

Холоднинское стратиформное колчеданно-полиметаллическое месторождение

Э.Г. Дистанов, К.Р. Ковалев

Холоднинское колчеданно-полиметаллическое месторождение расположено на территории Байкальской горной области в 40 км от северной оконечности оз. Байкал. Оно было открыто в 1968 г. в результате комплексных геофизических исследований по аномалиям низких сопротивлений, естественного электрического поля, повышенным переменным значениям магнитного поля и другим аномальным параметрам (Матюхин, Мещеров, 1970). Месторождение разведывалось в 1968-1990 гг. геологами ПГО "Бурятгеология" В.П.Бушуевым, В.А.Рожченко, Р.С.Тарасовой, В.А.Могилевым и по запасам свинца и цинка относится к категории уникальных. Геологические особенности его изучались геологами различных организаций и освещены в многочисленных публикациях (Шобогоров и др., 1971; Ручкин и др., 1973; Дистанов и др., 1977, 1982; Добрецов и др., 1987; Конкин и др., 1993 и др.).

Геологическое строение района месторождения

Холоднинское месторождение приурочено к юго-восточному крылу Олоkitской троговой структуры, сформировавшейся в рифее на древнем фундаменте Сибирской платформы в пределах краевых структур Байкало-Патомского перикратонного прогиба (Салоп, 1964; Клитин и др., 1970; Булгатов, 1983). Олоkitский синклиниорий является одной из интереснейших структур в геологическом и металлогеническом отношении на территории Байкальской горной области. Заложившись как рифтогенная троговая структура на дивергентном этапе формирования Сибирского континента, он претерпел сложную эволюцию в геодинамическом режиме байкальской континентальной окраины (Кушев, 1983; Добрецов, Булгатов, 1983). В современных геологических структурах он располагается на границе краевых элементов Сибирской платформы - Чуйско-Тонодского выступа и Байкало-Муйского офиолитового пояса. Л.И.Салопом эта структура выделялась как юго-западная оконечность Мамско-Бодайбинского прогиба внутренней Делюн-Уранской зоны верхнепротерозойского миегосинклиналичного пояса. Как особая металлогеническая зона Северного Прибайкалья она впервые была выделена П.Ч.Шобогоровым (1971). Олоkitский синклиниорий имеет протяженность около 250 км, ширину до 30 км и простирается от оз. Байкал вдоль рек Тья, Олоkit и Холодной до среднего течения р. Витим. В северо-восточном направлении он переходит в Мамско-Бодайбинский синклиниорий, выполненный верхнепротерозойскими черносланцевыми толщами. Предполагается по геофизическим данным заложение их на

смежных линейных блоках, разделенных Абчадско-Патомским разломом (Егоров, 1978).

Прогиб имеет значительную протяженность, обрамляется выходами более древних пород, ограничивается Абчадским и Чая-Нюрундуканским (Холоднинским) разломами корово-мантийного заложения, четко выделяется по линейным гравитационным ступеням, отсутствием гранитизированного слоя, наличием осевого мантийного поднятия, мощной 10-12 км толщей вулканогенно-осадочных пород. Металлогеническая специализация его проявляется в развитии железистых кварцитов, медноколчеданных и колчеданно-полиметаллических руд, стратиформного барит-полиметаллического оруденения в доломитовых толщах и сульфидного медно-никелевого оруденения в расслоенных базит-гипербазитовых плутонах.

Все это позволяет относить рассматриваемую структуру к типичным троговым образованиям рифтогенной природы, сформированную на более древних породах архей-раннепротерозойского и раннерифейского возраста. Геологические, геохронологические и биостратиграфические данные однозначно указывают на рифейский возраст ее заложения. Средние и верхние части стратиграфического разреза Олоkitского прогиба содержат строматолиты и микрофитолиты, разновидности которых характерны для опорных разрезов среднего и верхнего рифея Патомского нагорья и Прибайкалья (Булдыгеров и др., 1988). Некоторые разногласия среди исследователей возникают при детализации временных интервалов положения рудоносных толщ в стратиграфическом разрезе. Схемы стратиграфического расчленения рифейских отложений Олоkitского синклинория и положение в них стратиформного оруденения показаны на рис.1. Возраст гидротермально-осадочных колчеданно-полиметаллических руд определялся свинцовым методом как 1000 млн лет (Миркина и др., 1974; Тугаринов и др., 1976; Дистанов и др., 1977), а по последним данным - 740 ± 10 млн лет (Неймарк и др., 1991).

Одной из отличительных особенностей Олоkitской троговой структуры, выполненной в основном углеродистыми терригенными и карбонатно-терригенными отложениями, является достаточно широкое представительство вулканизма на всех стадиях ее развития. Геологические, петрохимические, петрогенетические особенности вулканизма, формационная принадлежность пород, которые рассматривались В.Е. и Ю.Л.Руденко (1979, 1990), В.В.Булдыгеровым с соавторами (1988) и наиболее полно освещены в монографии М.М.Мануйловой и В.В.Зарубина (1981), позволили выделить три уровня проявления вулканизма, отвечающих начальной стадии

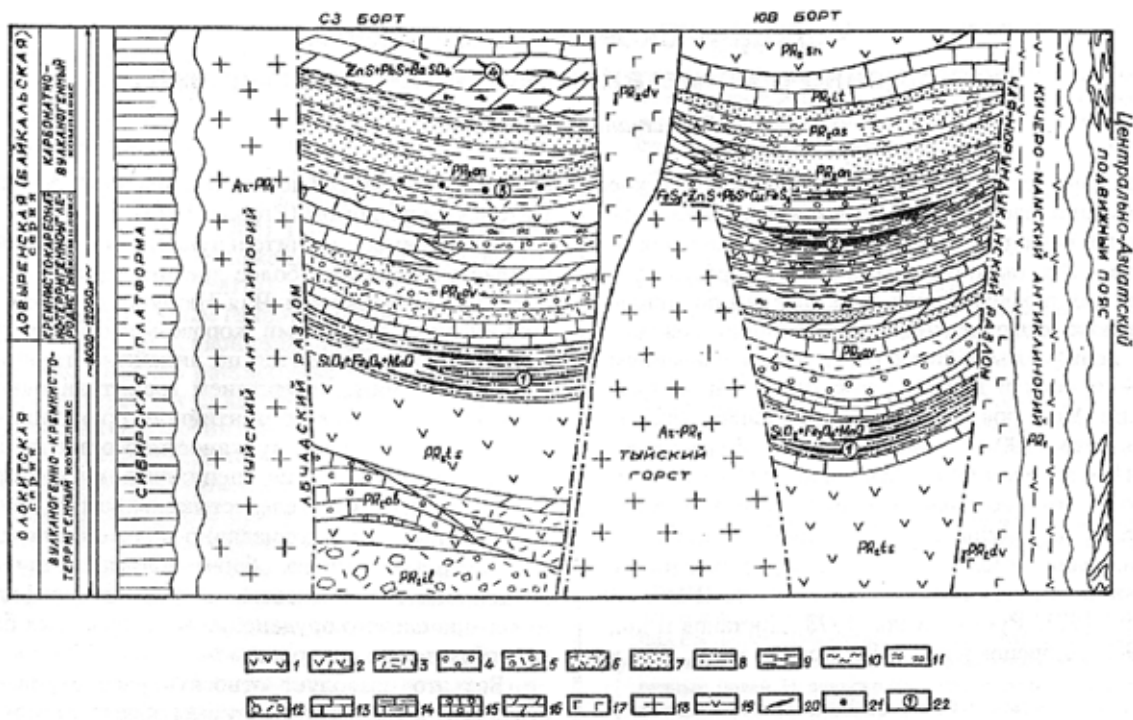


Рис. 1. Стратиграфическое и литолого-фациальное расчленение рудовмещающих вулканогенно-осадочных толщ и положение стратиформного сульфидно-железоокисного оруденения в схематизированном разрезе Олокинской троговой структуры:

