

Экология. Химия. Природные ресурсы

А.В. Мельников, В.А. Степанов, В.Д. Мельников

ПЕРСПЕКТИВЫ ЧАГОЯНСКОГО РУДНОГО УЗЛА НА ЗОЛОТОЕ ОРУДЕНЕНИЕ КАРЛИНСКОГО ТИПА

The Chagojansky ore knot is located in the Amur region Russia. It is dated for an intruzivno-dome raising in a northeast part of Keruleno-Arguno-Mamynskogo of a composit file which is combined multiphase granitoid intrusion Paleozoic and the bottom chalk, with relic the roof executed carbonatic and terrigeno-sedimentary breeds early paleopaleozoic. As the basic mineralization control knot structures the Chagojansky anticline broken by a series of radial and concentric breaks on a number sink and lifted blocks acts. Are revealed ore mineralization gold beresitic, jasperoidic, quartzitic-propulitic, skarnic and quartz-polevospatovoyh metasomatite formations. The most perspective is jasperoidic the formation (Karlin type). In knot territory the big group ore mineralization gold Karlin type and a number of sites of distribution carbonatic the formations which earlier have been not studied on this type gold ore is known.

Месторождения карлинского, невадийского или золотортутного типа, отличающиеся тонким рассеянным золотом и устойчивой геохимической ассоциацией Au-Hg-As-Sb-Tl, успешно эксплуатируются за рубежом (США, Канада, Китай) и в нашей стране (Куранах, Воронцовское, Олимпиадинское). Поэтому интерес к выявлению новых объектов такого типа достаточно велик [1, 2, 9]. В конце прошлого века одним из авторов статьи произведена оценка Приамурской золотоносной провинции на оруденение золотортутного, в том числе и карлинского типа [7]. К одному из перспективных на выявление месторождений карлинского типа был отнесен Чагоянский рудный узел.

Положение рудного узла в региональных структурах, геофизических и геохимических полях

Чагоянский рудный узел расположен в южной части Приамурской золотоносной провинции и входит в состав Чагоян-Быссинской золотополиметаллической металлогенической зоны. В пределах узла находятся Чагоянское свинцово-цинковое месторождение, рудопроявления свинца, цинка и железа, многочисленные рудопроявления и точки минерализации, а также россыпи золота [3]. Узлу отвечает полихронное интрузивно-купольное поднятие в северо-восточной части Керулено-Аргуно-Мамынского композитного массива [3] (рис. 1). Оно выполнено крупными многофазными гранитоидными интрузивами среднепозднего палеозоя (массивы Малочуканский и Дымо) и нижнего мела (массивы Джурканский, Шахтаминский и Усть-Туйский). В центральной его части отмечается останец кровли, сложенный карбонатными и терригенными породами раннего палеозоя, которые смяты в крупную антиклинальную складку меридиональной ориентировки.

Узел дешифрируется на аэро- и космических снимках, а также отчетливо фиксируется в гравиметрическом, магнитном и геохимических полях. В рельефе он выражен в виде положительной морфоструктуры центрального типа. Узел ограничен серией прерывистых концентрических разломов, а с востока – нарушением северо-западного простирания. Хорошо проявлены радиальные и внутренние концентрические разломы. По геохимическим данным, в пределах рудного узла выявлены многочисленные высококонтрастные потоки рассеяния золота, серебра,

цинка, свинца, меди, вольфрама, молибдена, реже – висмута, кобальта и никеля.

Геологическое строение рудного узла

В геологическом строении принимают участие стратифицированные и магматические образования широко возрастного диапазона от позднего протерозоя до кайнозоя (рис. 1).

Верхнепротерозойско-палеозойские образования распространены в центральной части узла. Они представлены венд-кембрийскими грубополосчатыми мраморизованными известняками, доломитами и доломитизированными известняками с линзами темно-серых кремней, кремнисто-углистых сланцев и алевролитов, а также силурийскими кварцитовидными аркозовыми песчаниками. Менее развиты девонские алевроито-песчано-карбонатные отложения. Мощность венд-кембрийских, силурийских и девонских отложений соответственно 4,2, 4,4 и 1,6 км.

Юрские отложения, обнаженные к северо-востоку от границ узла, сложены морскими и пресноводно-континентальными терригенными (конгломераты, гравелиты) и угленосными породами депской свиты, выполняющими Амуро-Зейский прогиб. Эти осадки с угловым несогласием перекрывают более древние складчатые структуры. Мощность юрских образований не менее 350 м.

Нижнемеловые образования андезито-риолитовой формации установлены в северной части узла. Вулканитам комагматичны субвулканические интрузии аналогичного состава. Мощность вулканитов 700 м.

Неогеновые и четвертичные образования представлены осадочными отложениями сазанковской и белогорской свит, в составе которых преобладают галечники, кварцевые и аркозовые пески. В низах разреза они содержат значительную примесь каолинита, линзы и прослои каолиновых глин и углей, указывающих на связь отложений с корами выветривания. Мощность осадков сазанковской свиты – 30 м, белогорской свиты – 90 м.

Четвертичные отложения сложены аллювиальными и озерно-аллювиальными, элювиально-делювиальными, пролювиально-озерными и озерно-болотными осадками мощностью до 30 м.

Магматизм

Интрузивные породы занимают около половины площади интрузивно-купольного поднятия. Среди них выделяются раннепалеозойские, среднепозднепалеозойские и раннемеловые интрузии. Возраст их определяется на основании взаимоотношений со стратифицированными образованиями, анализов абсолютного возраста и сопоставления с аналогичными образованиями на сопредельных территориях.

