

НАТАЛИЯ Б. САНИНА*

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПОИСКОВ ОРУДЕНЕНИЯ ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТИПА

(Рис. 4)

Резюме: Оруденение золото-полиметаллического типа приурочено к толще эффузивов основного-среднего составов. Его размещение контролируется купольно-кольцевой структурой. Магматизм и оруденение имеют парагенетическую связь, обусловленную эволюцией латитовой рудно-магматической системы. Латитовый магматизм — неперемное условие развития золото-полиметаллической минерализации. Фациальный состав, метасоматическая зональность, геохимические особенности (повышенные содержания Pb, Zn, Au, Ag, прямая корреляция K/Na и Au) вмещающих эффузивов — косвенные критерии поисков оруденения. Прямая минеральная зональность, изменение Pb/Zn и Au/Ag отношений, уровня концентрирования Au и элементов-примесей в сульфидах по падению рудных зон; уровни концентрирования элементов-индикаторов в геохимических полях, горизонтальная и вертикальная геохимическая зональность — прямые критерии, указывающие на развитие золото-полиметаллического оруденения.

Abstract: The gold-polymetal ores type is localized in effusive rocks (latite, basalts, andesites). Its localization is controlled by the dome-shaped structure. Magmatism and ores have paragenetic relation, caused by evolution of latite ore-magmatic system. The indispensable condition of gold-polymetal mineralization's development is latite magmatism. Facial composition, metasomatic zonality, geochemical special features containing effusive (high contents Pb, Zn, Au, Ag, direct correlation of K/Na and Au) are indirect criterion prospecting of ores. The direct mineral zonality, changes of Pb/Zn and Au/Ag and level of concentration of Au and element-admixtures in sulphide by decreasing ore's zone, level of element-indicators' concentrations in geochemical fields, horizontal and vertical geochemical zonality are direct criterions of gold-polymetal ores development.

Актуальным вопросом геологической науки по-прежнему остается крупномасштабное прогнозирование и поиски слепого оруденения особенно на глубоких горизонтах и флангах действующих или готовящихся к эксплуатации месторождениях. Успехи дальнейших геологических исследований всецело зависят от комплексирования традиционных геологических и новых геохимических методов. Сущность геохимических поисков месторождений, как известно, сводится к решению задач обнаружения и интерпретации геохимических аномалий, при этом если обнаружение аномалий в настоящее время не представляет особой сложности, то методика их интерпретации является менее разработанной, что резко снижает эффективность геохимических поисков. При локальном прогнозировании применение геохимических методов осложняется неоднозначностью интерпретации геохимических аномалий, особенно на телескопированных рудных объектах.

* Н. Б. Санина, Институт геохимии им. А. П. Виноградова, Сибирского отделения АН СССР, 664 033, Иркутск 33.

Перспективным направлением геохимических методов поисков является разрабатываемое Таусоном (1982; 1984) представление о различных рудно-магматических системах, в частности, латитового типа, продуктивных на определенное оруденение.

На примере Аркиинской рудно-магматической системы Забайкалья рассматриваются геохимические признаки и критерии поисков оруденения золото-полиметаллического типа.

Аркиинская рудно-магматическая система сформировалась в орогенную эпоху мезозойской тектоно-магматической активизации Забайкалья. В тектоническом плане она выражена одноименной купольно-кольцевой структурой второго порядка с диаметром 25 км и имеет типичное для аналогичных куполов геологическое строение (рис. 1). В ядерной, наибо-

