

К проблеме формирования колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая

Большинство крупных и средних колчеданно-полиметаллических месторождений Восточного Казахстана многими авторами отнесены к VMS-типу. Их формирование проходило в девонское время, в обстановке рифтогенеза и активного проявления базальт-андезит-риолитового вулканизма. Отмечается чёткая приуроченность рудных тел месторождений к отложениям нескольких геохронологических уровней (D_1e-D_3fm). Выделяются гидротермально-осадочные сингенетические и гидротермально-метасоматические руды. Высокие концентрации цветных металлов в рудах (свыше 10 % по сумме металлов) и довольно простой компонентный состав рудных минералов (халькопирит, пирит, галенит, сфалерит) – характерные особенности всех колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая. Также отмечается, что руды являются комплексными с повышенным содержанием примесей благородных металлов и редких элементов (Cd, Se, Bi, Te, Ta, W и др.). Минералогические исследования руд показали сложное соотношение основных рудных минералов (халькопирит, пирит, сфалерит, галенит), имеющих несколько генераций и различную геохимическую специализацию. Минералы Au, Ag, Te, Bi и др. встречаются в виде свободных зёрен или микроскопических включений и просечек в минералах Cu, Pb, Zn. Значительный вертикальный масштаб оруденения (свыше 100 м), сложность и длительность процессов рудообразования, наличие чётко выраженной приуроченности оруденения к определённым геохронологическим уровням позволяют предположить возможность открытия новых рудных залежей или самостоятельных месторождений в пределах уже известных рудных полей казахстанской части Рудного Алтая.

Ключевые слова: колчеданно-полиметаллические месторождения, Рудный Алтай, сингенетические руды, колчеданно-метасоматические руды, цветные металлы, геохронологические уровни, модель оруденения, минеральный состав.

ДЬЯЧКОВ БОРИС АЛЕКСАНДРОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, академик НАН РК, профессор¹, bdyachkov@mail.ru

МИЗЕРНАЯ МАРИНА АЛЕКСАНДРОВНА, кандидат геолого-минералогических, доцент¹, mizernaya58@bk.ru

ПЯТКОВА АННА ПАВЛОВНА, докторант¹, korajiji@mail.ru

БИСАТОВА АЙНЕЛЬ ЕРЖАНОВНА, инженер-геолог³, bisatova.ainelya@mail.ru

МИРОШНИКОВА АНАСТАСИЯ ПЕТРОВНА, PhD, старший научный сотрудник², anastasiya-2588@mail.ru

КУЗЬМИНА ОКСАНА НИКОЛАЕВНА, PhD, доцент¹, kik_kuzmins@mail.ru

ЗИМАНОВСКАЯ НАТАЛЬЯ АЛЕКСАНДРОВНА, PhD, руководитель школы¹, NZimanovskaya@ektu.kz

ОЙЦЕВА ТАТЬЯНА АНАТОЛЬЕВНА, PhD³, tanhic91@mail.ru

ЧЕРНЕНКО ЗИНАИДА ИВАНОВНА, кандидат геолого-минералогических наук, доцент¹, zinchernenko@mail.ru

¹ НАО «Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева» (НАО «ВКТУ им. Д. Серикбаева»), г. Усть-Каменогорск

² Филиал РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан» «Восточный научно-исследовательский горно-металлургический институт цветных металлов» (Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «ВНИИЦВЕТМЕТ»), г. Усть-Каменогорск

³ ТОО «ГЕОС», г. Усть-Каменогорск

On genesis of massive sulfide polymetallic ore deposits of Rudny Altai

B. A. DIYACHKOV¹, M. A. MIZERNAYA¹, A. P. PYATKOVA¹, A. E. BISATOVA³, A. P. MIROSHNIKOVA², O. N. KUZMINA¹, N. A. ZIMANOVSKAYA¹, T. A. OITSEVA³, Z. I. CHERNENKO¹

¹ NAO Serikbaev Eastern Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk

² Filial Branch of RGP "NTs KPMS RK" "VNIItsvetmet", Ust-Kamenogorsk

³ TOO "GEOS", Ust-Kamenogorsk

Many geologists assign most of large- and medium-sized massive sulfide polymetallic ore deposits of Eastern Kazakhstan to the VMS type. These ore deposits formed in the Devonian, under conditions of rifting and active basalt-andesite-rhyolite volcanism. Ore bodies of these deposits are noted to be clearly confined to formations of several geochronologic levels (D_{1e} to D_{3fm}). Hydrothermal-sedimentary syngenetic and hydrothermal-metasomatic ores are distinguished. High concentrations of base metals in the ores (above 10 % sum metals) and their rather simple mineral composition (chalcopyrite, pyrite, galena, and sphalerite) are a characteristic feature of all the massive sulfide polymetallic ore deposits of Rudny Altai. The ores are noted to be multicomponental, with elevated contents of the admixtures of precious metals and rare elements (Cd, Se, Bi, Te, Ta, W, etc.). Mineralogical investigations of the ores have demonstrated an intricate relationships of the major ore minerals (chalcopyrite, pyrite, sphalerite, galena) that exhibit several generations and different geochemical specialization. Minerals of Au, Ag, Te, Bi, and other elements are encountered as individual grains or microscopic inclusions and stringers in minerals of Cu, Pb, and Zn. A significant vertical range of the ore mineralization (more than 100 m), the complexity and long duration of the ore-forming processes, the clearly defined confinement of the ore mineralization to certain geochronologic levels, – all these allow us to suppose a possibility of discovery of new ore lodes or individual ore deposits within the already known ore fields of the Kazakhstan segment of Rudny Altai.

Key words: Massive sulfide polymetallic ore deposits, Rudny Altai, syngenetic ores, massive sulfide metasomatic ores, base metals, geochronologic levels, ore mineralization model, mineral composition.

В пределах Рудного Алтая сосредоточены многие промышленные месторождения меди, свинца, цинка, золота, серебра и других металлов, которые образуют крупный Рудно-Алтайский медно-полиметаллический пояс, объединяющий Лениногорский, Зыряновский, Прииртышский, Змеиногорский и Рубцовский рудные районы [1, 10].

В изучение геологии и металлогении Рудного Алтая большой вклад внесли многие исследователи (П. П. Буров, Н. П. Курек, А. К. Каюпов, Н. Л. Бубличенко, П. Ф. Иванкин, Г. Н. Щерба, В. В. Попов, Б. А. Чепрасов, Д. И. Горжевский, Г. Ф. Яковлев, В. В. Авдонин, В. И. Старостин, М. Г. Хисамутдинов, В. М. Чекалин, Х. А. Беспаяев, Ю. И. Демин, Н. И. Стучевский, Г. Д. Ганженко и др.). На протяжении всего периода исследований одним из наиболее спорных был вопрос о генезисе крупной рудоносной структуры Рудного Алтая [4, 5].

В связи с ускоренной отработкой известных месторождений в пределах Восточного Казахстана возникла острая проблема укрепления минерально-сырьевой базы цветных металлов для действующих горно-металлургических предприятий. К настоящему моменту фонд легкооткрываемых месторождений уже исчерпан, оставшихся запасов металлов в недрах хватит на первые десятки лет, поэтому обста-

новка диктует необходимость открытия новых месторождений меди, свинца, цинка и сопутствующих металлов (Au, Ag, Pt, Cd, Se и др.). Важнейшая задача фундаментального плана – это разработка новых представлений в геологии и металлогении Рудного Алтая в целях совершенствования технологии прогнозно-поисковых работ и создания научной основы восполнения минерально-сырьевой базы [12, 13].

Цель исследования настоящей статьи – на основе новых данных уточнить и углубить известные ранее общие закономерности формирования колчеданных руд в пределах казахстанской части Рудного Алтая.

Геотектоническое районирование. По геотектоническому районированию Рудный Алтай входит в геоструктуру Большого Алтая (БА), относящегося к системе Центрально-Азиатского подвижного пояса [10]. В соответствии с общей геодинамической моделью эволюции палеоазиатского океана БА как единая целостная структура сформировался в герцинский цикл в процессе коллизии и срачивания Сибирского и Казахстанского микроконтинентов. Размещается он на северо-западном фланге Алтае-Алашаньской мобильной зоны дугообразной формы, огибающей с юго-запада Сибирскую платформу. Территория Большого Алтая ограничена северо-западными глубинными разломами: Кара-Иртышским (на северо-востоке)

и Чингиз-Сауртским (на юго-западе), отделяющими его соответственно от Горного Алтая и Чингиз-Тарбагатай [12].

В пределах казахстанской части БА объединяются геологические структуры Рудного Алтая, Калба-Нарыма, Западной Калбы и Жарма-Саура, ограниченные северо-западными глубинными разломами и различающиеся по специфике геодинамического развития, геологического строения и металлогении [10]. Анализ эволюции геологических и рудных формаций рассматриваемого региона (от докембрия до киммерийского и альпийского циклов) показывает, что процессы рудообразования с формированием промышленных месторождений цветных, благородных, редких металлов и других полезных ископаемых в каждом рудном поясе и металлогенических зонах происходили с разной интенсивностью, в определённых геодинамических обстановках и режимах, рассматриваемых в виде благоприятных региональных поисковых критериев.