Раннепалеозойские интрузии представлены габбро и габбро-диоритами. Выходы их известны в южной части узла, где габброиды слагают небольшой массив, площадью 0,5 кв. км. Габброиды содержат прожилки и вкрапленность титаномагнетита и ильменита (до 8-10%). Абсолютный возраст (К-Аг метод) – 455-475 млн. лет.

Широко распространены среднепозднепалеозойские интрузии, сложенные биотитовыми, биотит-роговообманковыми гранитами (Малочуканский массив); гранодиоритами, кварцевыми диоритами и диоритами (массив Дымо). Биотитовые и биотит-роговообманковые граниты интенсивно катаклазированы. Гранодиориты и кварцевые

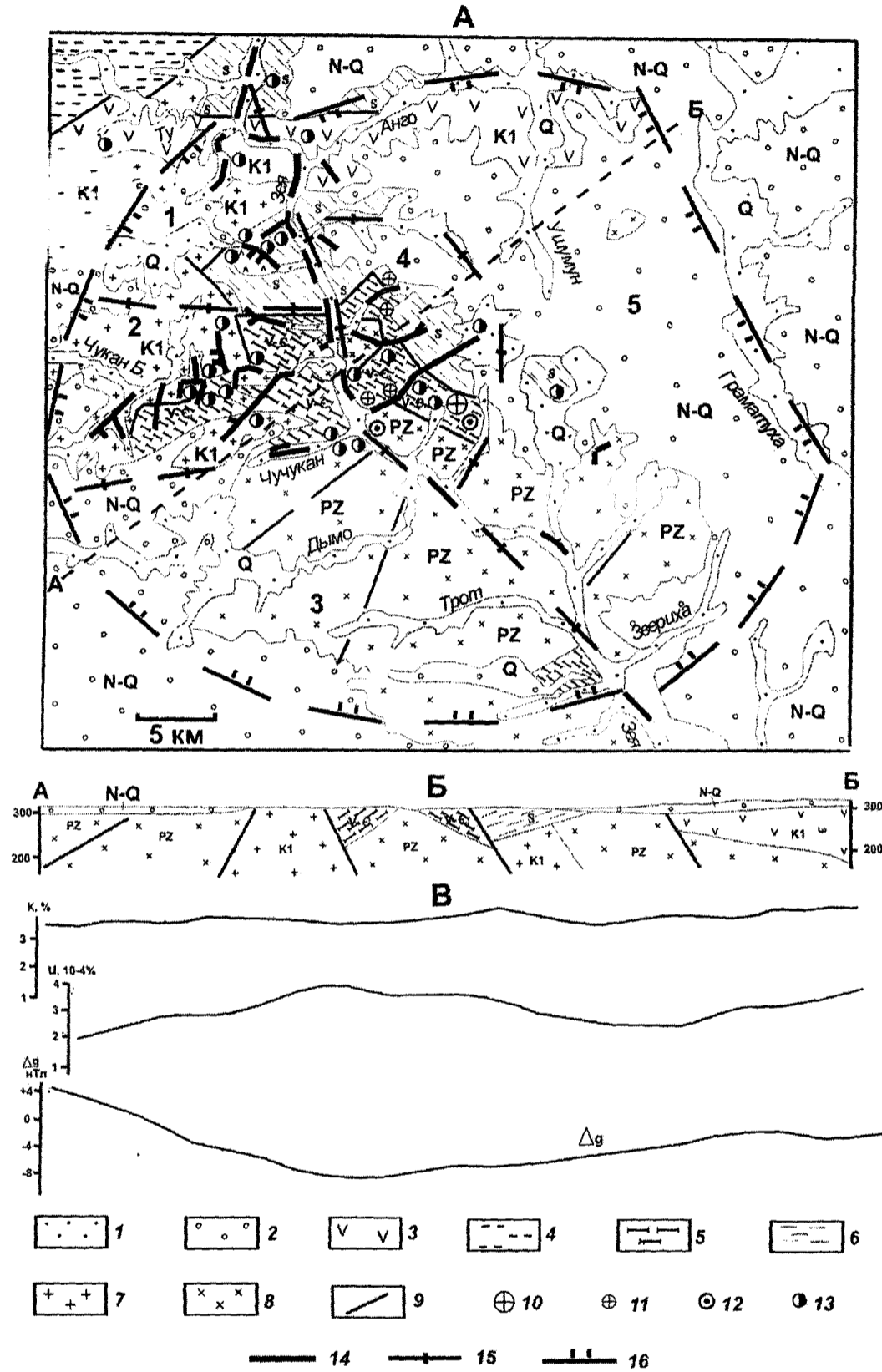


Рис. 1. Чагоянский рудный узел

(А – план, Б – геологический разрез по линии АБ, В – геофизические разрезы):

