

ЗОНАЛЬНОСТЬ САФЬЯНОВСКОГО МЕДНОКОЛЧЕДАНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В.А. Прокин, В.П. Молошаг, В.А. Малюгин

Сафьяновское месторождение расположено в 95 км к северо-востоку от г. Екатеринбург. Оно открыто в 1985 г, а в 1994 г. здесь начата добыча руд открытым способом, глубина карьера к 2002 г. составляла 80 м.

Месторождение расположено в пределах Режевской структурно-формационной зоны, в северо-восточном контакте Режевского серпентинитового массива. В районе месторождения выделяются три пластины горных пород, надвинуты друг на друга с запада на восток под углом 25-45° [Коровко, Двоглазов, 1991]. Средняя – рудовмещающая Сафьяновская пластина представляет деформированную вулканическую постройку, сложенную вулканитами кислого и среднего состава, с прослоями вулканогенно-осадочных пород ниже-среднедевонского возраста.

В карьере Сафьяновского рудника установлены четыре более выдержанных разрывных нарушения: Режевской надвиг (I), Западно-Сафьяновский (II), Сафьяновский (III), Восточный (IV) разломы (рис. 1). К западу от Сафьяновского разлома распространены риолиты, дациты, андезиты и эксплозивные брекчии смешанного риолитового и андезитового состава, а к востоку от Восточного разлома – кварцевые порфи-

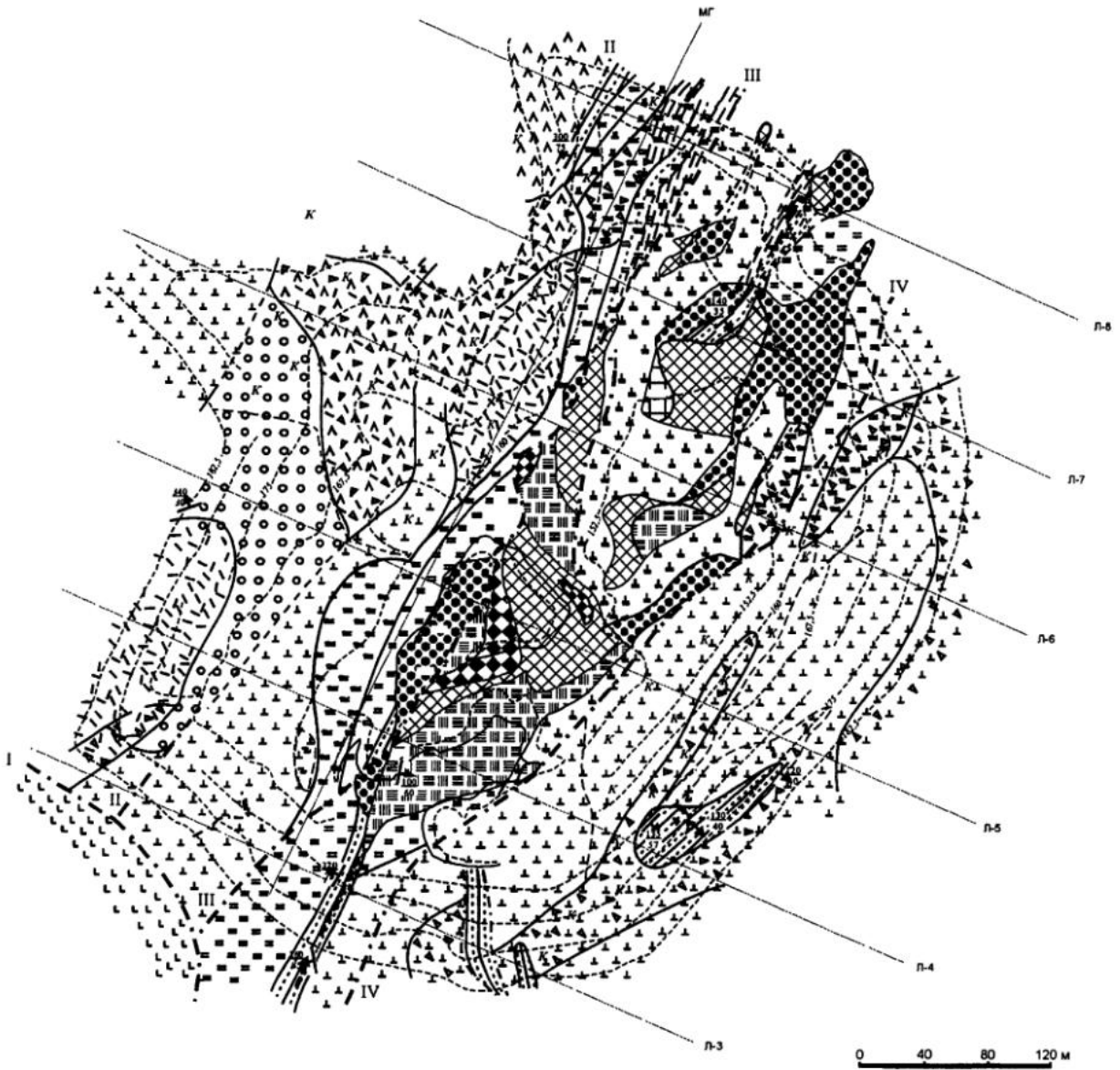
ры дацитового состава, представленные лавами, лавовыми брекчиями и субвулканическими телами. Западнее Сафьяновского разлома слоистость в прослоях туффитов имеет западное падение под углом 30-70°, а к востоку от него – восточное падение 30-90°.

