

В.Е. Кунгурова, Ю.П. Трухин, А.А. Алискеров

**СТРУКТУРНО-ТЕКСТУРНЫЕ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ
ОСОБЕННОСТИ ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ РУДНОГО ТЕЛА
№ 1 МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШАНУЧ (КАМЧАТКА)**

Обобщены известные ранее и получены новые данные по структурно-текстурным особенностям и минералогическому составу окисленных руд сульфидного медно-никелевого месторождения Шануч (рудное тело № 1) Камчатской никеленосной провинции. Дана характеристика процессам изменения первичных руд в условиях приповерхностной зоны окисления, описаны процессы и пространственная схема-модель этой зоны. Основным отклонением от классической схемы окисления сульфидных руд является отсутствие подзоны вторичного сульфидного обогащения. Ключевые слова: месторождение Шануч, сульфидные медно-никелевые руды, зона окисления, текстуры выщлачивания, гипергенные минералы.

Месторождение Шануч расположено на северном окончании Камчатского срединного массива и представлено серией субвертикально ориентированных рудных тел, сопряженных с небольшими малыми интрузиями и дайками меладiorитов, размещение которых контролируется дорудными разрывными тектоническими нарушениями. Рудные тела жилло-, линзовидные, сложенные сульфидными медно-никелевыми рудами, окисленными с поверхности (рис. 1). Протяженность их достигает сотен метров по вертикали, мощность – десятки метров [1, 2].

Наиболее изученным на месторождении является рудное тело № 1, имеющее в плане сложную серповидную форму, размер которого равен 120 × 50 м, прослежено оно на глубину более 300 м. В вертикальном разрезе рудное тело имеет линзообразную форму с увеличением мощности в его центральной части [1].

Основными типоморфными рудными минералами являются: пирротин, пентландит и халькопирит; второстепенными – виоларит, кубанит, бравоит, пирит, магнетит и др.; редкими – борнит, миллерит, кобальтин и др. Из минералов благородных элементов встречаются: золото, майченерит, сперрилит, изоферроплатина и др. [3, 4].

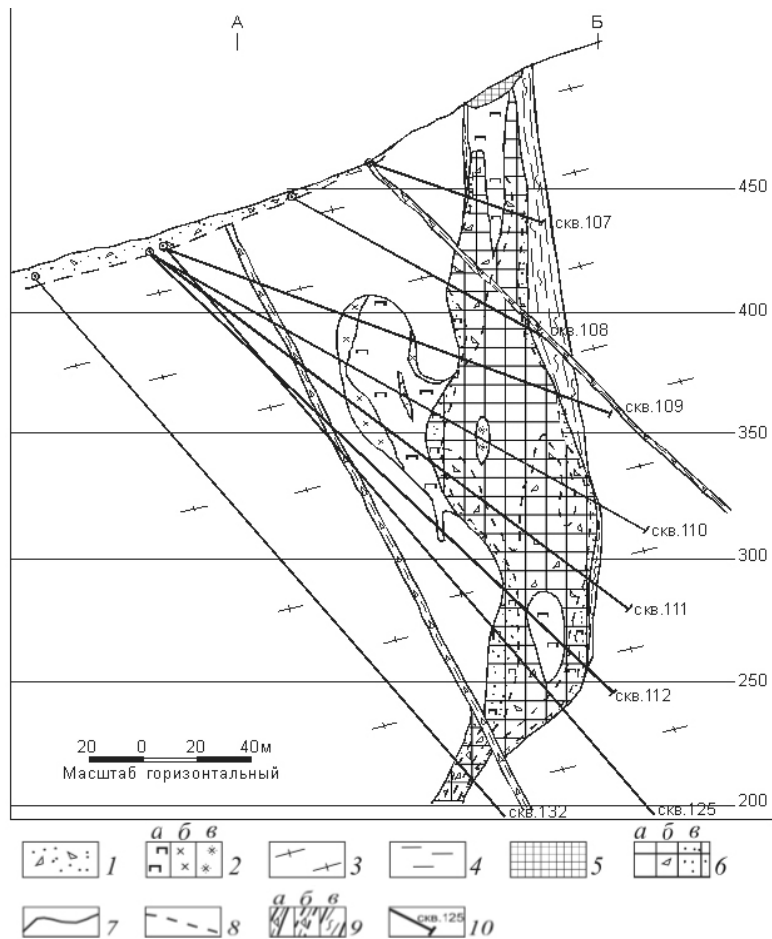


Рис. 1. Схематический разрез по рудному телу 1 месторождения Шануч (с использованием данных ЗАО НПК «Геотехнология» и дополнениями авторов) [1]: 1 – рыхлые четвертичные отложения; 2 – интрузии дукуковского комплекса: амфиболовые габбро (а), биотит-амфиболовые меладiorиты (б), гранатсодержащие мусковит-биотитовые диориты (в); 3 – кругогоровский гнейсово-плагйогранитовый комплекс: гнейсовидные плагйограниты, гнейсограниты, плагйограниты; 4 – камчатская метаморфическая серия: кристаллические сланцы гранат-ставролит-биотитового состава; 5 – окисленные руды; 6 – сульфидные медно-никелевые руды: массивные (а), брекчиевидные (б), прожилково-вкрапленные и вкрапленные (в); 7 – геологические границы; 8 – границы между типами руд; 9 – зоны дробления: достоверные (а), предполагаемые (б), зоны милонитизации (в); 10 – скважины, по которым отобраны образцы руд, их номера