1 – современные аллювиальные осадки: валуны, галечник, гравий, пески; 2 – неоген-четвертичные отложения белогорской и анчанковской свит (глина, песок, гравелиты); 3 – вулканиты раннего мела; 4 – юрские терригенные образования (конгломераты, аргиллиты, песчаники, гравелиты); 5 – силурийские образования норской серии (песчаники, алевриты, аргиллиты); 6 – вендско-чюбрийские породы чагоянской свиты (мраморизованные известняки, доломиты, кремни); 7 – граниты раннего мела; 8 – диориты, гранодиориты, кварцевые диориты среднегопозднего палеозоя; 9 – разрывные нарушения; 10 – Чагоянское свинцово-цинковое месторождение; 11-13 – рудопроявления: 11 – полиметаллов, 12 – железа, 13 – золота; 14 – россыпи золота; 15 – границы рудных полей и их номера: 1 – Малочуканское, 2 – Большечуканское, 3 – Чучуканское, 4 – Джуркан-Чагоянское, 5 – Анголскольское; 16 – границы Чагоянского рудного узла

диориты характеризуются полосчатой текстурой. Порода имеет характерную зеленую окраску различных оттенков; отмечаются средне- и крупнозернистые, реже – мелкозернистые породы. Абсолютный возраст (К-Аг метод) – 246-283 млн. лет.

Раннемеловые интрузии наиболее широко развиты в северной части узла. Они представлены гранитами, гранодиоритами, адамеллитами и кварцевыми диоритами (массивы Джурканский, Усть-Туйский, Владимировский, Дагалинский и Шахтаминский). Внедрение их происходило по разломам северо-восточного и субширотного направления. Контакты раннемеловых интрузий с вмещающими породами обычно четкие и резкие. Абсолютный возраст (К-Аг метод) – 123-128 млн. лет.

Тектоника

На территории узла выделены 4 структурно-формационных комплекса, или структурных яруса, которые соответствуют этапам развития территории и помогают понять особенности становления этой интрузивно-купольной структуры: верхнепротерозойский-палеозойский, юрский, меловой и неоген-четвертичный.

Важным элементом Чагоянского интрузивно-купольного поднятия является система концентрических, радиальных и диагональных разломов, разделяющая его на ряд секторных и сегментных блоков. Наблюдается чередование относительно поднятых и опущенных блоков. Разрывные нарушения по времени заложения и направлениям делятся на три группы. К первой относится Сиваглинский надвиг широтного направления, контролирующийся мощными зонами милонитизированных и перекристаллизованных пород шириной до 500 м и протяженностью до первых десятков километров. Во вторую входит Чагоянский надвиг северо-западного направления, трансиррующийся зонами катаклаза, дробления на протяжении более 10 км. К третьей относятся разломы северо-восточного простирания, наиболее широко распространенные и фиксирующиеся во всех структурных ярусах (Бурматовский, Малочуканский, Бурельный, Ангинский разломы). Эти нарушения представлены зонами катаклазированных и брекчированных пород, мощность которых измеряется десятками, реже сотнями метров. К ним приурочены многочисленные дайки диоритовых порфиритов и гранодиорит-порфиров раннего мела.

В качестве основной рудоконтролирующей структуры узла выступает Чагоянская антиклиналь, разбитая сериями радиальных и концентрических разломов на ряд опущенных и поднятых блоков. В ядре ее развиты венд-кембрийские карбонатные толщи чагоянской свиты (известняки, мраморизованные известняки, доломиты), а на крыльях – силурийские и девонские терригенные образования (песчаники, гравелиты, алевролиты), что определяет благоприятную обстановку для локализации оруденения в структурах экранирования.

Закономерности размещения золотого оруденения и россыпей золота

На территории рудного узла выявлено разноформационное оруденение. Здесь располагаются Чагоянское золотополиметаллическое месторождение, рудопроявления полиметаллов (Стрелка, Джурканское и др.), рудопроявления и точки минерализации золота (Малочуканское, Малютка, Прима, Советское, Грозное и др.), железа, марганца, меди. Кроме того, известны многочисленные промышленные россыпи золота.

Чагоянское месторождение расположено в узле пересечения трех крупных разломов – Чагоянского, Бурматовского, Овсянниковского. Вмещающие породы месторождения интенсивно окварцованы, доломитизированы и карбонатизированы. Рудоносная пачка аркозовых песча-

ников, подстилающая доломитизированные известняки. Выделяется три рудные зоны мощностью 10-50 м. Сульфидная минерализация представлена сфалеритом, галенитом, пиритом, пирротинном и халькопиритом. Содержание свинца – 1.09-2.52%, цинка – 0.37-3.4%, кадмия – до 1%. В окисленных перетолженных рудах содержание свинца и цинка в сумме достигает 25%. Запасы категории С₂ полиметаллических руд составляют 500 тыс. т, прогнозные ресурсы свинца и цинка – 1500 тыс. т. Рекомендуется дооценка флангов месторождения. В полиметаллических рудах месторождения содержание золота достигает 0.8 г/т. На юго-западном фланге рудного поля в верхней части коры выветривания на глубинах 24-32 м установлено содержание золота в количествах 6-9 г/т (максимальное – 124 г/т) и серебра 20-3000 г/т. В схеме минералообразования золото относится к последней стадии. Подсчитанные прогнозные ресурсы золота категориям Р₂ – 2.6 т, Р₃ – 31 т.

Согласно классификациям В.Д. Мельникова [6] и Д.В. Рундквиста [7] проявления золота Чагоянского узла можно отнести к следующим золоторудным формациям: джаспероидной, березитовой, скарновой, кварц-полевоспатовых метасоматитов и кварцит-пропилитовой (таблица).