По металлогеническому районированию в регионе БА выделяются четыре рудных пояса: Рудно-Алтайский медно-полиметаллический (Fe, Mn, Cu, Pb, Zn, Au и др.), Калба-Нарымский редкометалльный (Ta, Nb, Be, Li, Cs, Sn, W), Западно-Калбинский золоторудный (Au, Ag, As, Sb и др.), Жарма-Саурский полиметалльный (Cr, Ni, Co, Cu, Au, Hg и др.).

Рудно-Алтайский пояс ограничен Кара-Иртышским и Иртышским глубинными разломами северо-западного направления (рис. 1). В плане он имеет конусовидную форму с расширением на северо-западе в сторону российского Рудного Алтая и с резким сужением на Южном Алтае вблизи границы с Китаем. Рассматриваемый пояс объединяет три металлогенические зоны: Рудноалтайскую (центральную), Иртышскую и Белоубинско-Сарымсактинскую (краевые). Рудноалтайская зона – главная рудоцентрирующая структура, в которой сосредоточены многие крупные колчеданно-полиметаллические и медноколчеданные месторождения (Cu, Pb, Zn, Au и др.) вулканогенно-осадочного генезиса. Ведущие типы месторождений сформировались в герцинский цикл в рифтогенной геодинамической обстановке ($D_1e-D_3fr_1$) в генетической связи с дифференцированной группой пород базальт-андезит-риолитового состава и контрастного ряда (табл. 1).

В связи со сменой геодинамического режима в островодужной обстановке образовались более мелкие по масштабам оруденения медно-полиметаллические месторождения, ассоциирующие с дацит-андезитовой формацией (D_3fm).

Основные месторождения размещаются в Лениногорском, Зыряновском и Прииртышском рудных

районах. В российской части Рудного Алтая расположены Рубцовский и Змеиногорский рудные районы (см. рис. 1). На юго-западном фланге в Китае известны медноколчеданные месторождения Ащалы, Коктал, Тимурты и др. [10].

В целом Рудно-Алтайский пояс – это крупная рудоносная структура региональной ранговости, характеризующаяся высоким энергетическим потенциалом, перспективы которой ещё не исчерпаны.

Особенности геодинамического развития Рудного Алтая. По современным представлениям в среднем палеозое Рудный Алтай представлял собой активную континентальную окраину Алтае-Саянской складчатой области. В начале палеозоя по юго-западному краю Алтайского микроконтинента сформировалась система сближенных субпараллельных и косо-секущих глубинных разломов северо-западного направления, проникающих в активизированную верхнюю мантию, падающих на северо-восток под углами $60-70^\circ$. Они способствовали формированию специфического, линейно-вытянутого в северо-западном направлении тектоно-магматического литосферного блока Рудного Алтая, заключённого между Иртышской и Северо-Восточной зонами смятия. Рифтогенные зоны, в пределах которых формировались вулканогенно-осадочные поднятия (Рубцовское, Алейское, Синюшинское, Ревнюшинское и др.), являлись областями интенсивного проявления преимущественно средне-верхнедевонского кислого (риолитового) вулканизма. Эти поднятия ограничивались зонами глубинных разломов, в связи с которыми развивались вулканогенно-осадочные депрессии, заполненные преимущественно известково-терригенными толщами с телепирокластическими осадками и вулканическими образованиями базальт-андезит-риолитовой формации ($D_2gv-D_3fm_1$).

Возникшие рудоносные вулканогенно-осадочные структуры при более поздних геодинамических режимах (коллизионные сжатия, субвертикальные растяжения, горизонтальные сбросо-сдвиговые перемещения по тектоническим зонам) были значительно преобразованы и усложнены вместе с рудными телами. Накопление флюидов и концентрированная миграция рудонасыщенных потоков – главные факторы для потенциальной продуктивности всей рудообразующей системы Рудного Алтая, а благоприятные структурные элементы способствуют формированию флюидно-магматогенных комплексов с зональным размещением рудогенных элементов (Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Au др.).

Модель рудообразования. Проблемы генезиса колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая рассматривались во многих работах [3–5,

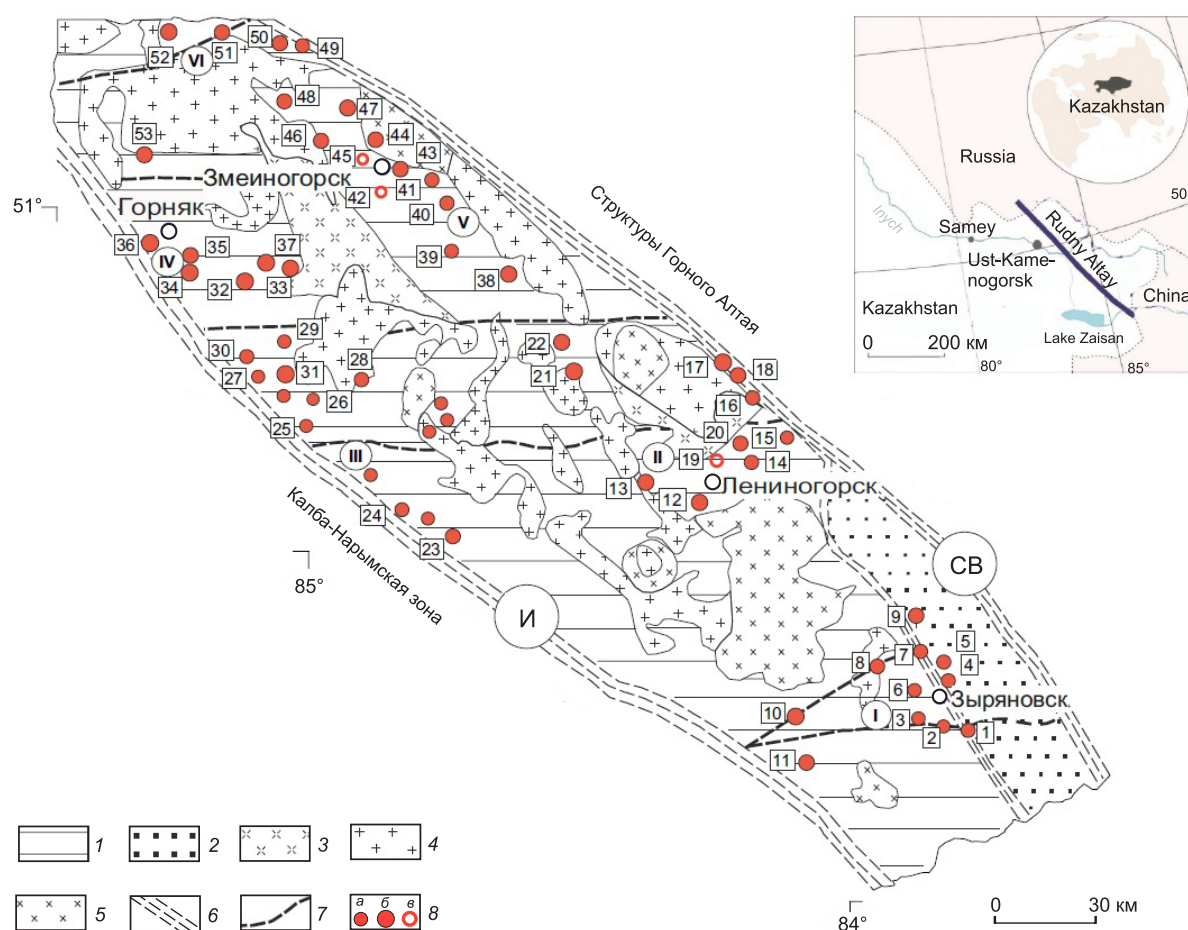


Рис. 1. Структурно-формационная схема Рудного Алтая. Составлена по материалам Рудно-Алтайской экспедиции:

1 – средне-верхнедевонские островодужные вулканогенно-осадочные образования Рудного Алтая; 2 – отложения Белоубинско-Маймырского задугового прогиба; 3 – доэйфельский комплекс (D_2): диориты, кварцевые диориты, гранодиориты, плагиограниты; 4 – средне-верхнекаменноугольные (C_{2-3}): гранодиориты, диориты, плагиограниты и адемиты (змеиногорский комплекс); 5 – верхнепермские–нижнетриасовые (P_2-T_1) порфировидные биотитовые и биотит-роговообманковые граниты (калбинский комплекс); 6 – основные разломы, разделяющие складчатые системы (И – Иртышская, СВ – Северо-Восточная зоны смятия); 7 – поперечные разломы; 8 – месторождения: а, б – колчеданно-полиметаллические и медноколчеданные: а – крупные, б – средние и в – барит-полиметаллические; I–VI – рудные районы: I – Зырянский, месторождения (числа в квадратах): 1 – Греховское, 2 – Снегиревское, 3 – Зырянское, 4 – Богатыревское, 5 – Осочихинское, 6 – Майско-Зырянское, 7 – Путинцевское, 8 – Парыгинское, 9 – Малеевское, 10 – Заводинское, 11 – Бухтарминское, II – Лениногорский, месторождения: 12 – Риддер-Сокольное, 13 – Тишинское, 14 – Шубинское, 15 – Старковское, 16 – Стрижковское; 17 – Гусляковское, 18 – Чекмарь, 19 – Ново-Лениногорское, 20 – Успенское, 21 – Анисимов ключ, 22 – Снегирихинское, III – Прииртышский, месторождения: 23 – Белоусовское, 24 – Иртышское, 25 – Березовское, 26 – Новоберезовское, 27 – Николаевское, 28 – Покровское, 29 – Шемонаихинское, 30 – Камышинское, 31 – Артемьевское, IV – Золотухинский, месторождения: 32 – Юбилейное, 33 – Крючковское, 34 – Золотухинское, 35 – Новозолотухинское, 36 – Орловское, 37 – Гериховское, 53 – Локтевское, V – Змеиногорский, месторождения: 38 – Воровское, 39 – Семеновское, 40 – Масляное, 41 – Лазурское, 42 – Змеиногорское, 43 – Корбалихинское, 44 – Среднее, 45 – Зареченское, 46 – Стрижковское, 47 – Майское, 48 – Тушканихинское, VI – Рубцовский, месторождения: 49 – Степное, 50 – Таловское, 51 – Захаровское, 52 – Рубцовское