Медно-никелевое месторождение Шануч по степени устойчивости и характеру изменений главных рудообразующих минералов в условиях зоны окисления относится, согласно классификации [5], к группе сульфидных месторождений, руды которых наиболее подвержены процессам растворения и выноса полезных компонентов.

Материалы и методы

В процессе работы были обобщены все данные, полученные ранее сотрудниками ПГО «Камчатгеология», ЗАО НПК «Геотехнология» по зоне окисления месторождения Шануч, а также результаты исследований, проведенных НИГТЦ ДВО РАН в период 1997–2014 гг.

Изучение зоны окисления месторождения Шануч проводилось по рудному телу 1. В лабораториях НИГТЦ ДВО РАН, ПГО «Камчатгеология», ИВиС ДВО РАН выполнен атомно-абсорбционный анализ 27 проб, исследовано 33 шлифа и аншлифа, проведен полный минералогический анализ 63 проб, микросондовый анализ минералов руд.

В настоящее время на месте выхода рудного тела №1 на поверхность эксплуатационным предприятием ЗАО НПК «Геотехнология» создан карьер, который в результате горно-добычных работ вскрыл и извлек всю его верхнюю часть, а образования зоны окисления складированы в два отвала. При изучении текстурно-структурных особенностей, минералогического состава отложений зоны окисления использовался материал проб не только из естественных обнажений, но из этих отвалов.

Описание зоны окисления рудного тела № 1 месторождения Шануч

В отчетах ПГО «Камчатгеология» описанию зоны окисления месторождения Шануч отводится мало места и придается очень скромная роль. Авторы практически не приводят ее детального описания. В сводном отчете Игнатьева В.Н. и др. (1979 г.) [6] зоне окисления посвящено только одно предложение: «С поверхности массивные руды в различной степени выщелочены с образованием железной шляпы типа «Гассан», но мощность ее невелика, не превышает 10–12 метров (в среднем 7,6 м)».

Зона окисления и выщелачивания рудного тела № 1 была изучена в борту руч. Ралли и по керну скважин. В отчетах [7, 8] дается описание зоны окисления по 7 скважинам, при этом не делается какого-либо анализа по зоне окисления (рис. 2). Она наблюдается почти на всей площади выхода руды, но ввиду интенсивных эрозионных процессов имеет сравнительно небольшую среднюю мощность – 4,2 м. На западном фланге рудного тела, в естественном обнажении были выявлены почти не затронутые процессами выщелачивания медно-никелевые руды. В центральной части рудной залежи и на ее восточном фланге (вниз по склону рельефа) отмечается увеличение мощности зоны окисления до 3,5–7,5 м. Вследствие различной степени окисления для разреза характерна неоднородная пестрая окраска. В зависимости от количества лимонита, гетит-гидрогетита, гематита, амфиболов и других минералов цветовая гамма изменяется от серой в основании разреза, до буро-коричневой с пятнами буро-желтого и красно-бурого – в верхней ее части. В 2003 г. зона окисления была вскрыта и опробована канавой 520 (ЗАО НПК «Геотехнология») [6].

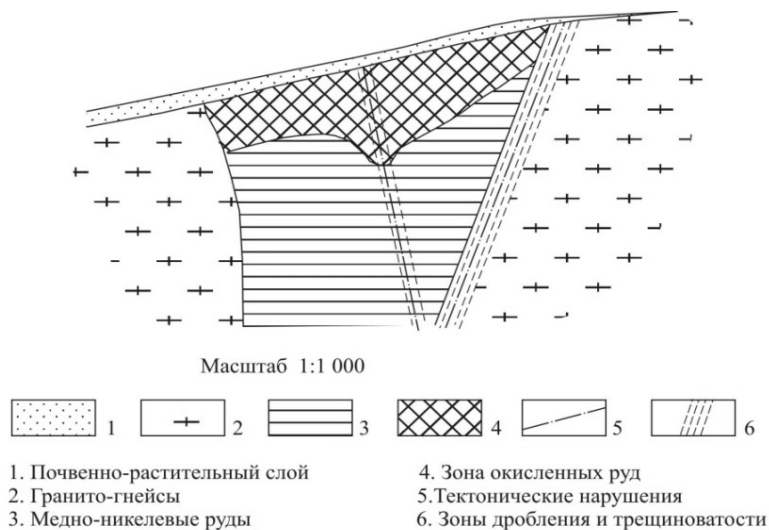


Рис. 2. Схематический разрез зоны окисления рудного тела 1 месторождения Шануч [6]