Рудопроявления *джаспероидной формации* установлены в поле развития венд-кембрийских карбонатных пород нижнечагоянской подсвиты в бассейнах ручьев Кривоносовского, Грозного, в междуречье Банкевич-Зеленовский (правых и левых притоков р. Бол. Чуқан), на левобережье р. Зеи в верховьях руч. Чагоян и Бурельный. Они приурочены к надвиговым структурам. Джаспероиды залегают в виде стратиформных минерализованных зон и линз мощностью до 10-30 м. Протяженность тел джаспероидов колеблется от 100 до 800 м. Контакты их с вмещающими доломитами секущие. Джаспероиды представляют собой кавернозные буроватые породы, состоящие из халцедоновидного кварца и карбонатов. По данным пробирного анализа, джаспероиды содержат золото: на рудопроявлении Банкевич – 1,6-2,4 г/т, на Кривоносовском – 0,33-2,7 г/т. Структурная позиция и вещественный состав золотого оруденения в джаспероидах Чагоянского узла позволяют отнести его к карлинскому типу. Поскольку площади развития золотоносных джаспероидов сопровождаются промышленными россыпями золота, то перспективы выявления месторождений золота карлинского типа достаточно высоки.

Березитовая формация объединяет группу золоторудных рудопроявлений и точек минерализации, выявленных в бассейнах руч. Малютка, Мал. Чуқан и Сивагли. Здесь установлены мощные зоны березитизации и аргиллизации по габбро-диоритам, диоритовым порфиритам раннего мела и вмещающим их терригенным породам силура. Рудопроявления представлены ассоциацией кварцевых, кварц-сульфидных и реже сульфидно-кварц-карбонатных жил и сопряженных с ними березитизированных, серицитизированных и окварцованных пород. Оруденение локализуется как внутри раннемеловых интрузий и даек (рудопроявления Малочуканское, Прима), так и в экзо-контактных частях (рудопроявления Малютка, Гавриловское и Ксеньевское) среди силурийских терригенных пород. Большинство кварцевых жил имеет брекчиевую структуру. Мощность их 0,2-4 м. Содержание золота в кварце, по данным пробирного анализа, достигает 25,9 г/т (Малочуканское рудопроявление).

Скарновая формация объединяет выявленные на правобережье Зеи рудопроявления Архаринское, Контактное, Овсянниковское, Бурельное, Чучукан и Чупурагли. Они локализованы на контакте палеозойских гранитоидов (массив Дымо) с венд-кембрийскими карбонатными отложениями. Руды представлены гранатовыми, реже гранат-пироксеновыми скарнами, образующими изометричные и линзовидные тела мощностью от 0.5 до 2 м. Это плотные, массивные породы серого и темно-се-

Классификация золоторудных и золотосодержащих месторождений и рудопроявлений Чагоянского рудного узла

Золоторудные формации	Морфологические типы	Рудовмещающие формации	Рудоносные интрузии	Рудоконтролирующие структуры	Минеральные типы руд	Основные рудные минералы	Проба золота	Месторождения, рудопроявления
Джаспероидная	Кварцево-прожилковые и джаспероидные зоны	Карбонатная	Отсутствуют	Надвиги субширотного и СВ направления	Золото-сульфидный	Золото, пирит, галенит	800-990	Банкевич, Крвонососское, Верхнечагоянское
Березитовая	Свиты жил	Терригенная	Раннемеловые интрузии, дайки умеренно-кислого и среднего составов	Пересечение СЗ и субширотных разломов	Золото-пирит-арсенопиритовый	Золото, пирит, галенит, арсенопирит, сфалерит, халькопирит	800-900	Малочуканское Грозное Малютка
	Минерализованные зоны дробления	Терригенная			Золото-пиритовый	Золото, пирит, галенит, сфалерит, арсенопирит	800-850	Малочуканское Неожиданое Прима
	Зоны гидротермально измененных пород; свиты кварцевых жил и прожилков	Диорит-гранодиоритовая			Золото-пиритовый	Золото, электрум, арсенопирит, галенит, пирит, сфалерит, пирротин	700-800	Волчья Яма, Ксеньевское Гавриловское
Кварц-полевошпатовых метасоматитов	Зоны кварц-полевошпатовых метасоматитов	Терригенно-карбонатная	Отсутствуют	Замковые части лежащих и опрокинутых складок	Золото-сульфидный	Золото, пирит, халькопирит	800-900	Советское, Глотовское, Кузьминское
Скарновая	Зоны скарнирования с наложенным окварцеванием	Карбонатно-терригенная	Палеозойские интрузии умеренно кислого состава	Зоны контакта известняков с палеозойскими гранитоидами	Золото-полисульфидный	Золото, пирит, галенит, халькопирит, молибденит,	850-900	Овсянниковское Чучукан, Чупурагли, Архаринское Контактное
Кварцит-пропилитовая	Окварцованные зоны дробления и кварцевые жилы	Андезит-риолитовая	Раннемеловые субвулканические интрузии	Разрывы СВ направления	Золото-аргентитовый, золото-антимонитовый	Золото, аргентит, антимонит, пирит, галенит	680-750	Анго, Етуш, Усть-Ту-1,2, Водорательное, Кухагли

рого цвета с зеленоватым оттенком, в которых заметна вкрапленность пирита, галенита, сфалерита, халькопирита и асренопирита. На рудопроявлении Овсянниковское, по данным пробирного анализа, содержание золота составляет 1,8-4,8 г/т.

