

Состав, условия формирования, закономерности размещения и зональность золотого оруденения в Стадухинском рудно-россыпном районе (Западная Чукотка)

Николаев Ю. Н.¹, Балыкова И. В.¹, Кузин С. В.², Бакшеев И. А.¹, Аплеталин А. В.¹, Прокофьев В. Ю.³, Власов Е. А.¹, Калько И. А.¹, Косятов В. В.²

¹ МГУ, г. Москва, Россия; ² Холдинговая компания «СТЕНМИКС ХОЛДИНГ ЛИМИТЕД», г. Москва, Россия; ³ ИГЕМ, г. Москва, Россия

Аннотация. Месторождения золота, связанные с гранитоидными интрузиями, давно известны. Недавно среди них был выделен класс месторождений, получивший название intrusion-related granite systems, IRGS (золото-редкометалльной формации). Эталоны геолого-поисковой модели для них – месторождения металлогенического пояса Тинтин (Аляска, Канада). На территории России данный тип изучен меньше, к IRGS относят месторождения Школьное и Бутарное (Магаданская область), Кекура (Чукотка). На основании полевых и лабораторных исследований, обобщения поисковых геологических и геохимических данных определены характеристики и особенности локализации золотого оруденения, связанного с гранитоидами крупного магматогенного поднятия в Южно-Ануйской структурно-формационной зоне (Западная Чукотка). Изучены вещественный состав руд, последовательность их формирования, определены температуры гомогенизации и концентрация солей в газовой-жидких включениях. Выявлена геохимическая и минералогическая зональность рудно-магматической системы, разработаны критерии оценки эродированности и прогноза золотого оруденения на глубину.

Ключевые слова: рудно-магматическая система, рудные минералы, золото, флюидные включения, геохимическая зональность.

Для цитирования: Николаев Ю. Н., Балыкова И. В., Кузин С. В., Бакшеев И. А., Аплеталин А. В., Прокофьев В. Ю., Власов Е. А., Калько И. А., Косятов В. В. Состав, условия формирования, закономерности размещения и зональность золотого оруденения в Стадухинском рудно-россыпном районе (Западная Чукотка). Руды и металлы. 2023. № 3. С. 87–105. DOI: 10.47765/0869-5997-2023-10014.

Composition, formation conditions, distribution patterns and zoning of gold mineralization in the Stadukhinsky ore-placer region (Western Chukotka)

Nikolaev Yu. N.¹, Balykova I. V.¹, Kuzin S. V.², Baksheev I. A.¹, Apletalin A. V.¹, Prokofiev V. Yu.³, Vlasov E. A.¹, Kalko I. A.¹, Kosyatov V. V.²

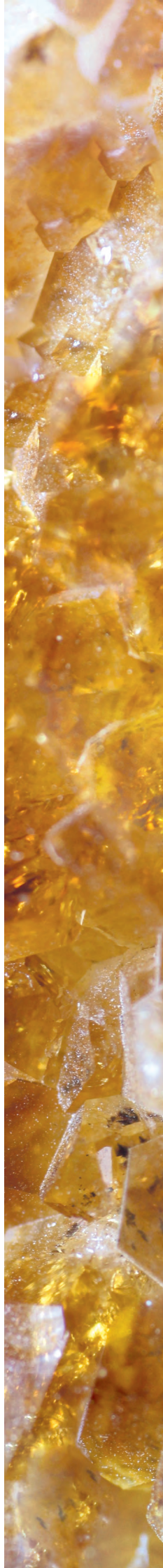
¹ MSU, Moscow, Russia; ² Holding company "STENMIX HOLDING LIMITED", Moscow, Russia;

³ IGE, Moscow, Russia

Annotation. Gold deposits associated with granitoid intrusions have long been known. Recently, a class of deposits was identified among them, called intrusion-related granite systems, IRGS (gold-rare metal formation). The standards of the geological prospecting model for them are the deposits of the Tintin metallogenic belt (Alaska, Canada). In Russia, this type has been studied less; IRGS includes the Shkolnoye and Butarnoye (Magadan region) and Kekura (Chukotka) deposits. Based on field and laboratory studies, generalization of prospecting geological and geochemical data, the characteristics and localization features of gold mineralization associated with granitoids of a large igneous uplift in the South Anyui structural-formational zone (Western Chukotka) were determined. The mineral composition of ores, the sequence of their formation were studied, homogenization temperatures and salt concentrations in gas-liquid inclusions were determined. The geochemical and mineralogical zoning of the ore-magmatic system has been identified, and criteria have been developed for assessing erosion and predicting gold mineralization to depth.

Keywords: ore-magmatic system, ore minerals, gold, fluid inclusions, geochemical zoning.

For citation: Nikolaev Yu. N., Balykova I. V., Kuzin S. V., Baksheev I. A., Apletalin A.V., Prokofiev V. Yu., Vlasov E. A., Kalko I. A., Kosyatov V. V. Composition, formation conditions, distribution patterns and zoning of gold mineralization in the Stadukhinsky ore-placer region (Western Chukotka). Ores and metals, 2023, № 3, pp. 87–105. DOI: 10.47765/0869-5997-2023-10014.



Основная добыча золота на Чукотке в настоящее время ведётся на золото-серебряных (Купол, Двойное, Валунистое), золотокварцевых (Каральвеем) и золото-мышьяковистых (Майское) месторождениях, запасы которых постепенно истощаются. В последние годы основной прирост запасов и добычи был обеспечен разведкой золотого оруденения, локализованного в гранитоидах (Кекура). Перспективность этого типа оруденения в совокупности с предстоящим освоением золото-медно-молибденовых месторождений Баимской зоны во многом будут определять развитие золотодобывающей отрасли в Чукотском АО в ближайшие годы.

В отличие от повышенного интереса западных исследователей к месторождениям золота в гранитоидах, в отечественной литературе им уделено гораздо меньше внимания [1, 2, 13]. В публикациях российских авторов за основу прогноза принята геолого-генетическая модель золоторудных систем, связанных с интрузиями (IRGS), разработанная для рудного пояса Тинтин на примере хорошо изученных месторождений Аляски и Юкона [5–12]. При всех достоинствах поисковая модель не содержит ряд важных, прежде всего геохимических, характеристик и параметров промышленно значимых объектов этого типа и критериев оценки уровня их эрозионного среза.

Полученные в последние годы результаты исследований в Стадухинском рудно-россыпном районе (Западная Чукотка) расширяют представления о составе, формировании и размещении золотого оруденения, связанного с интрузиями.

Фактическим материалом для определения вещественного состава руд послужили результаты анализов более 1,5 тыс. штучных проб, отобранных в поисковых маршрутах. Анализ проб на золото (пробирный с ААС окончанием) и 35 химических элементов (методом ICP-AES) выполнялся в лаборатории ООО «Стюарт Геокемикл энд Эссей».

Изучение прозрачно-полированных шлифов и аншлифов в проходящем и отражённом свете проводилось на поляризационном оптическом микроскопе AxioPlan фирмы Zeiss с цифровой фотокамерой. Исследование мине-

ральных ассоциаций метасоматитов и руд выполнено с помощью электронного микроскопа Jeol JSM-6480LV с комбинированной системой на основе энергодисперсионного спектрометра IncaEnergy-350 со сверхтонким окном ATW-2 и волнового дифракционного спектрометра IncaWave-500 (аналитики Н. Н. Кошлякова, Ф. Д. Сандалов, МГУ).

Микротермометрическое изучение индивидуальных включений проводилось в ИГЕМ РАН с использованием измерительного комплекса, состоящего из камеры THMSG 600 фирмы Linkam (Англия), установленной на микроскопе Olympus BX51 (Япония), видеокамеры и управляющего компьютера.

Стадухинский рудно-россыпной район выделен в границах развития интрузивного магматизма и широко проявленной россыпной золотоносности при геологическом изучении, поисковых и разведочных работах на россыпное и коренное золото в пределах Южно-Ануйской сутуры, которая с позиций современной геотектоники рассматривается как пограничная структура, отделяющая Чукотский микроконтинент от Алазейско-Олойской складчатой области (рис. 1).

Южно-Ануйская сутура сложена интенсивно деформированными палеозойско-мезозойскими магматическими, метаморфическими образованиями и осадочными отложениями. В составе структурно-вещественных комплексов выделяются офиолиты, островодужные образования, турбидиты триаса, поздней юры, раннего мела, а также терригенный меланж аккреционного типа с блоками океанической коры. Во время коллизии океанические и островодужные комплексы были шарьированы на пассивную окраину Чукотского континента. В постколлизийный этап сдвиговых деформаций завершилось формирование чешуйчато-блокового строения сутуры [3].

Постколлизийный этап характеризуется активным магматизмом и формированием интрузивно-купольных структур, сопровождавшимся гидротермальной деятельностью с образованием золоторудных месторождений, связанных с интрузиями. Основным этапом интрузивного магматизма и активной гидро-



термальной деятельности является конец раннего мела. В конце апта – начале альба (113–100 млн лет по U-Pb датированию) на территории района в результате постколлизийного растяжения и внедрения габбродиорит-монцодиорит-гранодиорит-гранитных интрузивов сформировалась крупная купольно-кольцевая структура диаметром около 80 км.

Локальные интрузивно-купольные структуры отдельных гранитоидных массивов являются рудогенерирующими центрами, с которыми связано золотое оруденение. В пределах района важнейшее значение имеют диагональные разломы, контролирующие размещение месторождений и многочисленных проявлений золота.

Системы северо-западных ($290\text{--}320^\circ$) разрывных нарушений являются ведущими и наиболее долгоживущими из тектонических структур района. К ним относятся крупные нарушения, которые маркируются мощными зонами тектонического меланжа и контролируют размещение разновозрастных интрузивов. Разломы характеризуются преимущественно взбросовой или взбросо-надвиговой кинематикой.

Более молодая северо-восточная система разломов ($45\text{--}70^\circ$), трассируемых локальными дайковыми поясами, представлена крутопадающими сбросами, сбросо-сдвигами, сдвигами. Разломы этого направления играют важную роль в локализации золотого оруденения, контролируя ореолы березитизации, золотоносные метасоматиты и жильно-прожилковые зоны.

Руды проявлений Стадухинского района относятся к двум основным типам, имеющим доказанное промышленное значение: золото-редкометалльному (золото-теллуридно-висмутовому) и золотокварцевому березитовому.