1 – лавовые породы базальтовой и липарит-базальтовой ассоциации; 2 – туфы, туфобрекчи; 3 – туффиты; 4 – вулканомиктовые крупно-обломочные породы; 5 – песчаники; 6 – алевролиты и алевропелиты; 7 – кремнистые породы; 8 – хлорит-кремнистые породы; 9 – углеродистые карбонатно-кремнистые сланцы; 10 – филлиты; 11 – диафорированные песчаники и породы офiolитокластовой метаolistостромы; 12 – конгломераты; 13 – белые известняки; 14 – углеродистые известняки с примесью терригенного материала; 15 – органогенные (рифогенные) известняки; 16 – доломиты; 17 – габбро-перидотиты довыренского комплекса; 18 – гранитоиды архея – нижнего протерозоя; 19 – метагаббро и амфиболиты иорундуканской свиты (офиолитовый комплекс); 20 – пластовые рудные тела сульфидных и железоокисных руд; 21 – рудопроявления; 22 – формационные типы: 1 – железистые кварциты (Тыйское и Абчадское месторождения), 2 – колчеданно-полиметаллические пластовые руды (месторождения Холоднинское и Овгол, рудопроявление Космонавты), 3 – стратиформная прожилковая и послонно-прожилковая колчеданная и медноколчеданная минерализация (рудопроявления Центральное, Ондокко), 4 – стратиформные гнездово-прожилковые руды (участки Иоко, Рыбачий, Ондокко, Галенитовый, Калакачан, Лосинный, Верхнечуйский, Соломалгун, Большечуйский, Известковый, Олоки и др.)

развития прогиба, максимальному периоду его погружения и орогенной стадии.

Основная масса вулканитов представлена базальтоидами толситового ряда с повышенной магнетиальностью. М.М.Мануйловой и В.В.Зарубиним в среднем потоке выделяются кислые лавы липаритов и кварцевых порфиров. Другими исследователями проявление кислых дифференциатов устанавливается на всех трех этапах, что позволяет говорить о бимодальном характере вулканизма при преобладающей роли базальтоидов. Пространственно и генетически с поздним этапом вулканизма связывается становление базит-гипербазитовых интрузий довыренского комплекса.

В районе Холоднинского месторождения диагностика вулканитов осложнена достаточно высокой степенью метаморфических преобразований, однако присутствие их в том или ином виде и объеме признается всеми исследователями. В условиях изохимического протекания метаморфических процессов здесь удается реставрировать некоторые особенности состава и строения пород вулканоплутонического комплекса (В.Руденко, Ю.Руденко, 1979). В пе-

рслаивании с графит-карбонат-кварц-слюдястыми сланцами и порфиробластическими породами картируются горизонты и будинированные тела ортопород. Они имеют амфиболовый и гранат-амфиболовый состав и однородное мелко- и среднезернистое строение в протяженных пластовых телах либо кварц-плаггиоклаз-амфиболовый состав и крупнозернистое порфириновое строение в изометричных штоково- и силообразных телах, относимых к лейкокатровым габбро-порфиритам. Довольно часто на месторождении встречаются маломощные дайковые тела исключительно амфиболового состава и мелкозернистого строения. За счет обломочных вулканомиктовых и туфогенных разновидностей основного состава, очевидно, образовалась определенная часть полиминеральных порфиробластических пород. Учитывая приуроченность рудовмещающих толщ к средним частям стратиграфического разреза и пространственную совмещенность с вулканитами итыкитского комплекса на северо-восточном фланге Холоднинской рудной зоны, можно предполагать связь процессов рудоотложения с поствулканической деятельностью активной стадии развития прогиба.

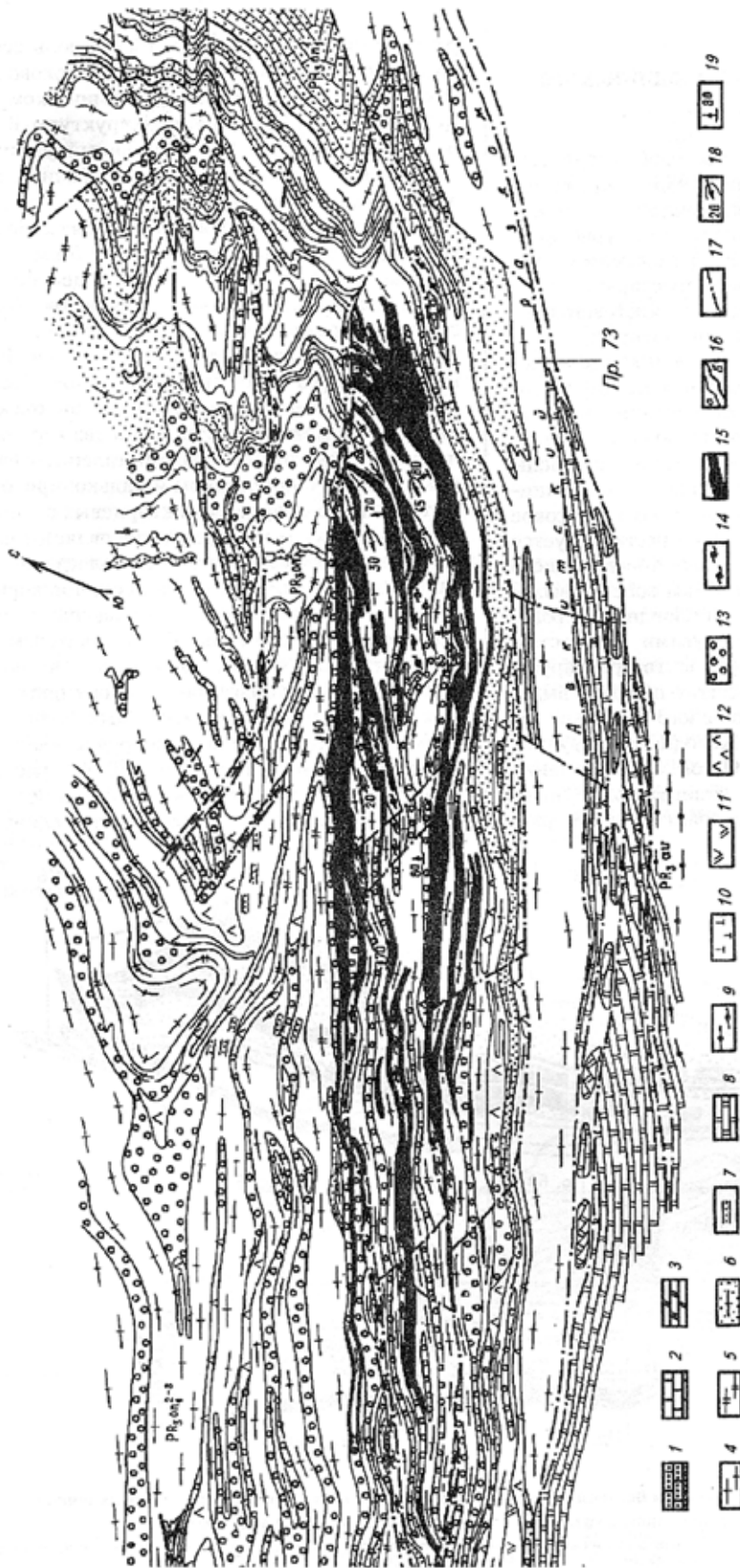


Рис. 2. Схема геологического строения северо-восточного фланга Холодинского месторождения (по Тарасовой Р.С., 1980):