Минералогическим анализом установлено [1, 8, 9], что верхняя часть зоны окисления состоит преимущественно из наиболее устойчивых к дальнейшему разрушению гипергенных минералов: лимонит, гидрогетит, мелантерит, аннабергит, ярозит, ковеллин; реже: марказит, бравоит, виоларит, борнит, гипс. В большинстве случаев в верхней части зоны окисления первичных сульфидов практически не остается. В естественных и искусственных обнажениях верхняя часть зоны окисления – это «пористые структурные лимониты» ярко красно-желтого и буро-желтого цвета с количеством пор до 50-70 %. С поверхности они почти полностью разрушены до глин. На границе с первичными сульфидными рудами иногда образуются маломощные (первые сантиметры) зонки порошкообразных «сажистых» руд темно-серого цвета.

Результаты и их обсуждение

В районе выхода на поверхность рудного тела № 1 месторождения Шануч сульфидные руды перекрываются делювиально-элювиальными отложениями, состоящими, преимущественно из продуктов окисленных руд – «железной шляпы». Из разреза зоны окисления в 1998 г. и вскрышных отвалов в 2009, 2014 гг. были отобраны и исследованы образцы окисленных руд .

В районе руч. Ралли обнажается фрагмент рудного тела № 1 (элювий), представляющий собой массивную руду, разбитую трещинами, по которым фиксируются зоны окисления мощностью 18–20 см, отражающие окислительные процессы (в минимасштабе), которые происходят с сульфидными минералами в данных условиях. Наблюдается зональность в строении этих зон: внешняя оторочка (проба Д1-53) желто-оранжевого цвета состоит из лимонита с включениями черного «сажистого» порошковидного вещества; средняя часть (проба Д1-54) – это расслоенный рудный сульфидный материал с большим количеством «сажистого» материала (мельниковит, халькозин, борнит, виоларит) и включениями лимонита; внутренняя (проба Д1-55) – лимонитизированная по трещинкам сульфидная руда. Мощность зон примерно одинаковая – по 6–8 мм.

Среди всего объема каменного материала, отобранного из образований зоны окисления рудного тела № 1, выделены:

- выщелоченные руды (лимонит с ноздреватой структурой);

- полностью окисленные руды (лимонит);
- частично окисленные руды, содержащие включения первичных сульфидных руд;
- первичные неокисленные сульфидные руды.

Состав руд из зоны окисления представлен в табл. 1, 2. Образования зоны окисления, в целом, характеризуются повышенными содержаниями золота и платиноидов, причем количественно золота меньше, чем платиноидов в сумме. Минералогический же анализ проб и шлихов, напротив, установил более частое наличие в пробах золота и лишь единичное присутствие сперрилита.

Таблица 1

Содержания основных полезных компонентов по разрезу рудного тела № 1

| № п/п | Тип руд в зоне окисления (номер пробы) | Содержания, вес. % | | |
|-------|--|--------------------|------|------|
| | | Ni | Cu | Co |
| 1 | *вышелоченные руды (Д-4, Д-5, 3043) | 0,04 | 0,27 | 0,01 |
| 2 | *окисленные руды (Д-1, Д-2, Д-3, 3044) | 0,03 | 0,60 | 0,01 |
| 3 | **частично окисленные руды (РЗ-1) | 4,96 | 0,70 | 0,15 |
| 4 | **массивные неокисленные руды (ТХ-1с) | 5,75 | 1,14 | 0,15 |
| 5 | *среднее по неокисленным рудам [1] | 5,59 | 0,70 | 0,16 |

Примечание: атомно-абсорбционный анализ проведен: * – в химико-технологической лаборатории НИГТЦ ДВО РАН (прибор ААС-6300); ** – АмурКнии ДВО РАН.

Таблица 2

Содержания благородных металлов по разрезу рудного тела № 1

| № п/п | Тип руд в зоне окисления (номер пробы) | Содержания, г/т | | |
|-------|---|-----------------|------|------|
| | | Pt | Pd | Au |
| 1 | *окисленные руды («железная шляпа») [4] | 3,09 | 2,53 | 2,07 |
| 2 | **массивные неокисленные руды (ТХ-1с) | 1,49 | 0,32 | 1,17 |
| 3 | ***среднее по неокисленным рудам [1] | 0,14 | 0,40 | 0,20 |

Примечание: атомно-абсорбционный анализ проведен в лабораториях: * – ПГО «Камчатгеология»; ** – АмурКнии ДВО РАН; *** – НИГТЦ ДВО РАН.