8, 9]. В настоящее время известны три основные гипотезы формирования рудно-алтайских месторождений: интрузивная, эффузивная и принятая в настоящей статье вулканогенно-осадочная. В соответствии с этой гипотезой колчеданно-полиметаллические руды образовались в герцинский цикл в рифто-

генной геодинамической обстановке (D_1-D_3) до проявления главной саурской (C_1) фазы складчатости, интенсивного многоактного расщелачивания и смятия пород, становления гранитоидных интрузий Змеиногорского, Калбинского комплексов и их дериватов. Главным источником рудоносных растворов

Основные геодинамические обстановки и рудные формации Рудного Алтая

Циклы	Геодинамическая обстановка	Иртышская зона	Рудно-Алтайская зона	Белоубинско-Сарымсактинская зона
Докембрийский	Океанического рифтогенеза	Медноколчеданная – Cu (Zn, Au); рудовмещающая амфиболито-гнейсовая формация (PR ₁ ?); халькопирит-пирротиновый тип; месторождение Карчига		
Герцинский	Рифтогенная		Колчеданно-полиметаллическая (Cu, Pb, Zn, и др.); базальт-андезит-риолитовая (D ₁ –D ₃ fr); крупные месторождения VMS-типа (Риддер-Сокольное и др.)	Стратиформная железо-марганцевая, Fe, Mn (P), D ₁ e–D ₂ gv; Холзунское месторождение, тип Кируна
			Медно-полиметаллическая (Cu, Zn, Pb); дацит-андезитовая (D ₃ fm); средние и мелкие месторождения (Заводинское и др.)	Свинцово-цинковая вулканогенно-осадочная (D ₁₋₂); средние и мелкие месторождения (Чекмарь, Никитинское)
	Островодужная		Золото-свинец-сереброносная; андезит-базальтовая, C ₁ ; мелкие объекты (Мурзинцевское и др.)	
	Коллизионная	Золото-лиственитовая (Au, Ag, As); рудовмещающая амфиболито-гнейсовая метаморфизованная (PR ₁ ?); зоны минерализации, жилы; средние месторождения (Маралиха)	Золото-теллуридная (Au, As, Bi, Ag); габбро-диорит-плагиогранитовая (C ₂₋₃); средние месторождения (Секисовское)	
		Золото-кварц-березитовая (Au); гранодиорит-плагиогранитовая (C ₃), 305 млн лет; средние месторождения (Манка)	Золото-кварцевая (Au); жильные тела, россыпи; мелкие объекты (Маймырская группа)	
	Постколлизионная	Скарново-карбонатно-грейзеновая (Sn, W), кварцево-жильная (W, Mo); гранитовая (P ₁); мелкие объекты, рудопроявления (Усть-Каменогорское, Каройское и др.)	Скарново-карбонатно-грейзеновая (W, Sn, Mo); гранитовая (P ₁); карбонатно-шеелит-вольфрамитовый тип; рудопроявления (Ивановское и др.)	Эпимагматическая редкометалльно-редкоземельная (Ta, Nb, TR); щелочногранитовая (P ₂ ?); зоны вкрапленников, жилоподобные тела; мелкие объекты (Азутау, Успенское)

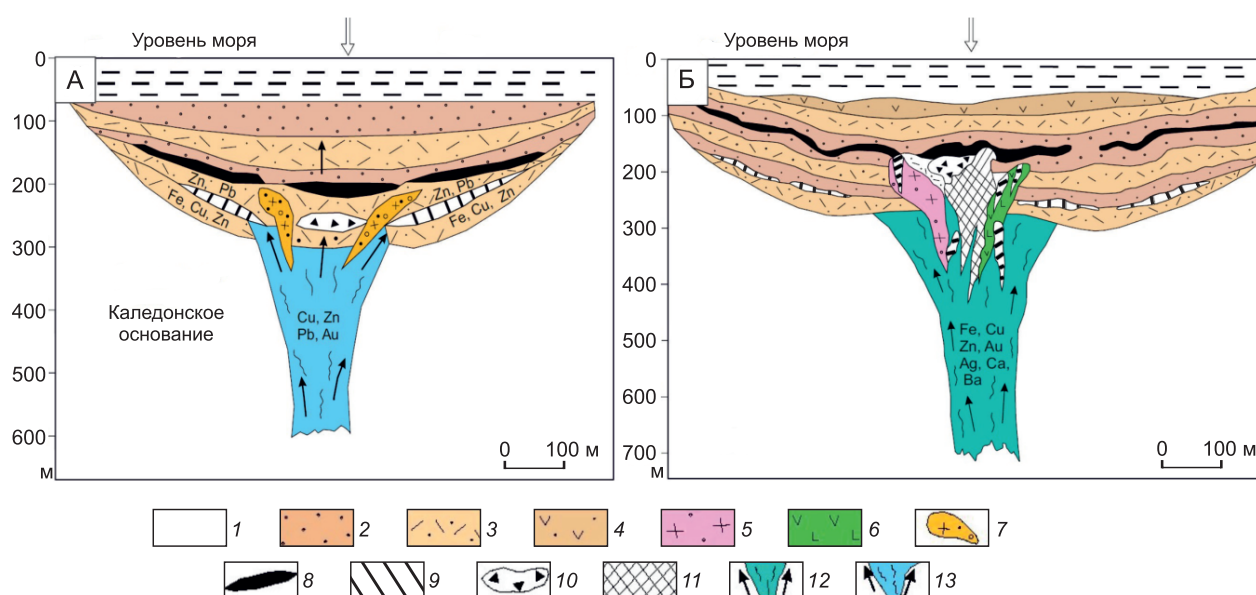


Рис. 2. Модель стратиформного вулканогенно-осадочного (А) и гидротермально-метасоматического рудообразования (Б) месторождений Рудного Алтая:

1 – Каледонское основание, зеленосланцевая формация, О–S?; 2–3 – вулканогенно-осадочные отложения, D₁₋₂; 2 – известково-кремнисто-терригенные, 3 – вулканит-риолит-базальтового состава; 4 – вулканогенно-осадочные отложения, D₁–D₃ fr; 5 – субвулканические порфировые тела; 6 – субвулканические порфиристы; 7 – субвулканические порфировые тела с гнездово-вкрапленным оруденением; 8 – стратиформные залежи сплошных колчеданно-полиметаллических руд (Zn, Pb, Au и др.); 9 – прожилково-вкрапленные медноколчеданные и колчеданно-полиметаллические руды преимущественно пирит-халькопиритового состава (Fe, Cu, Zn); 10 – рудные брекчии; 11 – сплошные медноколчеданные руды (Cu, Zn); 12–13 – магмо- и рудоподводящий каналы

являлись сложнодифференцированные глубинные очаги базальтоидного магматизма. Руды сформировались синхронно с образованием девонских вулканогенно-осадочных отложений и флюидно-порфировых комплексов (рис. 2). Рудные тела значительной части месторождений претерпели вторичные наложенные тектонические, магматические, гидротермальные преобразования, что существенно усложнило их минеральный состав [10].

По физико-химическим, геолого-структурным и минералого-геохимическим особенностям рудообразования и практической значимости выделены основные генетические типы колчеданно-полиметаллического оруденения: вулканогенно-осадочный (гидротермально-осадочный) и гидротермально-метасоматический. К первому стратиформному вулканогенно-осадочному типу относятся месторождения, рудные тела которых локализуются среди неизменённых или слабоизменённых осадочно-пирокластических и магматических пород (см. рис. 2, А), несущих свинцовое, свинцово-цинковое, золото-колчеданное и колчеданно-полиметаллическое оруденение (2-я Риддерская залежь Риддер-Сокольного месторождения, Календарское, Верх-Убинское, Осеннее, Банное, Ни-

китинское, Никандровское, Пневское месторождения и Южно-Алтайская группа рудопроявлений).