В экзоконтактовой зоне гранитного массива горы Трёхречье, в углеродистых алевролитах теньгельевской толщи, выявлена полиметаллическая медно-цинковая минерализация, разведанная бурением.

В экзоконтактовой зоне Гвардейского массива поисковыми геолого-геохимическими работами впервые на площади района выявлена золото-серебряная минерализация с близкими к промышленным параметрами.

Пространственное распределение различных типов оруденения свидетельствует о неоднократной перестройке структурно-тектонического плана территории с формированием новых рудоконтролирующих и рудо локализирующих структур на фоне многократной активизации тектономагматической деятельности и эволюции вещества магматических расплавов и гидротермальных флюидов.

Выявленные закономерности размещения месторождений и проявлений в пределах магматогенного поднятия, в границах которого выделяется рудный район, укладываются в схему концентрической зональности, отражающей наличие: 1) ядерной зоны с крупным золотокварцевым месторождением Кекура в одноимённом массиве и однотипными проявлениями ближней периферии; 2) промежуточной зоны с проявлениями золото-редкометалльного оруденения в гранитоидах и полиметаллического медно-цинкового в их экзоконтактах; 3) внешней зоны, в которой впервые для подобных систем выявлены золото-серебряные проявления в терригенных породах рамы, имеющие промышленные перспективы (рис. 2).

Рудное поле Кекура, на площади которого разведаны основные запасы золота, выделено в границах одноимённого гранитоидного массива, приуроченного к узлу пересечения региональных долгоживущих разломов северо-западной, субширотной, северо-восточной систем. На уровне современного среза массив представляет собой овальное тело площадью $\sim 13 \text{ км}^2$ с длинной осью, вытянутой в северо-восточном направлении вдоль разломов соответствующей системы (рис. 3).

Вмещающими породами служат интенсивно тектонизированные в приконтактовой части ороговикованные флишвиды устиевской толщи позднего триаса, а также терригенные и вулканотерригенные породы поздней юры и раннего мела.

Интрузивный массив обладает признаками кольцевого строения. Его периферия сложена диоритами и монцодиоритами ранней фазы. Основной объём интрузии составляют гранодиориты, сменяющиеся в центральной ча-

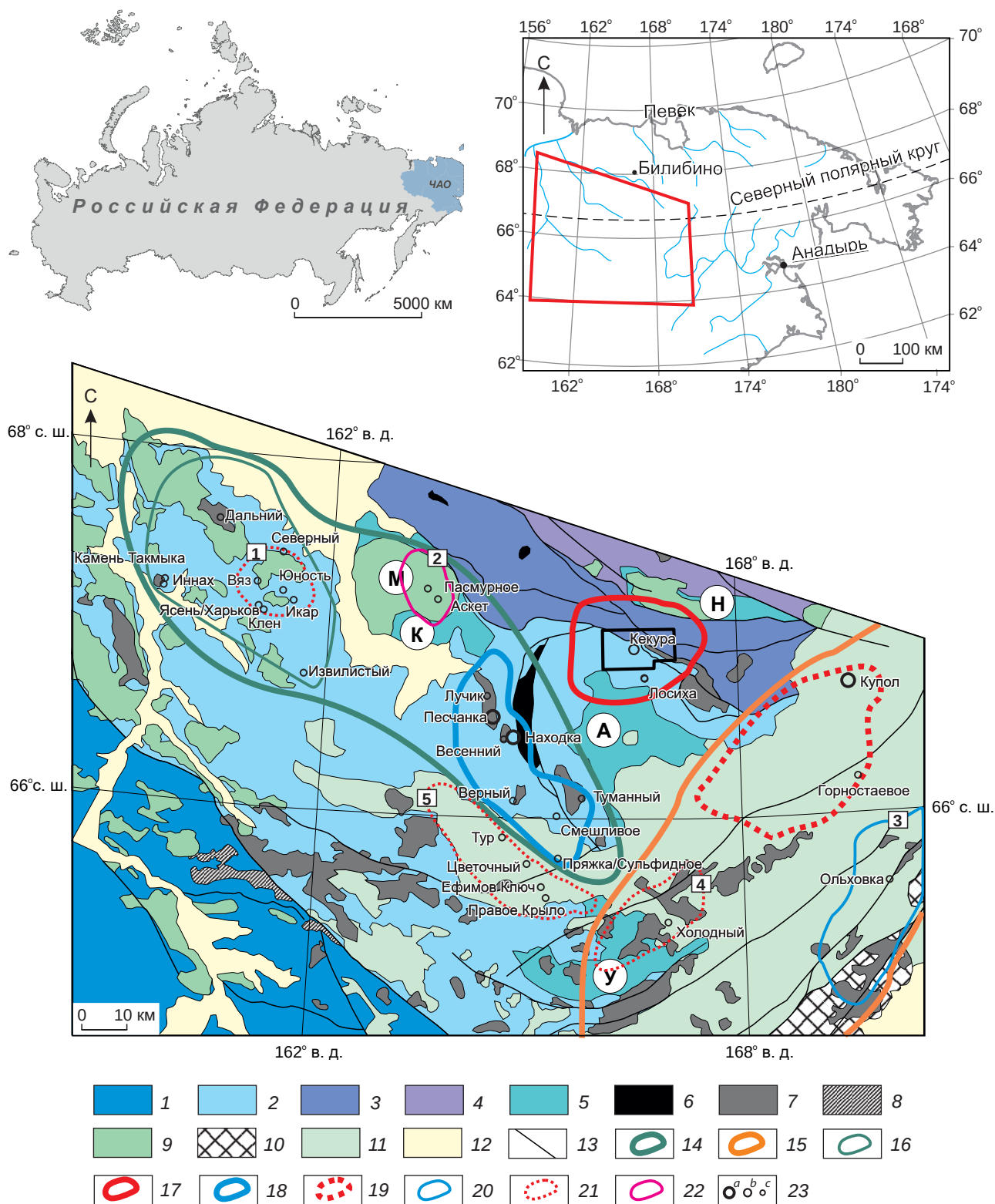




Рис. 1. Схема геологического строения и металлогенического районирования Западной Чукотки (составлена на основе геологической карты м-ба 1 : 500 000):

палеозой-мезозойские комплексы различных тектонических зон Верхояно-Чукотской складчатой системы: 1 – Берёзовской, 2 – Олойской, 3 – Южно-Ануйской, 4 – Ануйской и Чукотской; 5 – позднеюрско-раннемеловые осадочные комплексы наложенных впадин, предположительно синколлизонной природы (впадины: Н – Нутесынская, К – Камешковская, А – Айнахкургенская, У – Умкувеемская); 6 – массивы альпинотипных ультрабазитов; 7 – массивы гранитоидов и (меньшей частью) габброидов; 8 – наиболее крупные тела талалахского щелочного комплекса; 9 – преимущественно вулканогенные комплексы наложенных впадин мезозой (М – Мангазейская); вулканогенные комплексы: 10 – Удско-Мургалского пояса (титон–апт?), 11 – Охотско-Чукотского пояса (альб–сантон); 12 – четвертичные отложения; 13 – разрывные нарушения; рудные зоны: 14 – Алазей-Олойская (Cu); 15 – Охотско-Чукотский вулканогенный пояс (Au–Ag); рудные районы: 16 – Тополево-Хетачанский (Cu с Au), 17 – Стадухинский (Au), 18 – Баимский (Cu), 19 – Купольский (Кайемравеемский) (золото–серебряный); рудные узлы по типу минерализации (в квадратах – названия): 20 – CuMoAu, 21 – AuAg, 22 – AuAgCu (1 – Верхне-Кричалский, 2 – Мангазейский, 3 – Ольховский, 4 – Гангутский, 5 – Нембондинский); 23 – месторождения: а – ключевые крупные, б – средние, с – мелкие и рудопроявления; на врезке – контур района работ

Fig. 1. Scheme of the geological structure and metallogenic zoning of Western Chukotka (compiled on the basis of a geological map of scale 1 : 500,000):

Paleozoic-Mesozoic complexes of various tectonic zones of the Verkhoyansk-Chukotka fold system: 1 – Berезovskaya, 2 – Oloiskaya, 3 – South Anyuiskaya, 4 – Anyuiskaya and Chukotka; 5 – Late Jurassic-Early Cretaceous sedimentary complexes of superimposed depressions of a long-term syncollisional nature (depressions: Н – Nutesynskaya, К – Kameshkovskaya, А – Ainakhkurgenskaya, У – Umkuveemskaya); 6 – massifs of alpine-type ultrabasic rocks; 7 – massifs of granitoids and (in a smaller part) gabbroids; 8 – the largest bodies of the Talalakh alkaline complex; 9 – predominantly volcanogenic complexes of superimposed mesozoic depressions (М – Mangazeya); volcanogenic complexes: 10 – Uda-Murgal belt (Tithonian–Aptian?), 11 – Okhotsk-Chukotka belt (Albian–Santonian); 12 – Quaternary sediments; 13 – discontinuities; ore zones: 14 – Alazei-Oloyskaya (Cu); 15 – Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt (Au–Ag); ore districts: 16 – Topolevo-Khetachansky (Cu with Au), 17 – Stadukhinsky (Au), 18 – Baimsky (Cu), 19 – Kupolsky (Kayemraveemsky) (gold-silver); ore clusters by type of mineralization (names in squares): 20 – CuMoAu, 21 – AuAg, 22 – AuAgCu (1 – Verkhne-Krichalsky, 2 – Mangazeysky, 3 – Olkhovsky, 4 – Gangutsky, 5 – Nembondinsky); 23 – deposits: a – key large, b – medium, c – small and ore occurrences; In the inset – the outline of the work area

сти гранитами. Границы между монцонитами и гранодиоритами фациальные, гранодиоритами и гранитами поздней фазы – интрузивные контакты.

Сложной сетью крутопадающих диагональных разломов интрузивный массив разбит на серию разноразмерных блоков, напоминающих структуру «битой тарелки». Помимо крутопадающих разломов, в массиве широко распространены пологие зоны разрывных нарушений, вмещающие продуктивную золото-рудную минерализацию.

Масштабы и интенсивность проявления метасоматоза указывают на значительную мощность локальной флюидной системы в границах рудного поля. Практически вся интрузия несёт в себе в разной степени выра-

женные признаки гидротермальных изменений. Наиболее интенсивным изменениям (березитизации) подверглись гранодиориты и граниты поздней фазы внедрения. За их пределами мощность зон березитизации и интенсивность метасоматических изменений резко снижается.