На поверхности карьера сульфидные руды ограничены в своем распространении Сафьяновским разломом на западе и Восточным – на востоке. Рудное тело № 1 имеет клиновидную форму, при ширине до 150 м в северной части (профили 6, 7) и длине около 500 м. В южном направлении ширина его постепенно уменьшается и около профиля 3 оно выклинивается. Простираение рудного тела северо-северо-восточное по азимуту 30-35°, падение в верхней части субвертикальное, а на глубине – западное под углом 45-60°. Рудная зона имеет южное склонение под углом 20°; она прослежена скважинами на юг по простиранию на 2500 м [Шереметьев, Лещев, 2000].

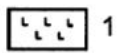
Зональность месторождения в плане изучена путем картирования карьера авторами в 1999-2001 гг. на горизонтах + 190.0 м, + 182.5 м, + 175.0 м, + 167.5 м и + 152.5 м. При этом задокументировано около 10000 пог. м бортов карьера, просмотрено 360 прозрачных и 156 поли-

Рис. 1. Геологическая карта Сафьяновского медноколчеданного месторождения. (составили В.А. Прокин, Ф.П. Буслаев, Н.В. Лещев, В.А. Малюгин).

I – горные породы: 1 – базальты; 2 – брекчии смешанного риолит-андезитового состава; 3 – гравелисты и песчаники смешанного риолит-андезитового состава; 4 – слоистые туффиты, вулканомиктовые песчаники; 5 – мелкокварцевые порфиры (а – риолиты, б – их брекчии); 6 – крупнокварцевые порфиры (а – дациты субвулканические, б – лавовые брекчии дацитов); 7 – субвулканические тела и дайки дацитов, превращенные в серицит-кварцевые породы; 8 – андезит-дациты; 9 – серицит-кварцевые породы и вторичные кварциты с вкрапленностью сульфидов; 10 – серицит-хлорит-кварцевые породы с вкрапленностью сульфидов; 11 – серицит-хлорит-кварцевые метасоматиты по брекчиям с вкрапленностью сульфидов; 12 – слоистые туффиты, замещенные метасоматитами. II – руды: 1 – массивные медные руды рядовые; 2 – массивные медные руды богатые; 3 – массивные медно-цинковые руды; 4 – вкрапленные медные руды; 5 – обломки и маломощные прослой руды; 6 – рудокласты. III – изменения пород: 1 – карбонатизация; 2 – гематитизация. IV – тектонические элементы: 1 – разрывные нарушения; 2 – зоны расланцевания; 3 – контакты различных пород и руд (а – установленные, б – предполагаемые); 4 – слоистость (числитель – магнитный азимут, знаменатель – угол падения в градусах). V – нижний контур уступа.