Гидротермально-метасоматический тип колчеданно-полиметаллического и медно-цинкового оруденения является основным на Рудном Алтае. Он тесным образом связан с рифтогенными тектоно-магматическими процессами герцинского цикла среднего–верхнего девона и становлением субвулканических порфировых тел, которые сопровождаются мощными ареалами гидротермально-метасоматических пород (до гидротермалитов и метасоматитов) и колчеданным оруденением в виде отдельных рудных тел и залежей (см. рис. 2, Б). К этому типу относятся крупные и уникальные месторождения Рудного Алтая, пространственно и структурно связанные с субвулканическими порфирами (Орловское, Золотушинское, Артёмьевское, Николаевское, Тишинское, Зыряновское, Малеевское, Иртышское и др.). Последние занимают до 40–80 % объёма сформированной рудномагматической системы (РМС), имеют преимущественно лополитообразную и субпластовую формы, уходя своими корнями в зоны магмоподводящих глубинных разломов, которые расположены по периферии крупных вулканотектонических поднятий.

Минеральный состав большинства месторождений довольно однообразен: галенит, халькопирит, сфалерит, пирит, золото и др. Отмечаются также блёклые руды, мельниковит-пирит, пирротин, магнетит, многочисленные минералы серебра, теллура и других элементов. Такое постоянство вещественного состава руд позволяет предположить однотипный источник рудного вещества, близость генетических типов месторождений, состава рудообразующих растворов и флюидных потоков. Рудоносные флюиды содержали широкий спектр рудных элементов (Cu, Pb, Zn, Fe, S, As, Au, Bi, Te и др.), литогенных (Si, Mg, Ca, K и др.) и растворённых газов (CO_2 , N_2 , H_2S , SO_2 , S, HCl, F, Cl, H, H_2O).

Стратиформный тип руд сформировался из холодноводных углекислых, сернистых и железистых растворов, обогащённых рудными элементами, в результате смешивания их с морскими водами при температуре менее 100 °C и давлении 10–60 МПа. В рудообразующих растворах по данным водных вытяжек выявлены ионы Na^+ , Ca^{++} , K^+ , HCO_3^- , газы – CO_2 , H_2 , S и др. Морская вода играла важную роль физико-химического барьера для рудоносных растворов. Здесь же формировались кремнистые, карбонатные и органогенные осадки с рассеянным типом оруденения. О едином глубинном источнике серы всех типов месторождений и генетической близости руд свидетельствуют показатели изотопного состава серы сульфидов ($\delta^{34}\text{S}$ от –4,5 до +10 ‰).

Гидротермально-метасоматические руды образованы теми же первичными растворами, но при меньшем влиянии морской воды и усилении изменений режима кислорода и серы и при более высоких *PT*-условиях. Основная масса сульфидов сформирована при температуре 200–350 °C и давлении 30–150 МПа. Изотопный состав серы сульфидов не отличается от состава серы большинства колчеданно-полиметаллических месторождений и близок к мантийной, варьируется в узком интервале значений ($\delta^{34}\text{S}$ от –4,2 до +5,2 ‰, основная часть проб – от –2,2 до +2,0 ‰).

В целом гидротермально-метасоматические руды имеют более сложный минеральный состав с повышенными концентрациями элементов-примесей (висмута, теллура, золота, серебра, сурьмы и др.), фиксируемых в виде субмикроскопических включений в блёклых рудах, галените, халькопирите, сфалерите с возрастанием содержаний от ранних парагенезисов к поздним. Глубина формирования первичных руд от 0,2 до 3 км.

Приведённые данные воссоздают общую картину рудообразования с восходящей пульсирующей вадозно-гидротермальной системой растворов с ювенильными продуктами (Cu, Pb, Zn, Fe, S, Ag, Au, Bi, Se, Te, Pt и др.) и элементами выщелачивания (Ca,

Mg, Si, K и др.) в неустойчивых термодинамических и физико-химических условиях. С этой точки зрения основные месторождения Рудного Алтая нельзя считать полигенными, так как оруденение сформировано единым источником рудного вещества, генерированного общей рудоносно-флюидной системой [2, 7, 11].

Основные рудоносные уровни. Основные рудоносные уровни являются ведущими критериями прогнозирования и поиска колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая [6]. На ряде месторождений в Лениногорском, Зырянском и Прииртышском рудных районах в стратиграфической колонке выделяются так называемые «критические» уровни, на которых размещаются основные рудные залежи (рис. 3). В связи с возрастной миграцией вулканических центров и изменением состава рудообразующих геологических формаций в западном направлении (от Лениногорско-Зырянской подзоны к Прииртышской) происходила вертикальная смена рудоносных уровней в зональной рудной колонне.

В Лениногорско-Зырянской подзоне в генетической связи с базальт-андезит-риолитовой кремнисто-известково-терригенной формацией ($\text{D}_1\text{e}-\text{D}_2\text{gv}$) сформировались основные колчеданно-полиметаллические месторождения. Здесь выделяются такие рудоносные уровни:

- эмский (Риддер-Сокольное, Ново-Лениногорское месторождения);
- эйфельский (Тишинское, Зырянское, Греховское месторождения);
- эйфель-раннеживетский (Малеевское и др.)

В Прииртышском рудном районе развита базальт-риолитовая контрастная известково-кремнисто-терригенная формация ($\text{D}_2\text{e}-\text{D}_3\text{fm}_1$). Основные месторождения сосредоточены на следующих рудоносных уровнях: эйфельский (Орловское колчеданно-медно-цинковое оруденение, Белоусовское колчеданно-полиметаллическое); поздне-живетский (Николаевское, Артемьевское, Иртышское колчеданно-медно-цинковые месторождения). В рубцовском рудном районе отмечается франский (рубцовско-таловский) уровень (Корбалихинское, Лазурское и другие полиметаллические месторождения) [7, 16].

В Бухтарминском рудном районе рудоносной является дацит-андезитовая терригенная островная формация (пихтовская свита D_3fm_2). На выделяемом здесь бухтарминском уровне известны пока мелкие медно-полиметаллические месторождения и рудопроявления жильного и штокверкового типов (Заводинское, Бухтарминское, Орманское).

Анализ материалов геологоразведочных работ указывает на недостаточную изученность выделяемых рудоносных уровней на глубину. Это особенно касается

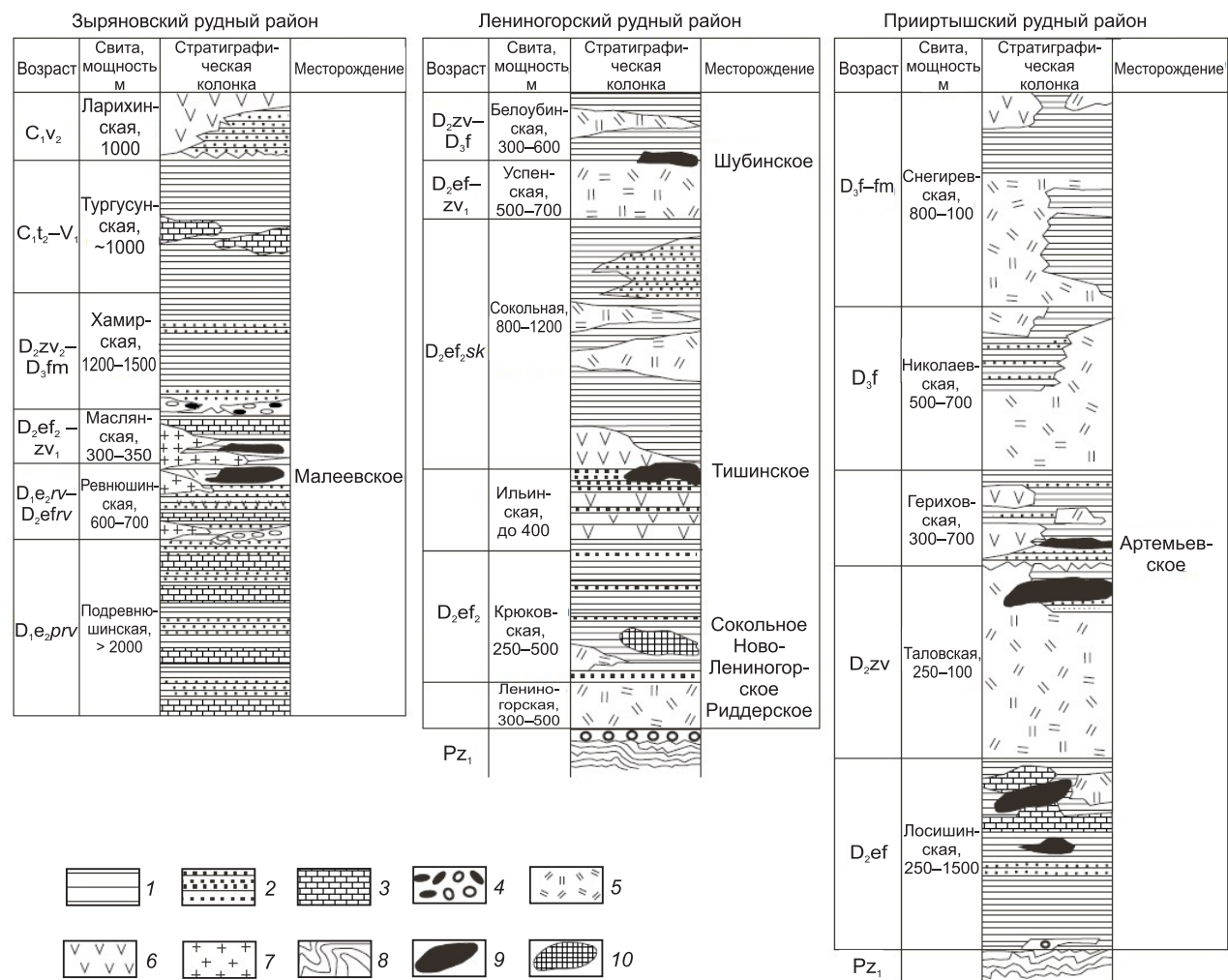


Рис. 3. Основные стратиграфические уровни колчеданно-полиметаллического оруденения Рудного Алтая. По материалам И. В. Гаськова, 2015, с доработкой авторов:

1 – аргиллиты, алевролиты и алевролиты; 2 – песчаники и разнородные туфопесчаники; 3 – известняки и известняковые породы; 4 – базальные конгломераты и песчаники; 5 – туфы и лавы риолитовых и риолит-дацитовых порфиров; 6 – туфы и лавы базальтовых и андезит-базальтовых порфиров; 7 – субвулканические тела риолитовых и риолит-дацитовых порфиров; 8 – метаморфические сланцы; 9 – колчеданно-полиметаллическое оруденение; 10 – золото-серебряно-барит-полиметаллическое оруденение

Прииртышского и Бухтарминского рудных районов, что раскрывает потенциальные возможности для прогнозирования и поиска скрытых месторождений на более глубоких горизонтах (до 500–1500 м).

Основные типы месторождений. Предыдущими исследованиями установлено, что рудо локализирующие горизонты наиболее крупных месторождений Рудного Алтая имеют многоярусное расположение. Это может свидетельствовать о пульсационном характере гидротермальных растворов [10, 15]. Наиболее мощные залежи сплошных полиметаллических руд формировались над выходами газогидротермальных рас-

творов (Риддер-Сокольное, Малеевское, Артемьевское месторождения). Места выходов гидротерм на морском дне фиксируются в виде куполо-линзовидных образований с минералого-геохимической зональностью отложений, проявленных сменой по вертикали текстурных особенностей, минерального и химического состава руд. Ниже приведена краткая характеристика основных типов руд месторождений Рудного Алтая.

Риддер-Сокольное месторождение расположено в Лениногорском рудном районе. Оруденение приурочено к базальт-андезит-риолитовой, кремнисто-

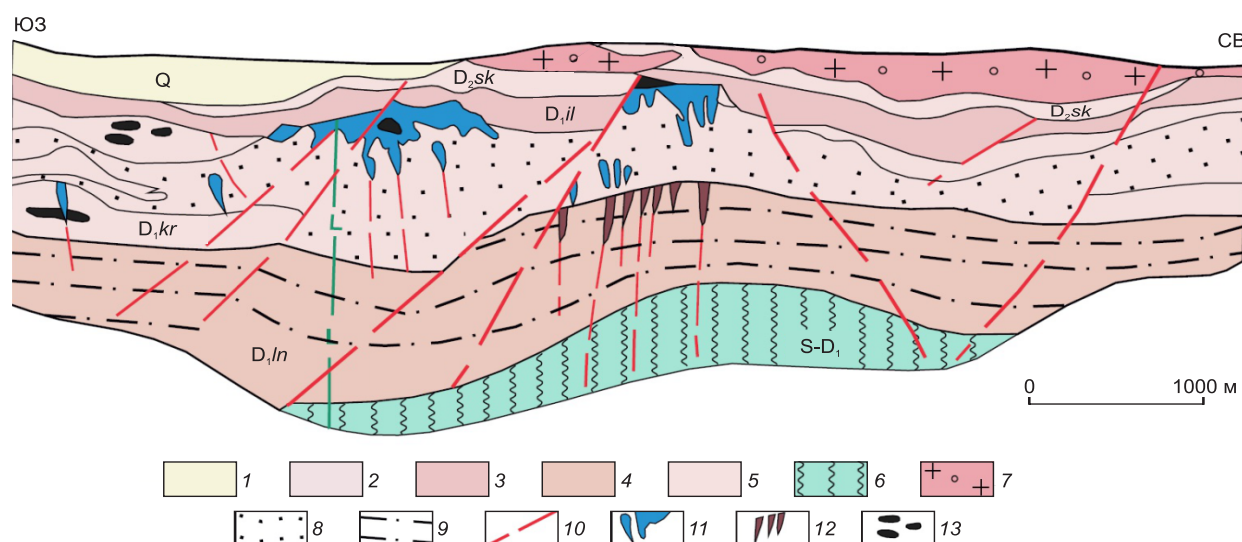


Рис. 4. Геологический разрез Риддер-Сокольного месторождения (юго-западная залежь) [1]:

1 – четвертичные отложения, Q; 2–5 – свиты: 2 – Сокольская, D_2sk , 3 – Ильинская, D_1il , 4 – Крюковская, D_1kr , 5 – Лениногорская, D_1ln ; 6 – среднедевонские гранитоиды; 7 – метаморфические породы, $S-D_1$; 8 – серицитизированные микрокварциты; 9 – микрокварциты; 10 – золото-сульфидно-кварцевые рудные прожилки; 11 – пиритная минерализация; 12 – взрывчатые брекчии; 13 – серицитизированные глинистые сланцы

известковисто-терригенной формации (D_1e-D_2gv), эмскому рудоносному уровню. Тип месторождения золото-колчеданно-полиметаллический.

На месторождении интенсивно и неравномерно проявлены процессы метаморфических изменений вулканогенно-осадочных пород. Наложение разных типов метаморфизма затрудняет выделение отдельных его фаций и выявление зональности.

В пределах месторождения установлено проявление регионального, контактового, динамометаморфического, гидротермально-метасоматического и автометасоматического преобразования пород. Многоуровневый характер оруденения Риддер-Сокольного месторождения проиллюстрирован на рис. 4.

К *первому уровню оруденения*, приуроченному к средней пачке крюковской свиты, относятся вкрапленное, гнездовое и сплошное полиметаллическое, обогащённое золотом и серебром оруденение, концентрирующееся в привершинных частях куполов и на их периферии непосредственно под «сланцами всячего блока». Ниже, в микрокварцитах, оно сменяется сетчато-штокверковым полиметаллическим, также часто золотосодержащим оруденением. Далее по разрезу выделяются крутопадающие субпараллельные жильные рудные тела полиметаллического состава в верхней части, медно-цинкового и медного в корневой. Морфология рудных залежей в купольных структурах обычно медузообразная. В интервале распространения жильного оруденения достаточно

широко развиты сульфидно-кварцевые жилы с высоким содержанием золота.

Второй уровень оруденения тяготеет к контакту средней алевролитовой и нижней гравелит-агломератовой пачке крюковской свиты. К рудам этого горизонта относятся корневые части жильных тел, сложенные цинково-медными и медными рудами. Граница между оруденением первого и второго уровней весьма нечёткая и проводится условно.

Руды полиметаллические сплошные и гнездово-вкрапленные, обогащённые золотом и серебром. На верхнем уровне проявлены сульфидно-кварцевые жилы с высоким содержанием золота. В нижней корневой части месторождения развиты жильные рудные тела с медно-цинковым и медным оруденением. Главные рудные минералы – пирит, галенит, сфалерит, золото.

Месторождение крупное по запасам полиметаллов и золота. За период эксплуатации добыто более чем 500 т золота.

Артемьевское месторождение находится на территории Шемонаихинского района Восточно-Казахстанской области в 8 км юго-западнее Шемонаихи и в 10 км северо-западнее Николаевского месторождения. Артемьевское месторождение относится к колчеданно-медно-цинковому геолого-промышленному типу.

В геологическом строении месторождения принимают участие вулканогенно-осадочные отложения

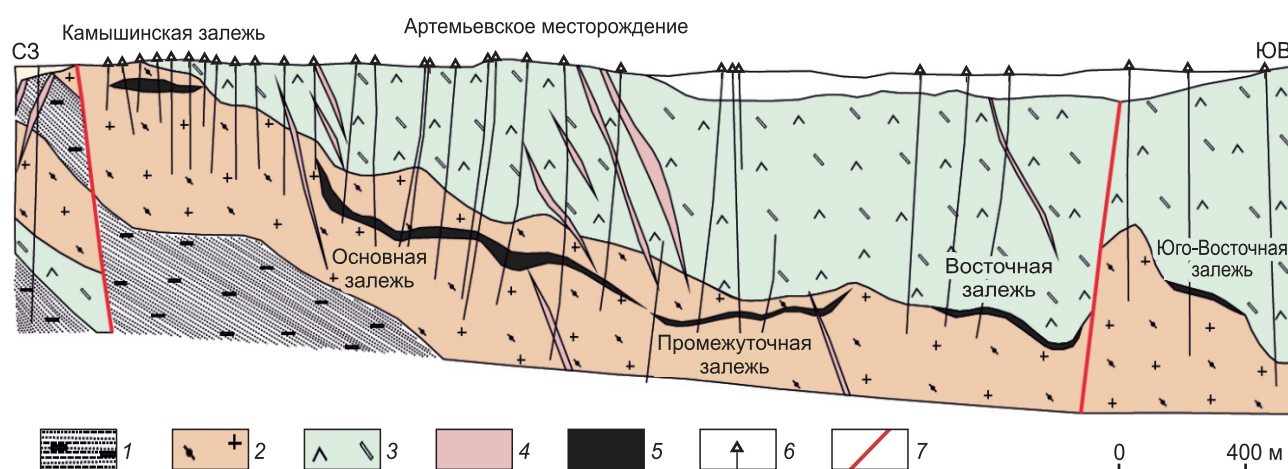


Рис. 5. Продольный геологический разрез Артемьевского месторождения (Северо-Восточная залежь):

структурно-природные парагенезы (СПП): 1 — алевролит-песчаный, 2 — кремнисто-порфировый, 3 — алевролит-базальтовый, 4 — дайковый; 5 — колчеданно-полиметаллические руды; 6 — буровые скважины; 7 — разломы

базальт-риолитовой контрастной известкисто-кремнисто-терригенной формации ($D_2e-D_3f_1$), подразделяемые на лосишенскую, таловскую, гериховскую свиты. Вулканогенно-осадочные отложения прорваны крупными субвулканическими телами кислого и основного состава, а также дайками плагиогранит-порфиров, диабазовых и андезит-дацитовых порфиров (рис. 5).

