 60 суток. При половодье проходит до 45-65 % годового объема стока. Дождевые паводки могут начинаться еще на спаде половодья, а заканчиваться - в сентябре. Наиболее часто максимумы паводков отмечаются в августе. Продолжительность одного паводка на малых реках составляет 2-4 суток; на относительно крупных (с площадями водосборов до 1-2 тыс. км<sup>2</sup>) - 8-10 суток. Максимальные расходы воды дождевых паводков, как правило, значительно уступают максимумам весеннего половодья.

Летне-осенняя межень достаточно четко выражена в маловодные годы. В прочие годы она наблюдается по 5-10 суток между паводками, а в

многоводные годы может отсутствовать вообще. Осенняя межень начинается с прекращения паводков и продолжается до середины октября. Сток этого периода плавно понижается, приближаясь к зимнему годовому минимуму. Во второй декаде октября на реках начинают появляться ледовые явления в виде заберегов и шуги, а к началу ноября устанавливается ледостав.

Река Холодная имеет длину 81 км, площадь водосбора 1050 км<sup>2</sup>. Средний многолетний расход воды у пос. Холодная – 20.7 м<sup>3</sup>/с.

Таблица 1.1. Расход воды в р. Холодная по данным стационарного водомерного поста у п. Холодный (2004 г.)

среднегодовой расход воды	20.7 м <sup>3</sup> /с
максимальный наблюденный расход	456 м <sup>3</sup> /с
минимальный наблюденный летний расход воды	2.0 м <sup>3</sup> /с
минимальный наблюденный зимний расход воды	0.67 м <sup>3</sup> /с

Река Холодная имеет хорошо врезанную долину с крутыми берегами, с абсолютными отметками в районе Холоднинского месторождения 777-780 м. Русло реки заложено по Холоднинскому крутопадающему глубинному разлому. Дно реки сложено крупными хорошо окатанными глыбами сланцев. Правый берег реки, на котором располагаются отвалы пород из штолен, имеет две слабо выраженные в рельефе террасы. Первая терраса располагается на отметках 830-850 м, вторая - на 1050-1190 м. Нижняя терраса сложена крупно-глыбовым материалом слабо окатанных сланцев, которые вверх по склону сменяются скальными обнажениями известняка. Этот участок склона препарирован ледником, спускавшимся по долине реки. Рыхлый материал практически полностью вынесен, на склоне отмечается маломощный слой делювиальных образований.

Верхняя терраса образована ледниковыми отложениями боковой морены, которые в откосе дороги просматриваются на глубину 2 м. Терраса обрывается в долину р. Холодная обнажением сланцев высотой 60-80 м.

Река Холодная ранее опробовалась нами в пяти точках наблюдения расположенных от верховьев реки до устья (Плюснин, сентябрь 2007г). Общая минерализация воды в реке, в среднем, составляет 67,3 мг/л, по химическому составу она гидрокарбонатная натриево-кальциево-магниевая,

формула Курлова имеет вид  $\frac{\text{HCO}_3,86}{\text{Mg}41 \text{ Ca}35 \text{ Na}24}$ .

В реке Холодная выше месторождения в микроэлементном составе зафиксированы повышенные содержания хрома, меди и таллия – 1,82; 2,87 и 0,35 мкг/л соответственно. Ниже лицензионного участка обнаружены повышенные содержания цинка – 11,0 мкг/л, что составляет 1,1 ПДК для вод рыбохозяйственного назначения, повышенные содержания хрома - 1,38 мкг/л, меди 2,81 мкг/л (2,81 ПДК) и цинка – 11,2 мкг/л (1,12 ПДК). В устьевой части реки в районе п. Холодное повышенных содержаний микроэлементов не обнаружено.

Во время обследования 20-21 сентября 2013 г расход реки составлял 4,0-4,5 м<sup>3</sup>/с. Нами произведено опробование реки в трех точках наблюдения.

В таблице 1.2. приведена общая характеристика ионного состава воды реки выше, в месте впадения в нее ручья из штольни и ниже по течению на время проведения обследования (20-21 сентября 2013 г).

Таблица 1.2. Ионный состав воды р. Холодная в районе разведочных штолен Холоднинского месторождения

№ п/п	Параметр, мг/л	ХВ – 6 56°12,893' 109°52,046'	ХВ – 4 56°12,893' 109°52,046'	ХВ – 8 56°06,040' 109°43,815'
		400 м выше по течению от места расположения отвалов штольни	10 м ниже впадения ручья из штольни	3 км ниже по течению от впадения ручья из штольни
1	Общая минерализация	62,47	75,32	91,67
2	pH	6,19	7,7	6,98
3	Na+K	5,2	5,7	6,94
4	Ca	10,02	11,02	13,03
5	Mg	0,61	1,82	2,43
6	HCO <sub>3</sub>	30,51	36,61	48,81
7	SO <sub>4</sub>	5,59	8,88	8,88
8	Cl	5,32	5,32	5,67
9	NO <sub>3</sub>	0,61	0,81	0,43

Как видно из представленных данных каких-либо резких изменений в макрокомпонентном составе воды в реке Холодная под воздействием рудничных вод и разгрузки грунтовых вод от отвалов горных пород из

штолен не наблюдается.

Микроэлементный состав вод проанализирован на 50 химических элементов. В таблице 1.3 приведены содержания определенных в реке микроэлементов, которые могут возрастать в связи с воздействием руд Холоднинского месторождения, рудничных вод и отвалов пород из штолен.

Таблица 1.3. Микроэлементный состав воды реки Холодная в районе Холоднинского полиметаллического месторождения

№ п/п	Химический элемент, мкг/л	ХВ – 6 56°12,893', 109°52,046'	ХВ – 4 56°12,893', 109°52,046'	ХВ – 8 56°06,040', 109°43,815'
		400 м выше по течению от места расположения отвалов штольни	10 м ниже впадения ручья из штольни	3 км ниже по течению от впадения ручья из штольни
1	Cr	0.2109	0.1022	0.2374
2	Mn	20.7875	17.4313	6.1604
3	Fe	21.1348	3.9803	20.6428
4	Co	0.1516	0.0810	0.0527
5	Ni	3.6856	0.6967	0.8693
6	Cu	4.8156	1.8446	4.3214
7	Zn	1458.349	368.456	103.470
8	As	1.1899	5.4859	1.1586
9	Cd	0.2942	0.1083	0.1135
10	Ta	0.0010	0.0006	0.0009
11	Pb	0.2898	0.3277	0.2488

Непосредственно в месте впадения ручья, вытекающего из штольни аномально высоких содержаний микроэлементов в воде реки Холодная не обнаружено. Наиболее высокие содержания цинка обнаружены в реке выше по течению, за пределами воздействия отвалов и рудничных вод из штолен, что может быть связано с разгрузкой в реку трещинно-жильных вод разгружающихся по Авкитскому и Холоднинскому разломам.

Возможно, что сток грунтовых вод в районе отвалов горных пород из штолен очищается при взаимодействии с почвами, растительностью. Это предположение базируется на том, что нами установлено, что на поверхности горных пород в пределах отвалов и на растительности под отвалами обнаружены образования гипергенных минералов.

В пределах обследованного участка с правого берега в р. Холодная впадает ручей Авкитский. Русло ручья, в верховье заложено по



одноименному разлому. Поэтому на химический состав воды ручья может оказывать влияние рудная минерализация, находящаяся в горных породах этого разлома. В 2007 г. ручей опробовался нами перед впадением в р.Холодная. Дебит ручья составлял 120 л/с. Общая минерализация достигала 119,2 мг/л, по составу вода хлоридно-гидрокарбонатная натриево-магниевое-кальциевая. Формула Курлова имеет вид  $\frac{\text{HCO}_3 79 \text{ Cl} 11 \text{ SO}_4 9}{\text{Ca} 63 \text{ Mg} 20 \text{ Na} 16}$ .

Из микроэлементов повышенные содержания были установлены для меди и хрома 2,53 и 1,6 мкг/л соответственно. Содержание меди превышало предельно-допустимые концентрации для объектов рыбохозяйственного назначения (2,53 ПДК).

Результаты исследования этого ручья, проведенные нами 20-21 сентября 2013 г представлены в таблицах 1.4, 1.5.

Таблица 1.4. Макрокомпонентный состав воды рч. Авкитский.

№ п/п	Параметр, мг/л	ХВ – 7 56°13,275', 109°50,609'	ХВ – 3 56°13,075', 109°52,056'
		У моста возле дороги к п. Перевал	В 50 м выше устья
1	Дебит, л/с	9	9
2	Общая минерализация	102,88	134,55
3	рН	7,87	7,7
4	Na+K	3,87	8,55
5	Ca	20,04	21,04
6	Mg	1,22	3,04
7	HCO <sub>3</sub>	54,92	76,27
8	SO <sub>4</sub>	9,54	12,90
9	Cl	5,67	4,96
10	NO <sub>3</sub>	0,93	1,04

Таблица 1.5. Микроэлементный состав воды ручья Авкитский

№ п/п	Химический элемент, мкг/л	ХВ – 7 56°13,275', 109°50,609'	ХВ – 3 56°13,075', 109°52,056'
		Верхустье ручья, у моста возле дороги к п. Перевал	Нижняя часть ручья, в 50 м выше устья
1	Cr	0.2509	0.2589
2	Mn	4.0405	12.2713
3	Fe	46.0248	14.9031
4	Co	0.0715	0.1710
5	Ni	1.1920	2.0947
6	Cu	2.1856	11.5946
7	Zn	70.1749	354.4906

8	As	0.2809	3.0485
9	Cd	0.0942	0.1732
10	Ta	0.0013	0.00001
11	Pb	0.2848	0.1247

Дебит ручья значительно ниже, чем был в 2007 г, он не меняется по стоку, что может указывать на слабый поверхностный сток с водосборной площади в момент исследования. Тем не менее, в микроэлементном составе по стоку ручья имеются различия, связанные, вероятно с влиянием отвалов горных пород штолен. В приустьевой части ручья содержания марганца, кобальта, никеля, меди, мышьяка превышают их концентрацию в верхней части ручья, в воде ручья обнаружены значительные содержания цинка.

**Геологическое строение.** Наиболее крупной разрывной структурой района является Холоднинский разлом. Этот разлом наиболее глубинный и протяженный, зона разлома представлена серией параллельных кулисообразных и ветвящихся сместителей, разделяющих блоки интенсивно дислоцированных и милонитизированных пород. На месторождении разлом ограничивает с юга блок пород авкитской свиты, подстилающих рудовмещающую толщу. С северо-запада этот блок ограничивается Авкитским разломом. Авкитский разлом прослеживается вдоль юго-восточного фланга рудного поля, являясь южным ограничителем продуктивной толщи пород ондонской свиты.

Авкитский разлом, также как и расположенные севернее от него, Центральный и Тыйский, представляет собой структуру второго порядка по отношению к Холоднинскому глубинному разлому. Он отходит от Холоднинского разлома в месте локального изгиба его простирания с северо-восточного (район рек Холодная – Гасан-Дякит) на восток-северо-восточное, оперяя его в плане, и прослеживается далее на юго-запад до сочленения с Тья-Мамским разломом. Разлом представляет собой крупную структуру глубокого заложения со значительной амплитудой смещения. В центральной части рудного поля простирание разлома  $70-75^\circ$  на северо-восток и падение на северо-запад под углом  $70-75^\circ$ . На северо-восточном фланге рудного поля

он дугообразно изгибается к северу. Зона разлома имеет мощность 70-140 м и представлена серией субпараллельных сместителей с крутым падением на северо-запад, выполненных тектонической брекчией и глиной трения, разделяющих зажатые между ними блоки интенсивно дробленных и перемятых пород авкитской свиты (известняков, доломитов, гранат-кварцево-двуслюдяных сланцев и ортоамфиболитов).

Центральный разлом прослеживается через все рудное поле с юго-запада на северо-восток в его средней части, разделяя поля выходов пород верхней (кварцитовой) и нижней (черносланцевой) подсвит ондокской свиты. Он представлен широкой зоной интенсивного смятия, метаморфизма и метасоматоза, достигающей местами ширины 200-300 м. Простираение разлома северо-восточное  $60-70^\circ$ , падение крутое ( $70-80^\circ$ ) на северо-запад. В зоне разлома широкое развитие имеют метасоматиты, порфиروبластовые породы и прожилковая регенерированная галенит-сфалеритовая минерализация.

Тыйский разлом ограничивает рудное поле с северо-запада. По нему породы рудного поля, метаморфизованные в эпидот-амфиболитовой фации, контактируют со слабометаморфизованными черносланцевыми терригенно-карбонатными отложениями ондокской свиты. Повышенный метаморфизм блока пород рудного поля объясняется его межразломным положением и интенсивной дислоцированностью вблизи зоны Холоднинского глубинного разлома. Тыйский разлом имеет северо-восточное простираение, близкое к Авкитскому и Центральному разломам, но падает по геофизическим данным на юго-восток под углом  $75-90^\circ$ . мощность полосы интенсивного дробления и смятия пород в зоне разлома достигает 100м. Вдоль зоны разлома в Тыйской зоне пород ондокской свиты прослеживается серия интрузивных тел габбро-диабазов. На северо-восточном фланге рудного поля Тыйский разлом сближается с Авкитским и Центральным и причленяется к Холоднинскому глубинному разлому. На западе, на выклинивании рудного поля, отмеченные разломы также сливаются и продолжают в виде единой структуры на

сочленении с Тья-Мамским разломом.

Район Холоднинского месторождения сложен дислоцированными верхнепротерозойскими отложениями, которые по литологии, степени метаморфических преобразований и стратиграфическому положению могут быть разделены на три толщи. Первая из них представлена породами авкитской свиты и слагает юго-восточный фланг рудного поля, вторая – высокометаморфизованными отложениями ондокской свиты в пределах собственно Холоднинского рудного поля, ограниченного с севера Тыйским и с юга Авкитским разломами, третья – слабометаморфизованными породами ондокской свиты за Тыйским разломом.

**Руды месторождения.** Состав руд Холоднинского месторождения довольно прост. Из рудных минералов в них обнаружены пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, пирротин, блеклые руды, арсенопирит, гудмундит, сульфосоли свинца, ильменит, магнетит, рутил. Главные минералы руд, слагающие все известные на месторождении типы руд – пирит, сфалерит, галенит, в меньшей мере – халькопирит, пирротин. Нерудные представлены кварцем, графитом, мусковитом, карбонатами. В пирите обнаруживаются примеси мышьяка, свинца, цинка, меди, кобальта, марганца, никеля. В сфалерите присутствует железо, марганец, кадмий, галлий, серебро, цирконий. В галените из элементов примесей обнаружены серебро, таллий, теллур, сурьма, мышьяк, висмут, олово. Халькопирит содержит мышьяк, галлий, барий, серебро, кадмий, никель, кобальт, олово.

В 1976 г. на участке с близповерхностным залеганием руд были заложены штольни № 1 и № 2 на горизонтах с отметками +948 и +855 м на глубине 100-150 и 250 м от поверхности. Всего на горизонтах штолен пройдено в общей сложности 12,46 км подземных выработок, в т.ч. 1,46 км подходных стволов. Горные выработки дали важную геологическую информацию, т.к. вскрыли полный разрез продуктивного комплекса, зону водоносного Авкитского разлома и позволили изучить в комплексе с подземным бурением внутреннее строение, структуру и распределение

оруденения в общей зоне, залежах и рудных телах.

Штольни заложены на крутом правом склоне долины реки Холодная. В результате проходки штолен из недр на поверхность извлечено более 90 000 м<sup>3</sup> горных пород, которые складированы в двух отвалах.

Из штолен на поверхность склона поступают рудничные воды, которые поверхностным стоком попадают в реку Холодная. Часть штольневых вод формирует подземный сток.

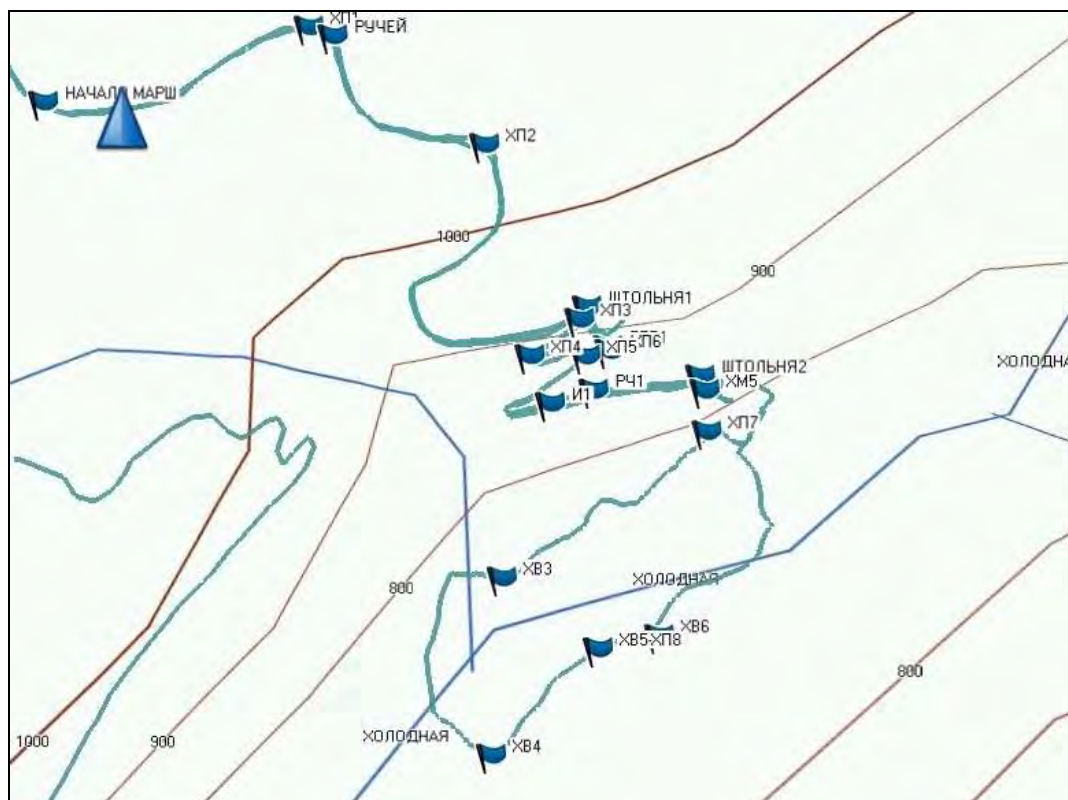


Рис. 1.17. Схема отбора проб почв, рудничных и поверхностных вод в пределах участка изысканий.