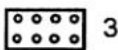
I. Горные породы



1



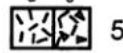
2



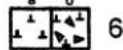
3



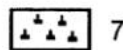
4



5



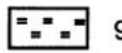
6



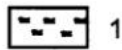
7



8



9



10

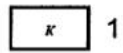


11

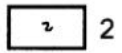


12

III. Изменения Пород

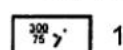


1



2

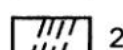
IV. Тектонические элементы



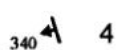
1



3



2



4

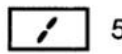
II. Руды



1



3



5



2



4



6



V

рованных шлифов. Вертикальная зональность установлена на основе документации керна 9 скважин общей длиной 2200 м. Ниже рассмотрена зональность рудных тел и ореола околорудных гидротермально-метасоматических изменений боковых пород.

Зональность рудных тел

В контуре карьера преобладают массивные колчеданные руды, которые вблизи северных выклиниваний сменяются вкрапленными и прожилково-вкрапленными разностями. Небольшие зоны прожилково-вкрапленных руд установлены в западной, юго-западной и восточной частях рудного тела. С глубиной площадь массивных руд сокращается, а площадь прожилково-вкрапленных разностей увеличивается за счет расширения западных зон, расположенных к западу от Сафьяновского разлома. На глубине 210 м массивные руды полностью выклиниваются, прожилково-вкрапленные достигают мощности 100 м. При этом рудная зона вкрапленных руд приобретает западное падение и выклинивается на глубинах 350–370 м.

Минеральная зональность

Массивные руды состоят в основном из пирита, халькопирита и сфалерита. В подчиненном количестве в них присутствуют теннантит, тетраэдрит, энаргит, фаматинит, ковеллин, барит и гипс. Редкими рудными минералами являются марказит, пирротин, галенит, люцит, арсенопирит, магнетит, теллурувисмутит, тетрадимит, гессит, эмпрессит, самородное золото. Минеральная зональность массивных руд в плане выражается в преимущественной концентрации халькопирита в западной части рудного тела, а сфалерита – в юго-восточной его части. При этом в западной части вблизи Сафьяновского разлома выделяется зона наложенной халькопиритовой минерализации, где рядовые халькопирит-пиритовые руды, содержащие 3–6 % халькопирита, пересечены сетью прожилков и жил халькопирита, местами переходящие почти в чисто халькопиритовые руды, содержащие до 10–15 % меди. В этих рудах (рудных столбах) встречаются также теллурувисмутит, тетрадимит, гессит, эмпрессит. В юго-восточной части тела массивных руд, наряду с пиритом, сфалеритом и халькопиритом присутствуют энаргит, фаматинит и галенит.

Прожилково-вкрапленные руды состоят в основном из пирита, халькопирита, кварца, гид-

росерита, хлорита с подчиненным количеством сфалерита, теннантита, энаргита. Среди вкрапленных руд северного фланга месторождения и вблизи разломов изредка встречается самородное золото, которое обычно присутствует в сростках со сфалеритом, теннантитом или галенитом. Размеры зерен золота не превышают 30 микрон. В зоне прожилково-вкрапленных руд содержание рудных минералов с глубиной уменьшается.

На глубоких горизонтах в этих рудах появляются пирротин и магнетит.