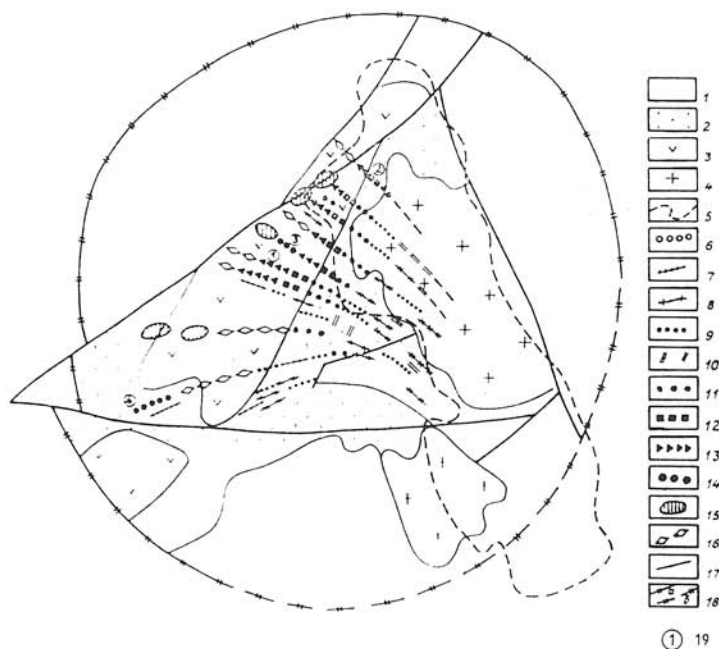


Рис. 1. Схема геологического строения Аркиинской куполонокольцевой структуры и размещения типов минерализации (составлены с использованием материалов М. А. Чесноковой, В. С. Кормилицына, А. А. Ивановой, С. П. Карелина и др.)

Пояснения: 1 — карбонатно-терригенные образования (C_1); 2 — терригенные образования (J_1); 3 — покровы вулканитов (J_{2-3}); трахиандезитобазальты, трахиандезиты, латиты; 4 — монцитониты; 5 — подземный контур интрузива по гравиметрическим данным В. М. Кравченко. Главные рой даск: 6 — трахиандезитовые порфиры; 7 — гранит-порфиры; 8 — гранодиорит-порфиры; 9 — диоритовые порфиры; 10 — лампрофиры. Рудные зоны с минерализацией определенного состава: 11 — турмалиновой; 12 — колчеданной; 13 — полиметаллической; 14 — антимонит-реальгаровой; 15 — шлиховые ореолы рассеяния киновари; 16 — предполагаемые рудоносные зоны; 17 — тектонические нарушения; 18 — контур кольцевой структуры: а) достоверный, б) предполагаемый; 19 — номер рудной зоны.

лее приподнятой части обнажаются древние палеозойские (E_1) осадочно-метаморфические породы; а также гранитоиды и осадочные образования юрского возраста; в периферической, наиболее опущенной части структуры развиты эффузивы и субвулканические образования юрского возраста. Дайки (J_{2-3}) веерообразно расходятся от центра структуры, следуя направлению радиальных разрывных нарушений. Рудные объекты золото-полиметаллического типа приурочены к толще эффузивов.

Магматические породы кольцевой структуры в интрузивной фации представлены гранитоидами и монцонитаидами, в дайковой-диоритовыми и кварцевыми диоритовыми порфиритами, гранодиорит-гранит-порфирами, лампрофирами, в эффузивной — трахиандезитобазальтами, трахиандезитами, латитами. Все породы отличаются повышенной щелочностью (сумма щелочей достигает 7—9 % при преобладании K_2O над Na_2O), а также повышенными содержаниями летучих и редких элементов — F, Li, Rb, Mo, Ba, Sr, Be, V, Ni, Co, Cr (З о р и н а — С а н и н, 1980). По петрохимическим и геохимическим признакам они комагматичны и принадлежат к латитовой серии Забайкалья (Т а у с о н, 1984), которая сформировалась в результате эволюции латитовой магмы, являющейся дифференциальной выплавкой мантийного вещества.

Определения абсолютного возраста (Институт геохимии СО АН СССР) показывают возраст эффузивов кольцевой структуры — 192 ± 5 и 153 ± 4 — 146 ± 6 ; даек — 172 ± 8 — 169 ± 8 , гранитоидов — 153 ± 4 — 146 ± 6 , гидротермально измененных пород — 140 млн. лет.