1-7 - отложения ондской свиты верхнего протерозоя (PR2on): 1 - слоистые графитистые терригенно-карбонатные породы, песчаные известняки, 2 - графитистые известняки, 3 - графитистые известковые доломиты, 4 - графит-карбонат-кварц-слюдистые сланцы (слоистые алевролиты), 5 - графит-кварц-карбонат-слюдистые сланцы (слоистые известковые алевролиты), 6 - графит-карбонат-кварц-слюдистые сланцы с маломощными прослоями кварцевых песчаников и кварцито-песчаников, 7 - прослой слюдистых и известковых кварцито-песчаников; 8, 9 - отложения автгской свиты верхнего протерозоя (PR2av): 8 - светлые мраморизованные известняки и доломиты; 9 - гранат-кварц-плагноклаз-слюдистые сланцы с прослоями кварцитов; 10 - лейкократовые габро-порфириты; 11 - серпентинизированные перидотиты; 12 - амфиболовые и плагноклаз-амфиболовые ортопороды; 13 - гранат-биотит-амфиболовые порфиробластические породы; 14 - гранат-плагноклаз-мусковитовые метасоматиты; 15 - колчеданно-полиметаллические руды; 16 - геологические границы; 17 - разрывные нарушения; 18 - шарниры мелких складок; 19 - элементы залегания. Расстояние между разведочными профилями (ПР) 100 м

Особенности строения Холоднинского месторождения

В пределах Олокитской троговой структуры В.Г.Кушевым и Е.И.Марковым (1983) выделяются Западно- и Восточно-Тыйская, Абчадская и собственно Олокитская (Холоднинская) структурно-формационные зоны, контролируемые разломами северо-восточного и северо-западного простирания и отвечающие частным впадинам единого трогового прогиба. Первые три, представляющие депрессионные структуры, заложены на ранних этапах становления Олокитского прогиба в условиях неоднородности палеорельефа за счет конседиментационных подвижек блоков фундамента при активном проявлении вулканических процессов и были заполнены кремнисто-железоокисными осадками. Холоднинская рудоносная депрессия занимает более высокое стратиграфическое положение. Она реставрируется в юго-восточном борту трога вдоль Холоднинского разлома в узкой протяженной 40-км зоне по выходам углеродисто-турбидитово-флишеидных пород с отдельными линзовидными раздувами мощностью до 2,0-2,5 км. Последние, скорее всего, фиксируют локальные депрессии более высокого порядка, выделяемые в виде рудных участков с юго-запада на северо-восток - Оленья ферма, Холоднинское рудное поле, участок Космонавты, Овгол. Преобладание тонкообломочного материала, относительная литофациальная выдержанность рудовмещающего раз-

реза, повышенная углеродистость вдоль всей зоны позволяют говорить о достаточно глубоководном характере и стабильном гидродинамическом режиме Холоднинской депрессионной структуры и ее приразломной природе. Самый мощный раздув рудовмещающих черносланцевых отложений представляет Холоднинское рудное поле, в пределах которого в юго-западной половине линзы выделяются Первая рудная зона протяженностью 7,5 км, представляющая наиболее прогнутую часть депрессии и локализирующая мощные залежи собственно Холоднинского месторождения, а на северо-востоке - Вторая рудная зона протяженностью около 4 км. Рудовмещающий разрез имеет ярусное строение. Выделяются нижний уровень промышленных высококолчеданнистых полиметаллических руд и два верхних уровня с послойно-прожилковыми галенит-сфалеритовыми рудами с пирротином и халькопиритом в графит-сланцисто-кварцевых и кварцевых сланцах.

Холоднинское месторождение является четко выраженным стратифицированным колчеданно-полиметаллическим (существенно свинцово-цинковым) месторождением гидротермально-осадочного генезиса, претерпевшим региональный метаморфизм эпидот-амфиболитовой фации. Оно представлено серией сближенных крутозалегающих линзовидных, пластовых и лентовидных тел массивных колчеданных и колчеданно-полиметаллических руд, с общим юго-западным склонением под углами 20-30° (рис. 2-5). На северо-востоке они (Нижняя, Главная и Верхняя рудные залежи) практически сливаются в единую линзу

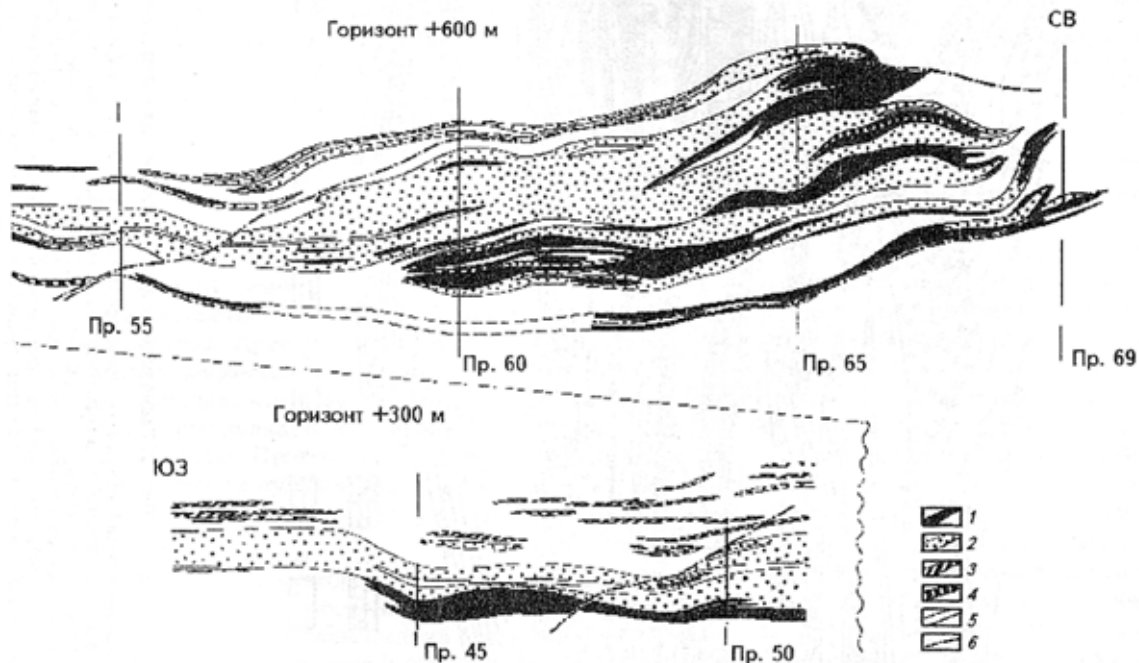


Рис. 3. План Нижней, Главной и Верхней рудных залежей на горизонтах 600 и 300 м на северо-восточном фланге Холоднинского месторождения (по Могилеву В.А. и др., 1990):

руды: 1 - колчеданные, 2 - колчеданно-полиметаллические, 3 - полиметаллические послойно-прожилковые, 4 - медноколчеданные; 5 - вмещающие графит-сланцисто-кремнистые сланцы; 6 - тектонические нарушения

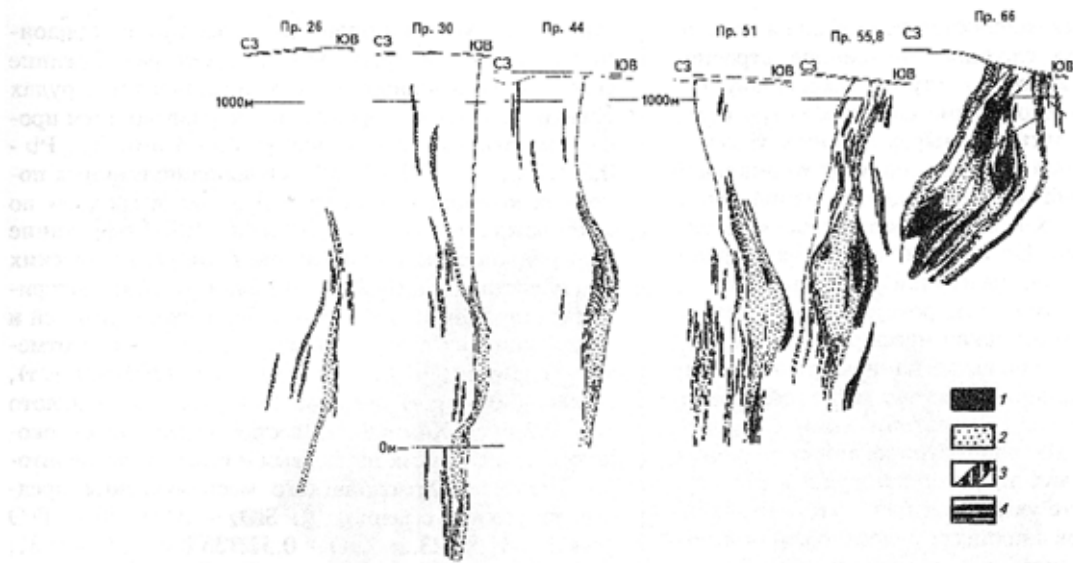


Рис. 4. Морфология рудных залежей в проекции на вертикальных разрезах по разведочным профилям Холоднинского месторождения (общая протяженность по простиранию 4 км):