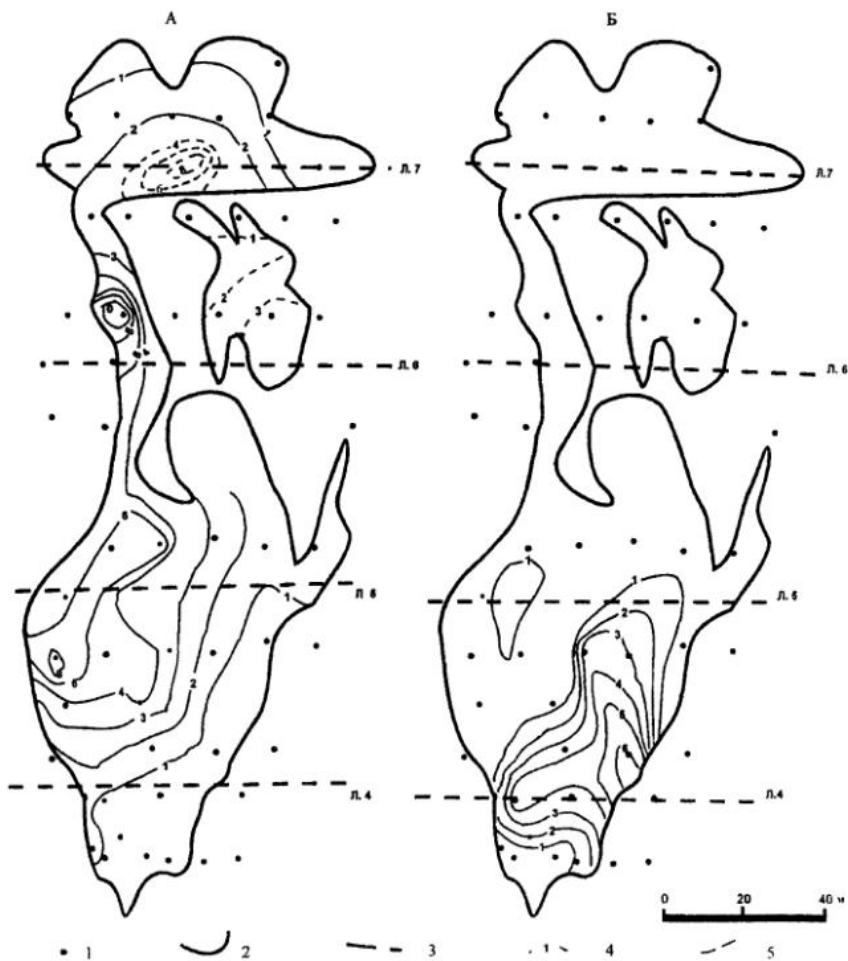
Зональность химического состава руд в целом отражает минеральную зональность. Для наглядного изображения распределения основных полезных компонентов руд – меди, цинка и золота построены планы и разрезы рудного тела № 1, на которых показано это распределение в изолиниях содержаний. На планах изолинии построены по данным опробования скважин эксплуатационной разведки. При этом взяты средние содержания на 10 метровый интервал глубин скважин. На разрезах за основу взяты содержания в групповых пробах по керну разведочных скважин.

Анализируя составленные чертежи (рис. 2, 3), можно видеть что на плане повышенные содержания меди установлены в западной части рудного тела (рис. 2а), а цинка – в юго-восточной его части (рис. 2б). При этом в зоне наложенной халькопиритовой минерализации, вблизи Сафьяновского разлома, отмечаются наиболее высокие содержания меди. На геологическом разрезе высокие содержания меди наблюдаются также вдоль западного контакта залежи массивных руд, на глубинах 90–100 м они достигают 20 % (рис. 3а); повышенные содержания цинка тяготеют к восточной части тела массивных руд, достигая максимума 5,2 % на глубинах 110–120 м (скв. 2091). В этой же зоне установлены сравнительно высокие содержания золота (2,3 г/т) (рис. 3б). Еще более высокие содержания золота (3,4 г/т) тяготеют к зоне Сафьяновского разлома, хотя в богатых медных рудах содержание золота низкое и колеблется около 1 г/т. Из особенностей геохимической зональности рудного тела № 1 следует отметить повышенные содержания ртути и мышьяка в верхней его части.

В зоне прожилково-вкрапленных (штоковерковых) руд на глубоких горизонтах содержание меди уменьшается с глубиной: в интервале глубин 150–250 м оно составляет 2–3 %, а на глу-

Рис. 2. Планы рудного тела № 1 Сафьяновского месторождения на горизонте + 175 м с изолиниями содержания меди (А) и цинка (Б).

1 – скважины эксплуатационной разведки; 2 – границы рудного тела; 3 – линии разведочных профилей; 4 – изолинии содержания металлов (в %); 5 – изолинии содержания металлов, основанные на ненадежных данных.