**Гидрогеологические условия** района сложные, на них большое влияние оказывает широкое распространение многолетнемёрзлых пород. Это обуславливает сокращение площади возможного обмена между водоносными горизонтами и приуроченности отдельных очагов разгрузки подземных вод к сквозным таликам (подрусловым, обводнённым зонам разломов). В районе повсеместно распространены слабоминерализованные воды, содержащиеся в хорошо промытых зонах трещиноватости древних кристаллических горных массивов. Глубина залегания 1-3 м. По составу они гидрокарбонатные, хлоридно-гидрокарбонатные различного катионного состава, в основном

магниевым и кальциевым, с минерализацией до 0.1г/л.

Водоносные комплексы и водоносные зоны имеют часто мозаичное распространение по площади в связи со сложным геолого-тектоническим строением, сильно расчленённым рельефом и неоднородным промерзанием.

На территории месторождения широкое распространение имеет водоносная зона гнейсо-мигматитовой формации архей-протерозойского возраста, которая приурочена к верхней трещиноватой зоне глубокоизменённых пород (гнейсов, амфиболитов, кристаллических сланцев, кварцитов, мраморов, сильнометаморфизованных песчаников) мощностью 30-100 м, а на участках повышенной тектонической нарушенности и в областях развития криолитозоны – 150-270 м. Водоносность пород формации пёстрая, но в целом невысокая, коэффициенты фильтрации колеблются от сотых долей до 10-15м/сут. Расходы скважин изменяются также от сотых долей до 3-4 л/с при понижении 1-70 м, при этом удельные дебиты скважин составляют тысячные и сотые доли литра в секунду. Наиболее часто встречаемые дебиты источников 0.01-1, реже до 3-5л/с. Минерализация вод небольшая – в основном около 0.1, иногда 0.3-0.5г/л. Воды гидрокарбонатные, сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые и натриевые.

Водоносные зоны глубинных тектонических разломов имеют большее распространение и значение, так как способствуют более интенсивному и сосредоточенному питанию и разгрузке вскрываемых водоносных пород, более активной взаимосвязи между подземными водами различных водоносных комплексов и зон трещиноватости. Воды встречаются на различных глубинах, местами до 1500 м и более. Тектонические зоны разломов, в отличие от верхней трещиноватой зоны различных пород, характеризуются повышенной водообильностью (дебиты источников от десятых долей до 25-100, реже до 250-400 л/с) и притоки в горные выработки здесь максимальны.

Минерализация вод разломов несколько выше и достигает 0.5-1г/л при гидрокарбонатном, сульфатно-гидрокарбонатном составе. К зонам разломов обычно приурочены многочисленные выходы минеральных вод: углекислых,

азотных и радоновых различного состава и минерализации

В соответствии с общепринятой схемой гидрогеологического районирования России площадь рудного поля Холоднинского месторождения находится в пределах Байкальской гидрогеологической складчатой области, которая характеризуется преобладанием трещинных и жильных вод, формирующихся в зоне экзогенной открытой трещиноватости и в тектонических разрывах в метаморфических породах архея, протерозоя и кембрия, а также в интрузивных породах протерозоя. Гидрогеологические условия осложняются пестрой и неравномерной водоносностью горных пород, резко расчлененным рельефом, широким распространением многолетнемерзлых пород разной мощности.

Основным типом подземных вод района являются трещинные и трещинно-жильные воды метаморфических пород верхнепротерозойского возраста. Водоносность кристаллических пород крайне неравномерна. При прочих равных условиях водоносность пород в зонах разрывных тектонических нарушений, как правило, на порядок выше, чем в аналогичных по составу и возрасту породах вне таких зон. Среди многочисленных разрывных тектонических нарушений района выделяются зоны главных (Холоднинского и Тыйского) разломов, второстепенные разломы типа Авкитского и подчиненные им более мелкие тектонические нарушения, зоны трещиноватости и неотектонические трещины.

Холоднинская зона разломов проходит вне пределов рудного поля по долине р. Холодной и представляет собой серию сближенных субпараллельных зон расланцевания, милонитизации и катаклаза, мощностью от 150 до 500 м. Трещиноватость этих зон хотя и интенсивная, но основная часть трещин залечена на изучавшихся участках продуктами динамометаморфизма и гидротермальной деятельности. Вследствие этого в Холоднинской зоне разломов не могут аккумулироваться значимые естественные запасы подземных трещинных вод.

Тыйский разлом прослеживается вдоль СЗ границы рудного поля, в 1,5-2,0 км от разведанной Первой рудной зоны месторождения. Прямого обводняющего влияния на месторождение этот разлом не оказывает. Между Тыйским разломом и Первой рудной зоной располагается Центральный разлом – древняя, давно консолидированная и не испытывавшая активизации структура второстепенного значения. Она разделяет продуктивный комплекс Холоднинского рудного поля на два блока – южный, где находится объект разведки и будущей разработки, и северный, примыкающий к Тыйскому разлому. Центральный разлом выделяется при вскрытии разреза метаморфизованных пород картировочными скважинами в виде линейных СВ простирания зон мусковитизации, кварцево-дистеновых и кварцевых жил, габбро-диабазовых тел довыренского интрузивного комплекса. Открытая трещиноватость развита локально в приповерхностной зоне, значимых водопроявлений в скважинах, вскрывших зону разлома, не отмечается (дебит скв. ГС-4 составил 0,52 л/с при понижении 21,1 м).

К системе Тыйских разломов отнесен Авкитский разлом, прослеженный в процессе разведочных работ вдоль ЮВ границы Первой рудной зоны на всем ее протяжении. Разлом водоносен и через подчиненные ему продольные тектонические нарушения более высоких порядков определяет обводненность месторождения. Плоскость его круто падает в южные румбы в противоположность СВ падению продуктивной зоны.

Основным источником питания подземных вод всех типов в районе являются атмосферные осадки (700-800 мм/год), 80-90 % которых выпадает в теплый период года (преимущественно в июле-августе). Величина коэффициента инфильтрации атмосферных осадков считается гидрогеологами приближенно равной 30 %. Однако, если принять во внимание многолетнюю мерзлоту, расчлененный рельеф, значительные уклоны земной поверхности, а также высокие испарение и транспирацию в летний период, эту величину инфильтрации можно считать завышенной. Значительно меньшую роль в питании подземных вод играют поверхностные воды горных рек и ручьев, ха-



рактизирующихся в большинстве значительными уклонами продольного профиля долин (до 0,15-0,20) и высокими скоростями движения воды, вследствие чего лишь незначительная часть поверхностного стока пополняет ресурсы трещинных подземных вод. Так, в скважинах ГС-5 и ГС-18, пробуренных близ русла ручей Авкит, подземные воды были встречены на глубинах 90-95 м ниже отметок поверхностного стока, что говорит об отсутствии здесь гидравлической связи поверхностных вод с подземными. Способствует этому, в том числе, и многолетняя мерзлота. В районе месторождения она развита практически повсеместно, но мощность ее даже на небольших площадях меняется от первых метров до десятков метров. На отдельных участках в руслах рек Тыи, Холодной, Ондоко многолетняя мерзлота отсутствует. Максимальная мощность (до 250 м) многолетнемерзлых пород в районе установлена на Довыренском массиве, а в пределах Холоднинского месторождения составляет 71 м (скв. 104, 51).

По типу коллекторского пространства и особенностям формирования и распространения в пределах Холоднинского месторождения выделяются следующие гидрогеологические подразделения:

- а) водоносный аллювиальный четвертичный горизонт;
- б) водоносный покровный четвертичный горизонт;
- в) водоносная зона экзогенной трещиноватости;
- г) водоносная зона тектонической трещиноватости.

Водоносный аллювиальный четвертичный горизонт содержит скопления поровых грунтовых вод, распространенных в аллювиальных отложениях долины р. Тыи, где мощность водонасыщенных пород достигает 30 м, ширина полосы распространения речных отложений более 300 м. Аллювиальные отложения р. Тыи характеризуются пестротой литологического состава, невыдержанностью по мощности и простираию. Отдельные слои и линзы проницаемых отложений гидравлически взаимосвязаны, поэтому весь водонасыщенный аллювий реки рассматривается в виде единого водоносного горизонта. Наиболее полно водоносность этого горизонта оценена на профиле

54, где был разбурен створ из 5 гидрогеологических скважин. Данные откачек из скважин свидетельствуют о значительных различиях водоносности и фильтрационных свойств разреза аллювиальных отложений: дебит скважин изменяется от 1,5 л/с при понижении 8,5 м до 4,4 л/с при понижении 0,8 м, а коэффициент водопроницаемости от 25-58 до 1160 м<sup>2</sup>/сут. Наибольшая водоносность присуща хорошо промытым гравийно-галечным отложениям, коэффициент фильтрации которых составляет 77 м/сут (скв. ГС-9).

В аллювиальных отложениях долины р. Холодной грунтовые воды развиты в пределах узкой прибрежной полосы, мощность водонасыщенного слоя не превышает 10 м. Оцененный участок по водоносности и фильтрационным свойствам аллювия практического промышленного интереса не представляет.

Подземные воды аллювиальных отложений имеют несколько более высокую минерализацию, чем поверхностные воды, изменяющуюся от 0,2 до 0,3 г/дм<sup>3</sup>. По химическому составу воды гидрокарбонатные или сульфатно-гидрокарбонатные магниевые-кальциевые или кальциевые-натриевые. Качество вод аллювиального горизонта соответствует питьевым и рыбохозяйственным нормативам.

Подземные воды аллювиальных отложений обладают самыми высокими фильтрационными параметрами и ресурсами в районе месторождения, однако они не влияют на его обводненность и не принимают участия в формировании водопритоков в подземные выработки.

Водоносный покровный четвертичный горизонт развит в ледниковых, водно-ледниковых и делювиально-пролювиальных отложениях, широко распространенных в пределах рудного поля и, в том числе, на ЮЗ фланге Первой рудной зоны. По условиям залегания подземные воды почти повсеместно относятся к надмерзлотным. Глубина сезонного протаивания, в зависимости от интенсивности растительного покрова, экспозиции склонов, гранулометрического состава и влажности грунтов изменяется от нескольких десятков сантиметров до 2,5-3 м. В этом маломощном "деятельном" слое и заключена

значительная доля надмерзлотных вод рыхлых покровных отложений. Дебит родников надмерзлотных вод не превышает 1 л/с, составляя преимущественно 0,1-0,2 л/с. На тех участках, где мощность водно-ледниковых отложений превышает мощность многолетней мерзлоты, развиты подмерзлотные грунтовые воды. Водоносность и фильтрационные свойства покровных водно-ледниковых отложений изучены по двум скважинам: дебит скв. ГС-17 составил 0,54 л/с, при понижении 11,3 м (коэфф. фильтрации 0,55 м/сут), а дебит скв. ГС-19 – 0,012 л/с, при понижении 1,9 м (коэфф. фильтрации 0,08 м/сутки). Из-за ограниченных естественных ресурсов и короткого периода нахождения в жидкой фазе, грунтовые воды рыхлых покровных отложений не вызовут серьезных затруднений в случае сокращения многолетней мерзлоты в период эксплуатации месторождения. В период строительства и эксплуатации шахты подземные воды деятельного слоя могут быть отведены самотеком в р. Холодную.

Минерализация грунтовых надмерзлотных вод покровного горизонта колеблется от 0,06 до 0,2 г/дм<sup>3</sup>, по химическому составу воды хлоридно- или сульфатно-гидрокарбонатные. Качество подземных вод соответствует питьевым и рыбохозяйственным нормам и препятствий для их сброса в гидрографическую сеть не имеется.

Основными типами подземных вод, участвующими в обводнении месторождения, являются грунтово-трещинные и карстово-трещинные воды вмещающих пород и руд, образующие водоносную зону *экзогенной трещиноватости*, а также трещинно-жильные воды водоносных зон *тектонической трещиноватости* в зонах разрывных нарушений.

Среди коренных образований наиболее водообильны карбонатные породы, характеризующиеся скоплениями карстово-трещинных вод. Удельный дебит скважин, опробовавших известняки, достигает 1,83 л/с, а коэффициент водопроницаемости составляет 260-400 м<sup>2</sup>/сутки.

Однако роль карстово-трещинных вод в формировании водопритоков невелика, так как в пределах месторождения невелико количество карбонатных разновидностей пород.

Выше отмечалось, что мелкая региональная трещиноватость присуща высоко литифицированным породам месторождения, но ее влияние на гидрогеологические условия месторождения ограничивается глубинами 120-150 м, так как ниже этих глубин проницаемость открытых трещин резко снижается и здесь породы и руды относятся к практически безводным.

Результаты опробования скважин свидетельствуют, что повсеместно силикатные ненарушенные породы в контуре месторождения характеризуются слабой водоносностью и низкими фильтрационными свойствами; удельный дебит скважин не превышает 0,02-0,03 л/с, а коэффициент водопроницаемости обычно изменяется от 2 до 10 м<sup>2</sup>/сутки.

Рассмотрение гистограмм геофильтрационных показателей показывает, что в трещиноватых сланцах существуют по меньшей мере два типа проницаемости: первый, нормальный, представлен большинством в общем низких значений; второй, аномальный, образован единичными аномально высокими значениями. Эта закономерность проявляется вне зависимости от глубины изучения пород.

Вероятно, первому типу проницаемости соответствует экзогенная трещиноватость, затухающая с глубиной, тогда как второй тип проницаемости связан с тектонической трещиноватостью, значения проницаемости которой являются аномальными по отношению к значениям экзогенной трещиноватости. Наличие двух типов проницаемости представляет существенную сложность для выбора и обоснования расчетных геофильтрационных параметров с целью оценки водопритоков.

Характеризуя геофильтрационные свойства пород месторождения, необходимо отметить существенные различия между рудами и вмещающими сланцевыми породами. Силикатные метаморфические породы характеризуются более однородной и низкой водопроницаемостью, чем руда, отличаю-

шаяся широким разбросом значений и аномалиями этого показателя. Вероятно, это объясняется различиями в гранулометрическом составе сланцев и руд, а также тем, что сульфидные минералы руд более доступны для выветривания, чем силикаты.

Главная роль в обводненности месторождения принадлежит тектонической зоне Авкитского разлома (водоприток до 100 л/с) с карстовыми полостями и каналами в карбонатных породах. Оценка обводненности Авкитского разлома и сближенных с ним на СВ фланге Первой рудной зоны более мелких субширотных тектонических нарушений висячего и лежачего контактов сульфидной залежи дана по замерам водопритока в разведочные штольни 1 и 2. Так, при проходке шт. 1 до отметки 186 м, горной выработкой вскрывались сухие породы, первые признаки водопроявлений (незначительный, прерывистый капез) появились в интервале 186-290 м. На отметке 327 м встречена первая обводненная тектоническая трещина, приток из которой составил 10 л/с. В интервале 361-403 м штольной пересечена шовная зона Авкитского разлома, приток из которого по мере проходки и вскрытия отдельных водопроявляющих трещин изменялся от 47 до 102 л/с (максимальный зарегистрированный водоприток). Через 120 суток после начала вскрытия Авкитского разлома произошла сработка емкостных запасов и водоприток из Авкитского разлома стабилизировался на уровне 40 л/с. После пересечения Авкитского разлома штольня снова вошла в практически необводненные породы и руды и до забоя (859 м) в висячем боку рудного разреза лишь на отдельных интервалах отмечался незначительный прерывистый, местами струйный капез.

*Рудничные воды.* Устья штолен, после завершения разведочных работ не затампонированы, из них происходит разгрузка рудничных вод. Ручей из штольни № 1 переводится в грунтовый сток в пределах расположения отвалов из штольни. Ручей из штольни № 2 огибает отвалы пород и впадает в реку Холодная. Часть поверхностного стока переводиться в грунтовый сток на пути движения к реке.