Основные текстуры образований зоны окисления

Текстуры выщелачивания и дробления. Обломочные, порошковатые, землистые текстуры характерны для зоны полного выщелачивания, которая располагается непосредственно под поверхностной коркой «железной шляпы». Это неплотные, пористые, плохо сцементированные агрегаты, иногда порошкообразного вида, скопления гидроокислов железа – «лимонитовая сыпучка». Пористые и кавернозные текстуры типичны для образцов, формировавшихся также в верхней части зоны окисления, которые возникли как результат интенсивного выщелачивания первичных руд.

Остаточные текстуры представляют собой пористый скелет, образованный тонкими, переплетающимися перепонками, выполненными сложным минеральным агрегатом, состоящим в основном из окиси кремнезема (опала) и лимонита. Ячеистые текстуры характеризуются наличием каркаса, сложенного кремнистым лимонитом. Внутреннее пространство этих текстур в некоторых образцах выполнено порошкообразным лимонитом, среди которого встречаются иголки гётита и других вторичных минералов, но чаще эти текстуры не имеют наполнения. Губчатые, шлаковидные текстуры являются разновидностями ячеистых текстур, отличаются системой пустот разнообразных форм и непостоянных размеров. Эти текстуры характерны для образований самой верхней зоны окисления «железной шляпы».

Псевдоморфные текстуры образований зоны окисления отвечают текстуре первичных руд. Они характеризуют нижние горизонты зоны окисления.

Минералогические особенности зоны окисления по результатам опробования

Образования зоны окисления характеризуются большим разнообразием и необычностью минерального состава, чем первичные руды. Здесь встречены, помимо преобладающего лимонита, лепидокрокит, гетит, марказит, гарниерит, борнит, ковеллин, халькозин, аннабергит, ярозит, нонтронит, моренозит, ретгерсит, азурит, малахит; редко: бравоит, виоларит, рутил, циркон, гипс, тальк, золото; единично – сперрилит. Золото неокатанное, в виде зерен размером 0,1–0,15 мм, сперрилит – в виде кристалла в шлихе и микроворстка в герсдорфите.

Из числа породообразующих минералов встречены: полевые шпаты, кварц, опал, каолинит, халцедон, амфиболы, пироксены, роговая обманка, биотит.

Основная составляющая большинства проб – это зерна, корочки, чешуйки, агрегаты, представленные в большинстве своем смесью лимонита с гётитом, а также гидроокислами кремнезема с присутствием глинистых минералов в виде метакolloидных, реже коломорфных масс. Эти образования имеют натечные, почковидные формы, на изломе характеризуются плотным, реже пористым строением. Для них характерно тонкослоистое концентрическое внутреннее строение. Встречающиеся жеоды имеют на поверхности мельчайшие высыпания, представленные лепидокрокитом игольчатой формы. Разновидности гидроокислов железа – лимонит, гётит, лепидокрокит – идентичны по составу, различаются только по содержанию в них гидроксильной группы. Все они формируются в результате гидролиза солей, возникающих при окислении и разложении пирротина – основного рудного минерала медно-никелевых руд месторождения Шануч, а также других сульфидов и железосодержащих силикатов. Цвет этих образований разнообразный, от желто-коричневого до темно-бурого, даже черного (в порошке они желтые, плотные массы их – до черного). Причем в разрезе этих, в целом лимонитовых образований, просматривается черная окраска внутренних зон и желто-бурая – внешних. Цвет черты этих минералов бурый с красноватым оттенком, часто кирпичный.

Кроме интенсивно лимонитизированных пород и руд в пробах встречаются образцы, имеющие светло-голубой цвет, с сине-зеленоватым оттенком, содержащие окислы и гидроокислы меди (азурит, малахит, ковеллин), а также встречаются примазки темно-зеленого цвета – образцы, содержащие аннабергит, нонтронит, моренозит, ретгерсит. В образованиях зоны окисления, находящихся в естественном залегании, эти цветные высыпки вторичных минералов на поверхностях лимонитизированных пород никем не были описаны. Очевидно, эти вторичные минералы, находящиеся в виде выцветов, примазок, присыпок были просто смыты с поверхности образований зоны окисления атмосферными осадками. В искусственных образованиях, созданных при складировании мате-

риала зоны окисления, эти минералы проявляются. Также они встречены в зоне окисления руд проявления Аннабергитовая Щель [10, 11], расположенной в южной части Камчатской никеленосной провинции.

Особенности формирования зоны окисления

Анализ факторов (климат, рельеф, тектоника, минералогический состав руд, параметры зоны окисления, и др.), оказывающих влияние на состояние первичных медно-никелевых руд и формирование зоны окисления рудного тела № 1 месторождения Шануч позволяют сделать описание минерально-геохимических процессов, происходящих в зоне окисления рудного тела.