бинах 250-350 м – от 0.5 до 1.5 %. Высокие содержания меди наблюдаются лишь вблизи Сафьяновского разлома, где располагается зона наложенной медной минерализации, переходящая здесь из залежи массивных руд в зону прожилково-вкрапленных руд [Прокин и др., 2002] (рис. 2). Содержание золота в прожилково-вкрапленных рудах составляет 0.2-0.5 г/т, а вблизи выклиниваний рудной зоны уменьшается до 0.05-0.2 г/т.

Зональность гидротермально - измененных боковых пород.

Вблизи рудных тел вмещающие породы претерпели гидротермально-метасоматические изменения. Первичные минералы – полевой шпат, амфибол, пироксен замещены вторичными минералами: кварцем, гидросерицитом, sudoитом, хлоритом, карбонатами, каолинитом, диккитом, иллитом, монтмориллонитом, гидрогематитом, вторичным альбитом, баритом, анатазом, сульфидами. При полном замещении полевого шпата породы относятся к метасоматитом, а если в них сохранились реликты полевого шпата они считаются частично измененными [Прокин, 1977]. Этот критерий позволяет выделить зоны более интенсивного проявления гидротермально-метасоматических процессов, а внутри них выделить рудоподводящий канал.

По преобладающему развитию вторичных минералов на Сафьяновском месторождении выделяются следующие зоны метасоматитов: серицит-кварцевая (гидросерицит-кварцевая), хлорит-серицит-кварцевая, хлорит-кварцевая. По периферии площади сложенной метасоматитами располагаются зоны частично измененных пород: серицитизации, карбонатизации, окварцевания, гематитизации (гидрогематитизации), хлоритизации. Во всем ореоле метасоматитов присутствуют вкрапленность и прожилки сульфидов, преимущественно пирита, реже халькопирита и сфалерита. Интенсивность сульфидной минерализации уменьшается от рудных тел к краевым частям метасоматического ореола (в целях упрощения здесь и далее вместо гидросерицита употребляем серицит).

Наибольшим распространением в карьере пользуются метасоматиты *серицит-кварцевого состава*, располагающиеся в контакте с рудным телом и почти полностью окаймляю-