Рудные тела жильного типа приурочены к локальным зонам гидротермально измененных пород, типа листовенитов-березитов, которые развиваются по радиальным разрывным нарушениям Аркиинской кольцевой структуры северо-западного простирания и крутого падения на юго-запад. Минеральный состав рудных тел определяется сульфидами: пиритом, галенитом, сфалеритом, сульфосолями, арсенопиритом, халькопиритом и жильными минералами — кварцем, каронатом, турмалином, слагающим ряд парагенетических ассоциаций. Золото в разных количествах обычно обнаруживается при химическом анализе руд, что позволяет, учитывая современные экспериментальные данные (М и р о н о в — Г е л е т и й, 1979 и др.) предположить тонкодисперсную форму его нахождения. По простиранию рудных зон месторождений (с юго-востока на северо-запад и, соответственно, от ядерной части купола в направлении северо-западной периферии установлена минеральная зональность которая проявляется в последовательной смене ранних высокотемпературных ассоциаций — турмалиновой и колчеданной, относительно поздними низкотемпературными парагенезисами полиметаллической и антимонит-реальгаровой стадий минерализации.

Данные по изотопному составу рудного свинца месторождений свидетельствуют о глубинном источнике рудного вещества (Ф е ф е л о в, 1984), что совместно с петрогеохимическими данными позволяет связывать формирование оруденения с гидротермальными растворами, отделившимися от латитового очага, продуцировавшего магматиты интрузивной, эффузивной и дайковой фаций, т. е. очевидна парагенетическая связь магматизма и оруденения, подтверждаемая взаимным расположе-

нием рудных проявлений и магматических пород в кольцевой структуре. Таким образом, природные образования Аркиинского купола (магматические, гидротермально измененные породы, а также рудные проявления) являются результатом эволюции локальной латитовой рудно-магматической системы во времени и пространстве.

В геохимическом плане эволюция рудно-магматической системы выразилась в формировании геохимических полей разных уровней концентрирования элементов и масштабов проявления, а также в закономерном их расположении относительно ядерной части кольцевой структуры и по восстанию рудных зон.

Изучение вмещающих оруденение вулканитов района показало, что можно выделить метасоматиты, имеющие площадное и локальное развитие. Первые сформировались на дорудном этапе развития рудно-магматической системы, отличаются крайне неравномерной и слабой степенью изменений (в то же время неизменных разностей вулканитов не наблюдается), отсутствием зональности в их строении, незначительным колебанием в содержаниях щелочных и щелочноземельных элементов при практически неменяющихся содержаниях других редких элементов. Исключение составляют Au и Ag — их содержания слабо увеличиваются по сравнению с неизменными вулканитами. Изменения такого типа связываются с процессом пропилитизации и имеют значительные масштабы развития, затрагивая и смежные кольцевые структуры. Геохимические поля концентрирования (ГПК) дорудного этапа характеризуются изометрично-площадной формой, постоянством содержаний элементов на значительных площадях, низкими (не выше 3) коэффициентами контрастности концентраций (КК)*. Спектр элементов, формирующих поля весьма широк — большинство рудных и редких элементов.

На рудном этапе эволюции рудно-магматической системы по радиальным разрывным нарушениям Аркиинской купольно-кольцевой структуры в предрудную стадию образуются локальные ГПК, протяженностью 1—3 км при ширине до 500 м. Вещественным выражением их являются мощные зоны (так называемые рудные зоны) предрудных лиственитов-березитов соответственно по вулканитам основного — среднего и кислого составов и разностадийные минеральные ассоциации.

Рудные зоны имеют зональное строение: фронтальная зона — слабо лиственитизированные-березитизированные породы; промежуточная зона — кварц-карбонат-хлоритовая фация; внутренняя зона — кварц-карбонат-серицитовая (рис. 2). По простиранию рудных зон — (в северо-западном направлении) фиксируется смена слабо лиственитизированных разностадийного оруденения к определенным фаціальным разновидностям по сравнению с пропилитизированными разностями, возрастают в 3—10 и более раз содержания всех элементов (Au, Ag, Pb, Zn, As, Sb, Cu, В, Hg, Вi и др.), т. е. размеры ГПК рудных и редких элементов предрудной стадии в общем случае ограничиваются контурами зон лиственитов-бере-

* КК — отношение среднего содержания элемента в геохимических полях и его фоновому содержанию.