Большинство сульфидных минералов месторождения Шануч (пирротин, пентландит, халькопирит и др.) при соприкосновении с атмосферными осадками и грунтовыми водами переходят в сульфаты [12], являющиеся хорошо растворимыми соединениями и выносятся за пределы рудного тела; плохо растворимые выпадают в осадок. Это, в основном, сульфат окиси железа, который в нейтральной или слабощелочной среде гидролизуясь, переходит в нерастворимый осадок – гидроокись железа – лимонит. В условиях приповерхностной зоны окисления сульфидных руд месторождения Шануч лимонит является устойчивым, конечным и самым распространенным минералом. Его выделения слагают самую верхнюю часть отложений («железной шляпы»), для которых характерны губчатые и шлаковидные текстуры выщелачивания. Растворимость сульфидов в грунтовых водах, имеющих первичную щелочную реакцию не очень велика, поэтому процесс идет вяло и только на поверхности или в зоне просачивания. Но, вследствие даже незначительного растворения сульфидов, грунтовые воды обогащаются такими соединениями как H_2SO_4 , $Fe_2(SO_4)_3$, $CuSO_4$ и др., которые являются хорошо растворимыми соединениями – сильными окислителями, усиливающими процессы окисления сульфидных руд по сравнению с процессами, происходящими под влиянием H_2O , O_2 , CO_2 . В результате характер грунтовых вод меняется на кислый, что способствует уже более интенсивному разложению сульфидов. В этом случае основными минералами зоны окисления являются те же лимонит и гетит, а также вторичный сульфид меди [5]. CuS – слабо растворимое соединение и поэтому вторичный минерал – ковеллин — часто встречается в окислен-

ных рудах месторождения в виде каймы вокруг зерен халькопирита или полностью замещая последний. В случае дальнейшего течения процесса изменения первичных руд, по халькопириту развивается халькозин (CuS_2).

Вторичные минералы меди в зоне окисления месторождения Шануч в некоторых случаях образуют трудно разделяемые сростания в виде комплексных «выцветов», среди которых находятся, кроме ковеллина и халькозина, также азурит, малахит, моренозит, ретгерсит [13, 14].

Помимо рассмотренных выше рудных вторичных минералов в зоне окисления сульфидных руд месторождения Шануч формируются и нерудные минералы.

Во-первых, это остаточные минералы рудных тел, а также остаточные устойчивые минералы из выщелоченных боковых пород: кварц, турмалин, амфиболы, пироксены, мусковит, полевые шпаты и др.

Во-вторых, это уже рассмотренные минералы, возникающие в результате самих процессов развития зоны окисления. Это такие минералы как кварц, опал, халцедон, различные алюмокремниевые соединения, которые формируются из коллоидных растворов путем коагуляции, вероятно, различными электролитами, противоположено заряженными золями и т.д., которые образуются в зависимости от возникающих условий в зоне окисления и диагностируются как более или менее чистые производные гелей кремнезема, или как комплексные коагулянты, состоящие из смеси различных образований из гелей (кремнезема, глинозема, гидроокиси железа и др.).

Чистые гели кремнезема при последующих дегидратации и раскристаллизации дают начало опалу, халцедону и кварцу.

Комплексные гели кремнезема и глинозема, возникающие путем коагуляции или путем смешения гелей, высаженных одновременно из тех или иных электролитов дают различные алюмокремнистые соединения типа каолинита, галлуазита совместно с опалами, халцедоном.

Комплексные гели кремнезема и гидроокиси железа, образовавшиеся тем же путем, дают тесные смеси опала, халцедона или кварца с лимонитом. Последние коагулянты являются наиболее характерными комплексными образованиями в отложениях «железной шляпы» зоны окисления.

Целый ряд алюмокремнистых соединений возникает при процессах разложения сернокислыми и сульфатными водами различных алюмосиликатов рудной массы и боковых пород. При этих процессах отщепление оснований от каолицитового ядра обуславливает появление различных вторичных минералов каолинитового ряда.

Все процессы разложения сульфидных минералов в зоне окисления месторождения Шануч хорошо укладываются в теорию Р. Гаррелса [15], которая объясняет различную интенсивность прохождения этих процессов в связи с разной величиной окислительно-восстановительного потенциала сульфидных минералов и кислотности-щелочности растворов. Порядок окисления и растворения сульфидных минералов объясняется и электрохимическим рядом [16], по которому из сульфидов месторождения наиболее легко разлагающимся минералом является пирротин.