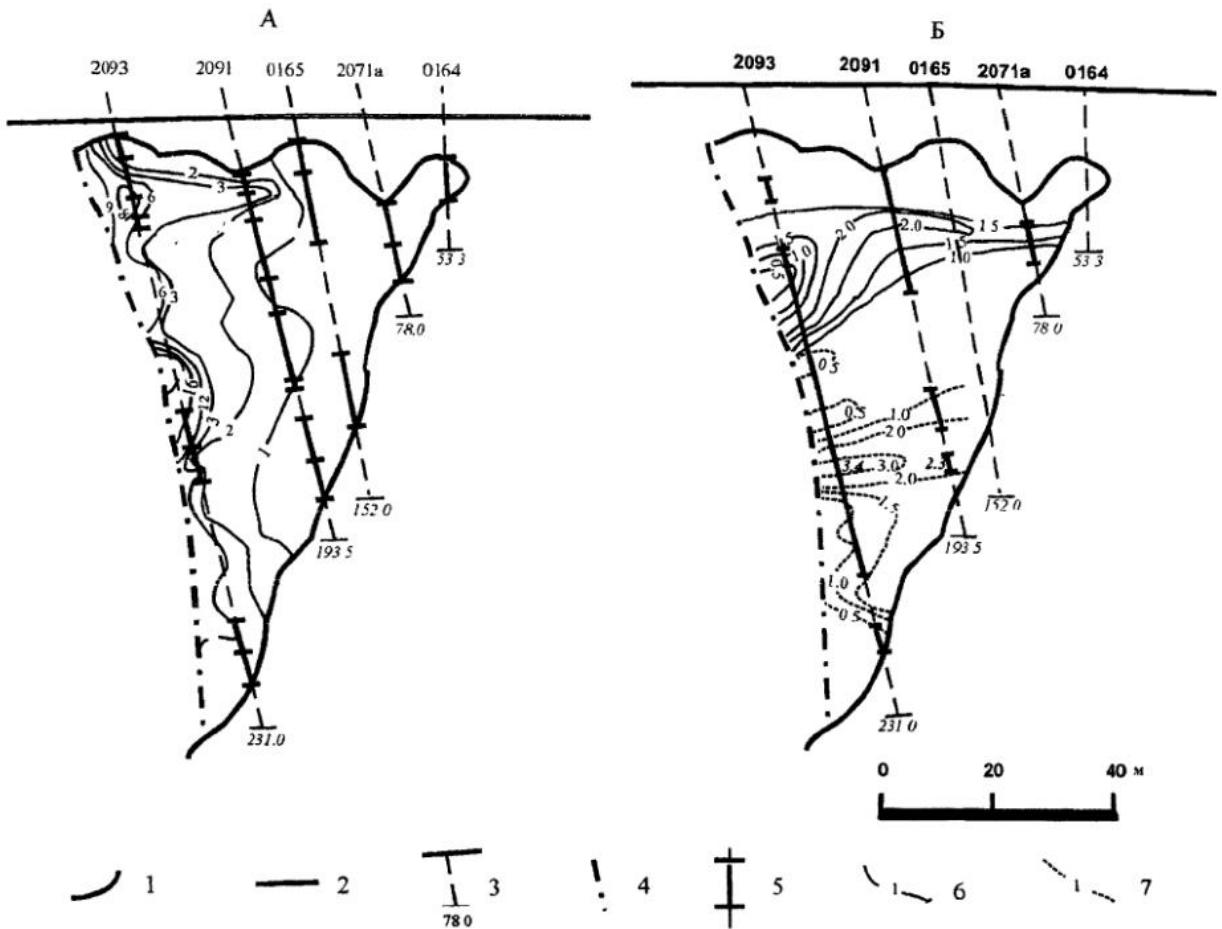


Рис. 3. Разрезы рудного тела № 1 по линии 5 с изолиниями содержания меди (А) и золота (Б).

1 – границы рудного тела; 2 – дневная поверхность; 3 – скважины и их глубины; 4 – Сафьяновский разлом; 5 – интервалы опробования скважин; 6 – изолинии содержаний меди (в %) и золота (в г/т); 7 – изолинии содержаний, основанные на ненадежных данных.

щие его. На северном выклинивании рудной залежи ширина зоны серицит-кварцевых метасоматитов достигает 160 м. Кроме того, в серицит-кварцевые метасоматиты превращены субвулканические тела и дайки кварцевых порфиров, пересекающие рудное тело в северной его части. Более мощная зона *хлорит-серицит-кварцевых пород*, достигающая ширины 40 м, закартирована в северо-западной части карьера, к западу от серицит-кварцевых метасоматитов. Эта полоса шириной от 10 до 30 м прослеживается в южном направлении до выклинивания рудного тела.

В зоне серицит-кварцевых пород преобладают кварц и гидросерицит; в подчиненном количестве местами в них присутствуют иллит, каолинит, дикцит, барит, анатаз [Грабежев и др.,

2001]. В непосредственном контакте с массивной рудой содержание кварца иногда возрастает до 80-90 % и породы переходят во вторичные кварциты. Хлорит-серицит-кварцевые породы, кроме названных минералов содержат местами карбонат, монтмориллонит, судонит. Вблизи контакта с серицит-кварцевыми породами и рудой хлорит представлен бесцветными магнезиальными разностями – судонитом, а с удалением от них он имеет зеленый цвет и принадлежит к железо-магнезиальному типу, железистость которого изменяется от 0,18 до 0,62 % [Грабежев и др., 2001].

Хлорит-кварцевые метасоматиты в карьере не установлены. Широкая зона хлорит-кварцевых пород расположена на глубинах 200-400 м, где прожилково-вкрапленные руды сло-

жены в основном кварцем и хлоритом, содержат густую вкрапленность и прожилки пирита и халькопирита. Эти метасоматиты замещают здесь кварцевые порфиры их лавовые и эксплозивные брекчии [Прокин и др., 2002; (рис. 2)].

Зона частичной серицитизации окружает метасоматиты. За пределами последних частично серицитизированы почти все кислые породы, закартированные в карьере, кроме субвулканических тел кварцевых порфиров за пределами рудных тел, поэтому специальным знаком на карте они не выделены.