Рудопроявления *формации кварц-полевошпатовых метасоматитов* известны в бассейне среднего течения р. Бол. Чукан (Советское, Готовское, Кузьминское). Рудные тела представляют собой седловидные залежи кварц-полевошпатовых метасоматитов. Они локализованы, главным образом, в замковых частях лежащих и опрокинутых складок среди катаклазированных терригенно-карбонатных образований. Мощность их до 80 м. По данным атомно-абсорбционного анализа, на рудопроявлении Советском содержание золота в метасоматитах составляет 3,0-25,8 г/т; на Готовском – 2,8-28,8 г/т. Спектральным анализом установлены следующие элементы-примеси (в %): молибден – 0,0001, медь – 0,002-0,006, свинец – 0,001-0,004, мышьяк – до 0,006, серебро – до 0,3-0,4 г/т.

Кварцит-пропилитовая формация представлена золоторудными проявлениями Анго, Елтушевское, Усть-Ту-1,2. Они приурочены к Калашниковскому полю нижне-меловых вулканитов. Золотое оруденение штокверкового типа локализовано в небольших (порядка первых десятков метров) зонах пропилитизированных, окварцованных и аргиллизированных вулканитов. Гидротермально измененные породы пронизаны разноориентированными прожилками кварца мощностью до 0,5-1 см. Содержание сульфидов (пирита) обычно не более 1-2%. В отдельных пробах колломорфного полосчатого кварца наблюдалась тонкорассеянная вкрапленность игольчатого антимонита. По данным атомно-абсорбционного анализа, в штучных пробах отмечается повышенное содержание золота (до 3,7 г/т).

Наблюдается определенная зональность в размещении оруденения. К ядру интрузивно-купольного поднятия приурочены полиметаллическое, золотое оруденение джаспероидного типа и кварц-полевошпатовых метасоматитов, а к периферии – золотое оруденение березитового и скарнового типов. На северном фланге узла развито золотосеребряное оруденение кварцит-пропилитового типа.

Коренные и россыпные проявления золота концентрируются в пределах нескольких пространственно разобщенных участков, выделяющихся на фоне рассеянной золотоносности узла. Они выделены в качестве потенциальных рудных полей. Последние представляют собой секторные или сегментные блоки интрузивно-купольного поднятия, ограниченные радиальными и концентрическими разломами (Малочуканское, Большечуканское, Чучуканское, Джуркан-Чагоянское и Анго-Букольское). Рудные тела имеют ряд специфических геолого-структурных особенностей, различны по масштабам и формационным типам проявлений золота.

Этапы формирования оруденения

В Чагоянском рудном узле развиты разновозрастное золотое и свинцово-цинковое оруденение, а также россыпные месторождения золота. Выделяются три этапа формирования оруденения: раннепалеозойский, средне-верхнепалеозойский и мезозойский [5] (рис. 2).

В *раннем палеозое* накапливались карбонатно-терригенные толщи (известняки, доломиты, песчаники, алевролиты) в прибрежно-морских условиях. С внедрением габбро-диоритовых интрузий связано формирование золотоносных титаномагнетитовых руд (рудопроявление Овсянниковское). Примесь золота отмечается в количестве до 4,8 г/т в секущих руды кварцевых прожилках.

В *средне-верхнем палеозое* происходит интенсивное накопление терригенно-карбонатных образований (песчаники, алевролиты, гравелиты, известняки). С этим этапом связано формирование Чагоянской антиклинали и внедрение интрузий гранитоидов (массивы Дымо и Малочукан-

ский). К завершающей стадии этапа приурочено золотое оруденение скарнового типа, локализованное на контакте гранитоидных массивов с терригенно-карбонатными толщами. В это время были сформированы золотоскарновые рудопроявления Архаринское, Бурельное, Контактное, Чучукан, Чупурагли.

В *мезозойский этап* формируются впадины, выполненные терригенными и вулканогенными формациями. В раннем мелу интенсивно проявился интрузивный магматизм, с которым связано золотое оруденение березитовой формации. Оруденение тяготеет к узлам пересечения разрывов субширотного и северо-восточного направлений. Оно локализовано в зонах трещиноватости преимущественно северо-восточного направления, контролируемых дайками пород умеренно-кислого и среднего состава (рудопроявления Малочуканское, Прима, Неожиданное и др.). Золотокварцевые жилы представляют интерес как источник поступления золота в россыпи.

К более поздней стадии приурочено золотое оруденение кварцит-пропилитовой формации, связанное с вулканитами андезито-риолитового состава. Оруденение представлено зонами пропилитизированных вулканитов, среди которых развиты адуляр-кварцевые жилы и жильно-прожилковые зоны с убогосульфидным золотосеребряным оруденением (рудопроявления Елтуш, Водораздельное, Кунхагли, Анго, Усть-Ту-1,2). Золотое оруденение приурочено к узлам пересечения разломов субширотного, северо-западного и северо-восточного направлений. Рудовмещающими являются зоны разрывных структур указанных направлений.

К этому же этапу нами отнесено формирование золотого оруденения джаспероидной формации и формации кварц-полевошпатовых метасоматитов. Рудопроявления джаспероидной формации представлены зонами минерализованных джаспероидов среди венд-кембрийских карбонатных толщ (рудопроявления Кривоносское, Банкевич, Верхнечагоянское, Зейское, Сухарниковское). Они представляют значительный поисковый интерес как представители золотого оруденения перспективного карлинского типа.