Самые верхние горизонты изменения первичных руд, где практически отсутствуют сульфидные минералы, отнесены к образованиям конечной стадии развития зоны окисления; подзона лимонитизированных руд – к средней стадии. Частично окисленные руды нижних горизонтов зоны окисления находятся в начальной стадии её развития. На горизонте образований этой стадии на месторождении Шануч отсутствует подзона вторичного сульфидного обогащения, которая характерна для месторождений сульфидных руд и располагается ниже зоны активного водообмена и полного насыщения. На примерах классических месторождений, где процессы формирования зоны окисления проявлены более интенсивно, чем на месторождении Шануч, мощность окисленных руд исчисляется десятками и сотнями метров, поэтому зональность зоны окисления проявлена полностью и отчетливо, в отличие от таковой на исследуемом месторождении. Кроме того, уклон рельефа руч. Ралли, вскрывающего рудное тело № 1, очень крутой, что и обеспечивает интенсивную эрозию сформировавшейся зоны окисления. В силу этого скорость эрозии данных образований по тальвегу руч. Ралли превышает скорость формирования и накопления образований зоны окисления рудного тела, во всяком случае той части этого рудного тела, которая обнажается в ручье Ралли. Тем не менее, процессы окисления первичных руд здесь идут по стандартной

для подобных месторождений схеме и обладают характерной вертикальной зональностью, проявление которой зависит от конкретных условий участка рудопроявления, где происходит формирование зон окисления.

Кроме неорганических процессов миграции элементов, их концентрации и рассеяния, важное значение в формировании зоны окисления сульфидной кобальт-медно-никелевой руды имеют биогеохимические процессы [16]. Из руд месторождения Шануч выделены и исследованы бактерии родов *Acidithiobacillus* (*A. ferrooxidans* и *A. thiooxidans*) и *Sulfobacillus*, которые активно участвуют в процессах бактериально-химического окисления этих руд [13].

Большое количество осадков, а также резко расчлененный рельеф района месторождения Шануч определяют повышенную циркуляцию грунтовых вод в зонах просачивания и истечения, что резко снижает степень концентрированности растворов, агрессивно воздействующих на сульфидные руды. Это не способствует формированию в этих условиях зон вторичного обогащения сульфидных руд. Основные полезные компоненты сульфидных медно-никелевых руд (медь, никель, кобальт), в основном не накапливаются в зоне поверхностного окисления месторождения, а выносятся за ее пределы. Хотя такие нерастворимые компоненты как золото и платина способны накапливаться в зоне окисления сульфидных руд, но, в целом, в частично окисленных и неокисленных массивных рудах верхней части разреза рудного тела № 1 их содержания немного выше, чем в среднем по разрезу. На начальной стадии исследований атомно-абсорбционным анализом (табл. 2) в пробах окисленных руд были выявлены значительные концентрации платиноидов (платина, палладия в сумме составляют 5,62 г/т) и золота (2,07 г/т). Минералогические исследования, проведенные нами, и микрозондовый анализ проб (аналитик Чубаров В.М., ИВиС ДВО РАН, 2001 г.) показали, что количества благородных металлов и частота их встречаемости невысоки, причем платиноиды обнаруживаются в зоне окисления гораздо реже, чем золото. В шлиховых пробах, отобранных из руч. Ралли, который размывает окисленные и первичные руды, золото встречено в большем количестве проб, чем в пробах из зоны окисления; здесь также диагностированы зерна сперрилита.

Выводы

Микробиологические исследования показали, что выделенные и исследованные из сульфидной кобальт-медно-никелевой руды месторождения Шануч бактерии родов *Acidithiobacillus* (*A. ferrooxidans* и *A. thiooxidans*) и *Sulfobacillus* принимают активное участие в формировании зоны окисления.

Резко расчлененный рельеф месторождения не дает возможностей накопления продуктов окисления в образованиях «железных шляп», которые подвергаются, ввиду крутых склонов, разрушению и перемещению вниз по рельефу. Поэтому ожидать высокий потенциал меди, никеля, кобальта, и даже золота и платины в отложения «железных шляп» месторождения, очевидно, не следует из-за превышения на некоторых участках скорости эрозии над скоростью окисления руд. В условиях Камчатки зона окисления рудного тела № 1 месторождения Шануч может иметь значение только как поисковый признак медно-никелевых месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трухин Ю.П., Степанов В.А., Сидоров М.Д., Кунгурова В.Е. Шанучское медно-никелевое месторождение: геолого-геофизическая модель, состав и геохимия руд // Руды и металлы. 2009. № 5. С. 75–81.
2. Трухин Ю.П., Степанов В.А., Сидоров М.Д., Кунгурова В.Е. Шанучское медно-никелевое рудное поле (Камчатка) // Вестник СВНЦ ДВО РАН, 2011, №1, С. 20–26.
3. Степанов В.А., Кунгурова В.Е., Гвоздев В.И. Находка ирарсита в медно-никелевых рудах месторождения Шануч (Камчатка) // Новые данные о минералах. М.: Изд-во Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана. – 2010. Вып. 45. С. 23–27.
4. Степанов В.А., Гвоздев В.И., Трухин Ю.П., Кунгурова В.Е. Минералы благородных и редких металлов в рудах Шанучского медно-никелевого месторождения (Камчатка) // Записки Российского минералогического общества. 2010. Т. 139. № 2. С. 43–58.
5. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. М.: Недра. 1976. 688 с.
6. Лезин В.И. Кувакин Г.В. и др. Отчет по геологическому доизучению кобальт-медно-никелевого месторождения Шануч за 2002–2004 гг. // Фонды ЗАО НПК «Геотехнология» 2004. 155 с.
7. Зотов В.П. и др. Отчет о поисково-разведочных работах на территории Шанучского рудного поля // ТГФ ПГО «Камчатгеология». 1972. 160 с.
8. Лукьянов В.Н. и др. Отчет о геологической съемке масштаба 1:50 000 на территории Шанучского рудного поля // ТГФ ПГО «Камчатгеология». 1973. В 3-х томах. 286+172+74 с.