руды: 1 – колчеданные, 2 – колчеданно-полиметаллические, 3 – полиметаллические послойно-прожилковые, 4 – медноколчеданные

мощностью 250-280 м, которая на юго-западе постепенно на расстоянии 7 км расщепляется на пластовые и лентовидные тела, разделенные графит-слюдисто-кремнистыми сланцами и прослоями порфиروبластических пород. Главная рудная залежь постепенно выклинивается и имеет мощность на юго-западном фланге первые десятки метров. Раздвиг рудной залежи на СВ фланге месторождения, скорее всего, фиксирует гидротермальную разгрузочную зону, контролируемую поперечным северо-запад-

ным разломом. На это указывают наличие в районе 73-го разведочного профиля палеоуступа, который отражается в смене рудовмещающих черносланцевых пород безрудными существенно карбонатными разностями, тупое выклинивание рудных залежей на северо-востоке, развитие в данном районе интенсивной прожилково-вкрапленной халькопиритовой минерализации и гидротермально-метасоматических слюдисто-доломитовых массивных пород с прожилками и вкрапленностью халькопирита. В интер-

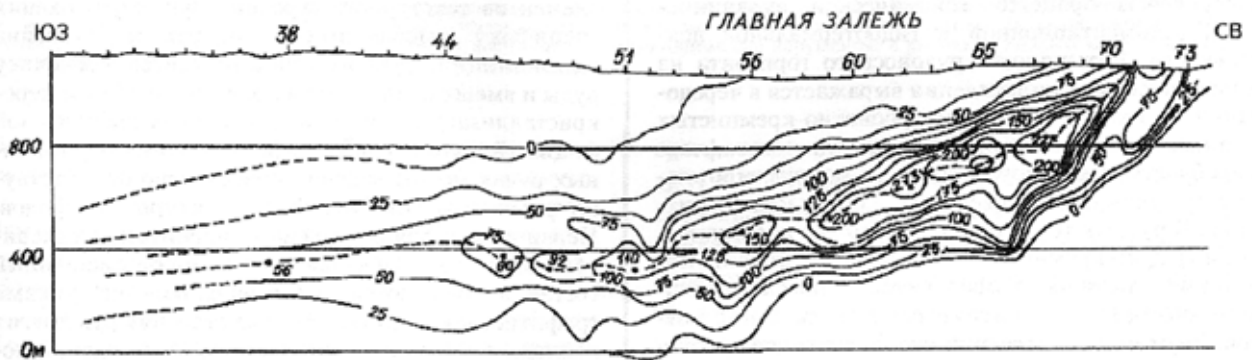


Рис. 5. Изолинии мощностей Главной рудной залежи Холоднинского месторождения в проекции на вертикальную плоскость (по Могилеву В.А., 1986)

вале максимальных мощностей рудной зоны отмечаются чрезвычайно сложное внутреннее строение Главной рудной залежи, пестрота текстурного рисунка руд, широкое развитие сливных кварц-сульфидных руд, проявление четырех мощных однотипных рудных ритмов (импульсов гидротермальной активности), смена в юго-западном направлении сложных текстурных типов руд более простыми слоистыми разностями. Не исключено, что часть руд в предполагаемой зоне разгрузки формировалась в виде приустевых холмов гидротермальным осаждением. Вместе с тем основная масса руд в пределах I и II рудных зон, судя по выдержанному текстурному рисунку и минеральному составу и четкой стратификации, отлагалась гидротермально-осадочным путем из придонных концентрированных рассолов. Тесная сближенность по вертикали рудных тел в рудоносном горизонте указывает на отсутствие значительных перерывов в процессе рудоотложения и слабое разбавление сульфидных осадков обломочным материалом, что обеспечивалось относительно спокойным гидродинамическим режимом бассейна седиментации.

На месторождении проявлены элементы латеральной и характерная для гидротермально-осадочных колчеданных руд однонаправленная вертикальная зональность. Латеральная зональность выражается в смещении основной части запасов свинцово-цинковых руд к юго-западу и некотором возрастании роли пирротина к юго-западу от предполагаемой зоны разгрузки, где сосредоточены основные массы колчеданно-полиметаллических и медноколчеданных руд. Вертикальная зональность выражается в приуроченности колчеданных и медноколчеданных руд к подошве рудных залежей и отдельных рудных ритмов, а полиметаллических - к их кровле. В раздуве I рудной зоны выделяется четыре ритма подобного однонаправленного строения (рис.6).

Особенностью рудоносного горизонта и рудных тел является ритмическое строение, отражающее дискретность процессов сейсмической, вулканической, седиментационной и гидротермальной деятельности. Ритмичность рудоносного горизонта на Холоднинском месторождении выражается в чередовании графит-слюдисто-карбонатно-кремнистых сланцев мощностью в десятки и сотни метров, порфиробластических пород такой же мощности и пластовых рудных тел. Отмечается и более мелкая ритмика. В рудных телах она представлена переслаиванием графит-кремнистых сланцев, существенно пиритовых или галенит-сфалеритовых прослоев мощностью от десятков сантиметров до нескольких метров. Ритмичность строения рудовмещающего разреза устанавливается также при изучении распределения $S_{орг}$, однако какой-либо корреляции его максимумов с рудонакоплением не отмечается (см.рис.6). Можно говорить лишь о возрастании $S_{орг}$ в подрудной и надрудной пачках рудоносного горизонта.

Для рудных залежей I и II рудных зон характерно достаточно равномерное распределение рудного вещества по простиранию и падению, отражающее

стабильные условия процесса осаждения из придонных рассолов в депрессионных структурах. Средние содержания основных рудных компонентов в рудах Холоднинского месторождения по разведочным профилям колеблются в пределах: Zn - 4,0-6,3%, Pb - 0,5-1,7%, Cu - 0,02-0,05%. Отношение главных полезных компонентов свинца и цинка в среднем по месторождению составляет около 1:5. Содержание сульфидной серы в колчеданно-полиметаллических рудах составляет 16-28%. В целом руды характеризуются ограниченным набором элементов-примесей и невысокими их содержаниями. Из них можно отметить кадмий (80-100 г/т), мышьяк (200-500 г/т), сурьму (30-50 г/т), серебро (6,4-15,4 г/т) и золото (0,1-0,2 г/т). Химический состав отдельных высококонцентрированных пиритовых и галенит-сфалеритовых прослоев Холоднинского месторождения представлен соответственно, %: SiO₂ - 34,0; 30,4; FeO (сум.) - 41,8; 23,2; ZnO - 0,52; 26,08; PbO - 0,31; 3,12. Процесс вулканогенного гидротермально-осадочного рудообразования протекал в условиях интенсивного поступления кремнезема. Нерудная составляющая руд Холоднинского месторождения представлена исключительно кремнистым материалом, хотя на флангах встречаются и карбонатно-кремнистые сульфидные руды, а вблизи мест предполагаемых выходов гидротерм - доломитовые скопления метасоматического облика.