Оруденение представлено крупной линзообразной залежью длиной 1000 и шириной 150–300 м, средняя мощность составляет 12 м. Наблюдается отчетливая вертикальная зональность руд (сверху вниз): барит-полиметаллический, колчеданно-полиметаллический, медно-цинковый, медноколчеданный типы.

На месторождении выделяются две полярные минеральные ассоциации: свинцово-цинковая (примеси — барит, Au, Ag, Cd, Hf, Sb, As, Te и др.) висячем боку залежи, медно-висмутовая (с пиритом) в лежащем боку. По запасам относится к крупным месторождениям (Cu, Zn).

Малеевское месторождение расположено в пределах Зырянского рудного района. За длительный период освоения и геологического изучения в районе выявлено более 150 рудных проявлений цветных металлов, которые по структурно-формационной приуроченности группируются в рудные узлы, из них основную промышленную ценность представляет Ревнюшинский рудный узел. В его пределах месторождения, рудопроявления и точки минерализации размещаются на четырех рудных полях: Зырянском, Греховском, Малеевско-Путинцевском и Богатырёвско-Осочихинском.

Месторождения Ревнюшинского рудного узла локализуются в слоистом, вулканогенно-осадочном разрезе ревнюшинской свиты (Зырянское, Греховское, Майское) и в экзоконтакте порфиров среди осадочных пород маслянской свиты (Малеевское месторождение, отдельные рудные залежи Зырянского месторождения, главный участок Путинцевского месторождения) (рис. 6).

На Малеевском месторождении оруденение локализовано в полого лежащей складчатой толще в пределах сравнительно узкого интервала вулканогенно-осадочного разреза маслянской свиты. Месторождение формировалось на склоне конседиментационного экструзивного купола риолитов в локальных протяжённых депрессиях низшего порядка. Сложные границы рудных тел и частые секущие контакты с вмещающими породами говорят о широком развитии переотложения и замещения рудного вещества в стадию рудообразования.

На данном месторождении установлено несколько уровней локализации оруденения, охватывающих 600–700 м разреза ревнюшинской и маслянской свит. Наиболее мощные и богатые промышленные руды сконцентрированы на малеевском уровне, расположенном внутри отложений маслянской свиты на контакте кварцитов с верхним телом порфиров. Этот уровень пространственно наиболее выдержан, хотя и расчленяется на ряд седловидных, линзообразных или плитовидных залежей. Руды колчеданно-полиметаллические (Cu : Zn : Pb = 2 : 6 : 1). Основные рудные минералы: пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит.

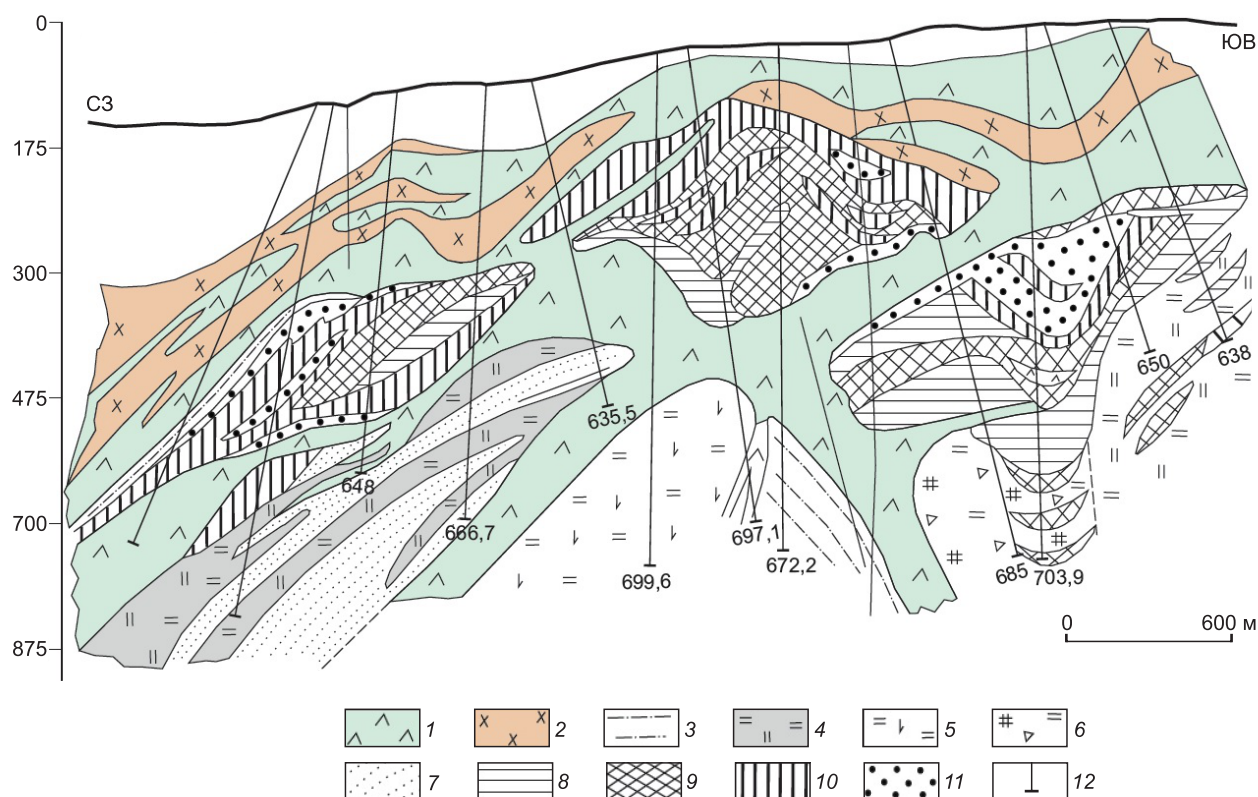


Рис. 6. Геолого-минералогический разрез по профилю XII Родниковой зоны Малеевского месторождения [2]:

1 – диабазы; 2 – порфиры; 3 – алевролиты; 4 – кварциты; 5 – роговики; 6 – брекчии порфиров и кварцитов; 7–11 – руды: 7 – серно-колчеданные, 8 – медноколчеданные, 9 – колчеданно-медно-цинковые, 10 – барит-полиметаллические и цинковые, 11 – свинцово-цинковые и медно-свинцовые; 12 – скважина и её глубина

Рудные тела метаморфизованы под воздействием гранитоидов змеиногорского комплекса (C_{2-3}). Метасоматические процессы, сопутствующие рудогенезу, оказывают значительное влияние на закономерности локализации руд. Размеры и формы ореолов гидротермального изменения пород зависят от ряда факторов: состава вмещающих пород, их физико-механических свойств, особенностей строения разрывных нарушений, продолжительности гидротермального процесса, температуры и давления растворов.

Минералогический и химический состав руд. Минералогические исследования руд колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая проводились многими геологами (Б. И. Вейц, И. В. Покровская, Г. П. Болгов, Х. А. Беспяев, Г. Д. Ганженко и др.). Многофазные включения в минералах, изотопы серы, свинца, кислорода и др., особенности колчеданно-полиметаллического оруденения Рубцовского, Змеиногорского, Прииртышского, Лениногорского и Зырянковского районов рассматривались в работах В. В. Авдониной, В. М. Чекалина, Г. Ф. Яковлева, А. С. Ла-

пухова, К. Р. Ковалева, И. В. Гаськова, В. В. Попова, Н. И. Стучевского, Ю. И. Демина, О. А. Ковриго и многих других исследователей. Геологические условия формирования и возможные источники рудного вещества месторождений цветных металлов Казахстана на основе изучения флюидных включений рассмотрены в работах Ю. С. Парилова [4].

Работами прошлых лет установлен довольно единообразный минеральный состав руд большинства месторождений. К основным рудным минералам относят галенит, халькопирит, сфалерит, пирит, барит и золото. Из сопутствующих изучены блёклые руды, мельниковит-пирит, пирротин, магнетит, многочисленные минералы серебра, теллура и других элементов.