Таблица 1.6. Основные гидрогеолого-геохимические параметры рудничных вод, (опробование 21.04.2007, 12.09.2007 и 19.09.2013 гг)

№ пр.	Место отбора пробы, координаты	Породы	Дебит	Температура	pH	Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	
191	Рудничные воды из штольни № 1 N 56°13.483' E 109°52.196'	Метаморфические сланцы, кварциты, карбонаты	опробование 21.04.2007				
			0,3 л/сек	2,1°С	7,2	821,21	
			опробование 12.09.2007				
w-1			5 л/сек	0,8°С	7.1		
xв-1			опробование 19.09.2013				
			1,3 л/сек	3,9°С	7,24	736,0	
192	Рудничные воды из штольни № 2 N 56°13.352' E 109°52.527'	Метаморфические сланцы, известняки	опробование 21.04.2007				
			50 л/сек	4,1°С	7,1	477,99	
			опробование 12.09.2007				
w-2			110 л/сек	1,9°С	7.07		
xв-2			опробование 19.09.2013				
			30 л/сек	5,6°С	7,15	485,0	

Рудничные воды обогащены рядом рудных элементов, наиболее высокими содержаниями характеризуются цинк, железо, марганец, стронций, кадмий (Плюсин, 2007).

В штольнях происходит окисление сульфидной минерализации. Соответственно в рудничных водах фиксируется содержание сульфата значительно превышающие его концентрацию в природных объектах - в штольне № 1 - 499 мг/л, в штольне № 2 - 141 мг/л. Воды, изливающиеся из штольни № 1, обладают сульфатной и углекислотной агрессивностью по отношению к бетону. В рудничных водах отмечается повышенное содержание железа 1,74 и 1,84 мг/л, на выходе из штолен и по течению ручьев отмечается значительные количества отложений гидроокислов железа рыжего цвета.

*Микроэлементный состав.* Микроэлементный состав вод в значительной мере зависит от геохимической специализации пород, с которыми взаимодействуют воды. При этом наибольшее влияние на состав вод оказывают породы, которые находятся в открытых разрывных нарушениях, где происходит наиболее интенсивное взаимодействие воды с горной породой (Плюсин, Гунин, 2001).

Известно, что формирование минерализации Холоднинского месторождения происходило в несколько этапов, на протяжении длительного времени и захватило значительную по площади территорию (Дистанов и др.,

1982). При этом разноориентированные разломы обогащались различным комплексом тяжелых металлов. В настоящее время в сложившихся неотектонических условиях в геохимическом облике вод отражается не тот комплекс химических элементов, который составляет руду, а тот который доступен инфильтрующимся водам.

Микроэлементный состав рудничных вод отражает набор микроэлементов, который характерен для руды.

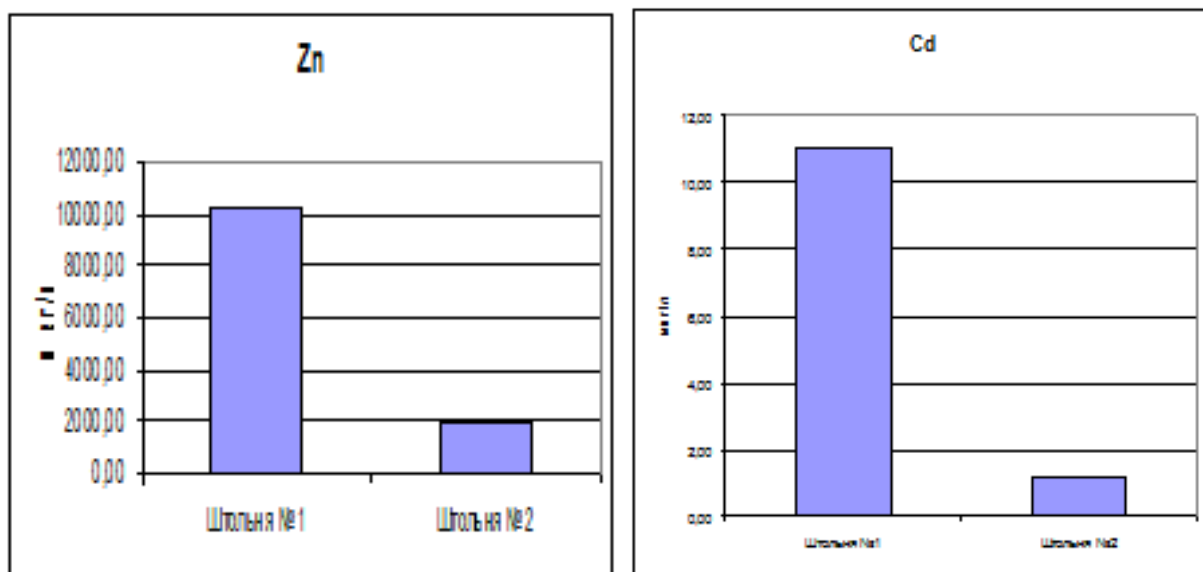


Рис. 1.18. Содержание цинка и кадмия в рудничных водах Холоднинского месторождения (апрель, 2007)

Рудничные воды содержат значительно более высокие концентрации цинка и кадмия, чем природные водопункты. В рудничных водах содержание свинца повышенное, но в реке Холодной его потоки рассеяния не фиксируются.

Хотя марганец, стронций и литий обладают различными химическими свойствами, рассмотрим их поведение вместе, так как их наиболее высокие содержания связаны с воздействием горных работ. Марганец отмечается в повышенной концентрации в рудничных водах, но в принимающих его водном объекте – реке Холодной его концентрация низкая, что объясняется его способностью образовывать труднорастворимые гидроксильные соединения. Его воздействие на природные водные объекты будет ограничиваться короткими потоками рассеяния.

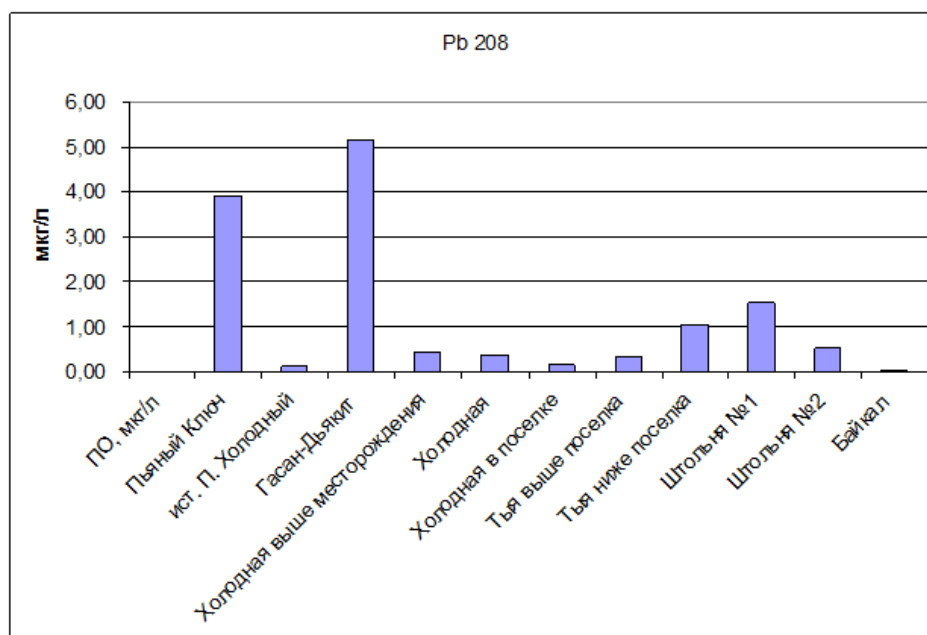
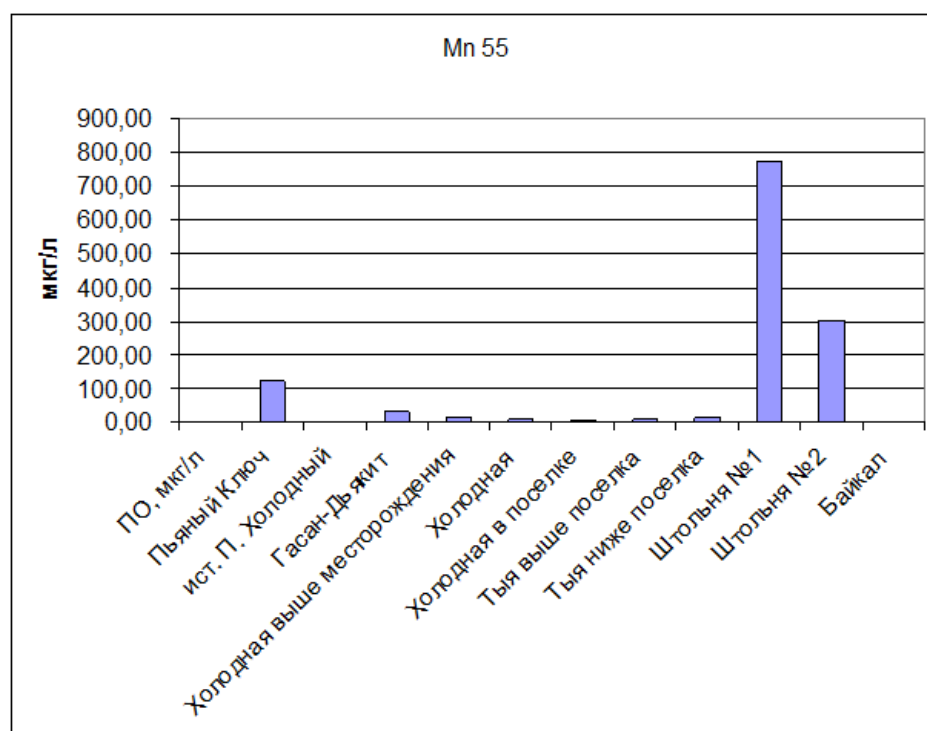


Рис. 1.19. Содержание свинца в водопунктах бассейна р. Холодная (апрель, 2007)

Содержание стронция и лития не высоки, они сопоставимы с региональным фоном. Но их поступление в раствор также связано, в основном, с горнорудным производством, это хорошие водные мигранты и могут удаляться на значительные расстояния от источника. Необходим контроль их содержания в принимающих стоки водных объектах.





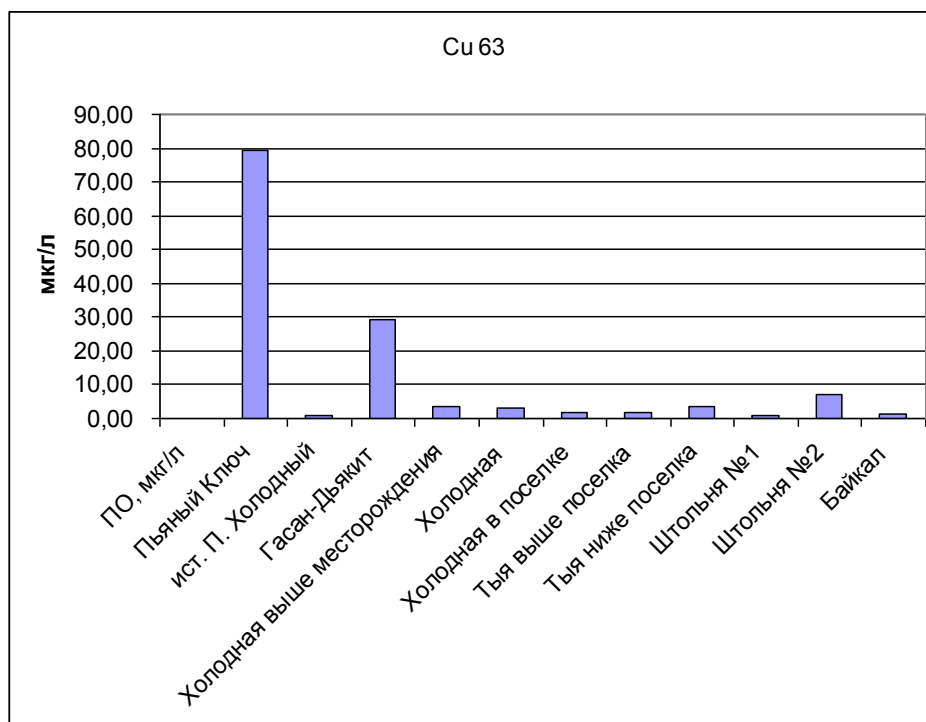


Рис. 1.20. Содержание марганца и меди в исследованных водных объектах (апрель, 2007)

Поступление меди в водные объекты связано в настоящее время с протеканием природных процессов. Значительно более высокие ее концентрации обнаруживаются в трещинно-жильных водах, нежели в рудничных водах. Основные водотоки района – рр. Холодная и Тья содержат ее в концентрациях сопоставимых с водой оз. Байкал.

Содержание основных загрязнителей, поступающих с рудничными водами, по данным опробования 19.09.2013 г, приведены в таблице 1.7.

Таблица 1.7. Содержание токсичных элементов в рудничных водах, вытекающих из разведочных штолен Холоднинского месторождения (мкг/ дм<sup>3</sup>)

Определяемый параметр	Ручей на выходе из штольни № 1	Ручей на выходе из штольни № 2	Ручей из штольни № 2, устье	ПДК в сточных водах в притоки оз. Байкал в центральной зоне	ПДК водных объектов рыбохоз. назначения.
Дебит, л/сек	1,3	30,0	7,0		
Li	4,91	2,24	2,24		
Sr	501,44	626,37	601,25		
Cr	0,094	0,067	0,058	8	90
Mn	969,79	366,70	835,31		10
Fe	1420,06	1040,36	1094,07	200	100
Co	18,39	4,02	3,81		10
Ni	29,39	9,52	10,90	8	10
Cu	11,44	11,32	2,25	8	1
Zn	21104,09	3198,05	5994,42		10

As	0,227	1,597	1,359	
Cd	9,15	1,25	1,90	0,5
Ta	0,001	0,0003	0,0005	
Pb	0,238	0,11	0,161	6

На пути движения рудничных вод к реке Холодная происходит отложение взвешенных веществ, которые формируют донные отложения коричневого цвета. Нами отобраны и проанализированы эти донные отложения, результаты анализа приведены в таблице 1.8.

Таблица 1.8. Химический состав донных отложений в ручьях, вытекающих из штолен, %.

Химические соединения	Донные отложения в ручье, вытекающем из штольни № 1, хд-1	Донные отложения в ручье, вытекающем из штольни № 2, хд-2	Донные отложения в устье ручья из штольни № 2, хд-5в
SiO <sub>2</sub>	31,16	12,55	12,98
TiO <sub>2</sub>	0,413	0,105	0,144
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,1	1,68	3,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ.	26,92	34,72	23,9
MnO	0,409	3,974	1,126
MgO	2,04	1,142	0,797
CaO	1,708	2,637	2,135
Na <sub>2</sub> O	1,15	2,07	4,26
K <sub>2</sub> O	1,314	0,336	0,269
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,123	0,046	0,088
п.п.п.	20,29	22,43	27,81
сумма	94,627	81,69	76,609
V	0,0085	0,0028	0,0034
Cr	0,0079	0,0030	0,0036
Ni	0,0023	0,0044	0,0041
Cu	0,0091	0,0091	0,0050
Zn	2,13	7,77	19,15
As	0,0050	0,0238	0,0108
Pb	0,2182	0,0877	0,0282
Ba	0,0870	0,230	0,0869
Cd	0,0040	0,0053	0,0075
SO <sub>3</sub>	2,95	0,7	0,4
Cl	0,2	0,1	0,1
Hg (мг/кг)	0,866	0,524	0,096

Как видно из приведенных данных, донные отложения в значительной степени представлены окислами и гидроокислами железа и марганца, частично они состоят, вероятно, из сульфатных и карбонатных солей тяжелых металлов. В осадках выявлены значительные количества цинка, кадмия, ртути и др. токсичных элементов. Донные отложения представляют

опасность для окружающих ландшафтов, они подлежат рекультивации.

***Обследование участка размещения отвалов из штолен.***

Забой штолен начат с крутого склона долины р.Холодная. Устье первой штольни забито в скальное обнажение сланцев. Перед штольней имеется выровненная площадка  $80 \times 80$  м. Отвалы горных пород из штольни насыпаны в виде трех ступеней и занимают площадь  $140 \times 58$  м. Общий объем извлеченных из недр пород составляет  $\sim 60000$  м<sup>3</sup>.



Рис. 1.21. Устье штольни № 1.

Устье второй штольни забито в обнажении известняков высотой около 40 м и шириной около 100 м. Перед штольней имеется площадка  $50 \times 100$  м частично заваленная отвалами горных пород из штольни. На площадке сохранился остов здания из бетона размером  $25 \times 10$  м.

Отвалы пород из штольни имеет сложное строение, с несколькими языками сползания. Выделяются два яруса отвалов насыпанных на площади  $90 \times 50$  м. Общий объем горных пород в отвале составляет  $\sim 30000$  м<sup>3</sup>.

Залегающие в отвалах горные породы обогащены рудной минерализацией, которая под воздействием экзогенных процессов разрушается с образованием гипергенных минералов. Эти минералы фиксируются на всей площа-

ди отвалов в виде белых, желтых и коричневых образований.

Наибольшие по размерам белые образования зафиксированы нами в откосе отвалов первой штольни (рис. 1.22). Они образуют массивные натечные формы и осыпаются вниз по откосу. Химический анализ этих образований показал присутствие сульфатов магния, цинка кобальта. Рентгено-структурный анализ позволил выявить присутствие старкиита, госларита, эпоуита.

Желтые образования обнаружены нами на нижней поверхности камней во многих местах отвалов. Они образуют пористые натечи толщиной 2-3 мм. Встречаются ажурные кристаллические образования. Химический анализ отложений позволил установить присутствие кальция, магния, железа, марганца, серы, мышьяка. Рентгено-структурный анализ выявил копианит – Mg, пиккерингит, голотрихит, брайдтит.



Рис. 1.22. Гипергенные образования в отвалах первой штольни.