зитов. Характерной особенностью предрудных метасоматитов является положительная корреляция в них Au и K/Na, а также приуроченность разностадийного оруденения к определенным фаціальным разновидностям метасоматитов. К хлоритовым и салболиственизитизированным разновидностям тяготеют минеральные ассоциации турмалиновой и колчеданной стадий, к кварц-карбонат-серицитовым — преимущественно образования полиметаллической и антимонит-реальгаровой стадий. Кроме того, в серицитовых метасоматитах отмечаются наиболее мощные рудные жилы.

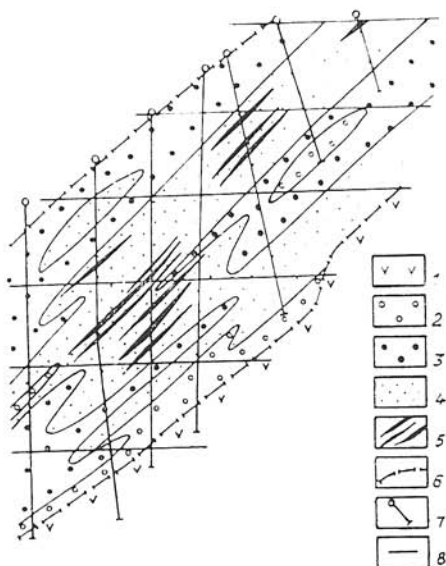


Рис. 2. Схема размещения метасоматитов предрудной стадии в разрезе через центральную часть месторождения золото-полиметаллического типа (зона № 1 на рис. 1).

Пояснения: 1 — эффузивы пропилитизированные. Метасоматиты: 2 — слабо лиственизитизированные, 3 — кварц-карбонат-хлоритовые, 4 — кварц-карбонат-серицитовые; 5 — рудные тела, 6 — контуры рудной зоны; 7 — скважины; 8 — горизонты.

По падению рудных зон месторождений изучено распределение главных рудообразующих элементов (Pb, Zn, Au, Ag) и их отношений (Pb/Zn , Au/Ag). Установлено, что в интервале развития колчеданного оруденения величина Au/Ag отношения волнообразно меняется от 0,4—1 на верхних горизонтах до 21 на средних, что отвечает смене пирит-халькопиритовых пирит-арсеноритовыми парагенезисами. В интервале развития минерализации полиметаллической стадии сфалерит-галенитовые и сфалерит-галенит-сульфосольные ассоциации характеризуются максимальными значениями отношений Pb/Zn (3—6) и минимальными — Au/Ag (≤ 1); галенит-сфалеритовые и халькопирит-пиритовые минимальными Pb/Zn (0,5—1) и максимальными Au/Ag (1—3).

Типоморфные особенности главных рудообразующих сульфидов (пирита, галенита, сфалерита) проявляются в уровнях концентрирования элементов-примесей: для пиритов колчеданной стадии характерно максимальное наклонение As и Cu, для пиритов полиметаллической стадии — Sb. Пириты рассеяной вкрапленности в околорудных метасоматитах, отличаются от пиритов, слагающих рудные тела максимальными значе-

ниями индикаторных отношений (As/Cu 9—10, Cu/Ag 1—4, As/Sb — около 10 000). По степени уменьшения содержаний благородных металлов сульфиды составляют следующий ряд: пирит-сульфосоли-сфалерит-галенит — для Au , сульфосоли — галенит-сфалерит-пирит — для Ag . По падению рудных зон в пиритах полиметаллической и колчеданной стадий содержания Au возрастают, в галенитах и сфалеритах — падают, при постоянном содержании металла в пиритах турмалиновой стадии (рис. 3).