9. Шаповаленко В.Н. и др. Отчет о результатах поисково-оценочных работ на месторождении Шануч // ТГФ ПГО «Камчатгеология». 1994. В 3-х томах. 156+122+108 с.

10. Кунгурова В.Е., Степанов В.А., Трухин Ю.П. Медно-никелевое рудопроявление Аннабергитовая щель Камчатской никеленосной провинции // Горно-информационный аналитический бюллетень. М.: ЗАО «Горная книга». Отдельный выпуск № 2 «Камчатка». 2014. С. 324–333.

11. Кунгурова В.Е., Степанов В.А., Трухин Ю.П., Новаков Р.М. Состав руд сульфидного медно-никелевого проявления Аннабергитовая Щель (Камчатка) // ГИАБ № 11, Специальный выпуск № 31 «Камчатка-3». 2016. С. 42–55.

12. Смирнов С.С. Зона окисления сульфидных месторождений // М.: Изд-во АН СССР. 1951. 355 с.

13. Хайнасова Т.С., Кунгурова В.Е. Позолотина Л.А., Балыков А.А., Левенец О.О. Биовыщелачивание сульфидной кобальт-медно-никелевой руды месторождения Шануч различными культурами аборигенных микроорганизмов // ГИАБ № 11, Специальный выпуск № 63 «Камчатка-2», 2015, С. 297–304.

14. Кунгурова В.Е. Минералогический и вещественный состав сульфидной руды, использованной в экспериментах по бактериально-химическому выщелачиванию (Месторождение Шануч, Камчатка) // ГИАБ № 11, Специальный выпуск № 31 «Камчатка-3». 2016. С. 319–327.

15. Гаррельс Р. Минеральные равновесия при низких температурах и давлениях // М.: Мир. 1970. 306 с.

16. Гинзбург И.И. и др. Экспериментальные исследования по окислению сульфидов // М.: Наука. 1961. 130 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Кунгурова Валентина Егоровна – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, kunwe@rambler.ru,

Трухин Юрий Петрович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории геохимии и геотехнологии, ytrukhin2@yandex.ru,

Алискеров Азиз Азизович

Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН.



UDC 553.411 (571.61)

STRUCTURAL-TEXTURAL AND MINERALOGICAL FEATURES OF OXIDATION OF ORE BODY NO 1 OF SHANUCH DEPOSIT (KAMCHATKA)

Kungurova V.Ye, Candidate of Geological-Mineralogical Sciences, Leading Researcher, kunwe@rambler.ru, Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Russia,
Trukhin Yu.P., Doctor of Geological-Mineralogical Sciences, Professor, Chief research scientist of geochemistry and geotechnology, ytrukhin2@yandex.ru, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Russia,
Aliskerov A.A.

Data famous earlier were generalized and new data of structural-textural features and mineralogical composition of oxidized ores of sulfide-nickel Shanuch deposit (ore body No 1) of Kamchatka nickeliferous province were obtained. The characteristic of process change of primary ores in the conditions of a near-surface oxidation zone was given, the processes and 3-D model of oxidation zone were described. The main deviation from a classical oxidation scheme of sulfide ores is subzone lack of secondary sulfide enrichment.

Key words: Shanuch deposit, sulfide copper-nickel ores, oxidation zone, leaching textures, supergene minerals.