Современными минералогическими исследованиями (в том числе проведёнными авторами данной статьи) выявлены сложные минеральные ассоциации рудных и сопутствующих минералов. Руды представляют собой различные комплексы сульфидов нескольких генераций (от ранних сингенетических до поздних), существенно отличающиеся содержаниями

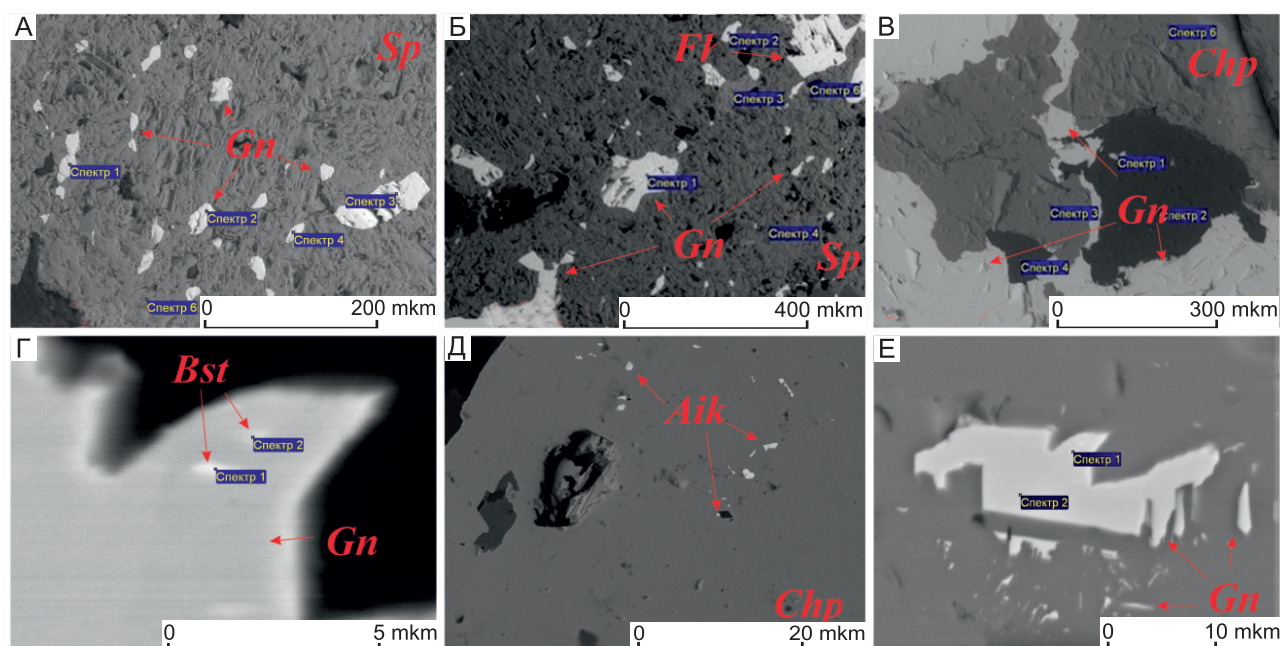


Рис. 7. Соотношения минералов в колчеданно-полиметаллических рудах месторождений Рудного Алтая:

А – эмульсионная вкрапленность галенита (*Gn*) в сфалерите (*Sp*); Б – эмульсионная вкрапленность галенита в сфалерите, в ассоциации с галенитом развиты зёрна блёклой руды (*Fh*); В – сросток халькопирита (*Chp*) с галенитом; Г – микровключения висмутита (*Bst*) в галените (галенит имеет примеси *Ta*, *W*); Д – мелкие включения айкинита (*Aik*) в халькопирите; Е – угловатые, зазубренные зёрна галенита в пирите (*Py*)

основных компонентов, составом примесей и типоморфными характеристиками. В парагенезисе с сульфидами отмечаются многие попутные минералы: висмутит, айкинит, золото, серебро, кадмий и др.

На рис. 7 в аншлифах видны сложные соотношения халькопирита, сфалерита, галенита, висмутита и айкинита (CuFeBiS_3). Размер микровключений минералов варьирует от первых единиц до 100 микрон. Галенит, встречающийся в виде эмульсионных микровключений в зёрнах халькопирита, сфалерита (см. рис. 7, А, Б), пирита и других минералах (см. рис. 7, Е), относится к самой поздней генерации.

В галените обнаружены тончайшие включения висмутинита (Bi_2S_3), а также примеси (в мас.%): *Ta* – 3,10, *W* – 2,17, *Se* – 6,78, *Ba* – 1,95 и тонкодисперсная вкрапленность серебра. Айкинит образует прожилковую вкрапленность в халькопирите (см. рис. 7, Д). Эмульсионные каплевидные включения галенита отмечаются в стыках зёрен других сульфидов, по трещинам и дефектам кристаллов, что указывает на его более позднюю генерацию.

Лабораторные исследования современными методами ICP-MS показали многообразие химического состава руд изучаемых месторождений. Можно сделать вывод, что руды колчеданно-полиметалличес-

ких объектов Рудного Алтая в целом имеют сходный по количественному и качественному составу набор основных и сопутствующих компонентов. Однако для месторождений Прииртышского рудного района отмечается преобладание роли медно-цинкового оруденения относительно полиметаллического в Лениногорском районе, профилирующими элементами являются медь, цинк, сера.

Рудные тела значительно обогащены элементами-примесями (*Ag*, *Au*, *Bi*, *Cd*, *As*, *Sb*, *Tl*, *Se*, *Te*, *Ga*, *Ge*, *Mo*, *In*, *Hg*, *Co*). Руды месторождений Лениногорского и Зыряновского рудных районов относятся к собственно колчеданно-полиметаллическому типу, основными промышленными компонентами являются *Pb*, *Zn*, *Cu*, *Ba*, попутными – *Cd*, *Au*, *Ag*, *Se*, *Te*, *Mo*, *Bi*, *As*, *Sb*, *Hg*, *Ga*, *Ge*, *In*, *Co*, *Ni*.

Для всех месторождений Рудного Алтая отмечаются характерные геохимические признаки. В колчеданно-медно-цинковых месторождениях установлены повышенные содержания *Ce*, *Te*, *Tl*, *Bi*. Для колчеданно-полиметаллических месторождений отмечается накопление *Ba*, *Au*, *Ag*, *As*, *Cd*, *In*, *Hg*. Отношение среднего содержания *Ce* / *Te* в колчеданно-медно-цинковых рудах в несколько раз выше, чем в полиметаллических [6, 14]. Средние содержания

основных и попутных компонентов превышают кларковые в тысячи (Bi, Te, Cd, Au), сотни (Pb, Zn, Cu, Au, S, Se, Sb, As), десятки раз (Ba, Mo) или находятся в пределах кларковых значений (Tl, In, Ge). Попутные элементы в рудах фиксируются в виде самостоятельных минералов, микроскопических дисперсных или эмульсионных вкраплений (As, Sb, Bi, Co, Ni, Ag, Au, Te). Нередко при электронно-микроскопических исследованиях (см. рис. 7) наблюдаются изоморфные примеси в сульфидах (Co, Tl, In, Ge, Ag).

Заключение. Рудно-Алтайский колчеданно-полиметаллический пояс – это крупная рудоносная структура региональной ранговости, в которой сосредоточены крупные и уникальные месторождения Cu, Pb, Zn, Au, Ag, многие редкие элементы. Месторождения сформировались в герцинский цикл в рифтогенной геодинамической обстановке, генетически связаны с девонским базальт-андезит-риолитовым вулканизмом дифференцированного и контрастного ряда. Большинство месторождений относятся к мировому VMS-типу (вулканогенные массивные сульфидные месторождения). Рудоконтролирующей является система эшелонированных глубинных разломов северо-западного направления, сформированных на активизированной континентальной окраине Горного Алтая. Для осаждения и концентрации оруденения ведущая роль принадлежит рудовмещающей среде кремнисто-известковисто-терригенного состава и субвулканическим порфировым интрузиям. По происхождению выделяется два типа руд: 1) вулканогенно-осадочный (гидротермально-осадочный), 2) гидротермально-метасоматический. Месторождения располагаются на определённых геохронологических уровнях от D₁e до D₃fm.

Модель рудообразования отражает восходящую ритмично-пульсационную водно-гидротермальную систему растворов с ювенильным источником рудного вещества и образованием руд в неустойчивых термально-динамических и физико-химических условиях. С этой точки зрения месторождения Рудного Алтая нельзя считать полигенными, так как оруденение сформировано единым источником рудного вещества, генерированного общей рудоносно-флюидной системой.

Главные рудные минералы – пирит, халькопирит, сфалерит, галенит. Отличительная особенность месторождений – комплексный состав руд, содержащих примеси благородных металлов (Au, Ag, Pt) и редких элементов (Cd, Se, Bi, Te, Ta, W и др.). Характерной особенностью колчеданных месторождений Рудного Алтая являются высокие концентрации в рудах цветных металлов, сумма которых (Cu + Pb + Zn) достигает 10–12%. По результатам минералогических исследований с использованием электрон-

ной микроскопии определена форма нахождения Au, Ag, Te, Bi и др. элементов в колчеданно-полиметаллических рудах. Эти минералы встречаются в виде микроскопических включений в основных рудных минералах. Вполне вероятно, часть благородных металлов в рудах имеет невидимое распределение по аналогии с полиметаллическими месторождениями других регионов. На современном этапе в связи с истощением запасов известных месторождений возникла острая проблема укрепления минерально-сырьевой базы Рудного Алтая.