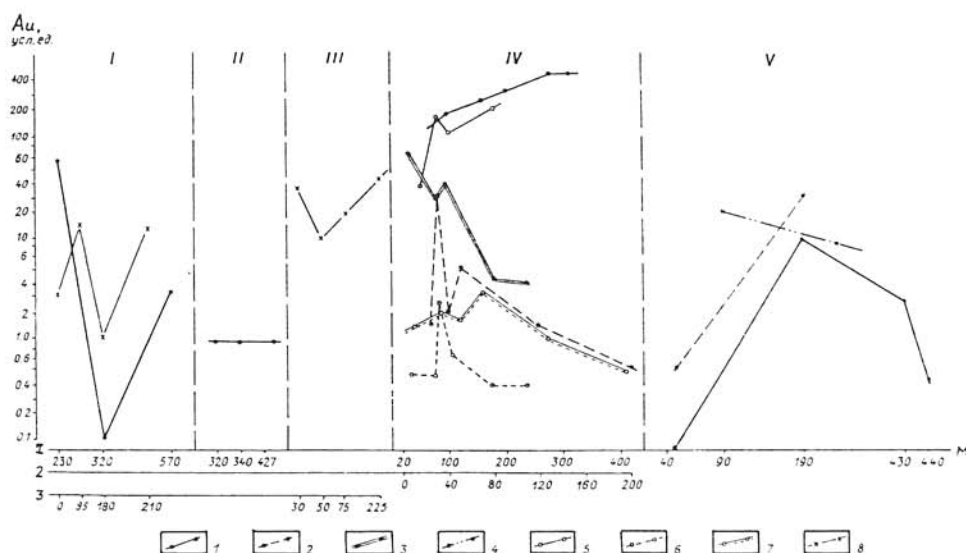


Рис. 3. Графики распределения содержания золота в сульфидах золото-полиметаллических месторождений.

Пояснения: По оси ординат цифры 1, 2, 3 обозначают рудные зоны на рис. 1. Рудная зона 1: 1 — пирит, 2 — галенит, 3 — сфалерит, 4 — сульфосоли; рудная зона 2: 5 — пирит, 6 — галенит, 7 — сфалерит; рудная зона 3: 8 — пирит. Стадии минерализации: I — предрудная, II — турмалиновая, III — колчеданная, полиметаллическая; IV — полиметаллические ассоциации, V — сульфосолиевые ассоциации. По оси абсцисс — глубина от поверхности по падению рудных зон.

Изучение геохимических аномалий, сформированных в течение рудного этапа эволюции рудно-магматической системы, позволило выделить ГПК, отвечающие каждой последующей рудной стадии минерализации. Разностадийные ГПК характеризуются определенными спектром элементов, значениями КК и близкими размерами аномалий. Элементы-индикаторы геохимических полей определенной стадии устанавливались на основе исследования минерального состава и геохимических особенностей руд эталонных объектов, показателями которых являются величины КК и парные корреляционные зависимости элементов. У профилирующих элементов в геохимических полях определенной стадии КК не бывают < 10 , обычно около 100 и выше (Санина — Зорина, 1985).

Элементы, не свойственные данному типу минерализации находятся на уровне фона (КК 1—2) или незначительно превышают его (КК 3—8).

Геохимическим полям концентрирования турмалиновой стадии свойственен простой элементный спектр (В, Au, Ag, Pb) при ведущей роли В, КК остальных элементов значительно ниже. Интенсивность ГП бора возрастает к юго-восточным флангам рудных зон или к ядерной части Аркиинской кольцевой структуры. От ядра структуры ГПК удаляются на 1,5 км (рис. 4).