REFERENCES

1. Truhin Yu.P., Stepanov V.A., Sidorov M.D., Kungurova V.E. *SHanuchskoe medno-nikelevoe mestorozhdenie: geologo-geofizicheskaya model', sostav i geohimiya rud* (Shanuchskoye copper-Nickel Deposit: geological-geophysical model, the composition and Geochemistry of ores) // *Rudy i metally*. 2009. No 5. pp. 75–81.
2. Truhin Yu.P., Stepanov V.A., Sidorov M.D., Kungurova V.E. *SHanuchskoe medno-nikelevoe rudnoe pole (Kamchatka)* (Shanuchskoye copper-Nickel ore field (Kamchatka)) // *Vestnik SVNC DVO RAN*, 2011, No 1, pp. 20–26.
3. Stepanov V.A., Kungurova V.E., Gvozdev V.I. *Nahodka irarsita v medno-nikelevykh rudakh mestorozhdeniya SHanuch (Kamchatka)*//*Novye dannye o mineralakh* (Finding of irarsite in copper-Nickel ore deposits chanoch (Kamchatka)). Moscow: Izd-vo Mineralogicheskogo muzeya im. A.E. Fersmana. 2010 .Vyp. 45. pp. 23–27.
4. Stepanov V.A., Gvozdev V.I., Truhin Yu.P., Kungurova V.E. *Mineraly blagorodnykh i redkikh metallov v rudakh SHanuchskogo medno-nikelevogo mestorozhdeniya (Kamchatka)* (Minerals of precious and rare metals in ores Shanuchskoye copper-Nickel Deposit (Kamchatka)) // *Zapiski Rossijskogo mineralogicheskogo obshchestva*. 2010. T. 139. No 2. pp. 43–58.
5. Smirnov V.I. *Geologiya poleznykh iskopaemykh* (Geology of mineral resources). Moscow: Nedra. 1976. 688 p.
6. Lezin V.I. Kuvakin G.V. i dr. *Otchet po geologicheskomu doizucheniyu kobalt-medno-nikelevogo mestorozhdeniya SHanuch za 2002–2004 gg.* (Report on the geological exploration of cobalt-copper-Nickel deposits Sanus for 2002-2004) // *Fondy ZAO NPK «Geotekhnologiya» 2004*. 155 p.
7. Zotov V.P. i dr. *Otchet o poiskovo-razvedochnykh rabotah na territorii SHanuchskogo rudnogo polya* (Report on exploration work on the territory Hanuskova ore field) // *TGF PGO «Kamchatgeologiya»*. 1972. 160 p.
8. Luk'yanov V.N. i dr. *Otchet o geologicheskoy s'emke masshtaba 1:50 000 na territorii SHanuchskogo rudnogo polya* (Report on the geological survey of scale 1:50 000 on-site Hanuskova ore field) // *TGF PGO «Kamchatgeologiya»*. 1973. V 3 tomah. 286+172+74 pp.
9. SHapovalenko V.N. i dr. *Otchet o rezul'tatah poiskovo-ocenochnykh rabot na mestorozhdenii SHanuch* (Report on results of prospecting-evaluation works in the field chanoch) // *TGF PGO «Kamchatgeologiya»*. 1994. V 3 tomah. 156+122+108 pp.
10. Kungurova V.E., Stepanov V.A., Truhin Yu.P. *Medno-nikelevoe rudoproyavlenie Annabergitovaya shchel' Kamchatskoj nikelenosnoj provincii* (Copper-Nickel ore occurrence

Annaberdievaya slit Kamchatka Nickel province) // Gorno-informacionnyj analiticheskiy byulleten'. Moscow: ZAO «Gornaya kniga». Special'nyj vypusk No 2 «Kamchatka». 2014. pp. 324–333.

11. Kungurova V.E., Stepanov V.A., Truhin Yu.P., Novakov R.M. *Sostav rud sul'fidnogo medno-nikelevogo proyavleniya Annabergitovaya SHCHel' (Kamchatka)* (Composition of the ores of sulfide copper-Nickel manifestation Annaberdievaya Gap (Kamchatka)) // GIAB No _, Special'nyj vypusk No_ «Kamchatka-3». 2016. pp._.

12. Smirnov S.S. *Zona okisleniya sul'fidnyh mestorozhdenij* (The oxidation Zone of sulfide deposits) // Moscow: Izd-vo AN SSSR. 1951. 355 p.

13. Hajnasova T.S., Kungurova V.E. Pozolotina L.A., Balykov A.A., Levenec O.O. *Biovyschelachivanie sul'fidnoj kobalt-medno-nikelevoj rudy mestorozhdeniya SHanuch razlichnymi kulturami aborigennyh mikroorganizmov* (Bioleaching of sulphide cobalt-copper-Nickel ore deposits Sanus different cultures of indigenous microorganisms) // GIAB No 11, Special'nyj vypusk No 63 «Kamchatka-2», 2015, pp. 297–304.

14. Kungurova V.E. *Mineralogicheskij i veshchestvennyj sostav sul'fidnoj rudy, ispol'zovannoj v ehksperimentah po bakterial'no-himicheskomu vyschelachivaniyu (Mestorozhdenie SHanuch, Kamchatka)* (Mineralogical and physical composition of the sulfide ore used in the experiments of bacterial-chemical leaching (Field chanoch, Kamchatka)) // GIAB No 11, Special'nyj vypusk No 31 «Kamchatka-3». 2016. pp. 319–327.

15. Garrel's R. *Mineral'nye ravnovesiya pri nizkih temperaturah i davleniyah* (Mineral equilibrium at low temperatures and pressures) // Moscow: Mir. 1970. 306 p.

16. Ginzburg I.I. i dr. *Ehksperimental'nye issledovaniya po okisleniyu sul'fidov* (Experimental study on the oxidation of sulfides) // Moscow: Nauka. 1961. 130 p.