Месторождение Кекура расположено в центральной части интрузивного массива, сложенной гранитами и гранодиоритами, в узле пересечения диагональных разломов разных направлений. Рудные тела – жиллообразные залежи и линзы кварц-серицитового состава, слагающие центральные части березитовых ритмов. Основные промышленные запасы золота сосредоточены в рудной зоне Пологая, прослеженной по простиранию на расстояние

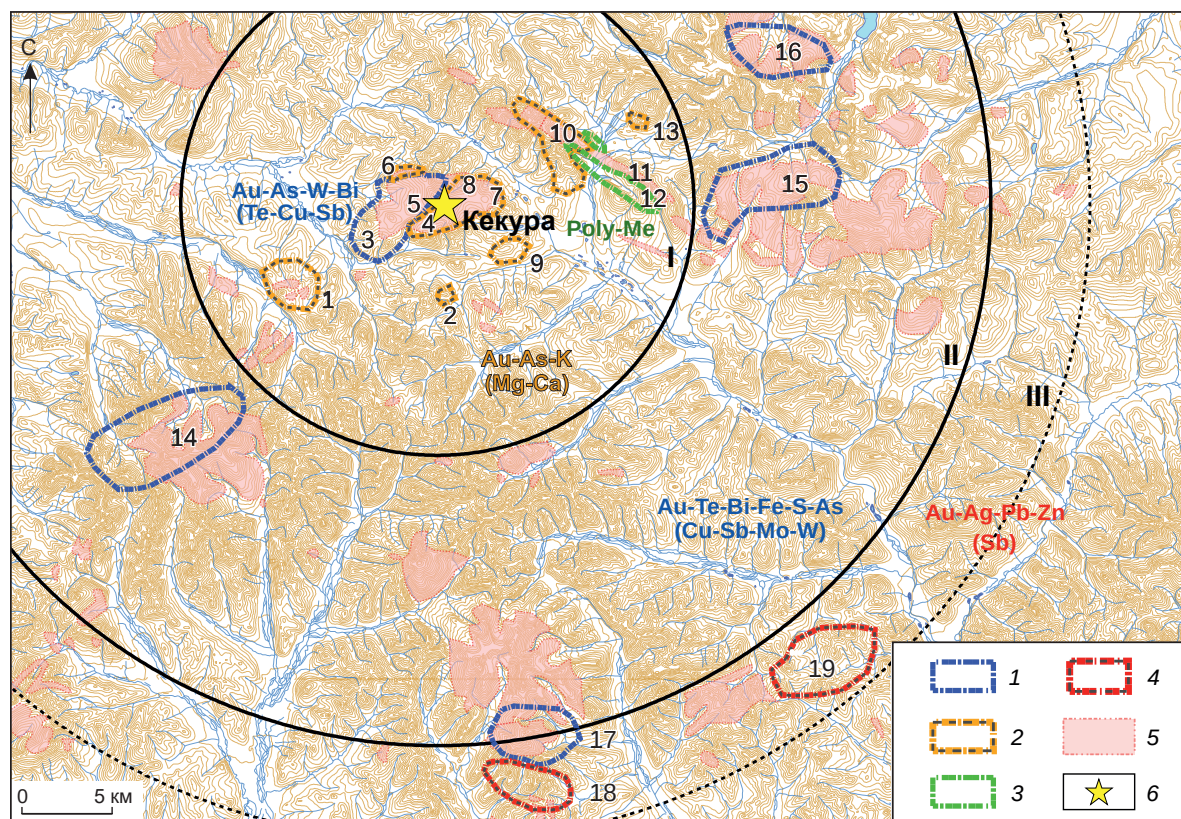


Рис. 2. Закономерности размещения золотого оруденения в Стадухинском рудно-россыпном районе (Западная Чукотка):

типы золоторудной минерализации в месторождениях и проявлениях района: 1 – золото-редкометалльный, 2 – золотокварцевый (березитовый), 3 – полиметаллический медно-цинковый, 4 – золото-серебряный; 5 – интрузии гранитоидов гвардейского комплекса; 6 – месторождение Кекура; элементы модели латеральной зональности рудного района: I – ядерная, II – промежуточная, III – периферийная; перспективные участки Стадухинского рудного района: 1 – Забытый, 2 – Бонд, 3 – Кварцевый, 4 – Гранат, 5 – Западный, 6 – Западный-2, 7 – Рыжий, 8 – Винт, 9 – Закол, 10 – Ирис, 11 – Дарун, 12 – Альпинист, 13 – Левый, 14 – Медвежий, 15 – Утайвеем, 16 – Пик Блохина, 17 – Лосиха, 18 – Валунный, 19 – Звонкий

Fig. 2. Patterns of distribution of gold mineralization in the Stadukhinsky ore-placer region (Western Chukotka):

types of gold mineralization in deposits and manifestations of the region: 1 – gold-rare metal, 2 – gold-quartz (berezite), 3 – polymetallic copper-zinc, 4 – gold-silver; 5 – intrusions of granitoids of the Gvardeysky complex; 6 – Kekura deposit; elements of the model of lateral zoning of the ore region: I – core, II – intermediate, III – peripheral; promising areas of the Stadukhinsky ore district: 1 – Zabytiy, 2 – Bond, 3 – Kvartseviy, 4 – Granat, 5 – Zapadnyy, 6 – Zapadnyy-2, 7 – Ryzhiy, 8 – Vint, 9 – Zakol, 10 – Iris, 11 – Darun, 12 – Alpinist, 13 – Leviy, 14 – Medvezhiy, 15 – Utaiveem, 16 – Blokhin Peak, 17 – Losikha, 18 – Valunniy, 19 – Zvonkiy

около 1 км, по падению на 300–350 м. Мощность рудных тел от нескольких десятков сантиметров до 3 м, в среднем не более 1 м.

Руды месторождения относятся к золото-кварцевому убогосульфидному типу. Рудная минерализация представлена самородным золотом и небольшим количеством сульфидов

(1–5 %), среди которых наиболее распространён арсенопирит. Самородное золото в основной своей массе сконцентрировано в жильном кварце (рис. 4, а). Частицы золота имеют размер от десятых долей миллиметра до 8–10 мм. Незначительную роль в общем балансе имеют его микровключения (0,01–0,3 мм) в арсено-



пирите или в сростании с блёклой рудой (см. рис. 4, b). Содержание Au колеблется от первых г/т до 1500 г/т.

В интрузивном массиве и его ближайших экзоконтактах обнаружены проявления золоторудной минерализации, имеющие промышленное значение.

На участке Рыжий, примыкающем к месторождению Кекура с востока, многочисленные зоны березитизации северо-восточного простирания развиты в гранодиоритах поздней фазы внедрения. Минерализация на участке связана с кварцевыми прожилками мощностью в несколько сантиметров, секущими доломит-кварц-серицитовые метасоматиты (березиты), и отдельными небольшими линзами кварцевых брекчий. Мощность пологопадающих минерализованных зон составляет 1–11 м, протяжённость 100–200 м, по падению они выклиниваются на глубине 20–50 м. Повышенные содержания золота связаны с центральными существенно кварцевыми интервалами зон.

Участок Гранат приурочен к южной окраине массива. Золоторудная минерализация на участке локализована в пологих зонах березитизированных пород, состоящих из отдельных ритмов мощностью от первых метров до 30–40 м, центральные части которых сложены полнопроявленными березитами, представляющими собой рудные залежи. Руды участков принадлежат к золото-кварцевому типу с арсенопиритом и самородным золотом (см. рис. 4, c), сходному с рудами месторождения Кекура.

Участок Западный находится в северо-западной части интрузивного массива, включая его приконтактовую часть. В его границах выделены рудоносные зоны 1 и 2.

Зона Западная-1 вскрыта канавами и скважинами; представляет собой протяжённую (около 3 км), мощную (не менее 800 м) ориентированную в северо-восточном направлении систему многочисленных маломощных жил и прожилков (более 40), которые группируются в жильно-прожилковые рудные зоны мощностью 3–12 м и протяжённостью до 1 км. От-

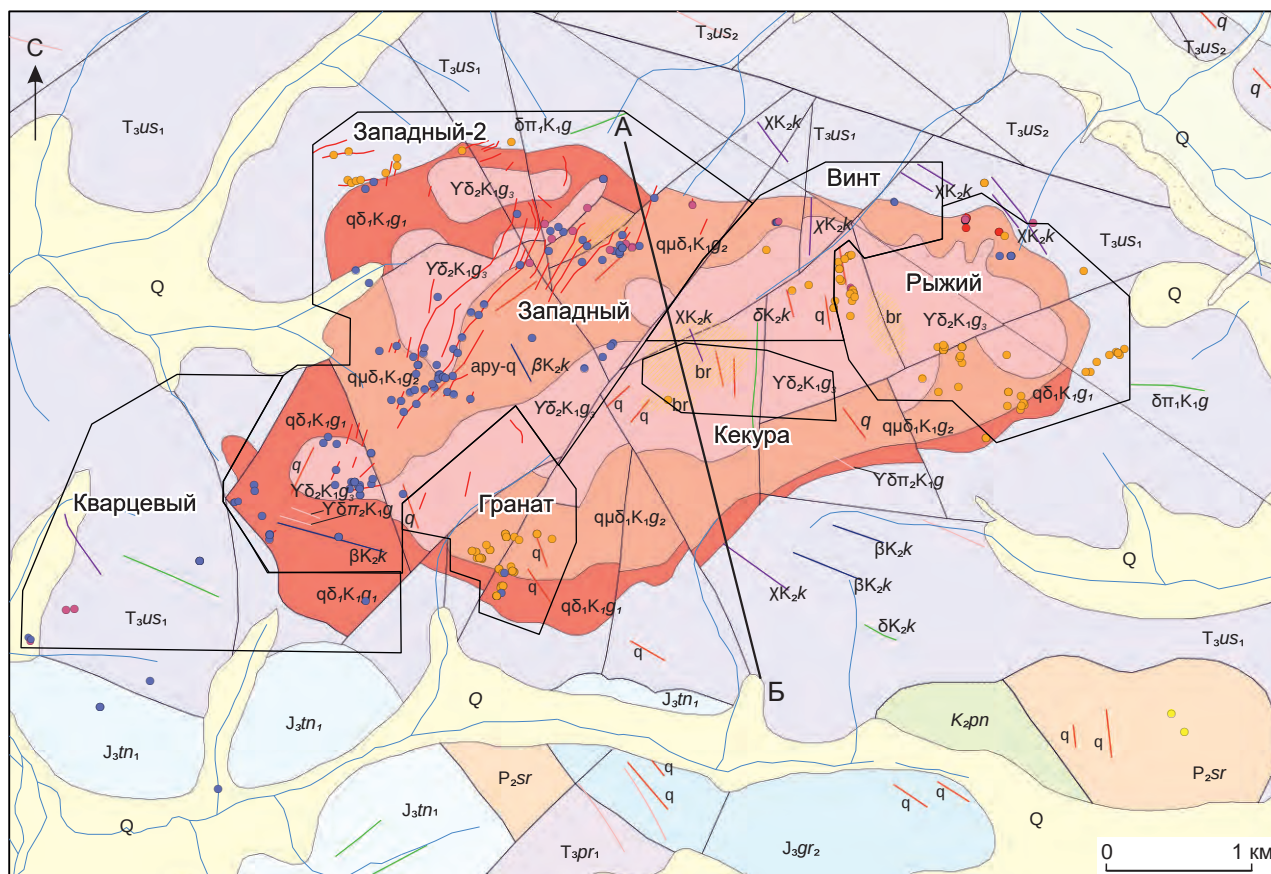
дельные жилы и прожилки имеют длину десятки–первые сотни метров, мощность от 10 до 40–50 см и вертикальное падение.

