ISSN 0135-3500. Зап. Ленингр. горного ин-та. 1990. Том 121.

УДК 553.068.41

Е.Д.КРАВЦОВ

ПРОГНОЗ ПАРАМЕТРОВ КАССИТЕРИТ-СУЛЬФИДНЫХ РУДНЫХ ТЕЛ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОПРОБОВАНИЯ КРИОГЕННОЙ ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ

Дано описание четырех морфологических типов выходов на поверхность окисленных сульфидных руд, обусловленных четырьмя типами процессов криогенного и докриогенного окисления. Отражены главные особенности этих процессов, приводящие к изменению содержаний инертных компонентов (таких, как касситерит) и мощности жильных рудных тел. Приведены коэффициенты, позволяющие прогнозировать значения параметров неокисленных рудных тел по известным их параметрам в верхней части зоны окисления.

Северо-Восточная Якутия – одна из основных оловорудных провинций страны. По количеству месторождений и по сумме запасов резко преобладают месторождения касситерит-сульфидной формации, характеризующиеся широким развитием сульфидов железа с примесью сульфидов цинка и меди. Длительное существование устойчивой криолитозоны, мощность которой в настоящее время составляет 250–500 м, обусловило образование на этих месторождениях хорошо развитых криогенных зон окисления сульфатного и оксидно-сульфатного состава.

Относительно слабая освоенность и недостаточная геологическая изученность Северо-Восточной Якутии и всего Северо-Востока СССР позволяют считать, что еще не все имеющиеся здесь сульфидно-касситеритовые месторождения выявлены, а выявленные – надлежащим образом оценены. Проблема правильной прогнозной оценки объектов на ранних стадиях изучения, когда геолог имеет дело практически только с окисленной рудой, является актуальной, но представляет собой достаточно сложную задачу из-за разнообразия проявлений гипергенных процессов.

Минеральный состав и морфология криогенных зон окисления на рудных телах жильной формы хорошо изучены [2–5, 7], проанализированы также закономерности изменения параметров рудных тел в зонах окисления оксидно-сульфатного состава [6]. Криогенное окисление сульфидов в данном регионе является преобладающим, определяющим главные черты строения наблюдаемых зон окисления, однако процесс этот не единственный. Фактический спектр гипергенных процессов значительно шире и может быть представлен в следующем виде:

1) докриогенное оксидное окисление сульфидов;

2) криогенное окисление сульфидов с накоплением сульфатов;

3) разложение сульфатов водой деятельного слоя и накопление "вторичных" оксидов;

4) выщелачивание сульфатов во внутренних частях криогенной зоны окисления при прорывах грунтовых вод.

С.С.Смирнов, одним из первых описавший сульфатную зону окисления в Яно-Адычанском районе [9], не установил ее криогенное происхождение и в своей знаменитой монографии [13] обосновал невозможность протекания процессов окисления в толще многолетнемерзлых пород. После доказательства О.П.Ивановым [2, 3] криогенной природы сульфатных зон окисления основное внимание исследователей было обращено на изучение криогенного гипергенеза сульфидных руд.

В.М.Питулько [11] зоны окисления сульфидных месторождений Северо-Востока СССР разделяет на три типа: оксидный, сульфатный и сульфатно-оксидный. Окисленные руды, в которых интенсивная лимонитизация развита до глубины в несколько десятков метров, он относит к древним (домерзлотным) образованиям. Сульфатно-оксидные, как и чисто сульфатные зоны окисления причислены им к типично криогенным образованиям.

Докриогенное формирование оксидных зон окисления не вызывает сомнений. Эти достаточно редкие для региона образования сохранились на участках с пологим рельефом, где скорость денудации в четвертичное время была незначительной. Нельзя согласиться с мнением В.М.Питулько о чисто криогенном происхождении сульфатно-оксидных зон окисления, в частности и зоны окисления на оловоносном штокверке Первоначальном [12], в которых лимонитовая подзона имеет мощность от многих метров до первых десятков метров. Такие зоны окисления являются полигенными. Формирование достаточно протяженной по вертикали лимонитовой подзоны в условиях расчлененного рельефа происходило в теплом климате третичного периода, а образование сульфатной подзоны путем замещения сульфидов, сохранившихся ниже лимонитовой подзоны, – в криолитозоне в четвертичное время. К полигенной следует отнести и сульфатно-оксидную зону окисления на жилах Норильского медно-никелевого месторождения, описанную Н.С.Зонтовым [1], хотя сам автор придерживался устаревшей точки зрения С.С.Смирнова на генезис сульфатов.