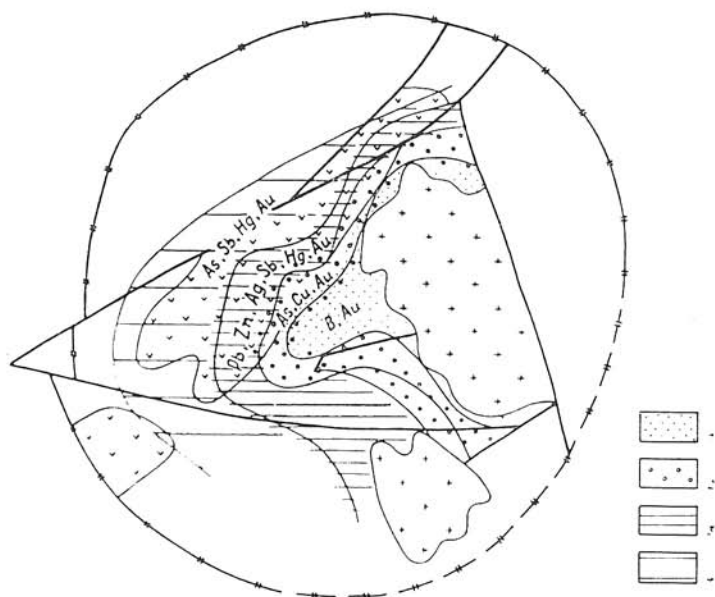


Рис. 4. Схема размещения геохимических полей концентрирования Аркиинской купольно-кольцевой структуры.

Геохимические поля: 1 — турмалиновой стадии, 2 — колчеданной стадии, 3 — полиметаллической стадии, 4 — антимонит-реальгаровой стадии.

При наложении поздних стадий минерализации геохимическое поле бора искажается, появляются зоны выноса элемента, на более высоких уровнях с ними сопряжены зоны переотложения.

ГПК колчеданной стадии характеризуются высокими КК Au, As, Cu, в меньшей степени Ag и Bi. Остальные элементы не типичны. По падению рудных зон иногда отмечается зональность: Cu, Ag, Au (верхние горизонты) — As, Ag, Au (Bi) (средние горизонты). Приурочены ГПК колчеданной стадии преимущественно к глубоким горизонтам и юго-восточным флангам, удаляясь от ядра структуры на 2 км (рис. 4).

ГПК полиметаллической стадии свойственен более широкий спектр элементов, чем ГПК ранних стадий. Ведущую роль играют Pb, Ag, Zn, Au, Hg, Sb при подчиненном значении В, As, Cu. Геохимическая зональность проявляется в приуроченности к верхним-средним горизонтам

месторождения ассоциации Sb, Hg, Ag, Pb, Zn, Au; к нижним — Ag, Pb, Zn, Au. В вертикальных разрезах рудных зон ГПК полиметаллической стадии тяготеют к верхним, средним и нижним участкам центральных частей, а также к нижним и средним горизонтам северо-западных флангов. В плане они удаляются от центра структуры на расстояние 3—4 км.

ГПК антимонит-реальгаровой стадии характерны относительно невысокие КК элементов-индикаторов: As, Sb, Ag, Bi и постоянное присутствие Pb, Zn, В; последнее является следствием влияния ГПК ранних стадий минерализации. По простирацию рудных зон намечается тенденция к зональному распределению минеральных ассоциаций: на юго-восточном фланге месторождения преобладают ассоциации с высоким КК As, на северо-западном — с высоким КК Sb, что отражает различное поведение As и Sb в процессе рудообразования: As — тяготеет к центру купольных структур, Sb — к периферическим частям.

Анализ пространственного распределения разностадийных ГПК свидетельствует о наличии горизонтальной геохимической зональности в пределах месторождений и Аркиинской купольной структуры. От ядра купола к его периферии наблюдается смена ГПК турмалиновой, колчеданной, полиметаллической и антимонит-реальгаровой стадий. Аналогичная зональность в целом устанавливается и в пределах рудных зон в северо-западном направлении: В, Au → Au, As, Cu (Bi) → Pb, Zn, Au, Ag, Sb, Hg → As, Sb, Hg, Au, Ag. В то же время фиксируются участки «перекрывтия» ГПК разных стадий, где горизонтальная зональность практически не проявлена. Аналогичная картина — отсутствие зональности — наблюдается и в разрезе рудных зон телескопированных рудных объектов особенно на их средних горизонтах, где фиксируется комплексная геохимическая аномалия, являющаяся отражением всего процесса рудообразования. Отсутствие зональности объясняется поступлением каждого последующего потока флюидов с более глубоких уровней магматического очага (З о р и н а и др., 1985) по смещающимся к северо-западу по мере перекрытия центрального канала, разобщенным боковым каналом, но не меняющемся в течение всего рудного этапа плана тектонических деформаций. При этом каждая последующая порция флюидов была более низкотемпературной, проникала на более высокие гипсометрические уровни и в наиболее удаленные от ядра структуры участки. Таким образом, в результате длительной эволюции рудно-магматической системы латитового типа при наложении минерализации одних стадий на другие образуются сложные телескопированные месторождения золото-полиметаллического типа.