Зона Западная-2 приурочена к приконтактовой части интрузии. Вмещающие породы – тектонизированные алевролиты и песчаники. Ширина зоны наиболее интенсивных приконтактовых изменений ~ 80–100 м. В её пределах вскрыто несколько крутопадающих тектонических швов северо-восточного простирания, контролирующих группу небольших жильных проявлений золоторудной минерализации.

Золоторудная минерализация на участке Западный представлена преимущественно золото-кварц-арсенопиритовым и золото-редкометалльным типами. Золото-кварцевый тип распространён незначительно в зоне Западная-2. Высокое содержание арсенопирита и слабая березитизация на контактах жил – главные отличительные особенности золоторудной минерализации участка. Текстуры руд массивные и полосчатые. Брекчиевые текстуры, типичные для золото-кварцевой минерализации месторождения Кекура, совершенно не характерны.

Жилы участка сложены кварцем (70–80 %), арсенопиритом (20–30 %), пиритом (1–3 %). В составе руд широко распространены шеелит и минералы висмута. Практически во всех жильных пересечениях отмечается свободное золото в виде мелких (< 1–2 мм) неправильных зёрен (см. рис. 4, d). Отличительная особенность оруденения участка Западный – пространственное совмещение различных минеральных ассоциаций. Среди жильно-прожилковых образований отмечены редкометалльная (молибденитовая, касситерит-шеелит-висмутинитовая), арсенидно-сульфоарсенидная железо-кобальт-никелевая и медная (борнит-халькопиритовая) с низкопробным золотом (см. рис. 4, d, e), сурьмяная (антимонитовая) и серебро-сульфосольная минерализация.

В общей последовательности рудообразования в рудном поле Кекура выделено несколько этапов и стадий (табл. 1). В ранний этап, связанный с внедрением восстановленных мон-



Геологический разрез по линии АБ

Кекура-центр

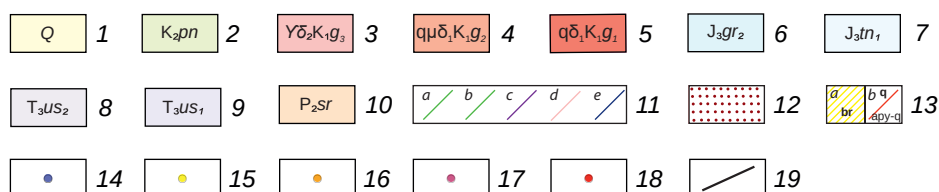
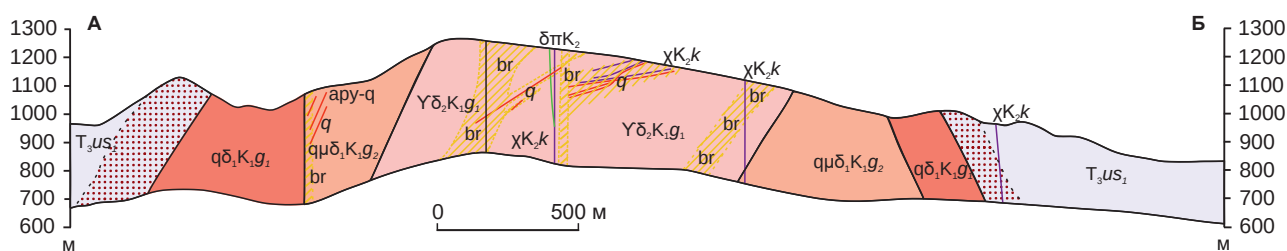




Рис. 3. Геологическое строение и распространённость основных типов золоторудной минерализации в рудном поле Кекура и экзоконтактовой зоне гранитоидного массива:

1 – неразделённые четвертичные отложения; 2 – пенвельская толща: алевролиты, песчаники, редко гравелиты, прослои туфов, туффитов; гвардейский комплекс диорит-гранодиорит-гранитовый: 3 – третья фаза (гранодиориты $\gamma\delta$), 4 – вторая фаза (кварцевые монцодиориты $q\mu\delta$), 5 – первая фаза (кварцевые диориты $q\delta$); 6 – гремучинская свита, средняя подсвита: туфы среднего состава; 7 – тенвельвеевская толща, нижняя подтолща: алевролиты, песчаники; устиевская толща: 8 – верхняя подтолща – алевролиты, прослои мелко-тонкозернистых песчаников, 9 – нижняя подтолща – флишоидное переслаивание алевролитов, мелкозернистых песчаников, аргиллитов; 10 – сухорусленская толща: туфы, туффиты, линзы битуминозных известняков; 11 – дайки: а – диорит-порфиров ($\delta\pi_1K_1g$), б – диоритов (δ), с – лампрофиров (χK_2k), d – гранодиорит-порфиров ($\gamma\delta\pi_2K_1g$), e – базальтов (βK_2k); 12 – зоны ороговикования; 13 – жилы и жильно-прожилковые зоны арсенопирит-кварцевого (apy-q) и кварцевого (q) составов; типы рудной минерализации: 14 – золото-редкометалльный, 15 – золото-кварцевый, 16 – золото-кварцевый березитовый, 17 – кварц-антимонитовый, 18 – серебро-полиметаллический; 19 – границы участков

Fig. 3. Geological structure and prevalence of the main types of gold mineralization in the Kekura ore field and the exocontact zone of the granitoid massif:

1 – unseparated Quaternary deposits; 2 – Penvelskaya strata: siltstones, sandstones, rarely gravelites, interlayers of tuffs, tuffites; Guardeysk diorite-granodiorite-granite complex: 3 – third phase (granodiorites $\gamma\delta$), 4 – second phase (quartz monzo-diorites $q\mu\delta$), 5 – first phase (quartz diorites $q\delta$); 6 – Gremuchinskaya formation, middle subformation: tuffs of medium composition; 7 – Tenvelveem sequence, lower sub-section: siltstones, sandstones; Ustievskaya strata: 8 – upper sub-stratum – siltstones, interlayers of fine-fine-grained sandstones, 9 – lower sub-stratum – flyschoid interlayering of siltstones, fine-grained sandstones, mudstones; 10 – Sukhoruslenskaya strata: tuffs, tuffites, lenses of bituminous limestones; 11 – dikes: a – diorite-porphyry ($\delta\pi_1K_1g$), b – diorite (δ), c – lamprophyres (χK_2k), d – granodiorite-porphyry ($\gamma\delta\pi_2K_1g$), e – basalts (βK_2k); 12 – keratinization zones; 13 – veins and vein-vein zones of arsenopyrite and quartz (apy-q) and quartz (q) compositions; types of ore mineralization: 14 – gold-rare metal, 15 – gold-quartz, 16 – gold-quartz beresite, 17 – quartz-antimonite, 18 – silver-polymetallic; 19 – boundaries of areas

цонит-диоритовых магм, сформировалось золото-редкометалльное оруденение участка Западный.

На ранней стадии этого этапа отлагались шеелит, касситерит, лёллингит, арсениды Ni и Co. При понижении температуры и увеличении фугитивности серы лёллингит замещался арсенопиритом ($S / As < 1$), и в конце стадии откладывались самородный висмут и галенит, по-видимому, снова на фоне снижения фугитивности серы.

В последующую молибденит-борнит-халькопиритовую стадию, помимо основных рудных минералов, происходило отложение дигенита, арсенопирита ($S / As < 1$), блёклых руд. При наложении халькопирита на самородный висмут и галенит ранней стадии образовывался айкинит.

В позднюю золото-висмут-теллуридную стадию образовались теллуриды висмута, высокопробное самородное золото, мальдонит.

При понижении температуры и повышении фугитивности серы теллуриды висмута последовательно замещались сульфотеллуридами и сульфидами висмута.

С внедрением восстановленных магм более кислого состава и связанным с ними вторым этапом гидротермальной деятельности сформировались мощные зоны метасоматических изменений вдоль северо-восточного разлома, делящего массив на две примерно равные части. В оперяющих зонах повышенной трещиноватости при метасоматическом замещении образовались жилообразные тела полнопроявленных березитов с богатым золотым оруденением. Убогосульфидная минерализация этого этапа представлена арсенопиритом ($S / As > 1$), сфалеритом, галенитом, блёклыми рудами, самородным золотом средней пробы.