Коричневые гипергенные образования обнаружены на удалении 10 м вниз по склону от отвалов штольни № 2. Они образуют пятна размером 20-30 см на поверхности торфа. Их образование, вероятно, связано с потоком грунтовых вод от отвалов к р.Холодной и концентрированием путем испарения капиллярных вод из торфов. Химический анализ этих образований показал присутствие сульфат-иона, кальция, магния, цинка, кобальта. Рент-

геноструктурный анализ позволил выявить присутствие гипса, старкиита, госселарита, эплоуита.

Таким образом, установленные гипергенные образования позволяют утверждать, что отвалы горных пород, складированные возле штолен № 1 и № 2, подвергаются экзогенным преобразованиям и являются источником загрязнения поверхностных и подземных вод в этом месте. В миграцию вовлечены такие токсичные элементы как цинк, кобальт, мышьяк, марганец, железо. Количественно объем загрязнителей, поступающих в растворимой форме в природную среду, оценить можно, но для этого необходимо проведение дополнительных исследований отвалов с целью определения минерального состава отложений, их проницаемости для атмосферных осадков и создание численной модели протекающих процессов (Плюснин, Гунин, 2001).

Вытекающая из штольни № 1 вода накапливается перед отвалами пород в виде пруда 10×17 м и глубиной до 1 м. Поверхностного стока из этого пруда не обнаружено, вода постепенно просачивается под отвалы горных пород и далее фильтруется грунтовым потоком в сторону реки.

Вода, вытекающая из штольни № 2, образует поверхностный сток в виде ручья достигающего реки. Загрязнение окружающей штольни территории происходило во время проходки штолен и при хранении отвалов.

Изучено загрязнение почв под воздействием техногенных процессов протекающих на площадке хранения отвалов горных пород штолен. Отобрано и проанализировано на широкий круг элементов 8 проб почв. Результаты анализа представлены в таблицах.

По макро компонентному химическому составу почвы соответствуют распространенным в районе сланцам. Микроэлементный состав почв указывает на их загрязнение в районе штолен и отвалов горных пород. Наблюдается перемещение загрязнения вниз по склону до берега реки Холодная.

Таблица 1.9. Физико-геологическая характеристика мест отбора почвогрунтов

№ п/п	Номер пробы	Координаты	Абсолютная высота, м	Описание места отбора
1	Хп-1	N 56°13,859 E 109°51,481	1085	На плоском водоразделе, вблизи склона к р.Холодная. Породы ледникового генезиса, несортированные песчано-галечниковые отложения с валунами, мощностью 4-5 м.
2	Хп-2	N 56°13,689 E 109°51,978	1031	В верхней части крутого склона, ледниковые отложения мощностью 2 м.
3	Хп-3	N 56°13,859 E 109°52,231	935	В 40 м от устья штольни, делювиальные отложения представленные сланцами с песчаным заполнителем
4	Хп-4	N 56°13,372 E 109°52,107	931	В южной части участка за пределами воздействия отвалов горных пород штольни № 1. Песчаный материал среди крупных глыб слабо окатанных известняков и сланцев.
5	Хп-5	N 56°13,376 E 109°52,244	912	Отобраны под отвалами горных пород из штольни № 1. Торф. На растительности местами видны выцветы солей белого цвета. Опробованы песчано-глинистые образования под торфом в 5 м от отвалов
6	Хп-6	N 56°13,388 E 109°52,305	912	Отобрана под отвалами горных пород из штольни № 1, мощность торфа более 30 см. Отобраны песчано-глинистые образования под торфом в 50 м от отвалов вниз по склону.
7	Хп-7	N 56°13,264 E 109°52,223	823	Проба отобрана ниже отвалов горных пород из штольни №2. Место отбора представляет собой местную возвышенность, слева от ручья из штольни. Сложена крупноглыбовым материалом, заросшим кустарниковой и травянистой растительностью
8	Хп-8	N 56°12,995 E 109°52,251	762	Проба отобрана на берегу реки Холодная в месте впадения в нее ручья из штольни № 2. Почвы залегают на аллювиальных отложениях реки.

Таблица 1.10. Химический состав почвогрунтов на территории хранения отвалов горных пород из разведочных штолен, %

Химический элемент	Хп-1	Хп-2	Хп-3	Хп-4	Хп-5	Хп-6	Хп-7	Хп-8
SiO <sub>2</sub>	65,45	51,83	56,8	54,3	50,8	59,82	62,08	52,08
TiO <sub>2</sub>	0,81	0,98	0,787	0,82	0,686	0,803	0,975	0,945
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,32	17,19	12,51	12,24	10,02	11,17	12,47	11,94
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ.	5,54	10,81	6,89	6,99	5,65	6,07	7,71	7,42
MnO	0,085	0,115	0,122	0,126	0,122	0,123	0,07	0,16
MgO	2,13	4,121	4,521	3,242	6,423	6,925	2,914	3,131
CaO	3,299	2,974	2,668	3,054	5,49	3,439	2,581	4,096
Na <sub>2</sub> O	2,29	1,22	1,52	1,58	1,82	1,94	1,64	1,98
K <sub>2</sub> O	1,999	2,011	2,174	1,984	1,664	1,808	2,028	1,751

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,146	0,129	0,211	0,102	0,162	0,107	0,064	0,178
п.п.п.	5,77	8,37	11,62	15,37	17,03	7,49	7,3	16,05
сумма	99,839	99,75	99,823	99,808	99,867	99,695	99,832	99,731
V	0.0104	0.0159	0.0077	0.0103	0.0074	0.0079	0.0122	0.0121
Cr	0.0079	0.0235	0.0087	0.0088	0.0078	0.0075	0.0091	0.0105
Ni	0.0033	0.0118	0.0097	0.0061	0.0059	0.0049	0.0035	0.0057
Cu	0.0087	0.0078	0.062	0.0074	0.0053	0.0036	0.0020	0.0052
Zn	0.0247	0.2275	0.1697	0.0215	0.4243	0.5041	0.0086	0.1458
As	0.0006	0.0006	0.0007	0.0007	0.0006	0.0005	0.0006	0.0006
Pb	0.0037	0.0065	0.0345	0.0052	0.0026	0.0018	0.0020	0.0034
Ba	0.0688	0.129	0.0663	0.0705	0.0526	0.0539	0.0580	0.0698
Cd	0.000037	0.000092	0.000705	0.000073	0.000826	0.000523	0.000014	0.000271
Hg, мг/кг	0,023	0,020	0,384	0,069	0,056	0,017	0,018	0,075

### ***Инженерно-геологические условия***

По уровню сейсмической активности в целом район относится к зоне Байкальского рифта с максимальной сейсмической активностью (Солоненко, 1977). Байкальский регион относится к зоне интенсивных и частых землетрясений силой до 8-10 баллов и выше. Сейсмоактивными являются глубинные разломы, геоморфологически выраженные границами между впадинами и их горным обрамлением. Особо сейсмоопасными являются зарождающиеся и эмбриональные формы межгорных впадин, развивающиеся на склонах хребтов.

Территория Холоднинского месторождения относится к району с интенсивностью землетрясений в 8 баллов. На участках мощной многолетней мерзлоты восьмибалльное землетрясение может вызвать деформации сооружений, соответствующих девятибалльному землетрясению и выше.

В период землетрясений в горах активизируются обвалы, осыпи, оползни, отмечаются сходы лавин и др.

### ***Характеристика опасных экзогенных процессов***

В районе Холоднинского месторождения активно развиты как эндогенные, так и экзогенные геологические процессы. Сложные геолого-структурные, геоморфологические, геокриологические, особые климатические условия определяют широкое распространение потенциально опасных экзогенных процессов, такие как: обвалы, осыпи, курумы, криогенные процессы

(термокарст, солифлюкция, морозное растрескивание и пучение, наледи, кумы, оползни и др.).

## **2. ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ШТОЛЬНЕВЫХ И РУДНИЧНЫХ ВОД, ПРИВОДЯЩИХ К МИНИМИЗАЦИИ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ**

Очистка загрязненных вод традиционными методами относится к дорогостоящим мероприятиям. Анализ состояния окружающей среды в районе Холоднинского месторождения свидетельствует о необходимости разработки и внедрения инженерных методов защиты водных экосистем для минимизации негативного воздействия рудничных вод из разведочных штолен на окружающую среду, близ озера Байкал. В последние годы в ряде стран начаты разработки новой технологии - создания искусственных геохимических барьеров (в иностранной литературе - "permeable reactive barriers"). Учение о геохимических барьерах было разработано российским профессором Перельманом А.И.. Согласно Перельману А.И. техногенный геохимический барьер – это участок, где происходит резкое уменьшение интенсивности техногенной миграции и, как следствие, концентрирование элементов и соединений (Максимович Н. Г., Хайрулина Е. А., 2008).

Геохимические барьеры могут применяться для решения различных задач:

- устройства антифильтрационных экранов;
- фильтрации растворов через барьер с осаждением загрязняющих веществ;
- добавления вещества барьеров в раствор (в природные водоемы, хвостохранилища, отстойники и т.д.).

В ряде случаев геохимические техногенные барьеры создаются целенаправленно на пути движения техногенных потоков для локализации загрязнения. Отличительной особенностью техногенных барьеров является возможность аккумуляции техногенных веществ, не встречающихся в природ-



ных условиях, таких как, нефтепродукты, полиароматические углеводороды, пестициды и др. Концентрации веществ имеющих природные аналоги на техногенных барьерах в ряде случаев значительно выше, чем на природных. Техногенные барьеры все чаще используются для охраны окружающей среды. В настоящее время, изученность техногенных геохимических барьеров значительно хуже, чем природных, не существует их единой классификации. Накопленный опыт показывает, что среди всего разнообразия техногенных геохимических барьеров, применяемых для решения экологических проблем, можно выделить разновидности, в которых стихийно или целенаправленно используются естественные барьерные свойства природной среды и искусственные, созданные по специальным технологиям.

### **Барьеры, использующие естественные свойства природной среды.**

В ходе хозяйственной деятельности человека нередко происходит бесконтрольное загрязнение окружающей среды. В ряде случаев особенности почв, грунтов, поверхностных и подземных вод, рельефа и др. являются причиной формирования геохимических барьеров на пути миграции загрязнителей. В этом случае можно говорить о стихийно образовавшихся барьерах. Наиболее распространенными барьерами являются почвы и глинистые грунты, задерживающие многие виды загрязнителей, карбонатные породы и присущие им воды, выполняющие роль щелочного геохимического барьера. Барьерные свойства природной среды могут целенаправленно использоваться для снижения интенсивности миграции загрязнителей. Для этого существуют специальные технологии и приемы (Лукашев В.К., 1987, Максимович Н. Г., 2007).

**Стихийно образовавшиеся геохимические барьеры на пути загрязнителей.** Известны случаи нейтрализации кислых растворов при взаимодействии с породами, при этом возникает стихийный щелочной барьер. Стихийно образовавшиеся техногенные щелочные геохимические барьеры были исследованы на территории Кизеловского угольного бассейна (Пермский край), где в гидрографическую сеть сбрасывались кислые шахтные воды шахты Нагорная. Шахта Нагорная на протяжении длительного периода сбрасывала

сывала в р. Каменку (притока р. Берестянка) кислые (рН 2-3) минерализованные (2-3 г/л) воды, содержащие  $\text{SO}_4$  – 1.92 г/л,  $\text{Fe}_{\text{общ}}$  – 0.32 г/л,  $\text{Al}$  – 0.14 г/л. Выше сброса воды рек Каменки и Берестянки характеризуются типичными для всего района гидрокарбонатно-сульфатным кальциевым составом с минерализацией около 0.25 г/л и рН около 7. Ниже сброса шахтных вод, воды этих рек имели рН 2.6-2.9. Далее на отдельных участках р. Берестянка поглощается закарстованными карбонатными породами, а затем выходит на поверхность. Вследствие этого рН возрастает с 2.9 до 7.6-7.8, содержание  $\text{SO}_4$  снижается в 92 раза,  $\text{Fe}$  - в 1060 раз,  $\text{Al}$  - более чем в 100 раз. Минерализация воды приобретает значения близкие к фоновым. Очистка кислых вод обусловлена взаимодействием с карбонатными породами, в которые врезаны русла рек и смешиванием с более щелочными водами. Кроме щелочного барьера образование гидроксидов  $\text{Fe}$  и  $\text{Al}$  формирует сорбционный гидроксидный барьер, который способствует осаждению катионогенных элементов. В результате повышения рН воды и снижения подвижности железа, алюминия и катионогенных элементов, происходит их выпадение в осадок как в русле рек, так и подрусовых карстовых полостях. Заполнение осадком этих полостей постепенно ведет к уменьшению подземного стока реки и увеличение поверхностного. Стихийно сформировавшийся щелочной и сорбционный геохимический барьер уменьшили зону распространения кислых шахтных вод Кизеловского угольного бассейна. Подобные явления наблюдаются и на других участках стока кислых вод. Естественные геохимические барьеры имеют большое значение при аварийных разливах нефтепродуктов. Среди природных геохимических сорбционных барьеров, ограничивающих миграцию нефтяных углеводородов, наиболее важную роль играют органо-сорбционные барьеры в органогенных и гумусовых горизонтах почв, что определяет преимущественно приповерхностную аккумуляцию углеводородов. На них оседает основная масса загрязнителей. Такие горизонты практически не пропускают органические загрязнители.

**Целенаправленное использование барьерных свойств природной среды.** В последние годы для охраны окружающей среды от загрязнения все более широкое применение находят идеи использования защитного потенциала самой среды (Максимович Н.Г., 2007). Основными трудностями для их реализации является отсутствие научно-методической и законодательной базы. Количественная характеристика защитных свойств природной среды (емкость барьера, проницаемость, период действия и др.), требует специальных полевых и лабораторных исследований, а так же сложных расчетов. Следует отметить, что емкость и способность к концентрации элементов природными объектами представляет значительную величину, и в ряде случаев может во много раз превышать объем поступающих в окружающую среду загрязнителей.

**Искусственные геохимические барьеры.** Техногенные геохимические барьеры могут специально создаваться для решения различных задач, таких как охрана окружающей среды, обогащение полезных ископаемых, инженерная защита территории и т.д. Такие барьеры предлагается называть искусственными.

Для создания искусственных барьеров разрабатываются специальные технологии. В качестве материалов, используемых для создания барьеров, применяются различные материалы и вещества в зависимости от специфики барьеров и экономической целесообразности.

*Природные материалы* широко используются для создания сорбционных (глины, суглинки, торф и т.д.), щелочных (карбонаты) и других барьеров. Преимуществом использования природных веществ является их широкое распространение, снижающее транспортные расходы и относительно низкая стоимость добычи.

Перспективным направлением является использование *отходов производства*. При этом наряду с их низкой стоимостью решается другая экологическая задача – утилизация отходов. Такой опыт был использован для нейтрализации кислых шахтных вод на территории Кизеловского бассейна

(Максимович Н.Г., 2006). В качестве реагента использовались отходы содового производства. Проведенные работы показали, что рН шахтной воды повышается с 2.6-2.9 до нейтральных значений. В ходе испытаний суммарное содержание железа с 30-40 снизилось до 0.2-0.3 мг/л, что не превышает ПДК. После нейтрализации алюминия в шахтной воде не обнаружено, тогда как до нейтрализации его содержание составляло 10-14 мг/л. Содержание бериллия, лития, никеля, кадмия, кобальта и титана, которые в шахтных водах превышали нормативные концентрации, снижается до значений не превышающих ПДК. Нейтрализованная вода после отстаивания удовлетворяет требованиям ПДК.

В том случае, когда природные вещества и отходы малоэффективны для создания барьера, подбираются *специальные химические реагенты*. Они, как правило, дают возможность обеспечить необходимую эффективность работы барьера, но имеют большую стоимость. В некоторых случаях, чаще всего для создания механических барьеров, используются специальные строительные конструкции. Известны случаи создания барьеров на основе биологических объектов: растительность, микроорганизмы и т.д. (Перельман А.И., Касимов Н.С., 2000, 1999).

### **Очистка кислых сточных вод горнодобывающих предприятий**

*Рудничные воды Холоднинского месторождения* – гидрокарбонатно-сульфатные и имеют повышенные содержания таких токсичных элементов как цинк, марганец, кадмий, никель, хром, мышьяк, медь, таллий, стронций. Поэтому обзору методов по очистке кислых рудничных вод горнодобывающих предприятий уделим особое внимание.

Различают три способа нейтрализации кислотосодержащих рудничных вод:

- фильтрационный метод, при котором сточную воду фильтруют через кусковой или зернистый нейтрализующий природный или искусственный материал.

- водно-реагентный метод, при котором в сточную воду добавляют реагент в виде раствора или сухого вещества (известь, соду или шлак); нейтрализующим раствором может быть и сточная вода, содержащая щелочь;
- полусухой метод, при котором высококонцентрированные по кислоте сточные воды смешивают с сухим реагентом (известью, шлаком), в таких пропорциях, что, минуя жидкую фазу, образуется тестообразная масса. Способ применим для малого количества стоков, например для отработанных растворов.

Кислые сточные воды могут содержать в себе слабые кислоты ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) и сильные кислоты двух типов: 1 тип – кислоты, кальциевые соли которых хорошо растворимы в воде ( $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ), 2 тип – кислоты, образующие кальциевые соли малорастворимые в воде ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ).