К мезозойскому этапу относится и формирование свинцово-цинковых руд Чагоянского месторождения, локализованных на контакте венд-кембрийских карбонатных и силурийских терригенно-осадочных образований и прорванных дорудными дайками диоритовых порфиритов раннего мела.

Заключение

В результате изучения закономерностей размещения золотого оруденения в Чагоянском рудном узле установлено следующее:

1) рудному узлу с золотополиметаллической специализацией отвечает интрузивно-купольное поднятие центрального типа, образованное многофазными гранитными интрузиями палеозойского и мезозойского возраста с останком кровли, сложенным карбонатными и терригенными породами верхнепротерозойского-палеозойского возраста. Интрузивно-купольное поднятие выражено в рельефе, в геофизических и геохимических полях. Для золоторудных и полиметаллических объектов узла характерен единый типоморфный комплекс элементов, включающий Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Bi, W, Mo;

2) в качестве основной рудоконтролирующей структуры выступает Чагоянская антиклиналь, разбитая серией радиальных и концентрических разломов на ряд опущенных и поднятых блоков. В ядре ее преимущественно развиты рудоносные карбонатные толщи, а на крыльях – терригенные и вулканогенные образования, что определяет благоприятную обстановку для локализации золотого оруденения в структурах экранирования;

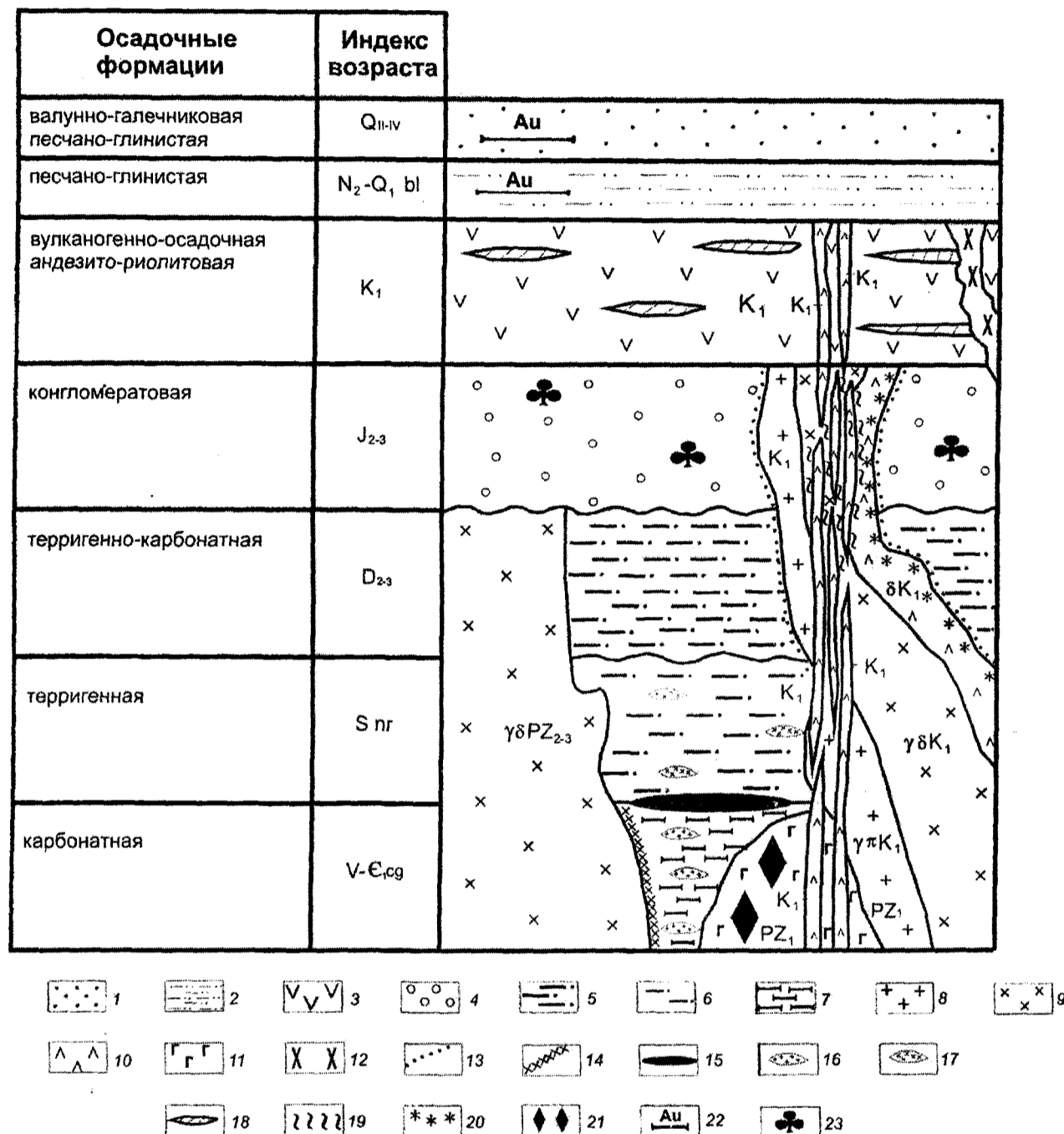


Рис. 2. Металлогенограмма:

1-7 – осадочные формации: 1 – валунно-галечниковая, песчано-глинисто-гравийная, 2 – песчано-глинистая, 3 – вулканогенно-осадочная андезит-риолитовая, 4 – конгломератовая, 5 – терригенно-карбонатная, 6 – терригенная, 7 – карбонатная; 8-12 – интрузии: 8 – граниты, 9 – гранодиориты, 10 – диориты, 11 – габбро, 12 – гранодиорито-порфиры; 13 – контактовые роговики; 14 – скарны; 15 – полиметаллические руды; 16 – джаспероиды; 17 – кварц-полевошпатовые метасоматиты; 18 – пропилиты; 19 – золотосные кварцевые жилы; 20 – березиты; 21 – титаномагнетитовые руды; 22 – россыпи золота; 23 – отпечатки флоры.