С наиболее поздними этапами рудообразования в рудном поле Кекура связано фор-

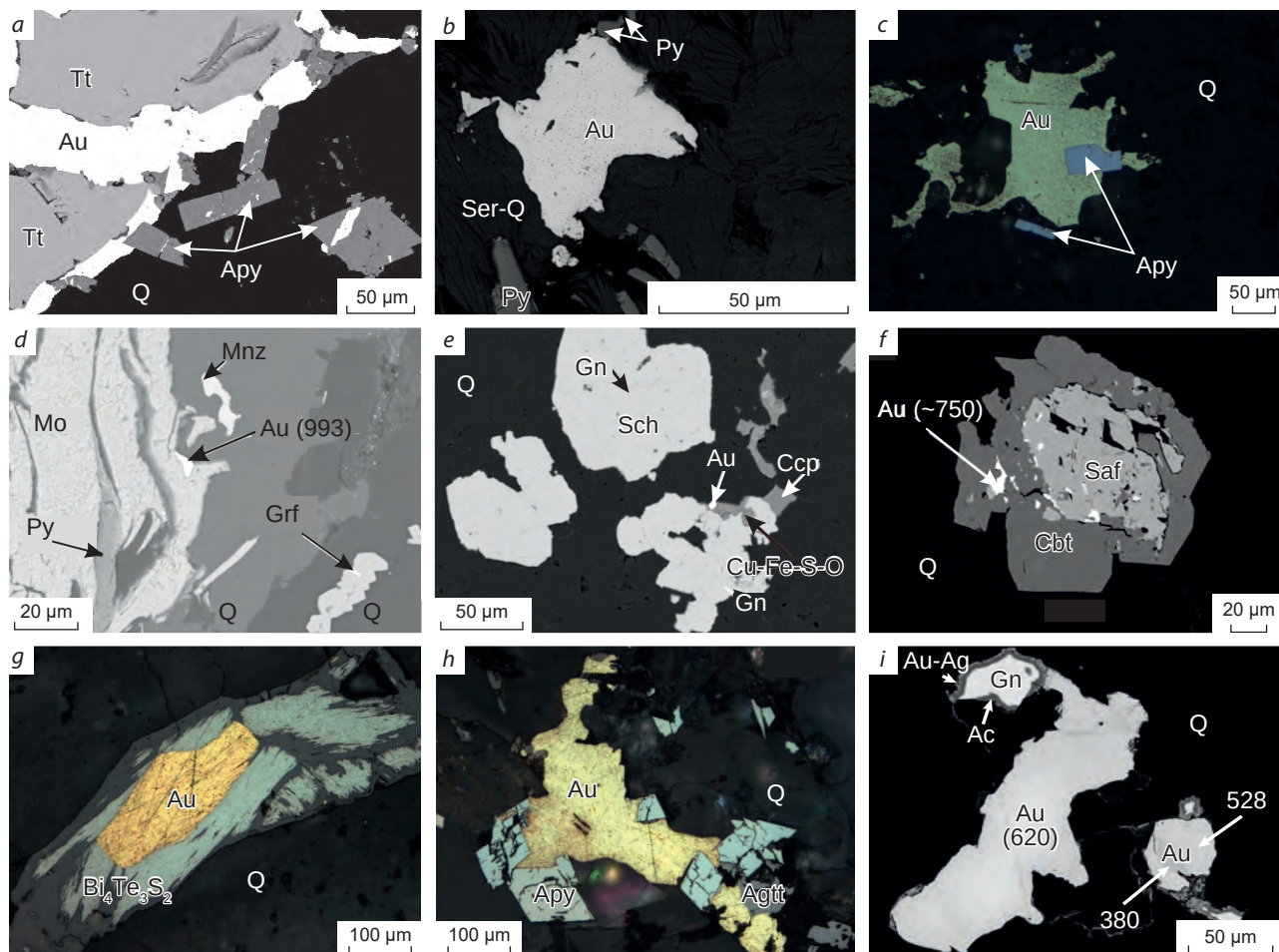


Рис. 4. Самородное золото коренных источников в Стадухинском рудно-розыпном районе:

золотокварцевый (березитовый) тип: а – уч. Кекура-центр, самородное золото (Au) (801 ‰) в кварце (Q) обрастает тетраэдрит (Tt) и арсенопирит (Apy), б – уч. Кекура-центр, самородное золото (Au) (750 ‰) в серицит-кварцевой (Ser-Q) матрице, с – уч. Гранат, самородное золото (Au) (853–861 ‰) обрастает арсенопирит (Apy) и выполняет трещины в кварце (Q); золото-редкометалльный тип: d – уч. Западный, самородное золото (Au) (993 ‰) развито по спайности чешуек молибденита (Mo) в кварце, присутствуют герсдорфит (Grf) и монацит (Mnz), e – уч. Западный, нарастание халькопирита на шеелит (Sch), который содержит вроски галенита (Gn), в халькопирите (Ccp), замещённом сульфатом меди и железа (Cu-Fe-S-O), вроски самородного золота (Au) (788–853 ‰), f – уч. Западный, минералы системы Co-As-S, обрастание сафлорита (Saf) кобальтином (Cbt), оба минерала содержат вроски самородного золота (Au) (750 ‰), g – уч. Лосиха, самородное золото (Au) (956–982 ‰) в сростании с фазой $\text{Bi}_4\text{Te}_3\text{S}_2$; золото-серебряный тип: h – уч. Валунный, самородное золото (Au) (602–618 ‰), обрастающие более ранний арсенопирит (Apy), сростание с аргентотетраэдритом-Fe (Agtt), i – уч. Звонкий, неоднородное выделение электрума (Au-Ag) (Au 380–620 ‰) в ассоциации с галени- том (Gn) и акантитом (Ac)

Fig. 4. Native gold from primary sources in the Stadukhinsky ore-placer area:

Gold-quartz (beresite) type: a – area Kekura center, native gold (801 ‰) in quartz (Q) overgrown with tetrahedrite (Tt) and arsenopyrite (Apy); b – area Kekura center, native gold (750 ‰) in a sericite-quartz matrix (Ser-Q); c – area Granat, native gold (Au) (853–861 ‰), overgrows arsenopyrite (Apy) and fills cracks in quartz (Q); Gold-rare metal type: d – area Zapadnyi, native gold (Au) (993 ‰) is developed according to the cleavage of molybdenite flakes (Mo) in quartz (Q), with gersdorffite (Grf) and monazite (Mnz); e – area Zapadnyi, growth of chalcopyrite on scheelite (Sch), which contains ingrowths of galena (Gn); in chalcopyrite (Ccp) substituted with copper and iron sulfate (Cu-Fe-S-O), ingrowths of native gold (Au) (788–853 ‰); f – area Zapadnyi, minerals of the Co-As-S system, fouling of safflorite (Saf) with cobaltite (Cbt), both minerals contain ingrowths of native gold (Au) (750 ‰); g – area Losikha, native gold (Au) (956–982 ‰) intergrown with the $\text{Bi}_4\text{Te}_3\text{S}_2$ phase; Gold-silver type: h – area Valunnyi, native gold (Au) (602–618 ‰) overgrown with earlier arsenopyrite (Apy), intergrown with argentotetrahedrite-Fe (Agtt); i – area Zvonkiy, heterogeneous electrum segregations (Au-Ag) (Au 380–620 ‰) intergrown with galena (Gn) and acanthite (Ac)



Табл. 1. Последовательность отложения рудных минералов на месторождении Кекура и перспективных проявлениях Стадухинской площади

Table 1. Sequence of deposition of ore minerals at the Kekura deposit and promising occurrences of the Stadukhinskaya area

Этапы	Золото-редкометалльный			Золото-кварцевый березитовый	Антимонитовый	Au-Ag
Стадии Минералы	Касситерит-шеелит-висмут-арсенидная	Молибденит-борнит-халькопиритовая	Золото-теллуридно-висмутная			
Молибденит	—	—				
Касситерит	—					
Лёллингит	—					
Fe-Ni-Co арсениды	—					
Шеелит	—			—		
Арсенопирит	—	—		—		—
Пирротин	—					
Пирит	—		—		—	
Борнит	—	—				
Халькопирит	—	—			—	
Самородный Bi	—	—	—			
Станнин	—					
Станноидит	—					
Сфалерит	—			—		—
Галенит	—			—		—
Блёклые руды	—	—		—		—
Самородное Au			—	—		—
Мальдонит			—			
Bi-теллуриды			—			
Bi-сульфотеллуриды			—			
Икунолит			—			
Висмутин			—			
Джемсонит					—	
Буланжерит					—	
Антимонит					—	
Sb самородная					—	
Гессит						—
Bi-сульфосоли Ag						—
Акантит						—
Самородное Ag						—
Кюстелит						—

мирование сурьмяной (антимонитовой) минерализации с самородной сурьмой и сурьмяными сульфосолями свинца и золото-серебряной ассоциации эпиптермального типа с Sb-содержащим арсенопиритом ($S / As > 1$), сульфид-

дами Cu, Pb, Zn, халькостибитом, блёклыми рудами с повышенным содержанием серебра, акантитом, низкопробным золотом с примесью ртути, самородным серебром. Золото-серебряная ассоциация присутствует на неко-

торых участках рудного поля Кекура, но не представляет практического интереса.

Данные по температуре гомогенизации и солёности первичных флюидных включений в кварце жил и прожилков (рис. 5) свидетельствуют о том, что большая их часть в золотоносном кварце месторождения Кекура и флангов рудного поля (участки Гранат, Рыжий) гомогенизирует при температуре от 100 до 275 °С, при этом кварц с включениями с $T_{\text{гом}} < 150$ °С и низкой солёностью (до 2 мас. % NaCl экв.), скорее всего, относится к наиболее поздней по времени формирования антимонитовой минерализации или является порудным. Температура гомогенизации основной массы включений находится в интервале 150–275 °С, при этом солёность варьирует от 4 до 10 мас. % NaCl экв. Температура эвтектики, изменяющаяся в интервале -36...-21 °С, указывает на то, что флюиды включений представляли собой раствор хлоридов натрия и магния с примесью хлоридов железа и калия.

На участках ближней периферии (Бонд, Закол), окружающих месторождение Кекура и имеющих сходный с ним минеральный состав руд, большая часть включений в кварце гомогенизирует в том же интервале температуры, что и на самом месторождении.

На участке Ирис включения в кварце из секущих прожилков в пирротин-пирит-халькопиритовой зоне среди песчаников и прожилков, выявленных в изменённых гранитоидах, различаются по температуре, солёности заключённых в них флюидов и температуре эвтектики (-21...-22 и -32...-27 °С соответственно). Полученные температуры эвтектики предполагают, что в первом случае флюиды представляли собой растворы на основе хлорида натрия, возможно, с примесью бикарбоната натрия. Во втором случае основой раствора служили хлориды натрия и магния, что аналогично растворам из включений в кварце на месторождении Кекура.

На участках дальней периферии (Утайвеем и Пик Блохина), расположенных к северо-востоку от месторождения Кекура и достаточно удалённых от него, золоторудная минерализация приурочена к одноимённым грани-

тоидным массивам (локальным структурам рудно-магматической системы (РМС)) и представлена жильно-прожилковым золото-теллуридно-висмутовым типом (см. рис. 4), сходным по минеральному составу с оруденением участка Западный.