Нейтрализация сильных кислот первой группы не представляет затруднений, так как образующие их соли растворимы в воде и никакого осадка не дают. Сильные кислоты второй группы нейтрализовать значительно сложнее, так как в осадок выпадает большое количество солей, например гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) - при нейтрализации серной кислоты.

Для нейтрализации кислот применяют различные вещества: известняк, доломит, мрамор, мел, магнезит, гидроксид натрия, гидроксид калия, щелочные отходы, известь (Стерина, 1981), соду (Яковлев и др., 1975).

В качестве фильтрующего компонента возможно использование таких природных материалов как торф (Ludwig, Simon, 1983), известняк (Hammarstrometal., 2003), глина (Schlegeletal., 2001), углеродсодержащие сорбенты (Головин и др., Патент РФ № 2438998; Заявка: 2006117343/15, 22.05.2006), модифицированный бурый уголь (Ibarrá, Moliner, 1984), древесные опилки. Из искусственных материалов известны силикагели (Максимович и др., 2006), синтетические волокна и др. Использование природных материалов в качестве фильтров имеет преимущество перед искусственными, только в цене. Однако для этих способов существенные ограничения связаны с начальной концентрацией металлов в технологических водах, поскольку

фильтрующие материалы быстро теряют свою эффективность при очистке высокоминерализованных и многокомпонентных растворов. Например, для известняка характерно забивание его зерен гидроксидами трехвалентного железа и образование плотной гипсовой корки на поверхности материала при очистке железосодержащих или сульфатсодержащих вод. Таким образом, данный метод работает только с малыми концентрациями металлов в растворе (в сумме – порядка 1 г/л) и может быть использован для доочистки растворов. Модифицированные материалы более эффективны в осаждении металлов, но им требуется предварительная подготовка. Достоинством искусственного барьера является высокая скорость осаждения и относительно длительная эксплуатация загрузки. Недостаток – высокая стоимость материалов.

Известняк – осадочная горная порода органического, реже хемогенного происхождения, состоящая преимущественно из  $\text{CaCO}_3$  (карбоната кальция) в форме кристаллов кальцита различного размера. На территории Бурятии выявлены и разведаны месторождения известняков: Аиктинское, Кооктинское, Верхнетыйское, Подкаменное, Верхнекоминское, Хужиртайское, Правоеловское, Таракановское, Никитинское, Татарский ключ, Билютинское, Березовское, Мойсовское.

В промышленном освоении на территории Бурятии находится Билютинское месторождение, расположенное в 80 км к востоку от г. Улан-Удэ. Промышленные запасы сырья составляют 107.4 млн. тонн. Аиктинское месторождение расположено в 12 км к северу от ст. Таксимо на БАМе. Запасы сырья оценены в объеме 177684 тыс. тонн. Действует также дополнительный карьер на базе Тарабукинского месторождения (7 км к северо-востоку от ст. Заиграево ВСЖД).

Доломит – минерал из класса карбонатов. Химический состав -  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . На территории Бурятии выявлены Иномакитское, Ключевское, Киронское, Тарабукинское, Гурановское месторождения доломитов. В Тарабукинском месторождении запасы доломитов составляют 26 млн. тонн. Раз-

работкой данного месторождения занимается АО «Доломит». Годовой объем добычи 80-90 тыс. тонн.

Магнезит – минерал из класса карбонатов, группы кальцита, состав  $MgCO_3$ . Ближайшими к Бурятии месторождениями магнезита являются Савинское и Онотское, расположенные в Иркутской области. Здесь сосредоточено более 54 % всех промышленных запасов России. Основное направление предполагаемого использования Савинского месторождения – металлургия, Онотского – производство магнезиальных вяжущих материалов (каустический магнезит). Оба месторождения расположены в Черемховском районе Иркутской области, в предгорной части Восточного Саяна, на водоразделе рек Онота и Малой Белой, в 90-100 км к юго-западу от г. Черемхово. Запасы кондиционных магнезитов составляют от 198 млн. т. до 1670 млн. т. Магнезит является одним из удобных реагентов для нейтрализации сернокислотных вод, поскольку образующийся сернокислый магний хорошо растворим в воде.

Все вышеописанные материалы могут быть использованы в качестве фильтрующей загрузки в нейтрализационных установках. Известняк, доломит, магнезит, используют в виде раздробленного до 5-25 мм материала. Скорость реакции между раствором кислоты и твердыми частицами суспензии относительно невелика и зависит от размеров частиц и растворимости образующегося в результате нейтрализации на поверхности частиц соединения. Поэтому равновесие в смесителе устанавливается при нейтрализации не сразу, а спустя 10-15 минут. Высоту загрузки фильтра при нейтрализации сточных вод, содержащих азотную и соляную кислоты, принимают 1,0-1.5 м, и содержащих серную кислоту в небольших концентрациях (до 5 мг/л) – 1.5-2 м. При больших концентрациях серной кислоты сульфат кальция, образующийся в количестве, превышающем его растворимость (2 г/л), выделяется на поверхности нейтрализующей загрузки и снижает эффективность процесса. Этот способ имеет ряд преимуществ: он прост и дешев, эффективен при

неравномерной концентрации кислот в сточных водах. Фильтры-нейтрализаторы являются непрерывно действующими сооружениями.

При сухом или мокром способе нейтрализации нейтрализационные установки состоят из комплекса сооружений, включающего оборудование и емкости для разгрузки реагентов, их складирования, приготовления реагентов, их дозирования и введения в обрабатываемую жидкость.

Дозу реагентов для обработки кислых вод следует определять при условии, что произойдет полная нейтрализация содержащихся в них кислот, а также выпадут в осадок соединения тяжелых металлов. Объем выпадающего осадка зависит от концентрации в нейтрализуемой воде кислоты и ионов тяжелых металлов, а также от вида и дозы реагента, от полноты осветления и т.д. Наибольшее количество осадка выпадает при нейтрализации воды известковым молоком, приготовленным из товарной извести, которая содержит 50 % активной окиси кальция.

Реагент добавляют в виде раствора (способ мокрого дозирования - известь) или в виде сухого порошка (способ сухого дозирования - мелкодробленый известняк, мел или доломит крупностью зерен не более 0.5 мм). Оба эти способа чаще всего применяют для нейтрализации серной кислоты. При пропускной способности установки до 4-5 т/сут нейтрализуемой кислоты выгоднее использовать мокрое дозирование, при большей пропускной способности – сухое.

В настоящее время наиболее дешевым и доступным реагентом является гидроксид кальция (гашеная известь). При нейтрализации сернокислотных вод известковым молоком (мокрое дозирование) доза активного оксида кальция берется на 10 %, а при сухом дозировании – на 50 % больше расчетной. Практически расходуется 1 часть извести на 1.5 части серной кислоты. Известковое молоко, используемое при мокром дозировании, готовят из обычной извести, подвергнув ее дроблению и гашению в специальных аппаратах. При использовании в качестве нейтрализующего реагента едких щелочей или соды приготавливают 10 % рабочий раствор. Из этих аппаратов реагент по-



дается насосами в растворные баки, снабженные пропеллерными или лопастными мешалками с вертикальной осью вращения, в которых известковое молоко разводится до необходимой концентрации и, через дозировочные баки направляется в смеситель, расположенный в канале, по которому движется нейтрализуемая вода. Контакт реагента с водой, необходимый для завершения реакции, осуществляется в специальных резервуарах-нейтрализаторах, рассчитанных на 10-15-минутное пребывание в них жидкости. Нейтрализатор может быть совмещен с отстойником. Осадки, выделенные в отстойниках, обезвоживают на шламовых площадках, барабанных вакуум-фильтрах или на фильтр-прессах.

Применение для нейтрализации сернокислотных вод известью или суспензий углекислых солей кальция и магния, несмотря на доступность и дешевизну этих реагентов, имеет общий для них недостаток. В результате нейтрализации образуется малорастворимый сульфат кальция – гипс. Отложения кристаллического сульфата кальция на стенках трубопроводов, по которым подаются нейтрализованные известью сернокислотные сточные воды, очень стойки и с трудом удаляются. Для уменьшения расхода известкового молока и количества образованных осадков при раскислении сульфатсодержащих сточных вод предложена следующая схема (Назаров и др., Патент РФ № 2438999). Нейтрализация вод перед сбросом их в хвосты проводится 5%-ным известковым молоком до pH 9.4-9.5, затем вводится анионный флокулянт. Полученная смесь перемешивается и отстаивается. После отстаивания воду разделяют на два потока. Один поток направляют на доочистку перед сбросом в водные объекты. Другой поток направляют на орошение отвалов для частичной нейтрализации подотвальных вод, образуя поток рециркуляции. Степень рециркуляции воды, используемой для орошения отвалов, составляет 20-30 %.

При проектировании нейтрализационных и реагентных установок необходимо предусматривать механизацию погрузочно-разгрузочных работ и защиту помещений от пыления реагентов.

При использовании сухих реагентов значительно упрощается реагентное хозяйство: отпадает необходимость строительства и эксплуатации растворных устройств. К хранению запасов сухого дозирования предъявляют следующие требования: они должны быть мелкого помола, не слеживающимися и быстрорастворимыми. К таким реагентам относят соду, известь-пушонку и др. Дозу реагента при этом увеличивают на 30-50%, так как реакция между твердой и жидкой фазами протекает не до конца и идет более медленно.

При нейтрализации вод контроль и регулирование pH облегчается использованием устройств, автоматически регулирующих подачу нейтрализующих веществ в соответствии с кислотностью воды. По ряду соображений – экономия площади, снижение стоимости, облегчение эксплуатации и т.п. – желательны малые размеры осадительных чанов. Отсюда вытекает большая важность проблемы увеличения скорости оседания частиц при очистке сточных вод от солей тяжелых металлов. На скорость оседания частиц гидроокисей металлов влияет температура - чем она выше, тем меньше воды удерживают частицы и тем быстрее они оседают. Определенное влияние оказывает pH, а в некоторых случаях - одновременное присутствие различных коллоидов. Коллоидные гидроокиси быстро оседают при образовании трудно растворимого кристаллического осадка, например сульфата кальция, при нейтрализации сернокислых сточных вод известковым молоком. На скорость оседания коллоидных частиц при определенных значениях pH часто благоприятно влияет гидроокись алюминия. При высоких и низких значениях pH гидроокись алюминия переходит в истинный раствор, так что добавление ее в этих случаях приводит лишь к дополнительному загрязнению сточных вод.

В качестве флокулянтов (коагуляторов) возможно применение органических коллоидов, значительно ускоряющих оседание шлама. Такими флокулянтами являются высокомолекулярные органические вещества, адсорбирующиеся диспергированными в растворе коллоидными частицами, размеры которых заметно возрастают, что ускоряет выпадение этих частиц на дно.

Флокулянты обычно применяют и дозируют в виде водной эмульсии, которую добавляют к осветляемой воде из расчета около 5 г флокулянта на 1 м<sup>3</sup> сточной воды (Запольский, Баран, 1987). Флокулянты парализуют отрицательное влияние на отстаивание шлама смачивающих веществ и других высокомолекулярных соединений.

Общих правил, касающихся оптимальных значений pH, скорости проточности, при которой полностью оседает шлам, и вода совершенно осветляется, оптимальных концентраций флокулянтов ввиду специфичности нейтрализуемых вод, установить нельзя. Применительно к определенным видам вод все эти параметры должны быть установлены опытным путем с тем, чтобы добиться, возможно, полного перевода присутствующих в воде ионов тяжелых металлов в состояние гидроокисей и скорого отстаивания их.

Сорбцию, как метод очистки сточных вод используют когда необходима более глубокая очистка стоков. Сорбенты способны извлекать из воды многие неорганические и органические соединения, в том числе и биологически жесткие, не удаляемые их нее другими методами. Но при всех ее достоинствах, сорбцию нельзя использовать для очистки значительных объемов сточных вод крупных предприятий в связи с дефицитом сорбентов, кроме того, сорбция неэффективна при высоких концентрациях загрязняющих веществ. В настоящее время не решена также проблема утилизации элюата. Поэтому сорбция наиболее эффективна как вторая ступень после осуществления реагентных методов очистки сточных вод.

Механизм влияния тяжелых металлов на процессы биохимической очистки еще недостаточно изучен. Согласно наиболее широко принятой теории, объясняющей тормозящее действие металлов на биологические организмы, катионы могут реагировать с активными клеточными компонентами, например, дыхательными ферментами, с образованием устойчивых неактивных комплексных соединений. Скорость образования этих комплексных соединений (металл-фермент) зависит, в основном от трех независимых параметров, а именно: концентрации ионов металла, взвешенных веществ в ило-

вой смеси и количества биомассы. Такие металлы, как медь, ртуть, свинец блокируют место фермента, в котором идет каталитическая реакция. Постановка тяжелого металла меняет геометрию металлосодержащего фермента, что уменьшает его активность. Таким образом, тормозятся или совсем останавливаются важные биохимические реакции. Токсичное влияние ионов тяжелых металлов на микроорганизмы активного ила в конечном итоге снижает эффективность биохимической очистки бытовых сточных вод. При этом происходит нарушение работы аэробных очистных сооружений.

Некоторые микроорганизмы активного ила способны приспособиваться к различным концентрациям тяжелых металлов. Влияние тяжелых металлов на микроорганизмы в процессе биохимической очистки может быть уменьшено путем варьирования таких параметров, как концентрация бактериальной биомассы, органических компонентов и продолжительности контакта активного ила с тяжелыми металлами.

Высокая адсорбционная способность биомассы микроорганизмов активного ила в сочетании с избирательностью сорбируемых компонентов используется для очистки сточных вод. Удаление растворенных металлов адсорбцией активным илом зависит от формы нахождения металла в сточной воде. Например, медь в ионной форме сорбируется активным илом в большей степени, чем связанная в комплекс с циан-ионом. Удалению растворенных ионов тяжелых металлов мешает наличие в сточных водах органических соединений, образующих металлоорганические комплексы. Одновременно наблюдается снижение токсического воздействия тяжелых металлов, связанных в подобный комплекс, на активный ил. К уменьшению их токсичности также приводит введение хелатирующих агентов. Ионы тяжелых металлов в процессе биологической обработки активным илом могут быть удалены из раствора путем адсорбции на бактериальных клеточных полимерах, а также на стенках бактериальных клеток или накапливаются в цитоплазме клеток. Аэробная биологическая очистка с помощью активного ила используется для доочистки от небольших количеств ионов тяжелых металлов. Поступление

же на очистные биологические сооружения значительных концентраций тяжелых металлов приводит к снижению эффективности биологической очистки вплоть до полного нарушения основных биохимических процессов.

Дебит рудничных вод зависит от многих природных и технологических факторов. К природным факторам относятся: режим обводненности района месторождения, наличие в пределах месторождения запертых вод, открытых водоисточников в зоне влияния горных работ, количество выпадающих осадков, проницаемость грунтов и вмещающих пород. Основные технологические факторы – бурение с промывкой, гидравлическая закладка, гидравлическое подавление пыли.

Все поступающие в горные выработки воды направляют, как правило, в водосборники, из которых их откачивают на поверхность. Далее судьба рудничных вод может быть различной. До недавнего времени в большинстве случаев рудничные воды направлялись в местную гидрографическую сеть или, при отсутствии последней, в пониженные участки рельефа, независимо от степени загрязненности этих вод. Какая-то их часть могла путем инфильтрации снова поступать в выработки рудников, но, главное, они особенно сильно загрязняли почву и грунтовые воды, не позволяя использовать поверхность в традиционных для данного района направлениях.

В настоящее время этим простейшим способом рудничные воды удаляют только в том случае, если они практически не содержат загрязняющих веществ или содержат их, но находящийся поблизости водоток, принимая весь объем рудничных вод, не может загрязниться выше допустимой нормы. Иногда, при достаточно высокой чистоте, рудничные воды используют в технологических и хозяйственных целях и даже в быту.

Кислые рудничные воды свойственны всем рудникам, добывающим сульфидные руды, а также шахтам и разрезам, разрабатывающим угольные пласты, содержащие серу в количестве 2.0-2.5 % и более.

Эти обстоятельства обуславливают необходимость чрезвычайно осторожного использования отходов горной промышленности, пустых пород,

хвостов обогащения и забалансовых руд в качестве строительных материалов. Такое использование возможно лишь с учетом результатов обширных и всесторонних биофизических исследований с учетом всех отдаленных последствий накопления тех или иных соединений и металлов в окружающей среде.

В различных природных условиях тяжелые металлы ведут себя по-разному. В окислительной природной обстановке (высокая кислотность почвы и придонных вод) свинец, медь, никель, цинк и ртуть более подвижны, чем в нейтральной или щелочной среде (например, в степной полосе). Наоборот, молибден, ванадий и селен легче перемещаются в щелочной среде. Мышьяк же образует растворимые соединения в любой природной обстановке. На поверхности северных болот его ядовитые соединения могут сохраняться сотнями лет, а в жарких пустынных областях они разрушаются меньше чем за год.

Рудничные воды являются наиболее доступным объектом такой очистки, в результате которой предоставляется возможность получения некоторых дополнительных продуктов и сохранения окружающей среды. При этом сложным видам очистки подвергаются только те рудничные воды, которые по содержанию в них загрязняющих веществ действительно требуют очистки. Часто для очистки рудничные воды достаточно выдержать некоторое время в отстойниках, где они освобождаются от коллоидных компонентов, механических взвесей, а ионорастворенные вещества, представляющие наибольшую опасность для окружающей среды, уходят со сливом осветленных вод.