Главная особенность строения колчеданно-полиметаллических руд Холоднинского месторождения, как и других рудных проявлений всей рудной зоны, заключается в их однородности и монотонности текстурного рисунка. Выделяются тонкослоистые, неравномерно-слоистые и реликтивно-слоистые текстуры, обусловленные ритмичным чередованием кварц-пиритовых, кварц-галенит-сфалеритовых и графит-слюдисто-кремнистых или кремнистых прослоев мощностью от нескольких миллиметров до десятков сантиметров. Редко встречаются градационно-слоистые разности. Каких-либо более тонких элементов текстурного строения руд, отражающих специфику гидродинамического режима бассейна седиментации, здесь не устанавливается, поскольку руды и вмещающие породы претерпели общую перекристаллизацию в условиях эпидот-амфиболитовой фации. Вместе с тем в графит-кремнисто-сульфидных рудах месторождения повсеместно присутствуют реликтовые глобулярные структуры сульфидов. Первичные глобулы сложены галенитом, сфалеритом, пиритом, пирротином или имеют смешанный состав и облекаются полигональными чешуйками графитистого вещества. Анализ строения руд других колчеданно-полиметаллических месторождений показывает, что подобное однообразие текстурного рисунка присуще и рудам таких менее метаморфизованных месторождений, как Маунт-Айза, Раммельсберг, Карлота, Санта-Люсия, Салливан, Филизчай, Жайрем. Этот тип руд отражает стабильные условия гидродинамического и физико-химических режимов субмаринного рудоотложения.

Минеральный состав руд достаточно прост.

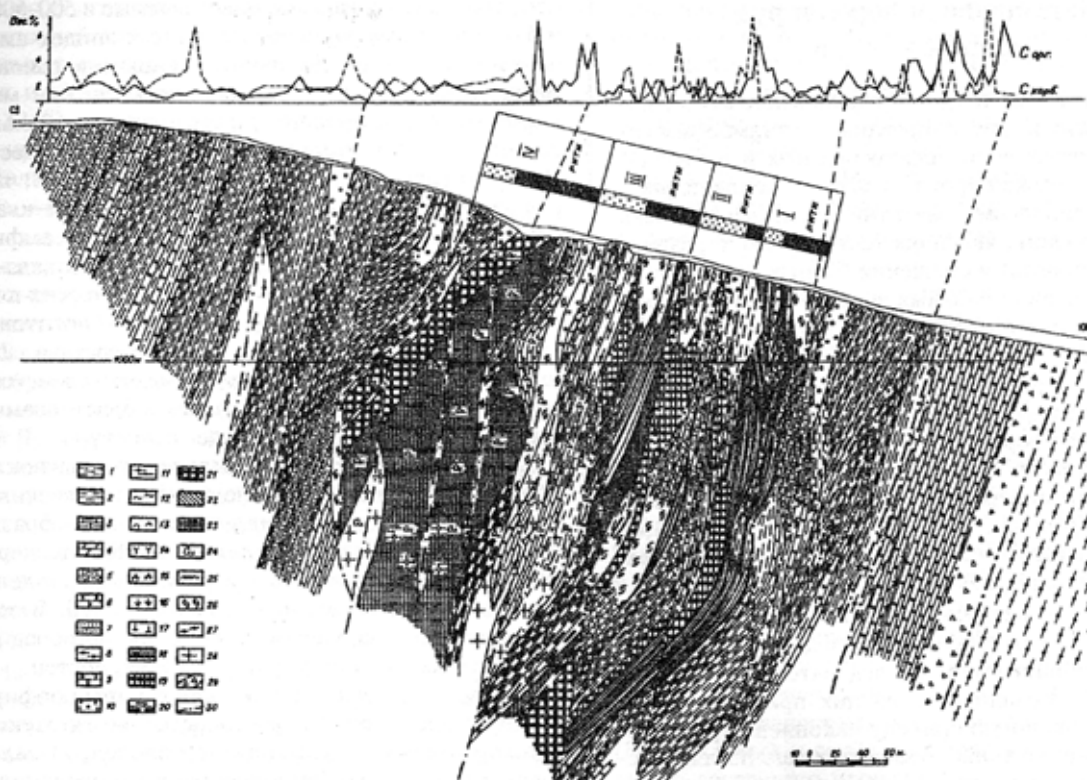


Рис. 6. Строение Главной рудной залежи Холоднинского месторождения по профилю 69 и характер распределения Сорг и Скарб в рудах и рудовмещающих породах:

метаморфизованные осадочные породы: ондокская свита: 1 – графит-кварц-слоистые сланцы (слоистые алевропелиты, СаО – 0-5%), 2 – графит-карбонат-кварц-слоистые сланцы (слоистые алевропелиты, СаО – 5-10%), 3 – графит-кварц-карбонат-слоистые сланцы (слоистые известковистые алевропелиты, СаО – 10-20%), 4 – темно-серые графитистые известковистые доломиты, 5 – светлые слоистые слюдяно-карбонатные породы, 6 – кварцито-песчаники; авитская свита: 7 – светлые плитчатые кварциты, 8 – гранат-кварц-плагиоклаз-двусланяные сланцы (метапесчаники), 9 – светлые мраморизованные известняки и доломиты; порфиروبластические породы: 10 – гранат-биотит-амфиболовые, 11 – гранат-биотитовые (с кварцем, плагиоклазом, карбонатом), 12 – кварц-плагиоклаз-карбонат-биотитовые, 13 – биотитовые, кварц-биотитовые; интрузивные породы и ортопороды: 14 – камптониты, 15 – амфиболитизированные дайки диабазов, 16 – амфиболовые, плагиоклаз-амфиболовые, гранат-плагиоклаз-амфиболовые ортопороды, 17 – порфиroidные плагиоклаз-амфиболовые лейкократовые габбро-порфириды; руды: 18 – слоистые пиритовые в графит-кварц-слоистых сланцах, 19 – слоистые колчеданно-полиметаллические в графит-кварц-слоистых сланцах, 20 – бедные слоистые колчеданно-полиметаллические в графит-кварц-слоистых сланцах, 21 – колчеданно-полиметаллические руды сложного текстурного рисунка с реликтовой слоистостью, 22 – тонко-крупные и сетчатые светлые слитные кварц-сфалеритовые, 23 – высокосернистые массивные пиритовые и кварц-пиритовые с бедной гнездовой и прожилковой полиметаллической минерализацией, 24 – халькопиритовая минерализация, 25 – прожилковая галенит-сфалеритовая, пирротин-галенит-сфалеритовая минерализация; гидротермально-метасоматические породы: 26 – кварц-мусковитовые (с цоизитом, плагиоклазом) метасоматиты, 27 – гранат-мусковитовые (с цоизитом, плагиоклазом) метасоматиты, 28 – карбонатизация (доломитизация); тектонические нарушения: 29 – зоны дробления, 30 – тектонические нарушения; в ритмах: в нижней части существенно колчеданные руды, в верхней – существенно полиметаллические

При преобладании пиритовой составляющей в них распространены сфалерит, галенит, халькопирит, при второстепенной роли – ряд других минералов. Выделяются этапы раннего гидротермально-осадочного и позднего метаморфогенного минералообразования.

В изотопных характеристиках серы сульфидов Холоднинского месторождения отмечаются следующие главные тенденции: общий утяжеленный состав со средним значением около 13‰; высокая однородность изотопного состава серы богатых сульфидных руд с колебанием изотопных характеристик в пределах положительных величин от 5 до 19‰; большая дисперсия в сторону облегчения (до 10‰) значений в слоистых существенно пиритовых рудах флангов рудных залежей, отражающих процессы биогенной

сульфатредукции (Дистанов и др., 1988; Ковалев и др., 1993). Не наблюдается существенных различий изотопного состава серы соосажающихся пирита, сфалерита и галенита. Изотопный состав серы регенерированных сульфидов – халькопирита, сфалерита, галенита и пирротина по сравнению с сульфидами руд пластовых залежей несколько облегчен.

В целом анализ изотопных величин серы сульфидов указывает на наличие механизма регулирования изотопного состава серы на уровне средних плюсовых значений между мантийной серой и серой сульфатов Мирового океана, что характерно для большинства колчеданных месторождений гидротермально-осадочного генезиса.