Первичные включения в кварце гомогенизируются при более высокой температуре (более 300 °С). В то же время солёность растворов большинства включений близка к таковой в кварце месторождения Кекура и участков его ближней периферии. Судя по температуре эвтектики (-37...-27 °С), флюиды включений представляли собой растворы хлоридов натрия, магния и железа, возможно, с примесью карбонатов калия и натрия. Кроме того, следует отметить гетерогенность (кипение) минералообразующих флюидов, тогда как на месторождении Кекура флюиды были гомогенными.

Золото-редкометалльное оруденение участка Лосиха в Гвардейском массиве имеет ряд индивидуальных особенностей. Если структурно-морфологический тип соответствует золото-редкометалльному оруденению в гранитоидах участка Западный, то вещественный состав руд имеет определённые отличия. Минеральный состав жильно-прожилкового оруденения: высокопробное самородное золото (см. рис. 4, г), теллуриды и сульфотеллуриды висмута. Руды не содержат арсенопирит, шеелит, молибденит, минералы олова и меди, типичные для периферийных массивов с золото-редкометалльной минерализацией.

На проявлении Лосиха в кварцевых жилах и прожилках с золото-висмутовой минерализацией $T_{\text{гом}}$ первичных включений расщелено ниже данного показателя водно-солевых растворов, что указывает на «выкипание» растворов со временем. Процесс кипения подтверждается наличием сингенетичных преимущественно газовых и жидких включений. Если рассматривать включения водно-солевых растворов в кварце с золото-висмутовой минерализацией, то их параметры идентичны таковым для участков Утайвеем и Пик Блохина, где выявлен такой же тип руд. Параметры флюидных включений в жильном кварце

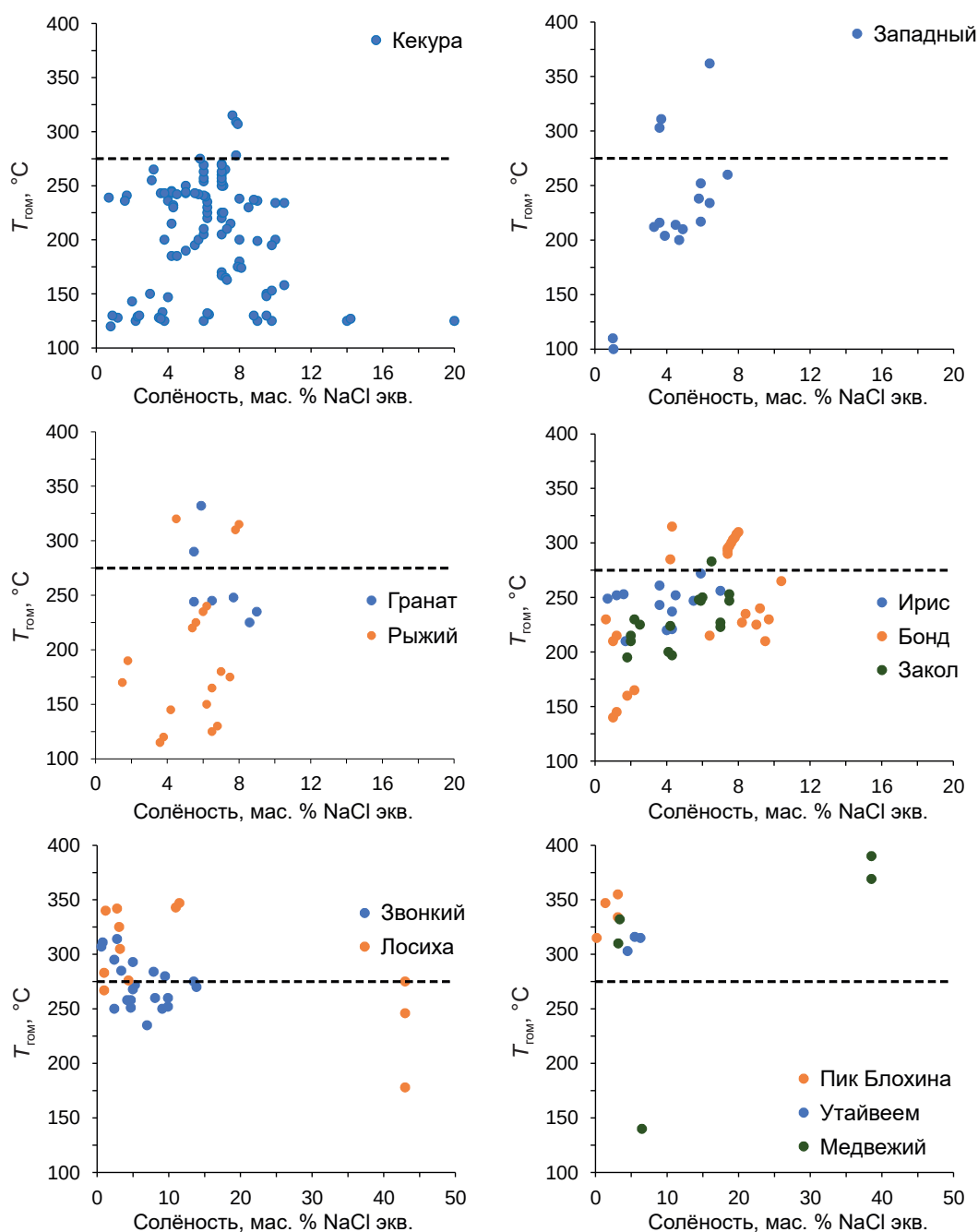


Рис. 5. Соотношение температур гомогенизации первичных включений в кварце и солёности заключённых в них флюидов золоторудных проявлений Стадухинского рудно-россыпного района:

пунктирной линией, соответствующей 275 °С, показана верхняя граница $T_{\text{гом}}$ большей части включений в кварце золотоносных жил месторождения Кекура

Fig. 5. Correlation between the temperatures of homogenization of primary inclusions in quartz and the salinity of the fluids contained in them of the gold ore occurrences of the Stadukhinsky ore-placer region:

All plots show the dotted line at 275 °C, which is the upper limit of the homogenization temperature for most of the inclusions in quartz from the Kekura gold veins

Табл. 2. Схема последовательности кристаллизации минералов золото-серебряной минерализации на участках Звонкий и Лосиха-2

Table 2. Scheme of the crystallization sequence of minerals of gold-silver mineralization at the Zvonkiy and Losikha-2 sites

Минералы	Минеральная ассоциация		
	Ранняя сульфидная	Продуктивная золото-сульфосольная	Гипергенная
Кварц	————		
Доломит, кальцит		————	
Хлорит	————		
Серицит		— —	
Пирит	—		
Арсенопирит	————		
Сфалерит	————	— —	
Аргентотетраэдрит-(Fe)		————	
Халькопирит		— —	
Галенит		————	
Буланжерит		—	
Самородное золото		————	
Овихиит		————	
Диафорит (?)		————	
Миаргирит (?)		————	
Прустит-пираргирит		————	
Ковеллин (?)			————
Акантит			————
Сульфиды Au-Ag			————
Англезит			————
Миметит			————

близки к таковым в жильном кварце золото-висмутовых месторождений типа IRGS [5, 6, 12].

В кварце участка Медвежий включения рассолов более высокотемпературные, чем сингенетичные в водно-солевых растворах.

Работами последних лет на периферии магматогенного поднятия, в породах осадочной рамы, установлены новые перспективные проявления золото-серебряной минерализации. Они приурочены к системе северо-восточных разрывных нарушений, вмещающих серии даек, возраст которых по результатам U-Pb датирования ($93,6 \pm 1,2$ млн лет) меньше возраста пород интрузивных массивов. Структурно-морфологический тип оруденения кварцево-жильный. Кварцевые жилы с золото-серебряной минерализацией имеют протяжённость 100–400 м и мощность от десятков сантиме-

тров до 1 м. Они группируются в линейные зоны протяжённостью 1,5–2 км и шириной 500–800 м.

Рудная минерализация формировалась в две стадии (табл. 2). Отложение минералов ранней сульфидной ассоциации предшествовало формированию продуктивной золото-серебряной минерализации. Продуктивная золото-серебро-сульфосольная ассоциация представлена самородным золотом низкой пробы (см. рис. 4, h, i), соответствующим электриту. Концентраторами серебра являются сурьмяные и сурьмяно-свинцовые сульфосолы с крайне низким содержанием в них примеси мышьяка и Ag-тетраэдрита.

Кварцевые жилы и прожилки участков Звонкий и Валунный формировались при участии гетерогенных H_2O-CO_2 флюидов с при-



месью метана или азота. Флюиды можно разделить на два типа: низкосолёные (< 3 мас. % NaCl экв.) с преобладанием NaCl, $T_{\text{гом}} = 250\text{--}310$ °C и более солёные (4–14 мас. % NaCl экв.) магниевое-натриево-хлоридные, $T_{\text{гом}} = 250\text{--}290$ °C (см. рис. 5). Минеральный состав золото-серебряных жил, а также низкая солёность флюидных включений в жильном кварце позволяют отнести их к эпитермальным образованиям.

На основании вышеизложенного в общем развитии рудно-магматической системы Стадухинского района выделены этапы, связанные с разными фазами магматического внедрения и последовательного формирования трёх основных типов оруденения: золото-редкометалльного (Au-Te-Bi), золотокварцевого (Au-q) и золото-серебряного (Au-Ag).

В наиболее ранний этап из рудоносного флюида, связанного с восстановленными магмами, сформировалось типичное для IRGS систем золото-редкометалльное оруденение, представленное системами параллельных жил и прожилков в трещинах скола. Рудная минерализация – арсенопирит, шеелит, пирит, теллуриды и сульфотеллуриды висмута, высокопробное самородное золото (> 900 ‰). Оруденение формировалось на глубинах 2–3 км при температурах 300–340 °C из малосолёных флюидов (1,4–6,4 мас. % NaCl экв.).

В более поздний этап на глубинах, сопоставимых с выделяемой авторами [5] «эпитермальной зоной», из рудоносного флюида, вероятно, связанного со второй фазой внедрения более кислых восстановленных магм, сформировалось золотокварцевое (березитовое) оруденение месторождения Кекура и ряда участков ближней периферии. Формирование руд происходило на глубинах не более 1,5–2 км из малосолёных флюидов (3,1–5,9 мас. % NaCl экв.) в интервале температур 230–270 °C.