По данным обследования Иркутским институтом Ирриредмет состояния водопотребления, водоотвода, очистных сооружений и очистных промстоков на рудниках золотодобывающей промышленности, рудничные воды многих рудников не нуждаются в специальной очистке и могут сбрасываться непосредственно в открытые водоемы (97 тыс. м<sup>3</sup> в сутки). Очистке должно подвергаться не более 28,5 тыс. м<sup>3</sup> воды в сутки, из которых 27,0 тыс.

м<sup>3</sup> может быть использовано на других производствах. Для очистки рудничных вод в качестве коагулянтов рекомендовано использовать известь, соду, сернокислый алюминий, железный купорос, которые обеспечивают очистку от основных загрязняющих примесей на 90-99 %.

В Карагандинском бассейне осаждение из рудничных вод взвешенных веществ достигается с помощью минеральных коагулянтов и флокулянта полиакриламида. Эффективность осаждения повышается при вибрационном воздействии на рудничную воду (амплитуда колебаний 0.2 мм, частота 20 Гц).

Наибольших успехов в отношении очистки шахтных вод добились угольные шахты Донбасса, где рудничные воды подразделены на три группы, после очистки используемые для технологических и бытовых нужд, а также в сельском хозяйстве. Для очистки используются в основном горизонтальные отстойники и пруды-осветлители вместимостью 20-500 тыс. м<sup>3</sup>. Отстойники, рассчитанные на двух- и трехчасовое отстаивание воды, улавливают 30-75 % взвесей. В прудах вода выдерживается в течение 7-10 сут. Эффективность очистной системы достигает 90-96 %. В прудах высаживается водная растительность, а по берегам – деревья, что благотворно влияет на эффективность очистки и обеззараживание шахтных вод. Кроме того, создаются условия для организации зон отдыха.

На шахтах, разрезах и обогатительных фабриках в настоящее время работает 675 очистных сооружений, в том числе 419 прудов-осветлителей и 256 типовых горизонтальных отстойников. Ежегодно из рудничных вод извлекается до 1 млн. м<sup>3</sup> взвесей, из них 85 % – в подземных водосборниках и 15 % – в поверхностных очистных сооружениях. Перспективным является использование этих взвесей в качестве минеральных удобрений.

В США в настоящее время очистке подвергается почти 50 % рудничных вод, сбрасываемых горной промышленностью в гидрографическую сеть страны. Кислые рудничные воды в большинстве случаев обрабатывают известняком, негашеной и гашеной известью, каустической содой и поташом.

Отмечается, что нейтрализация вод известняком в 2.6 раза дешевле обработки воды негашеной известью и в 3.8 раза дешевле нейтрализации гашеной известью.

Для очистки рудничных вод от сероводорода на некоторых шахтах, наряду с аэрацией, применяют химические и бактериологические методы. Минерализованные рудничные воды очищают также с помощью обратного осмоса, часто в комбинации с нейтрализацией. Степень очистки при этом способе достигает 99 %. В последние годы в США ведутся также работы по опреснению рудничных вод методом вымораживания и электролиза.

В обычной практике очистки рудничных вод на канадских рудниках применяется крупномасштабная очистка и химическая обработка кислых и содержащих металлы вод. На некоторых предприятиях организована работа по бессточным схемам. Так, система оборотного водоснабжения организована на никелевых рудниках и на ряде фабрик компании «Фалконбридж». Для использования очищенной воды организована специальная система складирования хвостов в заливах озера Мус и нейтрализация сливов известняком.

Для угольных шахт Великобритании обычны кислые железосодержащие шахтные воды, которые, как правило, обрабатываются кальцием или углекислым магнием, иногда известью (основными реагентами).

Нейтральные или щелочные рудничные воды, содержащие железо, с целью его осаждения иногда аэрируют перед сбросом в водоемы для осаждения. Например, на шахте «Мортон» в Северном Дербшире для очистки таких рудничных вод и их отстоя применен метод каскадной аэрации.

В Японии запатентован способ очистки рудничных вод от валентных ионов тяжелых металлов и сульфат-иона. При этом способе рудничные воды обрабатываются сульфидом бария в мешалке. Барий связывает сульфат-ион, а ионы металлов выпадают в виде сульфидов. Избыток ионов бария выводится из воды путем пенной флотации с жирной кислотой в присутствии вспенивателя. Выход очищенной воды составляет 90 % от исходного раствора.



Особое место в ряду источников загрязнения внешней среды занимают рудники, применяющие при разработке полезных ископаемых различные способы подземного выщелачивания. При этом в относительно глубоко залегающие породы вносится выщелачивающее вещество, главным образом серная кислота, продолжительное время остающаяся активной. В результате этого в районе разработки и за его пределами возможно загрязнение окружающей среды. Такое загрязнение является типичным примером искусственного распространения геохимической аномалии, связанной с первичным месторождением полезных ископаемых. Одним из возможных способов снижения влияния на окружающую среду этой технологии может стать ускорение процесса выщелачивания полезных компонентов. В связи с этим представляется интересной работа Нормана Лероукса в лаборатории Уоррен-Спрингс (США) по использованию высокотемпературных, или термофильных (50-60 °С), бактерий для окисления сульфидных руд. Первые опыты с такими бактериями, найденными в исландских горячих источниках, показали хорошие результаты: штаммы, способные окислять сульфиды никеля, урана, цинка и меди, по сравнению со штаммами среднетемпературных, или мезофильных (30 °С), бактерий аналогичного действия, поддерживали более интенсивный процесс окисления. Существует также возможность направленной эволюции уже найденных бактерий или улучшения их на основе генетической инженерии.

Отрицательное воздействие различных технологических процессов горных работ на атмосферу, воду, почвы прогнозируется достаточно точно, благоприятствуя разрешению проблем сохранения чистоты окружающей природной среды.

Возможным вариантом очистки загрязненных рудничных вод может быть создание гидрокарбонатных барьерных фильтров, т.е. создание пруда с фильтрующей дамбой из известняковых пород.

Таким образом, результаты опытов с карбонатом кальция зависят как от типа и количества используемого реагента, так и от природы и concentra-

ции металла в растворе. Использование карбоната кальция открывает эколого-экономические перспективы создания надежного геохимического барьера карбонатного типа для удаления тяжелых металлов из рудничных вод и нейтрализации сульфат-ионов.

По современным требованиям в проектах новых горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий должен быть раздел ОВОС, где должны быть предложены мероприятия по очистке рудничных и штольневых вод с учетом конкретного их состава, а также горно-геологических условий предприятия<sup>1</sup>. В Приложении к Приказу № 372<sup>2</sup> Госкомэкологии России от 16.05.2000 сказано, что исследования по оценке воздействия на окружающую среду намечаемой хозяйственной и иной деятельности включает следующее:

- определение характеристик намечаемой хозяйственной и иной деятельности и возможных альтернатив (в том числе отказа от деятельности);
- анализ состояния территории, на которую может оказать влияние намечаемая хозяйственная и иная деятельность (состояние природной среды, наличие и характер антропогенной нагрузки и т.п.);
- выявление возможных воздействий намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду с учетом альтернатив;
- оценка воздействий на окружающую среду намечаемой хозяйственной и иной деятельности (вероятности возникновения риска, степени, характера, масштаба, зоны распространения, а также прогнозирование экологических и связанных с ними социальных и экономических последствий);
- определение мероприятий, уменьшающих, смягчающих или предотвращающих негативные воздействия, оценка их эффективности и возможности реализации;

<sup>1</sup> Приказ Государственного комитета Российской Федерации по охране окружающей среды от 16 мая 2000 г. № 372 «Об утверждении положения об оценке воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в Российской Федерации. Последнее обновление: 20 мая 2013г.)

<sup>2</sup> Приложение к Приказу Госкомэкологии России от 16.05.2000 N 372 «Положение об оценке воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в Российской Федерации»

- оценка значимости остаточных воздействий на окружающую среду и их последствий;
- сравнение по ожидаемым экологическим и связанным с ними социально - экономическим последствиям рассматриваемых альтернатив, в том числе варианта отказа от деятельности, и обоснование варианта, предлагаемого для реализации;
- разработка предложений по программе экологического мониторинга и контроля на всех этапах реализации намечаемой хозяйственной и иной деятельности;
- разработка рекомендаций по проведению послепроектного анализа реализации намечаемой хозяйственной и иной деятельности;
- подготовка предварительного варианта материалов по оценке воздействия на окружающую среду намечаемой хозяйственной и иной деятельности (включая краткое изложение для неспециалистов).

Создание надежного геохимического барьера карбонатного типа для удаления тяжелых металлов и нейтрализации сульфат-ионов в рудничных и штольневых водах может быть решением поставленной задачи.

### 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОЧИСТКЕ РУДНИЧНЫХ ВОД ИЗ РАЗВЕДОЧНЫХ ШТОЛЕН ХОЛОДНИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОТ ВРЕДНЫХ ПРИМЕСЕЙ ПРИРОДНЫМИ СОРБЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

#### 3.1. Сорбция ионов тяжелых металлов из рудничных вод Холоднинского полиметаллического месторождения кальцитсодержащими горными породами

Для проведения исследований по сорбции ионов тяжелых цветных металлов из штольневых рудничных вод (рудничные воды штольни №2) Холоднинского полиметаллического месторождения была отобрана кальцитсодержащая горная порода непосредственно на месторождении (фото 9).

Полученный материал был измельчен на щековой дробилке ДЦЛ-150×75.

Таблица 3.1.

Результаты ситового анализа.

Фракция, мм	-0,25	+0,25 -0,50	+0,50 -2,00	+2,0 -3,0	+3,0 -5,0	+5,0
Выход, %	4,53	4,74	24,04	13,23	30,66	22,80

В табл. 3.2 представлены данные по химическому составу сточной воды штольни № 2. Сравнение концентраций ионов металлов, находящихся в сточной воде, с нормативами качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения показывает, что в исследуемой воде наблюдается превышение ПДК по следующим ионам: Zn, Mn, Fe и Cu. Содержание Pb и Cd ниже ПДК. Значение pH сточной воды составляло 8.15. Концентрация сульфат-ионов в воде небольшая - 9-12 мг/л (ПДК 100 мг/л).

Таблица 3.2.

Состав сточной воды штольни № 2 и ПДК металлов

	Zn	Fe	Mn	Cu	Pb	Cd
Содержание в сточной воде, мг/л	3.1980	1.0385	0.3667	0.0113	0.0001	0.00125
ПДК*	0.01	0.1	0.01	0.001	0.006	0.005

\* Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения [ПРИКАЗ от 18 января 2010 года № 20 (официальный сайт Росрыболовства [www.fish.gov.ru](http://www.fish.gov.ru))].

Цинк и кадмий (спутник цинковых минералов) поступают в сточные воды при окислении сфалерита ( $ZnS$ ) до сульфатной формы, поэтому естественно, что рудничные воды содержат значительно более высокие концентрации этих элементов, чем природные водопункты. Большинство солей свинца труднорастворимы, поэтому в штольневой воде его концентрация ниже ПДК.

Для очистки сточной воды штольни № 2 от ионов металлов был использован метод адсорбции, в качестве сорбента был применен природный фильтрующий материал с района месторождения – кальцитсодержащая горная порода, фазовый состав которой приведен на рис. 3.1.

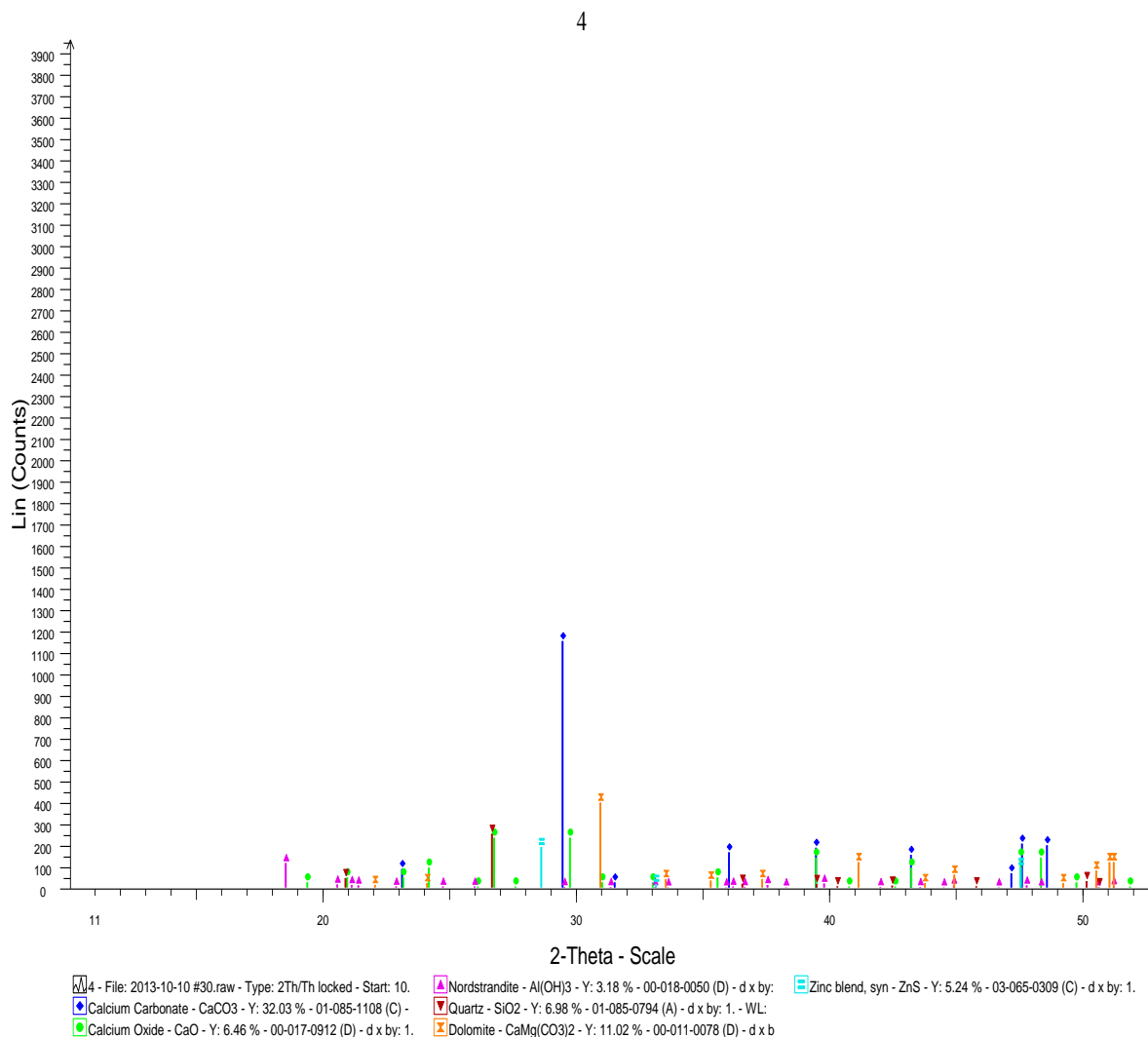
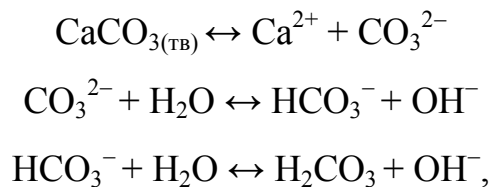


Рис. 3.1. Рентгенограмма кальцитсодержащей породы

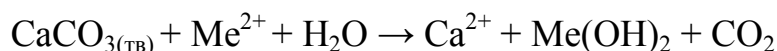
Известно, что карбонаты могут с успехом использоваться для очистки сточных вод от тяжёлых металлов.

При растворении карбоната кальция в воде происходит образование  $\text{OH}^-$  – ионов в результате следующих реакций:

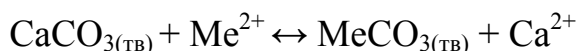


Изначально эффект от применения карбоната кальция можно ожидать по меньшей мере в результате 3-х реакций удаления ионов тяжелых металлов:

- реакции нейтрализации с образованием малорастворимых гидроксидов металлов (основных солей)



- реакции обменного взаимодействия с образованием средних карбонатов металлов



- реакции образования основных карбонатов тяжёлых металлов



Карбонат кальция относится к числу щелочных реагентов. Адсорбцию проводили методом ограниченного объема при 25 °С при различных нагрузках сорбента (1, 10, 20 и 50 г/л), время контакта сорбента с водной фазой составляло 1 и 6 часов. Размер частиц различных фракций кальцитсодержащей горной породы представлен в табл. 3.3.

Таблица 3.3.

Обозначения образцов по размерам частиц

	Фракция, мм					
	-0.25	-0.25 +0.50	-0.5 +2.0	-2.0 +3.0	-3.0 +5.0	-7.0 +10.0
Проба	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6

Для оценки способности кальцитсодержащей горной породы к сорбции катионов была определена катионообменная емкость (КОЕ) разных фракций кальцита по ионам аммония. Концентрацию ионов аммония определяли по

реакции с реактивом Несслера. Результаты, приведенные в табл. 3.4, свидетельствуют о высокой катионнообменной емкости кальцитов, поэтому они могут быть применены для удаления катионов металлов из сточной воды.

Таблица 3.4.

Результаты опытов по определению КОЕ кальцита

Фракция кальцита, мм	КОЕ, мг-экв/г
-0.25	1.47
-0.5 +2.0	1.79
-2.0 +3.0	1.66
-3.0 +5.0	1.96

Степень очистки сточной воды от катионов Zn, Mn, Fe и Cu определяли по убыли их концентрации в исследуемой воде. Концентрацию вышеназванных ионов в водных растворах определяли методом ААС на спектрофотометре Solaar-M6.