Метаморфизм пород и руд месторождения

Как породы, так и руды Холоднинского месторождения интенсивно дислоцированы и метаморфизованы. Дислоцированность пластообразных и линзовидных рудных залежей проявились в их изоклинальном залегании, широком развитии малоамплитудных складок волочения, явлениях тектонического разлинзования (будинажа) и смещении рудных тел по зонам продольных и диагональных разрывных нарушений. Динамотермальный метаморфизм в пределах рудного поля проявился в аномально высоких по P-T-параметрам фациях с образованием метаморфических углеродистых кварц-карбонат-сланцев и порфиробластических пород (скарноидов) с гранатом, амфиболами, дистеном, ставролитом, ганитом и другими характерными минералами дистен-мусковитовой ступени метаморфизма, а также в перекристаллизации руд и перераспределении рудного вещества (Дистанов и др., 1982; Ручкин, 1984; Добрецов и др., 1987).

Роль метаморфизма в формировании современного облика рудных залежей Холоднинского месторождения оценивается исследователями неоднозначно, хотя большинство из них признает гидротермально-осадочную природу накопления руд в виде стратифицированных пластовых тел. Взгляды исследователей расходятся в вопросах структуры месторождения и масштабов перераспределения вещества при метаморфизме, его влияния на морфоструктурные особенности рудных залежей. В.П.Бушуев (1973), В.А.Могилев (1990), Г.В.Ручкин и др. (1975), В.Д.Конкин и др. (1993), В.Е. и Ю.Л.Руденко (1979), Г.М.Утехин и С.Н.Сулова (1985), Л.А.Неймарк и др. (1991) считают структуру месторождения как моноклираль, осложненную складками с небольшим размахом крыльев. Формирование основных рудных концентраций ими связывается с сингенетичными гидротермально-осадочными процессами, при частичном перераспределении рудных компонентов в условиях прогрессивного и регрессивного метаморфизма. Р.С.Тарасова и др. (1981), Н.Л.Добрецов и др. (1987), А.С.Соколов (1986) и ряд других исследователей склонны относить Холоднинское месторождение к сложнотектонизированным образованиям реометаморфического класса с преобладанием мобилизованных руд в замках изоклинальных складок и структурах осложненных шарниров (кинк-зоны), представляющих рудные столбы. Альтернативой высказанным представлениям является точка зрения Ю.М.Соколова с соавторами (1981). По данным этих исследователей формирование рудных залежей месторождения обязано мобилизации рудных компонентов на стадии высокотемпературного метасоматоза в зонах сочленения геохимически разнородных комплексов (офиолитовый комплекс и метапелиты и метакarbonатные породы).

Вопросы метаморфизма пород и руд Холоднинского месторождения детально изучались многими

исследователями. Границы P-T-условий прогрессивного этапа метаморфизма, определяемые в 500-600 °C и 5-7 кбар, позволяют относить его к эпидот-амфиболитовой фации. По нашим данным в основной массе пород и руд проявлен изохимический метаморфизм, без широкого участия гидротермальных растворов и значительного перемещения вещества. Рудовмещающий разрез представлен пестрым, часто ритмичным чередованием графит-карбонат-кварц-сланцевых пород флишеидного строения, амфиболовых, гранат-амфиболовых, кварц-плаггиоклаз-амфиболовых ортопород и порфиробластических пород гранат-биотитового, кварц-плаггиоклаз-биотитового, карбонат-биотитового и биотитового состава. Флишеидные породы сохраняют элементы слоистости, градационной сортировки и имеют бластосамитовые и бластоалевропелитовые структуры. В них встречаются порфиновые выделения плаггиоклаза (An = 30-35) и цонзита с элементами просвечивающих гелицитовых и синкинематических S-образных структур, ксенобласты биотита. В карбонатсодержащих сланцах основность порфириновых вкрапленников плаггиоклазов повышается до An = 90. В зонах тектонических нарушений в этой группе пород развиваются гранат, ставролит, мусковит, дистен.

Выделяется три генетические группы порфиробластических пород: 1) пространственно тяготеющие к телам амфиболсодержащих ортопород; 2) залегающие строго стратифицированно в черносланцевых флишеидных пачках и 3) образующиеся в зонах тектонических нарушений и интенсивных дислокаций. Первые имеют гранат-биотит-амфиболовый, биотит-амфиболовый состав, слагают эндо- и экзоконтактные зоны ортопород и являются типичными биметасоматическими образованиями зонального строения, развивающимися на границе с вмещающими графит-карбонат-кварц-сланцевыми сланцами. Вторые, выделяемые на месторождении еще как скарноиды, образуются, скорее всего, за счет более пористых туфогенно-обломочных пород и грубозернистых разновидностей турбидитовых пачек в условиях активизации метаморфогенных поровых растворов на прогрессивной стадии метаморфизма. В них часто встречаются реликты графитсодержащих флишеидных пород. По химическому составу они близки к карбонатсодержащим алевропелитовым породам рудовмещающего разреза. Третья группа порфиробластических пород наиболее широко и полно представлена в зоне мощного Центрального разлома. Это крупнопорфириновые породы с амфиболом, гранатом, биотитом, мусковитом, дистеном, Zp-ставролитом, ганитом или пегматоидные и жильные кварц-пирротин-дистеновые, кварц-анортитовые с мусковитом, биотитом, Zp-ставролитом и карбонатом образования. Они образуются за счет стратифицированных порфиробластических пород, амфиболовых ортопород и флишеидных графитсодержащих пачек.

Вдоль локальных узких зон часто продольного простирания проявлены процессы высокотемпературного регрессивного метаморфизма. Обычно это светлые кварц-мусковитовые и гранат-мусковитовые ме-

тасоматиты, развивающиеся по черным сланцам и порфиробластическим гранат-биотитовым породам. Характерной особенностью их является развитие порфировых вкрапленников плагиоклаза облачного погасания и аномально-зонального строения (в центре $An = 30-40$, по краям $An = 80$). Осветление амфиболосодержащих ортопород сопровождается развитием анортит-тальк-жедрит-хлоритового парагенезиса.

Основная масса руд в пределах пластовых рудных залежей перекристаллизована и значительно изменила свой первичный седиментационный текстурно-структурный облик. Наряду с полосчатыми, массивными, гнейсовидными и реликтивно-слоистыми текстурными типами в прослоях кремнисто-галенит-сфалеритового состава развивается типоморфный микробрекчиевый (шариковый) текстурный рисунок руд (Ковалев, 1984). За счет экстракции и перераспределения малых элементов при перекристаллизации гидротермально-осадочных руд формируются прожилки, гнезда, порфировые выделения новых минералов или минеральных скоплений. Это порфиробласты арсенопирита, леллингита, ксеноморфные выделения бурнонита и буланжерита, вкрапленность электрума.

На месторождении достаточно масштабно представлена гнездово-прожилковая галенит-сфалерит-пирротиновая и кварц-пирротиновая минерализация. Она чаще всего встречается в порфиробластических породах (скарноидах) и кварц-мусковитовых метасоматитах и осветленных графитистых сланцах. Этот тип минерализации так или иначе тяготеет к рудным телам либо расположен в пределах рудоносных горизонтов и представляет классический пример регенерированного оруденения. Объем этого типа рудной минерализации не превышает 5% от общей массы руд месторождения. В регенерированных рудах выявлена группа цинксодержащих силикатов и окислов - ганит, ставролит, мусковит, хлорит, биотит, роговая обманка. Обеднение туфогенно-терригенных пород и гидротермально-осадочных руд Холоднинского месторождения барьером и марганцем сказывается на относительно низких содержаниях этих элементов в метаморфических минералах. Вместе с тем увеличение барьера в рудовмещающем разрезе на выклинивании Холоднинской рудной зоны в районе месторождения Овгол привело к появлению здесь барийсодержащих метаморфических минералов - цельзиана и кимрита (Дистанов и др., 1985).