В докриогенных зонах окисления лимонит является первичным гипергенным минералом, замещающим непосредственно сульфиды железа. Он характеризуется плотным строением, имеет реликтовые структуры и текстуры первичной сульфидной руды, относительно темную окраску (темно-бурую, шоколадную), содержит мало воды, т.е. по свойствам приближается к гётиту.

Лимонитовая подзона развивается также и на выходах типично криогенных сульфатных зон окисления за счет гидролиза в деятельном слое фиброферрита. Мощность ее в редких случаях достигает 5 м, как правило составляет 0,5–1 м, а при большой мощности делювиальных и делювиально-солифлюкционных отложений эта подзона чаще отсутствует. Здесь лимонит является вторичным гипергенным минералом, соответственно, в нем не сохраняются структуры сульфидной руды. Как правило, это рыхлые охристые образования, имеющие относительно светлую окраску (буровато-желтую, светло-бурую), а анализ сухого лимонита показывает высокое содержание кристаллизационной воды.

От внимания исследователей долгое время ускользал факт существования участков выщелоченных руд в составе криогенных зон окисления. Впервые

участки выщелоченных руд описаны на Дьяхтардахском месторождении [8], а опыт начавшейся отработки Депутатского месторождения показывает, что выщелачивание сульфатов в мелантеритовой подзоне является отнюдь не редким. Выщелачивание легкорастворимых сульфатов (мелантерита, квенштедтита) может происходить при прорыве поверхностных или грунтовых вод деятельного слоя в зону окисления в условиях расчлененного рельефа, малой мощности и высокой проницаемости делювиальных отложений, причем наблюдается оно на отметках выше местного базиса эрозии.

Процесс выщелачивания в верхней части сульфатной зоны окисления, где сульфиды железа, цинка и меди полностью замещены сульфатами типа мелантерита, приводит к полному удалению всех гипергенных минералов, кроме самородной серы. Выщелоченные рудные тела представлены главным образом кварцевой сыпучкой с касситеритом, а также глинистыми минералами типа каолинита и порошковатым гипсом, образовавшимися за счет разложения серной кислотой силикатов и карбонатов. Выщелачивание сульфатов в средних частях мелантеритовой подзоны приводит к образованию рудных (сульфидных) сыпучек, которые заметно осложняют процесс ведения добычных работ на Депутатском месторождении. Последующее окисление сульфидов в таких частично выщелоченных участках может привести к восстановлению сульфатной зоны окисления; морфологически регенерированные участки сульфатной зоны окисления отличаются наличием кварцевых сыпучек в приконтактовых частях жил, в первую очередь – со стороны висячего бока.

Встреча в криогенных зонах окисления участков выщелоченных руд, весьма сходных с подзонами выщелачивания на колчеданных месторождениях Урала, позволяет сделать определенный вывод о генезисе подзон выщелачивания на уральских месторождениях, поскольку палеоклиматологи убедительно доказали повсеместное распространение устойчивой криолитозоны на всем протяжении Урала (а также в Европе, севернее Каспийского, Черного и Средиземного морей) позднем плейстоцене [10]. Разговор на эту тему выходит за рамки настоящей статьи.

В соответствии с изложенными процессами можно говорить о четырех морфологических типах выходов окисленных рудных тел, вскрываемых поверхностными горными выработками при их углублении в коренные породы на 0,5–1,5 м:

1) докриогенная лимонитовая зона окисления, сложенная преимущественно плотным структурным лимонитом;

2) лимонитовая подзона криогенной зоны окисления, сложенная охристым лимонитом;

3) подзона сульфатов окисного железа криогенной зоны окисления, сложенная преимущественно фиброферритом, частично – квенштедтитом;

4) выщелоченные руды, сложенные касситерит-кварцевой сыпучкой, каолинитом, гипсом с примесью самородной серы.

Подход к оценке параметров первичных рудных тел будет существенно различным в зависимости от морфологического типа опробуемой окисленной руды. Для правильной оценки необходимо знать содержание сульфидов в пер-

вичной руде, которое в общем случае изменяется в широких пределах – от 0 до 70 %. Среднее массовое содержание сульфидов в рудах касситерит-сульфидных месторождений Северо-Востока СССР составляет 25–30 %. Все дальнейшие расчеты выполнены для усредненной руды, содержащей 30 % сульфидов, среди которых преобладающими являются пирротин (2/3) и пирит (I/3).