Исходя из разнообразия механизмов формирования колчеданно-полиметаллических месторождений, длительности проявления процессов рудообразования, пространственной приуроченности оруденения к определённым геохронологическим уровням и значительного вертикального масштаба распространения руд (до 1000–15 000 м), последующего преобразования и трансформации рудных объектов, целесообразно систематизировать обширный геологический материал последних 10–15 лет. Необходимо также продолжить детальное изучение минерального состава рудных ассоциаций с широким использованием высокоточных методов исследований и на этой основе прогнозировать поиски и оценку глубокозалегающих объектов. Рекомендуется увеличение глубинности геологического изучения территории в важнейших горнорудных районах Рудного Алтая (Зыряновский, Лениногорский, Прииртышский, Бухтарминский и др.) с внедрением современных научно-методических технологий для составления прогнозно-металлогенических карт нового поколения.

Статья подготовлена по результатам работ и финансированию по грантам Министерства экологии, геологии и природных ресурсов РК (BR 10264558) и Министерства образования и науки РК (AP 08856325)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспяев Х.А. Атлас месторождений полезных ископаемых Казахстана. – Алматы, 2004. – 141 с.
2. Ганженко Г.Д., Юдовская М.А., Викентьев И.В. Золото-полиметаллическая минерализация Риддер-Сокольного месторождения на Рудном Алтае (Восточный Казахстан) // Минералогия. – 2018. – № 4 (1). – С. 8–31.
3. Еремин Н.И., Дергачев А.Л., Сергеева Н.Е., Позднякова Н.В. Типы колчеданных месторождений вулканических ассоциаций // Геология рудных месторождений. – 2000. – Т. 42, № 2. – С. 177–190.
4. Париллов Ю.С. Генезис основных типов полиметаллических месторождений (основанный на результатах флюидных включений). – Алматы, 2012. – 266 с.

5. Проблемы генезиса колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая // Труды совещания. – Алма-Ата, «Наука» КазССР, 1977. – 304 с.
6. Таусон Л. В., Гундобин Г. М., Зорина Л. Д. Геохимические поля рудно-магматических систем. – Новосибирск: Наука, 1987.
7. Чекалин В. М. Основные закономерности размещения и принципиальная модель формирования колчеданно-полиметаллических месторождений северо-западной части Риддер-Сокольного месторождения // Геология и геофизика. – 1991. – № 10. – С. 75–89.
8. Чепрасов Б. А., Покровская И. В., Ковриго О. А. О полигенном характере оруденения Риддер-Сокольного месторождения // Геология рудных месторождений. – 1972. – № 6. – С. 30–45.
9. Щерба Г. Н. Проблемы генезиса колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая // Советская геология. – 1968. – № 6. – С. 49–64.
10. Щерба Г. Н., Беспаев Х. А., Дьячков Б. А. и др. Большой Алтай (геология и металлогения). Кн. 2. Металлогения. – Алматы: РИО ВАК РК, 2000. – 400 с.
11. Яковлев Г. Ф. Вулканогенные структуры месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1984. – 208 с.
12. Dyachkov D. A., Titov D. V., Sapargaliev E. M. Ore belts of the Greater Altai and ore resource potential // *Geology of Ore Deposits*. – 2009. – V. 51, № 3. – P. 197–211. dx.doi.org/10.1134/S1075701509030027.
13. Dyachkov B., Mizernaya M., Kuzmina O., Zimanovskaya N., Oitseva T. Tectonic and Metallogeny of East Kazakhstan // *Tectonics – Problems of regional settings*. – 2018. – P. 67–84. dx.doi.org/10.5772/intechopen.72745.
14. Dyachkov B. A., Bissatova A. Y., Mizernaya M. A., Zimanivskaya N. A., Kuzmina O. N. Scientific Basis for the Development of Promising Directions of Geological Exploration of Geological Exploration in Order to Strengthen the Mineral and Raw Material Base of East Kazakhstan Region // *Aspects in Mining and Mineral Science*. – 2021. – V. 6, I. 3. – P. 727–728.
15. Letnikov F. Ultradeep fluid systems of the Earth and problems of ore formation // *Geology of Ore Deposits*. – 2001. – V. 43. – P. 259–273.
16. Chekalin V. M., Dyachkov B. A. Rudny Altai base-metal belt: localization of massive sulfide mineralization // *Geology of Ore Deposits*. – 2013. – V. 55, I. 6. – P. 438–454.
4. Yeregin N. I., Dergachev A. L., Sergeyeva N. Ye., Pozdnyakova N. V. Tipy kolchedannykh mestorozhdeniy vulkanicheskikh assotsiatsiy [Types of pyrite deposits of volcanic associations]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2000, V. 42, No. 2, P. 177–190. (In Russ.)
5. Parilov Yu. S. Genezis osnovnykh tipov polimetallicheskikh mestorozhdeniy (osnovanny na rezul'tatakh flyuidnykh vklyucheniye) [Genesis of the main types of polymetallic deposits (based on the results of fluid inclusions)]. Alma-Ata, 2012, 266 p. (In Russ.)
6. Problemy genezis kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy Rudnogo Altaya: trudy soveshchaniya [Problems of the genesis of pyrite-polymetallic deposits in Rudny Altai: proceedings of the meeting]. Alma-Ata, Nauka KazSSR publ., 1977, 304 p. (In Russ.)
7. Tauson L. V., Gundobin G. M., Zorina L. D. Geokhimicheskiye polya rudno-magmaticheskikh system [Geochemical fields of ore-magmatic systems], Novosibirsk, Nauka publ., 1987, 200 p. (In Russ.)
8. Chekalin V. M. Osnovnyye zakonomernosti razmeshcheniya i printsipial'naya model' formirovaniya kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy severo-zapadnoy chasti Ridder-Sokol'nogo mestorozhdeniya [Main patterns of distribution and a fundamental model of the formation of pyrite-polymetallic deposits in the northwestern part of the Ridder-Sokolny deposit]. *Geologiya i geofizika*, 1991, No. 10, P. 75–89. (In Russ.)
9. Cheprasov B. A., Pokrovskaya I. V., Kovrigo O. A. O poligenom kharaktere orudeneniya Ridder-Sokol'nogo mestorozhdeniya [On the polygenic nature of mineralization of the Ridder-Sokolny deposit]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 1972, No. 6, P. 30–45. (In Russ.)
10. Shcherba G. N. Problemy genezis kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy Rudnogo Altaya [Problems of the genesis of pyrite-polymetallic deposits in Rudny Altai]. *Sovetskaya geologiya*, 1968, No. 6, P. 49–64. (In Russ.)
11. Yakovlev G. F. Vulkanogennyye struktury mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh [Volcanogenic structures of mineral deposits]. Moscow, Nedra publ., 1984, 208 p. (In Russ.)
12. Chekalin V. M., Dyachkov B. A. Rudny Altai base-metal belt: localization of massive sulfide mineralization. *Geology of Ore Deposits*, 2013, Vol. 55, No. 6, P. 438–454.
13. Dyachkov B. A., Mizernaya M. A., Kuzmina O. N., Zimanovskaya N., Oitseva T. Tectonics and metallogeny of East Kazakhstan. *Tectonics. Problems of Regional Setting*. IntechOpen Limited. London, 2018, P. 67–84, dx.doi.org/10.5772/intechopen.72745
14. Dyachkov B. A., Mizernaya M. A., Zimanivskaya N. A., Kuzmina O. N., Bissatova A. Y. Scientific Basis for the Development of Promising Directions of Geological Exploration of Geological Exploration in Order to Strengthen the Mineral and Raw Material Base of East Kazakhstan Region. *Aspects in Mining and Mineral Science*, Vol. 6, Issue 3, 2021.
15. Dyachkov D. A., Titov D. V., Sapargaliev E. M. Ore belts of the Greater Altai and ore resource potential. *Geology of Ore Deposits*, 2009, 51, P. 197–211 dx.doi.org/10.1134/S1075701509030027
16. Letnikov F. Ultradeep fluid systems of the Earth and problems of ore formation. *Geology of Ore Deposits*, 2001, Vol. 43, P. 259–273.

REFERENCES

1. Bespayev Kh. A. Atlas mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh Kazakhstana [Atlas of mineral deposits in Kazakhstan]. Alma-Ata, Tsentr po informatsionnomu obespecheniyu Vooruzhennykh Sil RK publ., 2004, 141 p. (In Russ.)
2. Bol'shoy Altay: (geologiya i metallogeniya) [Big Altai: (geology and metallogeny)]. V 3 kn. Kn. 2. Metallogeniya [Metallogeny]. Shcherba G. N., Bespayev Kh. A. et al. Alma-Aty, RIO VAK RK publ., 2000, 400 p. (In Russ.)
3. Ganzhenko G. D., Yudovskaya M. A., Vikent'yev I. V. Zoloto-polimetallicheskaya mineralizatsiya Ridder-Sokol'nogo mestorozhdeniya na Rudnom Altaye (Vostochnyy Kazakhstan) [Gold-polymetallic mineralization of the Rid-