Природа метаморфизма пород и руд Холоднинского месторождения определяется по-разному. По данным В.Г.Картавченко (1981) и Р.С.Тарасовой и др. (1981) в пределах месторождения проявлено несколько деформационных этапов, объединяемых в два тектонических цикла. В течение первого деформационного этапа и прогрессивного метаморфизма эпидот-амфиболитовой фации раннего цикла возникли главные особенности структуры месторождения - сложная изоклинальная складчатость. Во время позднего цикла оформились более крупные складки и основные разломы. В.Е. и Ю.Л.Руденко

(1979) считают, что в целом породы Олоkitского синклинория претерпели метаморфизм одного этапа невысокой ступени на уровне зеленосланцевой фации, на который позднее наложилось несколько зональных метаморфических комплексов от дистенсиллиманитовой (амфиболитовой) до зеленосланцевой фаций. В районе Холоднинского месторождения зональный метаморфизм по данным этих исследователей пространственно связывается с древним Маректинским выступом на юго-западном фланге синклинория. А.Н.Ефимов и Т.М.Тетьева (1982) считают, что аномальный метаморфизм в пределах Холоднинского месторождения связан с линейными приразломными зонами. Этой же точки зрения придерживаются и авторы настоящей работы. Блок рудовмещающих пород Холоднинского рудного поля располагается в зоне крупных Холоднинского (Чая-Нюрундуканского) и Тья-Мамского разломов, что отразилось, скорее всего, в аномальном проявлении метаморфизма. На северо-востоке Холоднинской рудной зоны в районе месторождения Овгол породы и руды дислоцированы и метаморфизованы только в условиях зеленосланцевой фации.

Неравномерность метаморфических преобразований проявлена и в пределах Холоднинского рудного поля. Наряду с относительно менее метаморфизованными разностями пород и руд в зонах разломов (Центральный и серия параллельных ему разломов северо-восточного простирания) встречаются крупнопорфировые порфиробластические породы и интенсивно перекристаллизованные и регенерированные руды. Степень метаморфизма и число порфиробластических пород уменьшаются и на юго-западе Холоднинского месторождения. Здесь наиболее четко устанавливаются признаки седиментационной природы пород и руд.

В целом же достаточно хорошей сохранности основной массы колчеданно-полиметаллических руд Холоднинского месторождения и неизменности их основного минерального состава способствовала существенно восстановительная среда вмещающих графитсодержащих сланцев, высокая колчеданность самих руд, обеспечивающих высокий потенциал серы в условиях замкнутой системы, и исключительно кремнистый их состав. На восстановительную обстановку в процессе прогрессивного метаморфизма указывают также высокие содержания метана в газово-жидких включениях пород и руд (Кочеткова и др., 1981; Кепежинская, Томиленко, 1984) и относительно невысокие концентрации CO_2 , что способствовало широкому развитию в графитсодержащих алевропелитовых флишоидных толщах синкинематических порфиробластов цоизита (Ковалев и др., 1984).

Первичный характер накопления и распределения вещества обосновывается исключительной приуроченностью руд к графит-слюдисто-кремнистым и кремнистым сланцам, лентовидной и пластовой формой рудных залежей, однонаправленной зональностью в отдельных рудных телах, ритмичным строением руд, высокой корреляционной зависимостью

свинца и цинка в различных пересечениях рудных тел, реликтовыми текстурами и структурами гидротермально-осадочного происхождения и отсутствием значительной метаморфической дифференциации вещества. Вместе с тем руды претерпели общую перекристаллизацию и локальное перераспределение в пределах пластовых залежей. Особенно интенсивно эти процессы проявлены в зоне поперечного северо-западного разлома в районе профилей 70-73, где отмечается интенсивная дислоцированность толщ и руд, складки порядка первых и десятка метров со всеми присущими элементами динамо- и гидротермально-метаморфогенного перераспределения вещества в шарниры и другие ослабленные зоны и обогащения их галенитом и сфалеритом.

Можно сказать, что в условиях регионального метаморфизма эпидот-амфиболитовой фации гидротермально-осадочные пластовые рудные тела в основном сохраняют черты первичного залегания, а месторождения такого типа по существующим классификациям должны относиться к метаморфизованному или параметаморфическому типу. Для них сохраняются все поисковые критерии, присущие гидротермально-осадочным месторождениям. Регенерированная же минерализация только локализует круг поисков и является прямым индикатором первичных стратиформных рудных залежей.

Таким образом, Холоднинское месторождение является продуктом масштабной рудообразующей системы, функционировавшей в условиях становления Олоkitской троговой структуры, формирование которой происходило в системе перикратонных структур Сибирской платформы в связи с процессами деструкции, сопровождающими заложение и развитие в рифте Палеоазиатского океанического бассейна. Интенсивное проявление базальтоидного магматизма толеитового ряда обусловило халькофильно-сидерофильный профиль металлогенической специализации рассматриваемого рудного района. Исследования изотопного состава рудных свинцов указывают на высокую степень гомогенизации свинца и его корово-мантийную природу (Тугаринов и др., 1976; Неймарк и др., 1991). Данные изотопного состава серы и постоянный утяжеленный ее состав в пределах всей рудоносной зоны говорят о стабильном ее источнике и участии в рудообразующей системе как мантийной серы, так и серы сульфатов морской воды. Значительная протяженность рудных горизонтов, стратификация оруденения, выдержанный минеральный состав и текстурно-структурный облик руд, приуроченность к графит-слюдисто-кремнистым породам, флишоидный характер рудовмещающих толщ указывают на достаточно спокойный гидродинамический режим бассейна седиментации и стабильные физико-химические условия рудоотложения.

Выявленные закономерности строения этого уникального по своим геологическим особенностям и масштабам оруденения месторождения позволяют решать многие практические вопросы поисковой и разведочной геологии как в пределах Сибирского перикратонного полиметаллического пояса (Корми-

лицын, 1966), так и в других перспективных рудных районах. Неметаморфизованным аналогом руд Холоднинского месторождения являются нижнекембрийские колчеданно-полиметаллические руды Озерного месторождения в Еравнинском рудном районе Республики Бурятия, изучение которых сыграло большую роль в определении перспектив и оценке этого типа оруденения в Северном Прибайкалье (Дистанов, Ковалев, 1975; Ковалев, Бусленко, 1992).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 93-05-9735).