### *Результаты исследования по очистке сточной воды от ионов Zn*

В таблицах 3.5 и 3.6 приведены результаты адсорбционных исследований по сорбции ионов цинка на различных фракциях кальцитсодержащей горной породы при загрузке сорбента 1.0, 10, 20 и 50 г/л через 1 и 6 часов контакта.

Таблица 3.5.

Степень очистки от ионов цинка при времени контакта 1 час

Образцы	Загрузка сорбента							
	1 г/л		10 г/л		20 г/л		50 г/л	
	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %
№ 1	1.7142	46.39	0.0213	99.33	0.0100	99.69	0.0120	99.62
№ 2	2.5889	19.08	1.0426	67.39	0.9580	70.04	0.3719	88.37
№ 3	2.7084	15.31	2.2883	28.44	1.9969	37.56	1.0570	66.95
№ 4	2.7204	14.93	2.4064	24.75	2.3580	26.27	2.2749	28.86
№ 5	2.8109	12.10	2.6294	17.78	1.2503	60.90	2.3921	25.20
№ 6	2.7962	12.56	2.7856	12.89	2.8139	12.01	2.6657	16.65

\* Содержание ионов Zn в воде после очистки.

Таблица 3.6.

Степень очистки от ионов цинка при времени контакта 6 часов

Образцы	Загрузка сорбента							
	1 г/л		10 г/л		20 г/л		50 г/л	
	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %
№ 1	0.7744	75.78	0.0144	99.55	0.0099	99.69	0.0056	99.82
№ 2	2.4383	23.75	0.4967	84.47	0.2779	91.31	0.1353	95.77
№ 3	2.5817	19.27	1.2338	61.42	0.6830	78.64	0.2004	93.73
№ 4	2.6521	17.07	1.4690	54.06	0.9088	71.58	0.4095	87.19
№ 5	2.7151	15.10	1.8055	43.54	0.4830	84.89	0.6735	78.94
№ 6	2.5858	19.14	2.3028	27.99	2.0484	35.95	1.3027	59.26

\* Содержание ионов Zn в воде после очистки.

Установлено, что с увеличением загрузки сорбента практически во всех случаях степень извлечения катионов цинка из исследуемой воды увеличивается. Показано, что увеличение времени контакта также способствует увеличению степени очистки воды от ионов цинка. Степень очистки сточной воды от ионов цинка составляет 93.73% (размер частиц  $2.0 < d < 3.0$  мм), 95.77% (размер частиц  $0.5 < d < 2.0$  мм) при загрузке 50 г/л. Максимальное удаление ионов цинка составляет 99.82% (размер частиц  $d < 0.25$  мм) (рис.3.2).

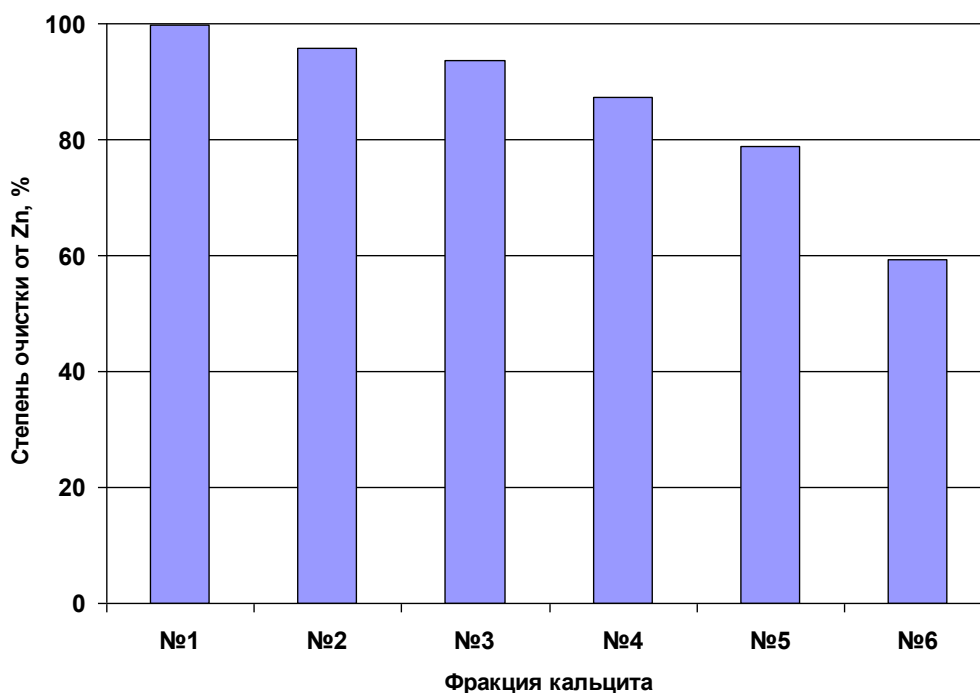


Рис. 3.2. Зависимость степени очистки сточной воды (Zn) от размера частиц кальцита.



### Результаты исследования по очистке сточной воды от ионов Mn

В таблицах 3.7 и 3.8 приведены результаты адсорбционных исследований по сорбции ионов марганца на различных фракциях кальцитсодержащей горной породы при загрузке сорбента 1.0, 10, 20 и 50 г/л через 1 и 6 часов контакта.

Таблица 3.7.

Степень очистки от ионов марганца при времени контакта 1 час

Образцы	1 г/л		10 г/л		20 г/л		50 г/л	
	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %
№ 1	0.2760	24.73	0.0415	88.68	0.0050	98.64	0.0022	99.40
№ 2	0.3225	12.05	0.2826	22.93	0.2676	27.02	0.2001	45.43
№ 3	0.3151	14.07	0.3010	17.92	0.2930	20.10	0.2505	31.69
№ 4	0.3160	13.83	0.3055	16.69	0.3030	17.37	0.2908	20.70
№ 5	0.3172	13.50	0.3016	17.75	0.3087	15.82	0.2876	21.57
№ 6	0.3176	13.39	0.2889	21.22	0.3119	14.94	0.3018	18.00

\* Содержание ионов Mn в воде после очистки.

Таблица 3.8.

Степень очистки от ионов марганца при времени контакта 6 часов

Образцы	1 г/л		10 г/л		20 г/л		50 г/л	
	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %
№ 1	0.2093	42.92	0.0107	97.08	0.0010	99.73	0.002	99.40
№ 2	0.3065	16.41	0.2432	33.68	0.1790	51.18	0.1294	64.71
№ 3	0.3130	14.64	0.2846	22.39	0.2537	30.81	0.1430	61.00
№ 4	0.3119	14.94	0.2884	21.35	0.2505	31.69	0.1990	45.73
№ 5	0.3185	13.14	0.2839	22.58	0.2667	27.27	0.2048	44.15
№ 6	0.3171	13.52	0.2697	26.45	0.2909	20.67	0.2465	32.78

\* Содержание ионов Mn в воде после очистки.

Степень извлечения катионов марганца из исследуемой воды увеличивается с увеличением загрузки сорбента и с уменьшением размера его частиц. Увеличение времени контакта также способствует увеличению степени очистки воды от ионов марганца. Максимальное удаление ионов марганца составляет 99.73% (размер частиц  $d < 0.25$  мм), при загрузке сорбента 20 г/л и 6 часов контакта (рис. 3.3).

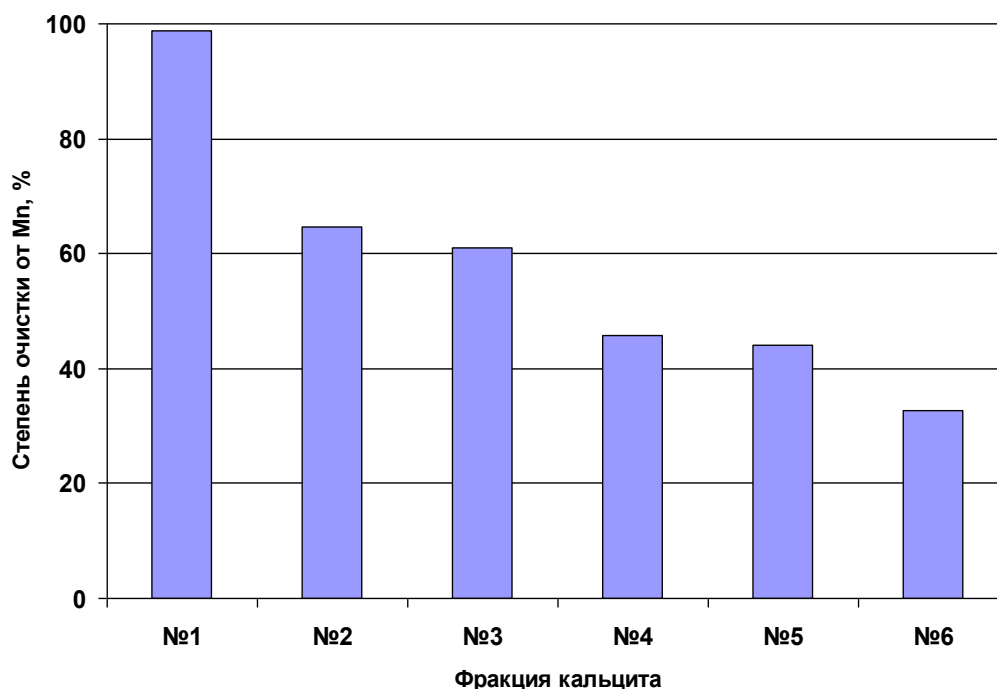


Рис. 3.3. Зависимость степени очистки сточной воды (Mn) от размера частиц кальцита.

### *Результаты исследования по очистке сточной воды от ионов Fe*

В таблицах 3.9 и 3.10 приведены результаты адсорбционных исследований по сорбции ионов железа на различных фракциях кальцитсодержащей горной породы при загрузке сорбента 1.0, 10, 20 и 50 г/л через 1 и 6 часов контакта.

Таблица 3.9.

Степень очистки от ионов железа при времени контакта 1 час

Образцы	1 г/л		10 г/л		20 г/л		50 г/л	
	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %
№ 1	0.0139	98.66	0	100	0.0134	98.71	0	100
№ 2	0.0002	99.98	0.0192	98.15	0.0178	98.28	0.0091	99.12
№ 3	0.0200	98.07	0.0218	97.90	0.0038	99.63	0.0123	98.81
№ 4	0.0274	97.36	0.0070	99.32	0.0383	96.31	0.0262	97.48
№ 5	0.0271	97.39	0.0257	97.52	0.0201	98.06	0.0068	99.34
№ 6	0.0194	98.13	0.0259	97.51	0.0051	99.51	0.0212	97.96

\* Содержание ионов Fe в воде после очистки.

Таблица 3.10.

Степень очистки от ионов железа при времени контакта 6 часов

Образцы	1 г/л		10 г/л		20 г/л		50 г/л	
	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %
№ 1	0.0384	96.30	0.0025	99.76	0.00026	99.97	0.0121	98.83
№ 2	0.0121	98.83	0.0113	98.91	0.0038	99.63	0.0360	96.53
№ 3	0.0123	98.81	0.0124	98.81	0.0237	97.72	0.0025	99.76
№ 4	0.0273	97.37	0.0112	98.92	0.0197	98.10	0.0129	98.76
№ 5	0.0177	98.29	0.0167	98.39	0	100	0.0044	99.57
№ 6	0.0206	98.01	0.0268	97.42	0.0078	99.25	0.0379	96.88

\* Содержание ионов Fe в воде после очистки.

Во всех опытах наблюдается высокая степень извлечения катионов железа из исследуемой воды уже через 1 час контакта. Степень очистки воды составляет от 96.31 до 100% независимо от размера частиц фракций кальцитсодержащей горной породы (рис. 3.4).

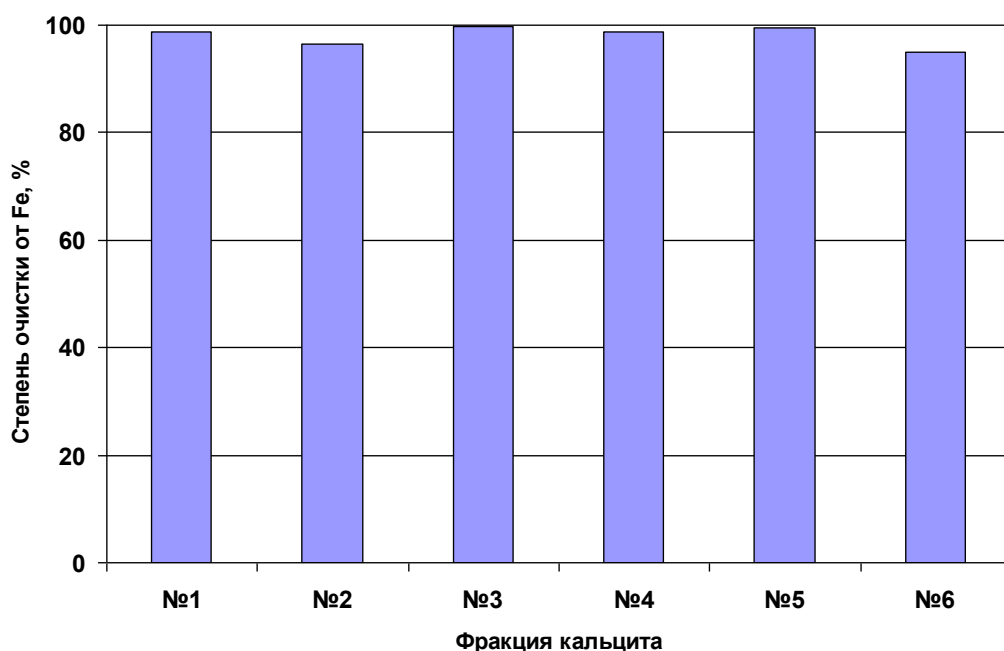


Рис. 3.4. Зависимость степени очистки сточной воды (Fe) от размера частиц кальцитсодержащей горной породы

### **Результаты исследования по очистке сточной воды от ионов Си**

В таблицах 3.11 и 3.12 приведены результаты адсорбционных исследований по сорбции ионов меди на различных фракциях кальцитсодержащей

горной породы при загрузке сорбента 1.0, 10, 20 и 50 г/л через 1 и 6 часов контакта.

Таблица 3.11.

Степень очистки от ионов меди при времени контакта 1 час

Образцы	1 г/л		10 г/л		20 г/л		50 г/л	
	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %
№ 1	0.00302	73.29	0.0005	95.57	0.0012	89.38	0.0010	91.15
№ 2	0.00228	79.84	0.0022	80.53	0.0052	53.98	0.0074	34.51
№ 3	0.00293	74.10	0.0031	72.57	0.0031	72.57	0.0057	49.56
№ 4	0.0033	70.83	0.0032	71.68	0.0072	36.28	0.0038	66.37
№ 5	0.00341	69.84	0.0029	74.25	0.0048	57.52	0.0055	51.33
№ 6	0.00376	66.73	0.0030	73.45	0.0036	68.14	0.0053	53.10

\* Содержание ионов Си в воде после очистки.

Таблица 3.12.

Степень очистки от ионов меди при времени контакта 6 часов

Образцы	1 г/л		10 г/л		20 г/л		50 г/л	
	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %	мг/л*	степень очистки %
№ 1	0.00293	74.10	0.0029	74.34	0.0028	75.22	0.0026	76.99
№ 2	0.00274	75.74	0.0026	76.99	0.0036	68.14	0.0047	58.41
№ 3	0.00285	74.76	0.0028	75.22	0.0042	62.83	0.0048	57.52
№ 4	0.00367	67.55	0.0045	60.17	0.0056	50.44	0.0035	69.03
№ 5	0.00322	71.48	0.00296	73.80	0.0021	81.41	0.0030	73.45
№ 6	0.00326	71.16	0.004	64.60	0.0041	63.72	0.0053	53.10

\* Содержание ионов Си в воде после очистки.

Максимальная степень очистки наблюдается при загрузке сорбента 10 г/л и времени контакта 1 час (размер частиц  $d < 0.25$  мм) и составляет 95.57 % (рис. 3.5), остаточное содержание меди в воде составляет 0.0005 мг/л, что меньше значения ПДК.

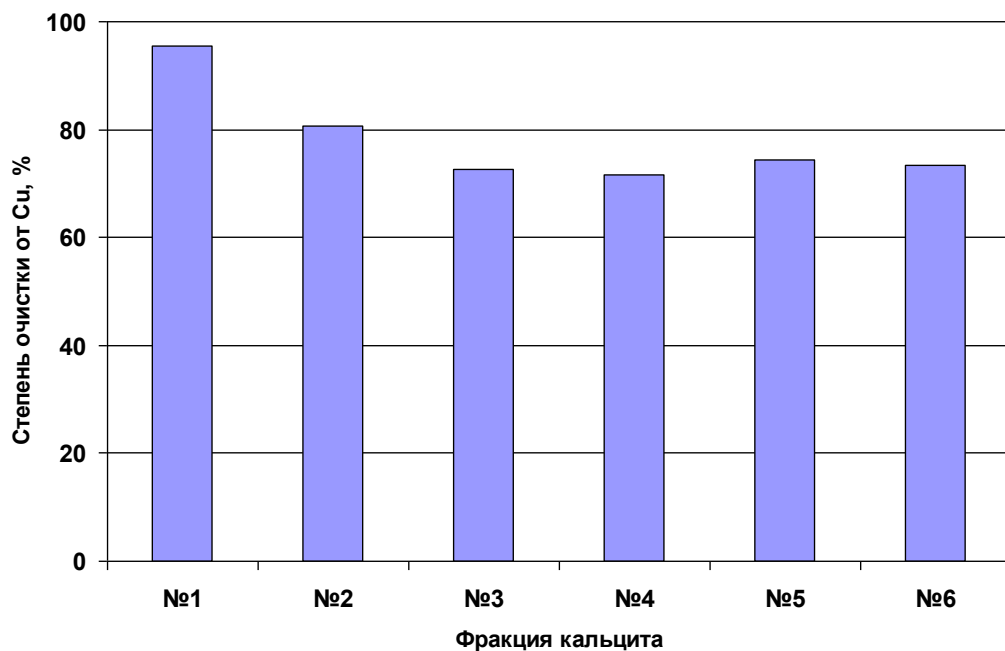


Рис. 3.5. Зависимость степени очистки сточной воды (Cu) от размера частиц кальцитсодержащей горной породы.