Нами было установлено, что общепринятая методика (Г р и г о р я н и др., 1968; и др.) оценки вертикальной геохимической зональности, а следовательно выявления элементов-индикаторов эрозионного среза, на таких объектах не вполне пригодна. Вертикальный размах ГПК следует оценивать используя комплексный анализ структурных, геохимических, минералогических и петрохимических данных.

Выявленные особенности Аркиинской рудно-магматической системы позволили определить минералого-геохимические критерии поисков

оруденения золото-полиметаллического типа. Парагенетическая связь с магматическими образованиями латитовой серии — неперенное условие развития золото-полиметаллической минерализации. При обнаружении кольцевых построек с латитовым магматизмом дальнейшие исследования необходимо сосредоточить в пределах вулканических образований с целью выявления зон гидротермально измененных пород, их фацальной изменчивости, обращая особое внимание на возрастание в них величины K/Na . При изучении оруденения определяющими индикаторами являются минеральная зональность изменение Pb/Zn и Au/Ag отношений по падению рудных зон, уровень содержания элементов-примесей в сульфидных слагающих рудные жилы (последнее имеет особое значение при оценке глубоких горизонтов) и в пиритах, рассеянных в лиственитах-березитах, а также геохимические поля концентрирования. При изучении ГПК основное значение для оценки рудных объектов особенно их глубоких горизонтов и флангов имеет элементный состав величины KK элементов-индикаторов, распределение элементных ассоциаций в пространстве.

Предлагаемые минералого-геохимические критерии использованы при оценке известных рудных объектов, локализованных в пределах Аркиинской купольно-кольцевой структуры, а также всей структуры в целом.

ЛИТЕРАТУРА

- ГЕОХИМИЯ МЕЗОЗОЙСКИХ ЛАТИТОВ ЗАБАЙКАЛЬЯ (ТАУСОН, Л. В. — АНТИПИН, В. С. — ЗАХАРОВ, М. Н. — ЗУБКОВ, В. С. ед.), 1984: Наука, Новосибирск, 213 с.
- ЗОРИНА, Л. Д. — БАУМШТЕЙН, В. И. — САНИНА, Н. Б. — КАРЕЛИН, С. П., 1985: Геохимические индикаторы рудной минерализации в кольцевых тектономагматических структурах. В кн.: Геохимические методы поисков и оценки рудных месторождений. Наука, Новосибирск, с. 56—61.
- МИРОНОВ, А. Г. — ГЕЛЕТИЙ, В. Ф., 1979: Экспериментальное исследование распределения золота в сульфидах. Докл. Акад. Наук СССР (Москва), 247, 1, с. 218—222.
- САНИНА, Н. Б. — ЗОРИНА, Л. Д., 1985: Прогнозная оценка месторождений на основе изучения эндогенных геохимических полей. В кн.: Геохимические методы поисков и оценки рудных месторождений. Наука, Новосибирск, с. 70—77.
- ТАУСОН, Л. В., 1982: Геохимия и металлогения латитовых серий — геология рудных месторождений. 3, с. 3—14.
- ФЕФЕЛОВ, Н. Н. 1984: Применение изотопии свинца в проблеме генезиса рудных месторождений (на примере оруденения Сибири и приморья). Автореферат диссерт. на соиск. уч. степени канд. геол.-мин. наук. Иркутск, 17 с.

Рукопись получена 26 мая 1986 г.

The author is responsible for language correctness and content.