Л и т е р а т у р а

- Булгатов А.Н. Тектонотип байкалитид. – Новосибирск: – Наука, 1983. – 193 с.
- Буддыперов В.В., Дольник Т.А., Кравчинский А.Я., Житков А.Н., Герасимов Н.С. Вулканогенные образования Олоkitского прогиба (Северное Прибайкалье) // Геология и геофизика. – 1988. – № 3. – С. 8-17.
- Бушуев В.П., Варламов В.А., Конкин В.Д., Ручкин Г.В. Геологическое строение и перспективы Холоднинского колчеданно-полиметаллического месторождения (Северное Прибайкалье) // Генетические типы свинцово-цинковых месторождений СССР, их промышленное значение и методы поисков. – М.: НТО Горное ЦНИГРИ, 1973. – С. 24-27.
- Дистанов Э.Г., Ковалев К.Р. Текстуры и структуры гидротермально-осадочных колчеданно-полиметаллических руд Озерного месторождения. – Новосибирск: Наука, 1975. – 174 с.
- Дистанов Э.Г., Ковалев К.Р., Шобогоров П.Ч. и др. Особенности формирования метаморфизованных гидротермально-осадочных колчеданно-полиметаллических руд Холоднинского месторождения // Геология и генезис стратиформных свинцово-цинковых месторождений. – Новосибирск: Наука, 1977. – С. 3-43.
- Дистанов Э.Г., Ковалев К.Р., Тарасова Р.С. и др. Холоднинское колчеданно-полиметаллическое месторождение в докембрии Прибайкалья. – Новосибирск: Наука, 1982. – 208 с.
- Дистанов Э.Г., Гаськов И.В., Кочеткова К.В. Минералого-геохимические особенности и генетические черты колчеданно-полиметаллического рудопоявления Овог // Геол., минерал. и пути освоения полимет. месторожд. Забайкалья и Прибайкалья. – Улан-Удэ, 1985. – С. 114-126.
- Дистанов Э.Г., Гаськов И.В., Гриценко Л.Н., Перцева А.П. Изотопный состав серы руд и пород Холоднинского колчеданно-полиметаллического месторождения // Геология и геофизика. – 1988. – № 7. – С. 60-69.
- Добрецов Н.Л., Булгатов А.Н. Геодинамическая карта Забайкалья (принципы составления и легенда). – Новосибирск: ОИГТМ СО АН СССР, 1991. – 51 с.
- Добрецов Н.Л., Меляховецкий А.А., Ащепков И.В. и др. Структурно-минералогические критерии метаморфогенного оруденения (на примере колчеданных месторождений). – Новосибирск: Наука, 1987. – 166 с.
- Егоров Ю.И. Тектоника и глубинное строение Байкало-Патомского нагорья в свете геолого-геофизических данных // Тектоника и металлогения Восточной Сибири. – Иркутск: Иркутский гос. ун-тет, 1978. – С. 19-37.
- Ефимов А.Н., Тетяева Т.М. Расчленение и корреляция метаморфических комплексов докембрия и нижнего палеозоя Забайкалья. – Л: Недра, 1982. – 208 с.
- Картаченко В.Г. Некоторые петроструктурные особенности метаморфических толщ района Холоднинского месторождения (Северное Прибайкалье) // Петрология и минералогия метаморфических формаций Сибири. – Новосибирск: Наука, 1981. – С. 69-76.
- Кебезинкас К.Б., Томиленко А.А. Вариации давления флюида

- и его состава в районе Холоднинского месторождения (по метаморфогенным включениям) // Региональный метаморфизм и метаморфогенное рудообразование. — Киев: Наукова думка, 1984. — С.116-124.
- Клитин К.А., Павлова Т.Г., Постельников Е.С. Байкалиды юго-востока Сибири. — М.: Наука, 1970. — 144 с.
- Ковалев К.Р. Шариковые текстуры в метаморфизованных сульфидных рудах Холоднинского месторождения // Генетическая минералогия и геохимия рудных месторожд. — Новосибирск: Наука, 1984. — С. 86-99.
- Ковалев К.Р., Бусленко А.И. Гидротермально-осадочный рудогенез и полиметаморфизм руд Озернинского рудного узла (Западное Забайкалье). — Новосибирск: Наука, 1992. — 214 с.
- Ковалев К.Р., Гаськов И.В., Акимцев В.А. Колчеданное рудообразование древних вулканических областей и современных спрединговых зон. — Новосибирск: Изд. ОИГТМ СО РАН, 1993. — 63 с.
- Ковалев К.Р., Поспелова Л.Н., Миронова Н.Ю. Типоморфизм плагиоклазов рудовмещающих толщ Холоднинского месторождения // Генетическая минералогия и геохимия рудных месторожд. — Новосибирск: Наука, 1984. — С. 21-37.
- Кормилицы В.С. Новые полиметаллические рудные районы в складчатом обрамлении юга Сибирской платформы // Проблемы региональной металлогении и эндогенного рудообразования. — Л.: ВСЕГЕИ, 1968. — Т. 155. — С. 210-222.
- Кочеткова К.В., Ковалев К.Р., Борисенко А.С., Павлюченко В.С. Состав и свойства цинксодержащего ставролита из Холоднинского месторождения (Западное Прибайкалье) // Зап. Всес. минерал. общ. — 1981. — № 3. — С. 310-318.
- Кушев В.Г. Зеленокаменные прогибы и метаморфические пояса в развитии земной коры южного обрамления Сибирской платформы // Магматизм и метаморфизм зоны БАМ и их роль в формировании полезных ископаемых. — Новосибирск: Наука, 1983. — С. 19-29.
- Кушев В.Г., Марков Е.И. Проблемы геологии севера Бурятии // Геология и полезные ископаемые в полосе БАМ Северного Прибайкалья. — М.: Наука, 1983. — С. 20-26.
- Мануйлова М.М., Зарубин В.В. Вулканогенные породы докембрия Северного Прибайкалья. — Л.: Наука, 1981. — 88 с.
- Матюхин Н.Е., Мещеров В.П. Новое полиметаллическое оруденение в Северном Прибайкалье // Материалы по геол. и полез. ископаемым Бурятской АССР. Вып. 13. — Улан-Удэ, 1970. — С. 114-118.
- Миркина С.Л., Жидков А.Я., Чухонин А.П. и др. Комплексное изотопно-геохронологическое изучение пород и руд Холоднинского месторождения // Геохимия. — 1977. — № 6. — С. 854-862.
- Неймарк Л.А., Рыцк Е.Ю., Гороховский Б.М. и др. Изотопный состав свинца и генезис свинцово-цинкового оруденения Оло-китской зоны Северного Прибайкалья // Геол. рудн. месторожд. — 1991. — № 6. — С. 34-49.
- Руденко В.Е., Руденко Ю.Л. Реконструкция метаморфизованных и метасоматически измененных пород докембрия. — Новосибирск: Наука, 1979. — 174 с.
- Руденко В.Е., Руденко Ю.Л. Петрохимическая эволюция вулканизма в докембрии севера Байкальской горной области (БГО) // Петрохим. эволюция магмат. формаций. — М., 1990. — С. 72-86.
- Ручкин Г.В. Стратиформные полиметаллические месторождения докембрия. — М.: Недра, 1984. — 237 с.
- Ручкин Г.В., Конкин В.Д., Кузнецова Т.П. Метаморфизм колчеданно-полиметаллических руд Холоднинского месторождения (Северное Прибайкалье) // Геол. рудн. месторожд. — 1973. — № 6. — С. 69-78.
- Ручкин Г.В., Конкин В.Д., Кузнецова Т.П. и др. Региональный метаморфизм сульфидных залежей месторождений колчеданного класса // Металлогения докембрия. — Л., 1975. — С. 39-40.
- Салоп Л.И. Геология Байкальской горной области. Т. I. — М.: Недра, 1964. — 515 с.
- Соколов А.Л. Влияние разрывных и складчатых дислокаций на размещение и внутреннее строение рудных залежей месторождения Холоднинское (Северное Прибайкалье) // Структурный контроль гидротермального оруденения в слоистых толщах. — М.: Наука, 1986. — С. 51-87.
- Соколов Ю.М., Турченко С.И., Бушмин С.А. Геология и генезис Холоднинского месторождения // Геол. полезн. ископаемых докембрия. — Л., 1981. — С. 167-233.
- Тарасова Р.С., Могилев В.А., Добрецов Н.Л. Структурные особенности и структурно-метаморфическая эволюция Холоднинского колчеданно-полиметаллического месторождения // Геол. и геофиз. — 1981. — № 4. — С. 34-46.
- Тугаринов А.И., Варламов В.А., Карпенко С.Ф., Ручкин Г.В. Изотопный состав свинца галенитов Холоднинского колчеданно-полиметаллического месторождения и вмещающих толщ // Геохимия. — 1976. — № 2. — С. 202-210.
- Утехин Г.М., Сулова С.Н. Сравнительная характеристика металлогении зеленокаменных образований Северного Прибайкалья и некоторых других регионов // Докембрийские троговые структуры Байкало-Амурского региона и их металлогения. — Новосибирск: Наука, 1985. — С. 67-74.
- Шобогоров П.Ч. О Северо-Байкальской колчеданно-полиметаллической провинции // Материалы по минералогии и петрографии Забайкалья. Вып. 3. — Улан-Удэ, 1971. — С. 3-10.
- Шобогоров П.Ч., Цыренов Д.Ц., Бушуев В.П. О новой колчеданно-полиметаллической провинции в Северо-Байкальском нагорье // Разведка и охрана недр. — 1971. — № 3. — С. 15-16.

* * *