На рис. 3.6. представлена рентгенограмма обработанного природного сорбента. Из рисунка видно, что наряду с исходными фазами кальцитсодержащей породы (кальцит, доломит) обнаруживаются следы новых соединений – сульфата кальция и гидроксида магния. Если значение pH сточной воды составляло 8.15, то в процессе очистки значение pH воды поднималось до 8,9-9,0.

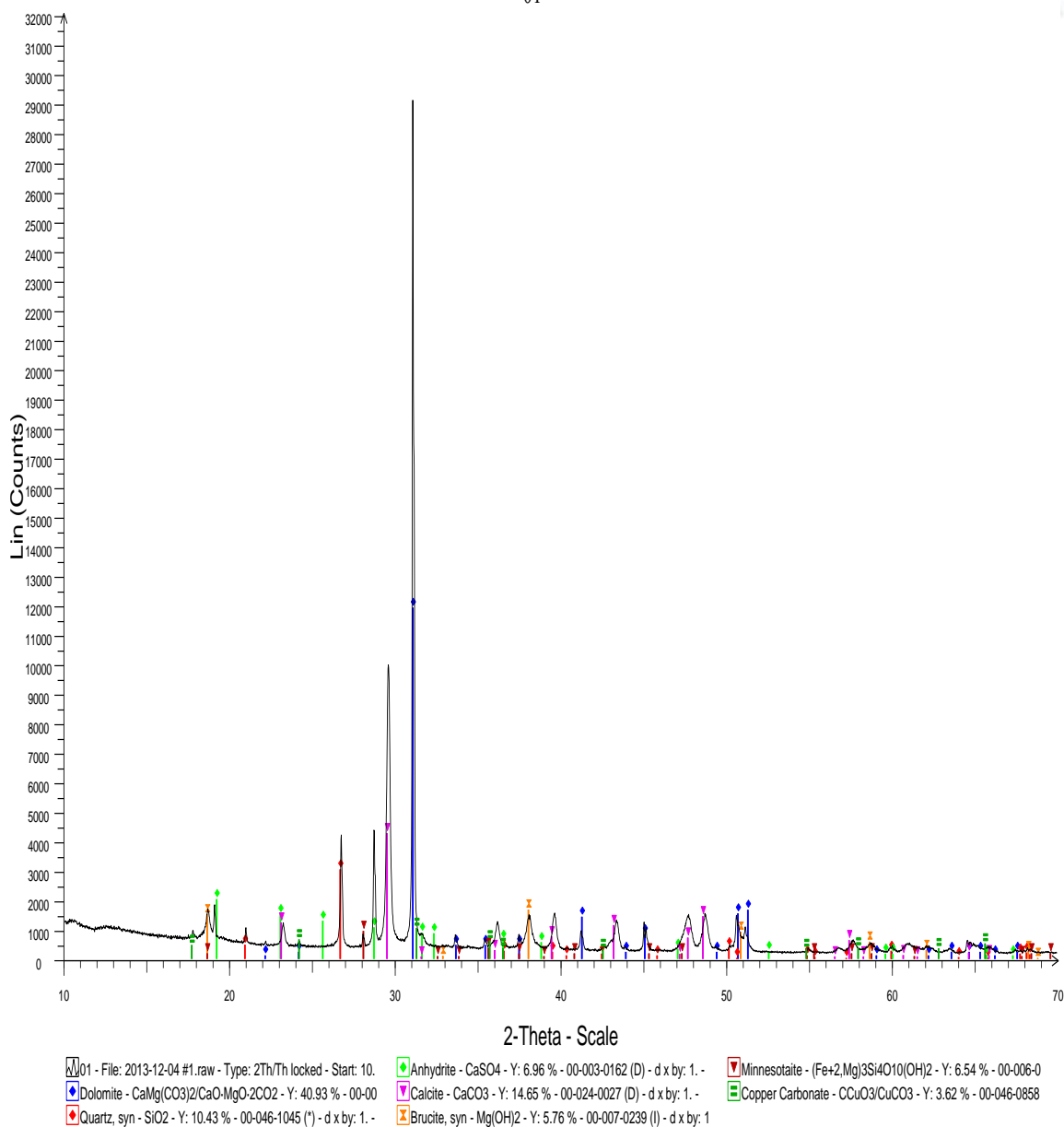


Рис.3.6. Рентгенограмма отработанного сорбента

### 3.2. Моделирование сорбции ионов тяжелых цветных металлов кальцитсодержащими горными породами

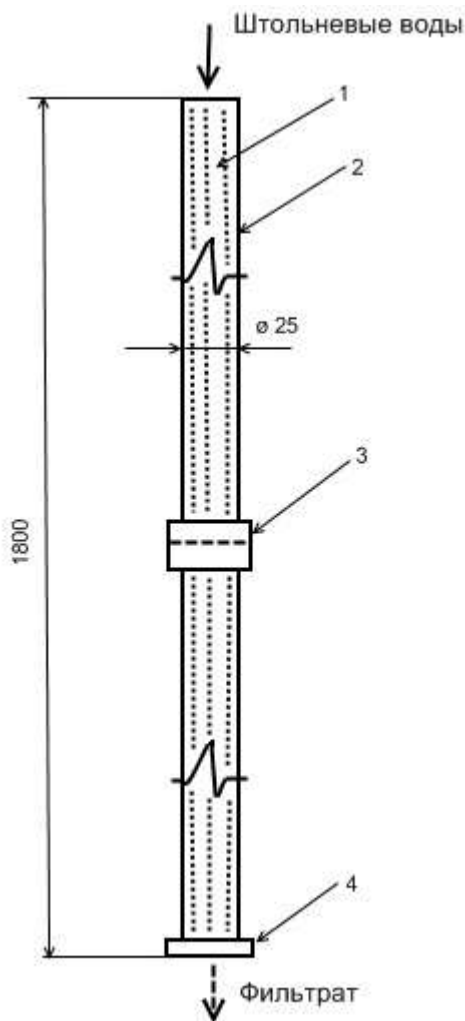


Рис. 3.7. Реакционная колонка.  
 1 – сорбент; 2 – кварцевая трубка;  
 3 – соединительная муфта; 4 – за-  
 твор.

Для моделирования процесса сорбции ионов тяжелых цветных металлов кальцитсодержащими горными породами была изготовлена специальная установка (рис. 3.7), представляющая собой вертикальную реакционную колонку – фильтр, изготовленную из кварцевой трубки  $\varnothing 22$  мм и высотой 1.8 м. В качестве сорбента использовали кальцитсодержащую горную породу класса +3,0 –5,0, т.к. эта фракция имеет наибольший выход при дроблении на щековой дробилке.

Моделирование процесса очистки и обезвреживания штольневых вод проводили в статическом и динамическом режимах. Статический режим – в колонку загружали кальцитсодержащую горную породу класса +3,0 –5,0 и заливали штольневой водой и держали ее в колонке определенное время. Динамический режим – через заполненную сорбентом ко-

лонку пропускали штольневую воду. Полученные фильтраты анализировали на содержание тяжелых цветных металлов. Режимы моделирования приведены в табл. 3.13.

Таблица 3.13.

Режимы проведения очистки и обезвреживания штольневых вод

№ п/п	Время, мин	Масса кальцитсодержащей горной породы, г	Объем H <sub>2</sub> O <sub>шт</sub> , мл
Статический режим			
1	60	800	350
2	120	800	350
3	180	800	350
4	360	800	350
Динамический режим			
5	6	800	1000

Результаты анализа фильтратов приведены в табл. 3.14.

Таблица 3.14

Степень очистки рудничных штольневых вод при моделировании процесса сорбции ионов тяжелых цветных металлов кальцитсодержащими горными породами

элемент	штольневая вода, мг/л	Статический режим								Динамический режим	
		60 мин.		120 мин.		180 мин.		360 мин.		мг/л	степень очистки
		мг/л	степень очистки	мг/л	степень очистки	мг/л	степень очистки	мг/л	степень очистки		
Zn	3.19800	0.0019	99.94	0.0019	99.94	0.0019	99.95	0.0019	99.95	0.0031	99.90
Mn	0.36670	0.00038	99.89	0.00038	99.89	0.00038	99.90	0.00038	99.90	0.00060	99.83
Fe	1.03850	0.00040	99.96	0.00040	99.96	0.00040	99.97	0.00040	99.97	0.00125	99.88
Pb	0.00410	0.00046	88.78	0.00046	88.78	0.00046	88.79	0.00046	88.79	0.00155	62.19
Cu	0.01130	0.0104	97.96	0.0104	97.96	0.0104	97.97	0.0104	97.97	0.0023	79.65
Cd	0.00300	0.0005	83.33	0.0005	83.33	0.0005	83.34	0.0005	83.34	0.0004	86.66

На выходе из реакционной колонки достигается степень очистки до 99,95, т.к. количество сорбента на 1 литр очищаемой воды составляет 2 200 ÷ 2 300 г, что легко обеспечить при строительстве геохимического барьера (дамбы).

Анализ полученных результатов показывает, что кальцитсодержащие горные породы являются хорошими сорбентами ионов тяжелых цветных металлов из рудных штольневых вод. Отсюда следует, что на месте разгрузки рудничных вод из разведочных штолен на Холоднинском полиметаллическом месторождении возможно создание геохимического барьера со степенью очистки до качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате проведенных исследований установлено, что участок изысканий находится на крутом правом склоне долины реки Холодная. При проведении разведки месторождения пройдено две штольни. В результате проходки штолен из недр на поверхность извлечено более 90000 м<sup>3</sup> горных пород, которые складированы в двух отвалах возле устьев штолен.

Устье штольни № 1 пробито в скальном обнажении сланцев. Перед штольной имеется выровненная площадка 80×80 м. Отвалы горных пород из штольни насыпаны в виде трех ступеней и занимают площадь 140×58 м. Объем извлеченных из недр пород составляет ~60000 м<sup>3</sup>.

Устье штольни № 2 пробито в обнажении известняков высотой около 40 м и шириной около 100 м. Перед штольной имеется площадка 50×100 м частично заваленная отвалами горных пород из штольни. На площадке сохранился остов здания из бетона размером 25×10 м. Отвал пород из штольни имеет сложное строение, с несколькими языками сползания. Выделяются два яруса отвалов насыпанных на площади 90×50 м. Общий объем горных пород в отвале составляет ~ 30000 м<sup>3</sup>.

Залегающие в отвалах горные породы обогащены рудной минерализацией, которая под воздействием экзогенных процессов разрушается с образованием гипергенных минералов. Эти минералы фиксируются на всей площади отвалов в виде белых, желтых и коричневых образований.

2. Исследование почв в районе штолен и отвалов горных пород показало, что они в значительной степени загрязнены продуктами разложения рудной минерализации. Наблюдается перемещение загрязнения вниз по склону до берега реки Холодная.

3. Из штолен на поверхность склона поступают рудничные воды, которые поверхностным стоком попадают в реку Холодная. Часть штольных вод формирует подземный сток.

4. На гидрогеологические условия района большое влияние оказывает широкое распространение многолетнемёрзлых пород. Это обуславливает со-

кращение площади возможного обмена между водоносными горизонтами и приуроченности отдельных очагов разгрузки подземных вод к сквозным таликам (подрусловым, обводнённым зонам разломов). Основным типом подземных вод района являются трещинные и трещинно-жильные воды метаморфических пород верхнепротерозойского возраста. Водоносность кристаллических пород крайне неравномерна. Водоносность пород в зонах разрывных тектонических нарушений, как правило, на порядок выше, чем в аналогичных по составу и возрасту породах вне таких зон. Тектонические зоны разломов, характеризуются повышенной водообильностью (дебиты источников от десятых долей до 25-100, реже до 250-400 л/с) дают максимальные притоки в горные выработки.

5. Наиболее значимым в гидрогеологическом отношении является Авкитский разлом, прослеженный в процессе разведочных работ вдоль ЮВ границы Первой рудной зоны. Разлом определяет, в основном, обводненность месторождения, он вместе с карстовыми полостями и каналами в карбонатных породах обеспечивает водоприток в штольни до 100 л/с. При проходке штольни № 1 до отметки 186 м, горной выработкой вскрывались сухие породы. Первые признаки водопроявлений (незначительный, прерывистый капез) появились в интервале 186-290 м. На отметке 327 м встречена первая обводненная тектоническая трещина, приток из которой составил 10 л/с. В интервале 361-403 м штольной пересечена шовная зона Авкитского разлома, из которой, по мере проходки и вскрытия отдельных водопроводящих трещин, приток изменялся от 47 до 102 л/с. Через 120 суток после начала вскрытия Авкитского разлома произошла сработка емкостных запасов и водоприток из Авкитского разлома стабилизировался на уровне 40 л/с. После пересечения Авкитского разлома штольня снова вошла в практически необводненные породы и руды, в ней до забоя (859 м), висячем боку рудного разреза лишь на отдельных интервалах отмечался незначительный прерывистый, местами струйный капез.

6. Вытекающий из штольни № 1 ручей переводится в грунтовый сток в пределах расположения отвалов из штольни. Ручей из штольни № 2 огибает отвалы пород слева и впадает в реку Холодная. Часть поверхностного стока переводится в грунтовый сток на пути движения к реке. Донные отложения в этом ручье в значительной степени представлены окислами и гидроокислами железа и марганца, частично они состоят, вероятно, из сульфатных и карбонатных солей тяжелых металлов. В осадках выявлены значительные количества цинка, кадмия, ртути и др. токсичных элементов. Донные отложения представляют опасность для окружающих ландшафтов, они подлежат рекультивации.

7. Экспериментальные исследования по очистке рудничных вод из разведочных штолен Холоднинского месторождения от вредных примесей природными фильтрующими материалами показали, что кальцитсодержащие горные породы являются хорошими сорбентами ионов тяжелых цветных металлов из рудных штольневых вод. Отсюда следует, что на месте разгрузки рудничных вод из разведочных штолен на Холоднинском полиметаллическом месторождении возможно создание геохимического барьера со степенью очистки до качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения.

## РЕКОМЕНДАЦИИ

Негативное влияние штольневых и рудничных вод на состояние окружающей среды в районе Холоднинского месторождения может быть устранено двумя способами: путем изоляции изливающихся на поверхность вод в штольне и путем очистки их на сорбционных очистных сооружениях.

1. Изоляцию штольневых вод можно будет произвести путем тампонирувания горных выработок бетонными перемычками с заполнением межперемычного пространства горными породами из отвалов штолен. Тампонирувание необходимо произвести в горных выработках за границей залегания многолетнемерзлых пород в пределах кристаллических массивов сухих пород на расстоянии 70-100 м от устья штолен. Пространство штолен от пере-

мычки до устья необходимо заполнить горными породами отвалов. В пределах расположения многолетней мерзлоты горные породы, использованные в качестве заполнителя пространства штолен, постепенно достигнут значений температур окружающих замороженных пород, и будут выполнять функцию дополнительного изолирующего экрана для рудничных вод.

2. Рекультивацию отвалов горных пород следует провести на месте их залегания, обеспечив их компактное расположение на склоне. Сверху отвалы перекрыть ледниковыми отложениями и затем торфами, находящимися в районе складирования. Ледниковые отложения, представленные песчано-гравийным материалом, пригодные для использования в качестве изолирующего материала, располагаются на водоразделе рек Холодная - Тья. В качестве подстилающего и перекрывающего экрана можно использовать глину, песок, известняк. Вблизи участка рекультивации имеются месторождения глины Чайское, строительных песков Асектамур, известняков Тыйское.

3. Донные отложения рудничных вод целесообразно захоронить вместе с горными породами. Эти рыхлые отложения, образовавшиеся в результате выпадения продуктов выветривания горных пород из растворов, располагаются по берегам и в русле ручьев, вытекающих из штолен; в подпрудных водоемах возле штольни № 1 и перед береговым валом в долине р. Холодная. Мощность отложений неоднородная, максимальная мощность отмечается в подпрудных водоемах, где она достигает 0,5 м. При проведении рекультивации донные отложения необходимо собрать с поверхности.

4. Для удаления тяжелых металлов и нейтрализации сульфат-ионов в рудничных и штольневых водах одним из самых доступных и дешевых методов является создание геохимического барьера из кальцитсодержащих горных пород, находящихся непосредственно в районе выхода штолен на Холонинском полиметаллическом месторождении. Для размещения очистных сооружений в районе штолен имеются выровненные площадки.