Частично карбонатизированные породы закартированы в северо-западной и в юго-восточной частях карьера. На северо-западном участке карбонатизация распространена в основном в хлорит-серицит-кварцевых метасоматитах, андезитах, эксплозивных брекчиях и гравелитах смешанного риолит-андезитового состава. В юго-восточной части карьера карбонатизация накладывается на кварцевые порфиры и их лавовые брекчии. Последние, в северной части этого участка, превращены в хлорит-серицит-кварцевые метасоматиты. Карбонаты присутствуют в виде отдельных зерен или бесформенных их агрегатов, величиной 0,1–0,5 мм, неравномерно распределенных в породе. Реже встречаются прожилки карбоната. Ближе к рудным телам встречаются сидерит и магнезит, а на удалении от руды преобладают кальцит, доломит и анкерит.

Обе зоны *карбонатизации* удалены от рудного тела на определенное расстояние. Лишь там, где они граничат с рудой по разрывным нарушениям, карбонатизация приближается к руде. В целом зоны карбонатизации обрамляют руду с северо-запада и юго-востока.

Частичное окварцевание вмещающих пород отмечено к юго-западу и юго-востоку от южного выклинивания залежи массивных колчеданных руд, соответственно в юго-западном и юго-восточном бортах карьера. Оно выражается в развитии тонкозернистых фельзитовидных агрегатов кварца по сети ветвящихся микропрожилков или в виде бесформенных облакоподобных выделений. Местами с окварцеванием ассоциирует вторичный альбит, образующий мелкие кристаллы, чистые от примесей. Поскольку обнажения с окварцеванными породами разобщены, на карте не удалось выделить площадных контуров окварцевания.

Гематитизация встречена лишь в двух местах: на небольшой площади в юго-восточ-

ном борту карьера и в одном обнажении в западном его борту (рис. 1). Гематитизированные кварцевые порфиры имеют вишнево-красный цвет, а в лавовых брекчиях этих пород цемент обычно хлоритизирован, а обломки гематитизированы. В прозрачных шлифах гидрогематит представлен неравномерно распределенной «пылью» – скоплениями очень мелких непрозрачных выделений, темно-красных в отраженном свете.

Частичная хлоритизация широко распространена во вмещающих породах. Хлорит отсутствует лишь в зоне серицит-кварцевых пород. В наибольшем количестве хлорит содержится в хлорит-кварцевых метасоматитах, где составляет до 50 % объема породы. За пределами ореола окolorудных изменений вмещающие породы пропицитизированы и повсеместно содержат хлорит в количестве 5–10 % в кислых вулканитах и 10–20 % в вулканитах среднего и основного состава.

Генезис зональности

Сафьяновское месторождение формировалось гидротермально-осадочным путем на дне мелководного бассейна в островодужных геодинамических условиях [Прокин и др., 2002]. Основной рудоконтролирующей структурой является вулканическая постройка андезит-дацит-риолитового состава. В депрессии вулканического рельефа, в периоды затухания вулканических извержений, в результате взаимодействия эндогенных флюидов и морской воды происходило осаждение массивных сульфидных руд. По мере накопления руд, внутри рудной залежи происходила дифференциация и перераспределение вещества, в результате образовалось зональное рудное тело [Богданов и др., 1997]. Ближе к лежащему боку в условиях повышенной кислотности оказались халькопирит-пиритные руды, а вблизи всячего блока – сфалерит-халькопирит-пиритные руды. Одновременно с отложением массивных руд, на путях движения гидротермальных растворов – в зонах объемной микротрещиноватости, гидротермально-метасоматическим способом отлагались прожилково-вкрапленные руды. На коллизионном этапе геодинамического развития Урала, в результате надвига с запада на восток [Коровко, 1991], восточный блок некомпетентных пород, расположенный к востоку от Сафьяновского разлома, был запрокинут на восток и цин-

ковистые руды оказались в восточной части рудного тела (вблизи лежачего блока). Вблизи этого разлома по зоне дробления проникали регенерированные рудоносные растворы из которых отлагался халькопирит. В результате образовались богатые медные руды—«рудный столб».