3) в пределах узла выделены пять потенциальных рудных полей: Малочуканское, Большечуканское, Чучуканское, Джуркан-Чагойанское и Анго-Букольское, представляющих собой секторные и сегментные блоки интрузивно-купольного поднятия. Они ограничены кольцевыми и радиальными разломами. В зависимости от степени эродированности в пределах полей развиты рудопроявления золота различных формационных типов и россыпи золота;

4) рудопроявления и точки минерализации золота различных золоторудных формаций (березитовая, джаспероидная, скарновая, кварц-полевошпатовых метасоматитов и кварцит-пропилитовая) являются основными источниками питания для современных и более древних россы-

пей. Размещение золоторудной минерализации в рассматриваемом узле обусловлено рядом факторов, важнейшими из которых являются магматический, литологический и структурно-тектонический;

5) разновозрастное золотое и свинцово-цинковое оруденение сформировано в течение трех этапов: раннепалеозойского, средневерхнепалеозойского и мезозойского (раннемелового), золотое оруденение имеет, главным образом, раннемеловой возраст;

6) основные перспективы узла определяются возможным выявлением месторождений карлинского (золоторудного) типа в автохтоне надвиговых структур, сложенных карбонатными толщами венд-кембрийского возраста

под экраном терригенных толщ силура. Первоочередными на поиски оруденения этого типа являются Большечуканское и Джуркан-Чагойанское рудные поля.

1. Бакулин Ю.И., Бурак В.А., Пересторонин А.Е. Карлинский тип оруденения (закономерности размещения, генезис, геологические основы прогнозирования и оценки). – Хабаровск: ДВИМС, 2001.
2. Громаковский И.Ю., Степанов В.А. Золотое оруденение в карбонатных толщах Октябрьского района Приамурья // Тихоокеанская геология. – 1999. – Т. 18, – № 1. – С. 84-89.
3. Красный Л.И., Вольский А.С., Пэн Юньбяо и др. Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. Масштаб 1:2500000. Объяснительная записка. – СПб.: Благовещенск; Харбин, 1999.
4. Мельников А.В. Закономерности размещения оруденения и золотоносных россыпей в Чагойанском рудном узле // Амурская наука

на пороге III тысячелетия. – Благовещенск: АмурКНИИ, 2000. – С. 13-15.

5. Мельников А.В. Этапы формирования оруденения в Чагойанском рудном узле Верхнего Приамурья // Генезис месторождений золота и методы добычи благородных металлов. – Благовещенск: АмурКНИИ; АО МО, 2002. – С. 67-68.
6. Мельников В.Д. Золоторудные гидротермальные формации. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1984.
7. Рундквист Д.В. О принципах выделения и прогнозирования рудных формаций // Основы научного прогнозирования месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. – Л.: ВСЕГЕИ, 1971. – С. 27-35.
8. Степанов В.А. Геология золота, серебра и ртути. – Ч. 2: Золото и ртуть Приамурской провинции. – Владивосток: Дальнаука, 2000.
9. Эйриш Л.В. К перспективам выявления на Дальнем Востоке месторождений карлинского типа // Тихоокеанская геология. – 1998. – Т. 17, № 4. – С. 72-79.

Т.А. Родина, С.А. Лескова

ПОЛИЯДЕРНЫЙ О,О'-ДИ-ЦИКЛО-ГЕКСИЛДИТИОФОСФАТ ТАЛЛИЯ(I): СИНТЕЗ, СТРОЕНИЕ И MAS ЯМР (¹³C, ³¹P) СПЕКТРОСКОПИЯ

Crystalline polynuclear thallium(I) O,O'-di-cyclohexyldithiophosphate was synthesized. According to the X-ray diffraction data the complex includes two types of the nonequivalent binuclear molecules [Tl₂(S₂P(O-cyclo-C₆H₁₁)₂)₂]. All Dtrph ligands show a terminal-μ₂-bridging mode of coordination.

В координационных соединениях с дитиореагентами таллий(I) характеризуется высокими координационными числами КЧ = 5-7, поэтому координационное насыщение комплексообразователя достигается за счет формирования полиядерных структур с различными типами организации. Основной структурной единицей в N,N-диалкилдитиокарбаматных комплексах являются биядерные молекулы типа [Tl₂(S₂CNR₂)₂], которые объединяются в полимерные цепи, а цепи, в свою очередь, формируют слои. Поэтому интерес представляют комплексы таллия(I) с другой группой S,S'-бидентатных дитиореагентов – с O,O'-диалкилдитиофосфат-ионами (Dtrph).

В настоящей работе получены и охарактеризованы по данным MAS ЯМР (¹³C, ³¹P) спектроскопии две кристаллические модификации полиядерного O,O'-ди-цикло-гексилдитиофосфатного комплекса таллия(I), [Tl₂(S₂P(O-cyclo-C₆H₁₁)₂)₂] (Ia, Ib). Полиядерная структура Ib (типа цепочечных полимеров), включающая терминально-μ₂-мостики Dtrph группы, разрешена по данным PCA.