В заключительный этап гидротермальной деятельности, связанный с внедрением поздних даек, сформировались кварцевые жилы с золото-серебряной минерализацией. В составе рудоносных флюидов более значимую роль играют углекисло-водные растворы с солёностью 4–14 мас. % NaCl экв. Температура гомогенизации газовой-жидких включений определена в интервале 270–300 °C, $P < 1000$ кбар,

что соответствует эпитермальным системам. Минерализация золото-серебряных кварцевых жил становится существенно халькофильного состава.

Исследование вертикальной геохимической зональности золотого оруденения в Стадухинском районе по серии рудных пересечений на разных гипсометрических уровнях в массивах г. Кекура, г. Трёхречье, Гвардейский, Пик Блохина и во вмещающей раме на участке Звонкий проводилось по программе НЮ-2 [4].

В результате обработки был получен общий ряд вертикальной геохимической зональности PMC Стадухинского района (снизу вверх): Bi-Te-Na-Cu-S-As-Co-Fe-K-W-Al-Mg-Ni-Au-Mo-Ca-Sb-Mn-Zn-Pb-Ag. Данный ряд хорошо согласуется с общепринятой геолого-поисковой моделью IRGS [5], в которой элементы нижней его части (W-Te-Bi-Fe-S-Cu-Co) представляют ранний более высокотемпературный минеральный парагенезис золото-редкометалльного этапа, а элементы верхней части (Au-Ag-Sb-As-Pb-Zn) – относительно низкотемпературный парагенезис элементов золотокварцевого березитового и золото-серебряного (связанного с поздними дайками) этапов, оруденение которых относят к эпитермальной зоне (рис. 6).

По результатам обработки выявлены геохимические показатели зональности общего вида AgSbPb / BiWMoCuAs, которые использовались для определения уровня среза выходящих на поверхность проявлений золота.

По полученным оценкам уровень эрозионного вскрытия PMC соответствует нижним частям эпитермальной зоны с перспективами выявления на глубине основных горизонтов мезотермального золото-редкометалльного оруденения. Главным фактом, указывающим на вскрытие эрозией относительно глубоких частей PMC в гранитоидных массивах Утайвеем, Медвежий, Пик Блохина, Гвардейский, являются наиболее высокие $T_{\text{гом}}$ газовой-жидких включений, которыми обосновывается созданная из ряда фрагментов общая искусственная композиция для исследования вертикальной геохимической зональности системы IRGS в Стадухинском районе (рис. 7).

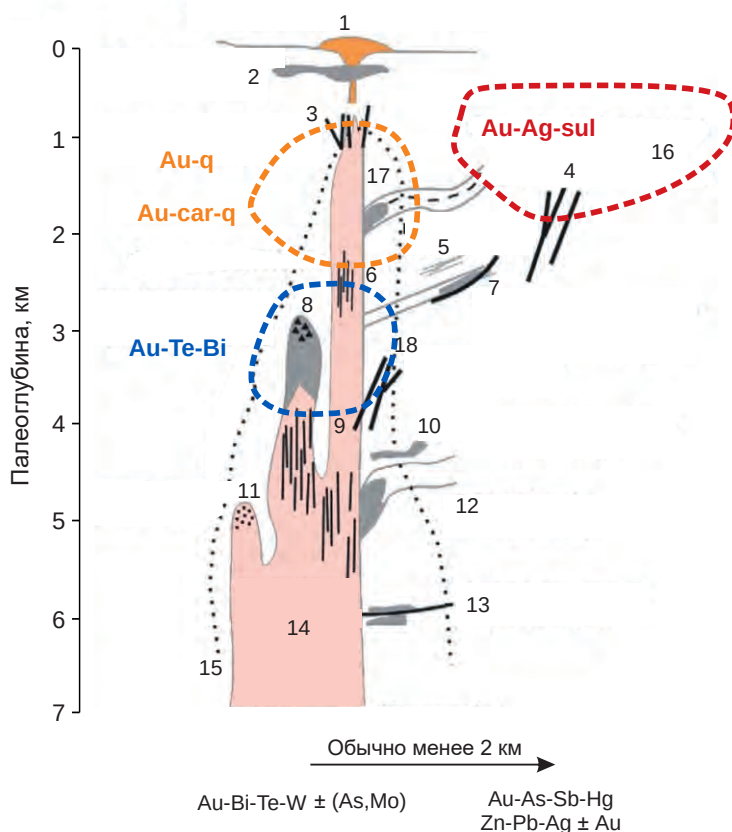


Рис. 6. Модель вертикальной рудно-геохимической зональности для золоторудной системы, связанной с интрузиями в Стадукхинском рудно-россыпном районе (Западная Чукотка), по [1]:

1 – купольные комплексы, ассоциирующие с вулканическими породами; 2 – размещённые в аргиллитах Sn-Ag-W-(Au); 3 – эпitherмального уровня жилы/штокверк Au-Ag-As-Hg; 4 – поздние и (или) периферийные жилы Ag-Pb-Zn-(Au-Sb-As) (купольный комплекс, ассоциирующие с вулканическими породами); 5 – контактовые скарны Cu-Au-Bi-(Zn); 6 – параллельные прожилки и жилы; 7 – дайки (силлы) и метаосадочные вмещающие породы Au-As-Sb-(Hg); 8 – брекчии, ассоциированные с дайками, силлами и штоками Au-Cu-Mo-W-Bi-(As-Te); 9 – крупные разломные жилы Au-As-Sb-(Bi); 10 – замещение в карбонатных сланцах Au-As ± (Bi-W); 11 – вкрапленность в плутоне Au-Mo-Bi-Te-(W-As); 12 – контактовые скарны W-Bi ± (Au, Cu, Mo); 13 – пластичные жилы замещения Au-Bi-As-W-(Mo); 14 – контактовый ореол; 15 – локализованные в интрузии параллельные прожилки Au-Bi-Te-Mo-W-As (метаалюминиевый субщелочной шток от промежуточного до фельзитового состава); области минерализации: 16 – золото-серебряной, 17 – золотокварцевой березитовой, 18 – золото-редкометалльной

Fig. 6. Model of vertical ore-geochemical zoning for the gold ore system associated with intrusions in the Stadukhinsky ore-placer region (Western Chukotka), according to [1]:

1 – dome complexes associated with volcanic rocks; 2 – located in argillic Sn-Ag-W-(Au); 3 – epithermal level vein/stockwork Au-Ag-As-Hg; 4 – late and (or) peripheral veins Ag-Pb-Zn-(Au-Sb-As) (dome complex associated with volcanic rocks); 5 – contact skarns Cu-Au-Bi-(Zn); 6 – parallel veins and veins; 7 – dikes (sills) and metasedimentary host rocks Au-As-Sb-(Hg); 8 – breccias associated with dikes, sills and stocks of Au-Cu-Mo-W-Bi-(As-Te); 9 – large fault veins Au-As-Sb-(Bi); 10 – replacement in carbonate shales Au-As ± (Bi-W); 11 – impregnation of Au-Mo-Bi-Te-(W-As) in the pluton; 12 – contact skarns W-Bi ± (Au, Cu, Mo); 13 – ductile replacement cores Au-Bi-As-W-(Mo); 14 – contact halo; 15 – parallel veinlets of Au-Bi-Te-Mo-W-As localized in the intrusion (meta-aluminum subalkaline stock of intermediate to felsic composition); areas of mineralization: 16 – gold-silver, 17 – gold-quartz beresite, 18 – gold-rare metal

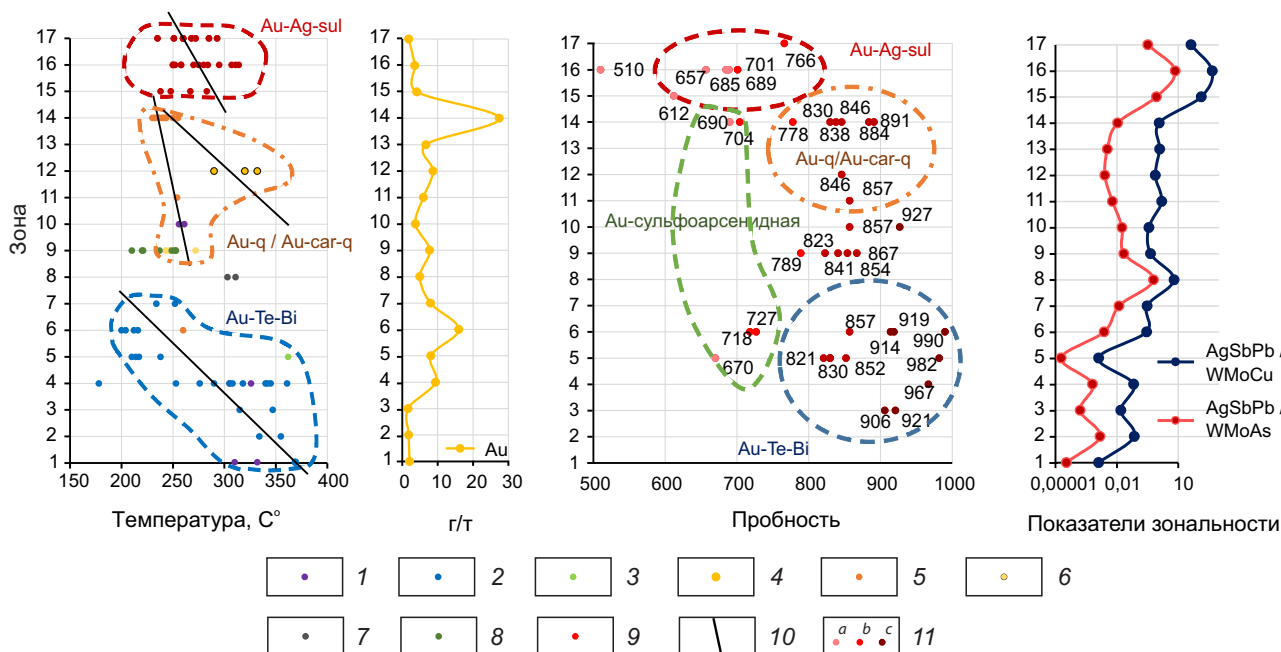


Рис. 7. Основные показатели модели вертикальной рудно-геохимической зональности для золоторудной системы, связанной с интрузиями в Стадухинском рудно-россыпном районе (Западная Чукотка):