При окислении сульфидов железа в условиях умеренного климата происходит вынос из рудных тел всей сульфидной серы и 2/3 железа. За счет этого масса единицы объема первичной руды уменьшается на 20 %. Объем руды и соответственно мощность рудного тела остаются без изменений. Потеря части массы приводит к некоторому увеличению содержаний инертных компонентов в окисленной руде. Следовательно, ожидаемое содержание олова в первичной руде будет на 20 % ниже, чем в опробованной окисленной руде лимонитовой зоны окисления (табл.I).

Таблица I

...ные коэффициенты для пересчета пара...етров окисленных рудных тел на параметры первичной руды.

тип окисленной	Поправочные коэффициенты	
	к мощности рудных тел	к содержанию
Лимонитовая ...ей (криогенной) окисления	1,0	0,80
Лимонитовая руд... ...ин-ной зоны окисл...	0,4-0,7	0,85
3. Сульфатн... ...на в криогенной зоне окисления	0,4-0,7	1,50
4. Выщелоче... ...ой зоне окисления	1,2-1,3	0,70

Криогенное окисление сульфидов происходит практически без выноса за пределы рудного тела продуктов окисления. При этом масса сульфатов возрастает по сравнению с массой исходных сульфидов за счет присоединения кислорода и кристаллогидратной воды. Масса фиброферрита по сравнению с исходной массой пирротина увеличивается в 2,83 раза. У пирита возрастание массы несколько меньше и зависит от того, как ведет себя один атом серы из каждой молекулы дисульфида: выделяется в самородном виде или окисляется до сернистого ангидрида, который мигрирует из зоны окисления. В последнем случае масса возрастает в 2,32 раза. Среднее увеличение массы окисленной руды в фиброферритовой подзоне по сравнению с первичной рудой происходит в I,50 раза, что ведет к пропорциональному снижению содержаний олова.

В зоне окисления возрастает также объем продуктов окисления по сравнению с объемом исходных сульфидов, происходит это как за счет возрастания массы, так и за счет снижения плотности. Так, объем фиброферрита больше объема пирротина в 6,83 раза. Возрастающий объем продуктов окисления приводит к уменьшению до нуля естественной пористости первичной руды, отжи-

мание в трещины во вмещающих породах некоторой части сульфатов, но главным образом вызывает появление рудного диапиризма (отжимание окисленной руды из полости жилы в деловий) и увеличение мощности рудных тел. Соотношение двух последних явлений в значительной степени зависит от мощности жилы и глубины зоны окисления. На маломощных жилах, которые закономерно окислены до относительно больших глубин, преобладает возрастание мощности рудных тел. На жилах средней мощности преобладает рудный диапиризм. Соответственно коэффициент для пересчета мощности окисленных рудных тел на мощность первичной руды оказывается различным и изменяется от 0,4 (для мощности окисленной руды I м и менее) до 0,7 (для мощности окисленных жил в 5 м и более) (табл.I).

В лимонитовой подзоне, развивающейся по сульфатной руде, объем продуктов окисления уменьшается практически до объема первичной руды. В силу малой вертикальной амплитуды этой подзоны и проявления рудного диапиризма не происходит заметного изменения видимой мощности жил, поэтому коэффициенты для определения вероятной мощности неокисленной руды не изменяются. Вынос всей сульфатной серы и 2/3 железа с накоплением многоводного лимонита и частично самородной серы приводит к снижению массы окисленной руды немного ниже массы первичной руды (0,95). Это вызывает возрастание содержаний олова, которые в данной подзоне примерно на 5 % превышают содержания в первичной руде.

Предыстория изменений мощности рудного тела в выщелоченной руде оказывается сложным вопросом. Наиболее трудно поддается учету влияние предшествующего выщелачиванию рудного диапиризма сульфатной руды и связанное ним удаление из полости жилы инертных минералов. Без учета этого явления можно считать, что мощность жил в подзоне выщелачивания уменьшается на 20 % за счет исчезновения всех сульфидов. Такой расчет будет достаточно справедлив для маломощных жил. Для жил средней мощности, на которых рудный диапиризм играет заметную роль, его влияние можно оценить, как минимум, в 10 %. Соответственно коэффициент для определения вероятной мощности первичной руды будет изменяться от I,2 для маломощных жил (до I м) до I,3 для окисленных жил мощностью 2 м и более.