O,O'-ди-цикло-гексилдитиофосфат таллия(I), [Tl₂(S₂P(O-cyclo-C₆H₁₁)₂)₂] (Ia) был получен взаимодействием водных растворов 0.40 г (0.0015 моль) TlNO₃ и 0.53 г (0.0016 моль) K₂S₂P(O-cyclo-C₆H₁₁)₂. Объемный белый осадок отделили фильтрованием, промывали небольшим количеством воды и высушивали на воздухе. Выход составил 89%. Игольчатые кристаллы катена-поли-[(μ₂-O,O'-ди-цикло-гексилдитиофосфато-S,S,S,S')таллия(I)], [Tl₂(S₂P(O-cyclo-C₆H₁₁)₂)₂] (Ib) были получены перекристаллизацией Ia из ацетона.

Соединения Ia, Ib и исходный ди-цикло-гексилдитиофосфат калия охарактеризованы по данным MAS ЯМР ¹³C спектроскопии:

[Tl₂(S₂P(O-cyclo-C₆H₁₁)₂)₂] (Ia): (1:2:2:1) – 80.3, 72.9 (1:1, – OCH=), 35.2, 33.7, 31.5 (o-CH₂-), 26.6, 25.9 (m-CH₂-), 22.1 (p-CH₂-).

[Tl₂(S₂P(O-cyclo-C₆H₁₁)₂)₂] (Ib): (1:2:3) – 77.0, 76.5 (1:1, – OCH=), 36.4 (o-CH₂-), 26.6 (m-CH₂-), 27.6 (p-CH₂-).

K₂(S₂P(O-cyclo-C₆H₁₁)₂)₂: (1:2:3) – 79.9, 78.8, 78.1, 77.1 (1:1:1:1, – OCH=), 35.7, 35.2, 34.7, 33.9 (o-CH₂-), 26.2 (m-CH₂-).

Спектры MAS ЯМР ¹³C, ³¹P регистрировали на импульсном спектрометре «СМХ-360» с рабочими частотами

90.52 и 145.73 МГц соответственно, со сверхпроводящим магнитом - B₀ = 8.46 Тл и Фурье-преобразованием. При записи спектров использовали эффект кросс-поляризации с протонов, а для подавления диполь-дипольных взаимодействий ¹³C-¹H и ³¹P-¹H – эффект декаплинга протонов при использовании радиочастотного поля на резонансной частоте протонов. Образцы комплексов массой ~350 мг помещали в ротор из ZrO₂ диаметром 7.5 мм. При измерениях ЯМР ¹³C/³¹P вращение образцов под магическим углом проводили на частотах 2350-3150/2300-4500(1) Гц; число накоплений 2900-7900/128-1400. Изотропные хим.сдвиги ядер ¹³C даны в миллионных долях (м.д.) относительно одной из компонент внешнего стандарта – кристаллического адмантана [1], а ядер ³¹P – относительно 85% водного раствора H₃PO₄ [2]. Однородность магнитного поля контролировали по ширине референсной линии кристаллического адмантана: 2.6 Гц. Значения анизотропии хим.сдвига ³¹P (δ_{iso} = δ_{zz} - δ_{xx}) и параметра асимметрии тензора хим.сдвига ³¹P {η = (δ_{yy} - δ_{xx})/(δ_{zz} - δ_{iso})} были получены из диаграмм χ²-статистики [3]. Построение последних основывалось на количественном анализе соотношений интегральных интенсивностей «сайдбэндов» (посторонних от вращения) [4] в полных MAS ЯМР ³¹P спектрах, записанных при двух частотах вращения образцов. Для расчетов использовалась программа «Mathematica» [5].

Рентгеновский эксперимент выполнен с монокристалла Ib призматической формы на дифрактометре «BRUKER SMART 1000 CCD» (MoKα-излучение, графитовый монохроматор) при комнатной температуре. Сбор данных проведен по стандартной методике в области полусферы, расстояние кристалл-детектор – 45 мм. Поглощение рентгеновских лучей в образце учтено по индексам граней монокристалла. Структура определена прямым методом и уточнена методом наименьших квадратов в анизотропном приближении неводородных атомов. Положения атомов водорода рассчитаны геометрически и включены в уточнение в модели «наездника».

В спектрах MAS ЯМР ¹³C Ia и Ib присутствуют резонансные сигналы Dtrph лигандов: от менее экранированных положений углерода в составе -OCH= групп и более экранированных в o-CH₂-, m-CH₂- и p-CH₂- группах (рис. 1). Однако в спектральном отношении образцы Ia и Ib неидентичны.

Спектры MAS ЯМР ³¹P комплекса, осажденного из водной фазы Ia (рис. 2а, а') и перекристаллизованного из ацетона Ib (рис. 2б, б'), несмотря на значительное подобие, различаются значениями хим.сдвигов изотропных резонансных сигналов ³¹P (табл. 1), что подтверждает способность ди-цикло-гексилдитиофосфата таллия(I) к существованию в двух модификациях. По сравнению с исходным ди-цикло-гексилдитиофосфатом калия [6] для Ia и Ib наблюдается уменьшение значений δ(³¹P) и возрастание степени электронного экранирования ядер ³¹P, что является следствием ковалентного связывания Dtrph групп. При этом меньшее значение изотропного хим.сдвига ³¹P для Ia