зоны (формировались внутри участков по уровню гипсометрии для всего района исходя из геолого-генетической модели IRGS и собственных минералогических и термобарогеохимических исследований): 1–8 – золото-редкометалльные (Медвежий, Пик Блохина, Лосиха, Западный), 9–14 – золото-кварцевые березитовые (Ирис, Гранат, Рыжий, Кекура), 15–17 – золото-серебряные (Лосиха, Звонкий); типы минерализации: 1 – кварц-молибденитовый, 2 – золото-редкометалльный, 3 – золото-сульфоарсенидный, 4 – золото-кварцевый, 5 – золото-кварцевый (березитовый), 6 – Q-Chl метасоматиты, 7 – кварц-антимонитовый, 8 – ранний полиметаллический, 9 – золото-серебряный; 10 – линии трендов; 11 – золото (a – низкопробное (< 700 ‰), b – среднепробное (700–900 ‰), c – высокопробное (> 900 ‰))

Fig. 7. Main indicators of the model of vertical ore-geochemical zoning for the gold ore system associated with intrusions in the Stadukhinsky ore-placer region (Western Chukotka):

zones (formed within sites according to the level of hypsometry for the entire region based on the geological-genetic model of IRGS and our own mineralogical and thermobarogeochemical studies): 1–8 – gold-rare metal (Medvezhiy, Blokhin Peak, Losikha, Zapadnyy), 9–14 – gold-quartz beresite (Iris, Granat, Rizhiy, Kekura), 15–17 – gold-silver (Losikha, Zvonkiy); types of mineralization: 1 – quartz-molybdenite, 2 – gold-rare metal, 3 – gold-sulfoarsenide, 4 – gold-quartz, 5 – gold-quartz (beresitic), 6 – Q-Chl metasomatites, 7 – quartz-antimonite, 8 – early polymetallic, 9 – gold-silver; 10 – trend lines; 11 – gold (a – low-grade (< 700 ‰), b – medium-grade (700–900 ‰), c – high-grade (> 900 ‰))

Дополнительным критерием для оценки степени эродированности локальных рудных систем в гранитоидах является пробность золота – установлен её рост с глубиной: от электрума в золото-серебряных жилах (400–600 ‰) к золоту средней пробности в золото-кварцевых рудах (800–880 ‰) и высокопробному в парагенезисе с теллуридами висмута в золото-редкометалльном типе (> 900 ‰).

В результате выполненных исследований получены новые данные, существенно расширяющие представление о закономерностях размещения, составе, геохимической структуре, параметрах рудообразования, глубинах формирования и пульсационном характере рудно-магматического процесса в Стадухинском рудно-россыпном районе с крупным золото-рудным месторождением Кекура. Разработана

модель вертикальной геохимической зональности золотого оруденения типа IRGS, определены критерии оценки уровня эрозийного среза оруденения, его распространения на глубину.

Уровень эрозийного вскрытия РМС согласно разработанной модели вертикальной геохимической зональности оценивается как соответствующий нижним частям эпитермальной зоны. Главные факты, свидетельствующие в пользу вскрытия эрозией более глубин-

ных частей в периферийных гранитоидных массивах РМС, – состав, низкие значения геохимических показателей зональности, высокая пробность золота и более высокие $T_{\text{гом}}$ газозо-жидких включений.

Впервые для таких систем выявлены промышленно перспективные золото-серебряные проявления, определена их пространственная приуроченность к локальным поясам даек в терригенных породах рамы на периферии РМС.

Список литературы

1. Волков А. В., Сидоров А. А. Прогнозно-поисковая модель месторождений золота, связанных с интрузивами гранитоидов арктической зоны России // Арктика: экология и экономика. – 2018. – № 3 (31). – С. 84–99.
2. Волков А. В., Савва Н. Е., Сидоров А. А., Прокофьев В. Ю., Горячев Н. А., Вознесенский С. Д., Альшевский А. В., Чернова А. Д. Золоторудное месторождение Школьное (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. – 2011. – Т. 53, № 1. – С. 3–31.
3. Соколов С. Д., Тучкова М. И., Ганелин А. В., Бондаренко Г. Е., Лейер П. Тектоника Южно-Анжуйской сутуры (Северо-Восток Азии) // Геотектоника. – 2015. – № 1. – С. 5–30.
4. Соловов А. П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых: учебник для вузов. – М.: Недра, 1985. – 294 с.
5. Baker T. Emplacement depth and carbon dioxide-rich fluid inclusions in intrusion-related gold deposits // Economic Geology. – 2002. – V. 97. – P. 1111–1117.
6. Baker T., Pollard P. J., Mustard R., Mark G., Graham J. L. A comparison of granite-related tin, tungsten, and gold-bismuth deposits: implications for exploration // SEG Newsl. – 2005. – № 61. – С. 5–17.
7. Hart C. J. R. Reduced intrusion-related gold systems // Mineral deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division. – 2007. – Spec. Publ. No 5. – P. 95–112.
8. Hart C. J. R. Classifying, distinguishing and exploring for intrusion-related gold systems / The Gangue, Geological Association of Canada // Mineral Deposits Division. – 2005. – № 87 (1). – P. 4–9.
9. Hedenquist J. W., Lowenstern J. B. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits // Nature. – 1994. – № 370. – P. 519–527.
10. Lang J., Baker T. Intrusion-related gold systems: the present level of understanding // Mineralium Deposita. – 2001. – № 36 (6). – P. 477–489.
11. Sillitoe R. H. Intrusion-related gold deposits // Gold metallogeny and exploration / ed. R. P. Foster. – Blackie, Glasgow, 1991. – P. 165–209.
12. Thompson J. F. H., Sillitoe R. H., Baker T., Lang J. R., Mortensen J. K. Intrusion related gold deposits associated with tungsten-tin provinces // Mineralium Deposita. – 1999. – № 34. – P. 323–334.
13. Vikent'eva O. V., Prokofiev V. Yu., Gamyanin G. N., Goryachev N. A., Bortnikov N. S. Intrusion-related gold-bismuth deposits of North-East Russia: PTX parameters and sources of hydrothermal fluids // Ore Geology Reviews. – 2018. – V. 102. – P. 240–259.

References

1. Volkov A. V., Sidorov A. A. Prognostno-poiskovaya model' mestorozhdenii zolota, svyazannykh c intruzivami granitoidov arkticheskoi zony Rossii [Forecast-exploration model of gold deposits associated with granitoid intrusions of the Russian Arctic zone], *Arktika: ekologiya i ekonomika* [Arctic: Ecology and Economy], 2018, No 3 (31), pp. 84–99. (In Russ.).
2. Volkov A. V., Savva N. E., Sidorov A. A., Prokofiev V. Yu., Goryachev N. A., Voznesensky S. D., Al'shevsky A. V., Chernova A. D. Zolotorudnoe mestorozhdenie Shkol'noe (Severo-Vostok Rossii)



- [Shkol'noe gold deposit, the Russian Northeast], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of Ore Deposits], 2011, V. 53, No 1, pp. 3–31. (In Russ.).
3. Sokolov S. D., Tuchkova M. I. Ganelin A. V., Bondarenko G. E., Leier P. Tektonika Yuzhno-Anyuiskoi sutury (Severo-Vostok Azii) [Tectonics of the South Anyui suture, Northeastern Asia], *Geotektonika* [Geotectonics], 2015, No 1, pp. 5–30. (In Russ.).
 4. Solovov A. P. Geokhimicheskie metody poiskov mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh [Geochemical methods of prospecting for mineral deposits], Moscow, Nedra Publ., 1985, 294 p.
 5. Baker T. Emplacement depth and carbon dioxide-rich fluid inclusions in intrusion-related gold deposits // *Economic Geology*. – 2002. – V. 97. – P. 1111–1117.
 6. Baker T., Pollard P. J., Mustard R., Mark G., Graham J. L. A comparison of granite-related tin, tungsten, and gold-bismuth deposits: implications for exploration, *SEG Newsl*, 2005, No 61, pp. 5–17.
 7. Hart C. J. R. Reduced intrusion-related gold systems, Mineral deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, *Mineral Deposits Division*, 2007, Spec. Publ., No 5, pp. 95–112.
 8. Hart C. R. J. Classifying, distinguishing and exploring for intrusion-related gold systems, The Gangue, Geological Association of Canada, *Mineral Deposits Division*, 2005, No 87 (1), pp. 4–9.
 9. Hedenquist J. W., Lowenstern J. B. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits, *Nature*, 1994, No 370, pp. 519–527.
 10. Lang J., Baker T. Intrusion-related gold systems: the present level of understanding, *Mineralium Deposita*, 2001, No 36 (6), pp. 477–489.
 11. Sillitoe R. H. Intrusion-related gold deposits, Gold metallogeny and exploration, ed. R. P. Foster, Blackie, Glasgow, 1991, pp. 165–209.
 12. Thompson J. F. H., Sillitoe R. H., Baker T., Lang J. R., Mortensen J. K. Intrusion related gold deposits associated with tungsten-tin provinces, *Mineralium Deposita*, 1999, No 34, pp. 323–334.
 13. Vikent'eva O. V., Prokofiev V. Yu., Gamyagin G. N., Goryachev N. A., Bortnikov N. S. Intrusion-related gold-bismuth deposits of North-East Russia: PTX parameters and sources of hydrothermal fluids, *Ore Geology Reviews*, 2018, V. 102, pp. 240–259.

Николаев Юрий Николаевич (nikolaev@geol.msu.ru)

кандидат геол.-минерал. наук, доцент ¹

Балыкова Ирина Владимировна

аспирант ¹

Кузин Сергей Владимирович

директор по минеральным ресурсам ²

Бакшеев Иван Андреевич

кандидат геол.-минерал. наук, доцент ¹

Аплеталин Андрей Владимирович

старший преподаватель ¹

Прокофьев Всеволод Юрьевич

доктор геол.-минерал. наук, профессор, заведующий лабораторией геохимии ³

Власов Евгений Алексеевич

кандидат геол.-минерал. наук, доцент ¹

Калько Ильядар Анатольевич

кандидат геол.-минерал. наук, старший научный сотрудник ¹

Косятов Валерий Валентинович

руководитель проектов ГРР ²

¹ МГУ, г. Москва, Россия

² Холдинговая компания «СТЕНМИКС ХОЛДИНГ ЛИМИТЕД», г. Москва, Россия

³ ИГЕМ, г. Москва, Россия