Коэффициент для пересчета содержаний в окисленной руде на содержания в первичной будет равен 0,7 в соответствии с долей остающейся от выщелачивания массы несульфидной части руды.

Для уточнения прогнозной оценки первичного оруденения следует учесть содержание в ней сульфидов. Поскольку на ранних стадиях изучения объектов наблюдений первичной руды может не быть совсем, решать задачу по определению вероятных содержаний сульфидов в первичной руде следует путем изучения состава окисленной руды и учета объемных изменений продуктов окисления (табл.2).

Таким образом, несмотря на разнообразие гипергенных процессов, определение параметров касситерит–сульфидных рудных тел ниже зоны окисления по результатам опробования окисленной руды является вполне разрешимой задачей. Для этого на основе изучения минерального состава и структурно-

Зависимость объемных долей гипергенных минералов в полностью окисленной руде от объемной доли сульфидов ее в первичной руде

Объемная доля сульфидов в первичной руде, %	Эквивалентная объемная доля в окисленной руде		
	мелантерита	фосфоррита	лимон
5	28	25	
10	45	42	9
20	64	62	19
	76	74	28
	83	81	
	93	87	48
	92	9	58
	94		68
	97	96	79
	98	98	89

текстурных особенностей окисленной руды следует определить ее морфологический тип и воспользоваться поправочными коэффициентами табл.I). Это позволит получить правильный локальный прогноз параметров рудных тел для усредненной руды, содержащей 20 % сульфидов более). Если же по табл.2 будет установлено, что объемное содержание сульфидов в первичной руде заме отличается от 20 % (что примерно соответствует массовому содержанию 30 %) в меньшую или большую сторону, то значения поправочных коэффициентов следует уточнить соответственно путем интерполяции или ранчей экстраполяции между единицей и приведенными табл.I значениями

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Зон О зоне ления вюрмского времени в Норильском месторождении лфидных руд ДАН СССР. 1959. Т. 129. 2. С. 405-407.

2. Иванов О.П. О возрасте и особенностях формирования зон окисления сульфидных месторождений в условиях многолетней мерзлоты // Уч. зап. ЦНИИолово. 1965. 3. С.11-17.

3. О.П. Основные факторы развития зон окисл сульфидных месторождений в услов Геохимия. 1966. № 9. С. 1095-1105.

4 Е.Д. мерзлотной зон зия Дж. ердахского месторожден Зап. Всесоюзн. минералог. 1971. Вып. 3. С. 282-290.

5. Кравцов Е.Д. Криогенная зона окисления касситеритово-сульфидных месторожден Северо-Восток Якутской АССР // Проблемы криолитологии. М.: Изд-во МГУ, 1974. Вып. 4 С. 164-176.

6. Кравцов Е.Д. Изменение мощности рудных тел и содержаний олова в криогенной зоне окисления Дьяхтардахского сульфидно-касситеритового месторождения // Геолог. и разведка рудн. месторожд. / Иркутск. политехн. ин-т. Иркутск, 1981. С. 141-148.

7. Кравцов Е.Д. Особенности сульфатного метасоматоза сульфидных руд в криолитозоне // Метасоматизм и рудообразование. М.: Наука, 1984. С. 188-198.

8. Кравцов Е.Д. Проявление вышелоченных руд в криогенной зоне окисления // Зап. Всесоюзн. минералог. о-ва. 1988. Вып. 6. С. 721-726.

9. Минералогический очерк Яно-Адычанского района / С.С.Смирнов, М.М.Дубовик, П.П.Епифанов и др. Тр. Ин-та геол. наук АН СССР. Минералогич. серия. 1941. Вып. 46 (9). С. 1-62.

10. Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет; Атлас-монография / Под ред. Е.П.Герасимова и А.А.Величко. М.: Наука, 1982. 156 с., 15 карт.

11. Питулько В.М. Вопросы формирования криогенных зон окисления сульфидных месторождений // Сев.-Вост. компл. НИИ / Тр. ДВНЦ АН СССР. 1973. Вып. 55. С. 192-207.

12. Питулько В.М., Цветков Л.П. Особенности строения и формирования зоны окисления оловоносного штокверка Первоначального (Центральная Чукотка) // Геохимия. 1975. 3. С. 453-459.

13. Смирнов С.С. Зона окисления сульфидных месторождений. М.: Изд-во АН СССР. 1955. 331 с.