В зоне рудоподводящего канала кислые эндогенные флюиды выщелачивали легкорастворимые компоненты: натрий, кальций, магний и в результате образовалась мощная зона серицит - кварцевых пород, расположенная на северном фланге месторождения. С удалением от этой зоны выщелоченные элементы переотлагались в порядке уменьшения энергии ионизации (на валентный электрон): Mg^{2+} 11,3; Ca^{2+} 8,99; Na^{1+} 5 [Коржинский, 1965]. Вблизи зоны серицит - кварцевых пород переотлагался магний, в результате образовались зоны хлорит-серицит-кварцевых и хлорит-кварцевых пород. В наружной части этих зон и за их пределами осаждался кальций, в результате чего образовались зоны карбонатизации. В зоне рудоподводящего канала и вблизи его существовал высокий потенциал серы, поэтому в метасоматитах образовалась рассеянная сульфидная минерализация. По мере удаления от рудоподводящего канала химический потенциал серы падал, а потенциал кислорода, вытесненного из зоны рудоотложения, возрос. Поэтому на удалении от сульфидных руд и метасоматитов появилась зона гематитизации. На южноуральских месторождениях – Учалинском, Сибайском, Подольском и других зоны гематитизации имеют большую мощность и представляют как бы «шапки» над рудой и околорудными метасоматитами.

Правдоподобность гипотезы выщелачивания более растворимых химических элементов в зонах рудоподводящих каналов и переотложения их по периферии этих зон, подтверждена подсчетами баланса вещества на ряде колчеданных месторождений Урала [Прокин, 1977; Prokin et al., 1999]. При этом для Бурибайского и Подольского месторождений получены сопоставимые цифры выноса и привноса магния. Кальций и натрий выносятся в значительно большем количестве чем переотлагаются вбли-

зи рудоподводящего канала, поскольку ореолы их переотложения выходят далеко за пределы подсчетных блоков.

Описанная зональность рудных тел и околорудных метасоматических изменений горных пород сходны с таковыми южноуральских колчеданных месторождений. Она является научной основой для разработки поисковых признаков на колчеданные месторождения и должна учитываться при их разведке.

Список литературы

- Богданов Ю.А., Бортников Н.С., Лисицын А.П. Закономерности формирования гидротермальных сульфидных залежей в осевых частях рифта Срединно-Атлантического хребта // Геология рудных месторождений. 1997. Т. 39. №3. С. 409-429.
- Грабежьев А.И., Молошаг В.П., Сотников В.И. и др. Метасоматический ореол Сафьяновского Zn-Cu колчеданного месторождения, Средний Урал // Петрология. 2001. Т. 9. № 3. С. 204-220.
- Коржинский Д.С. Общие закономерности постмагматических процессов // Проблемы постмагматического рудообразования. Т.2. Прага, Изд-во Чехословацкой А.Н. 1965. С. 305-315.
- Коровко А.В., Двоглазов Д.А. О позиции Сафьяновского рудного поля в структурах Режевской структурно-формационной зоны (Средний Урал) // Геодинамика и металлогения Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. С. 151-152.
- Прокин В.А. Закономерности размещения колчеданных месторождений на Южном Урале. М.: Недра, 1977. 174 с.
- Прокин В.А., Буслаев Ф.П., Молошаг В.П. и др. Геология Сафьяновского медноколчеданного месторождения (по результатам картирования карьера) // Ежегодник-2001. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2002. С. 276 - 281.
- Шереметьев Ю.С., Лещев Н.В. Сафьяновское медноколчеданное месторождение на Среднем Урале // Путеводитель геологической экскурсии. Екатеринбург: КИР по Свердловской области. 2000. 14 с.
- Язева Р.Г., Молошаг В.П., Бочкарев В.В. Геология и рудные парагенезисы Сафьяновского колчеданного месторождения в среднеуральском ретрошарьяже // Геология рудных месторождений. 1991. Т. 33. № 4. С. 47-58.
- Prokin V.A., Buslaev F.P. Massive copper-zinc sulphide deposits in the Urals // Ore geology reviews. Elsevier. 14. 1999. P. 1-69.