

УДК 550.84

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2025-64-4-71-83

## ПОИСКОВАЯ ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ, СВЯЗАННОГО С ИНТРУЗИЯМИ

Юрий Николаевич Николаев<sup>1</sup>✉, Ирина Владимировна Балыкова<sup>2</sup>,  
Сергей Владимирович Кузин<sup>3</sup>, Иван Андреевич Бакшеев<sup>4</sup>,  
Ильдар Анатольевич Калько<sup>5</sup>, Андрей Владимирович Аплеталин<sup>6</sup>,  
Валерий Валентинович Косятов<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; nikolaev@geol.msu.ru ✉

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; balykovaiv@my.msu.ru

<sup>3</sup> Холдинговая компания «Стенмикс Холдинг Лимитед»; Sergey.Kuzin@russdragmet.ru

<sup>4</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; iab\_68@mail.ru

<sup>5</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; ildarkalko@ya.ru

<sup>6</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; aplet@geol.msu.ru

<sup>7</sup> Холдинговая компания «Стенмикс Холдинг Лимитед»; Valeriy.Kosiatov@russdragmet.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются условия формирования, закономерности размещения, особенности состава, зональность, поисковые признаки и критерии золотого оруденения, связанного с гранитоидами крупного магматогенного поднятия (Западная Чукотка).

**Ключевые слова:** связанные с интрузиями системы золота, поисковая модель, поисковые признаки, геолого-геохимические критерии

**Для цитирования:** Николаев Ю.Н., Балыкова И.В., Кузин С.В., Бакшеев И.А., Калько И.А., Аплеталин А.В., Косятов В.В. Поисковая геолого-геохимическая модель золотого оруденения, связанного с интрузиями // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2025. № 4. С. 71–83.

## PROSPECTING GEOLOGICAL-GEOCHEMICAL MODEL OF GOLD MINERALIZATION ASSOCIATED WITH INTRUSIONS

Yuriy N. Nikolaev<sup>1</sup>✉, Irina V. Balykova<sup>2</sup>, Sergey V. Kuzin<sup>3</sup>, Ivan A. Baksheev<sup>4</sup>,  
Ildar A. Kalko<sup>5</sup>, Andrey V. Apletalin<sup>6</sup>, Valeriy V. Kosyatov<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; nikolaev@geol.msu.ru ✉

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; balykovaiv@my.msu.ru

<sup>3</sup> Holding company "Stenmix Holding Limited"; Sergey.Kuzin@russdragmet.ru

<sup>4</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; iab\_68@mail.ru

<sup>5</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; ildarkalko@ya.ru

<sup>6</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; aplet@geol.msu.ru

<sup>7</sup> Holding company "Stenmix Holding Limited"; Sergey.Kuzin@russdragmet.ru

**Abstract:** The article discusses the conditions of formation, patterns of placement, compositional features, zoning, prospecting features and criteria for gold mineralization associated with granitoids of a large igneous uplift (Western Chukotka).

**Keywords:** gold systems associated with intrusions, prospecting model, prospecting geological features, geological-geochemical criteria

**For citation:** Nikolaev Yu.N., Balykova I.V., Kuzin S.V., Baksheev I.A., Kalko I.A., Apletalin A.V., Kosyatov V.V. Prospecting geological-geochemical model of gold mineralization associated with intrusions. *Moscow University Geol. Bull.* 2025; 4: 71–83. (In Russ.).

**Введение.** Месторождения золота, связанные с гранитоидными интрузиями, давно известны в разных регионах мира. Сравнительно недавно среди них был выделен класс месторождений, получивший название *intrusion-related gold systems (IRGS)* в англоязычной литературе [Lang, et al., 2000] и *золото-редкометальной формации (ЗРМ)* в русскоязычной [Волков и др., 2018]. Эталоном геолого-поисковой модели таких объектов являются месторождения рудного пояса Тинтин (Аляска, Канада). На терри-

тории России данный тип месторождений изучен меньше, к золотым системам связанных с интрузиями относят месторождения Школьное и Бутарное (Магаданская область) [Волков и др., 2011, 2013], а также месторождение Кекура.

Системы золота, связанные с интрузиями, представляют собой зональные магматически-гидротермальные месторождения, которые образовались вокруг куполообразных выступов интрузий непорфировых гранитов ильменитовой серии за

счет выделения  $H_2O-CO_2$  [Hart, et al., 2002; Lang, et al., 2000]. Эти месторождения характеризуются минерализацией, пространственно связанной с восстановленными магматическими интрузиями с метаглиноземистым, гранитным или гранодиоритовым составом корового происхождения [Nguimatsia, et al., 2017].

Системы золота, связанные с интрузиями, могут содержать большие запасы золота, а также значительные количества серебра, висмута, теллура, вольфрама, олова, свинца, меди и сурьмы. Золотая минерализация таких систем характеризуется широким диапазоном содержаний, при этом средние значения не превышают 0,8–1,5 г/т на весь объем рудной массы.

При всех достоинствах поисковая модель систем золота, связанных с интрузиями западных авторов, не содержит ряда важных, прежде всего геохимических характеристик и параметров промышленно-значимых объектов этого типа и количественных критериев оценки уровня эрозионного среза на основе исследования геохимической зональности.

Одной из перспективных территорий на выявление новых систем золота, связанных с интрузиями в РФ, является Западная Чукотка, где уже разведано и введено в эксплуатацию золоторудное месторождение Кекура (рис. 1). В районе месторождения в последние годы проводились интенсивные поисковые работы по выявлению новых золоторудных объектов. Полученные результаты исследований расширяют представления о составе, формировании и размещении золотого оруденения и позволяют определить критерии оценки перспективности проявлений данного типа на ранних стадиях геологоразведочных работ.

**Фактический материал и методы исследования.** Фактическим материалом для выявления закономерностей размещения золотого оруденения, особенностей его вещественного состава и определения критериев оценки его перспективности послужили результаты анализов более 20 тыс. литохимических и 1,5 тыс. штучных проб. Анализ литохимических проб на 22 химических элемента проведен в лаборатории Александровской опытно-методической экспедиции (АОМЭ) (АО «Центральное ПГО»). Анализ штучных проб на золото (пробирный с ААС окончанием) и 35 химических элементов (методом ICP-AES) выполнялся в лаборатории ООО «Стюарт Геокемикл энд Эссей». Обработка геолого-геохимических данных, проведенная авторами, включала оценку параметров местного геохимического фона и выделение аномальных геохимических полей с учетом геолого-ландшафтных особенностей территории.

Построение моноэлементных и полиэлементных геохимических карт производилось с использованием программ автоматического построения цифровых поверхностей (геостатистический модуль ArcGis) с ручной корректировкой.

Классификации аномальных геохимических объектов на основе первичных данных и производных параметров и характеристик и определение их связи с геологическими, минерагеническими, ландшафтными условиями проводилась на основе результатов многомерной статистики: корреляционного и факторного анализа с использованием программ Gold-Геохимик, Statistica и др.

Для оценки перспективности выявляемых объектов производились расчеты площадных продуктивностей вторичных ореолов рассеяния.

Исследование вертикальной геохимической зональности выполнено по программе Нью-2, разработанной на кафедре геохимии геологического факультета МГУ В.А. Николаевым [Соловов, 1985].

Изучение прозрачно-полированных шлифов и аншлифов в проходящем и отраженном свете проводилось на поляризационном оптическом микроскопе «AxioPlan» фирмы «Zeiss» с цифровой фотокамерой. Исследование минеральных ассоциаций метасоматитов и руд выполнено с помощью электронного микроскопа «Jeol» JSM-6480LV и волнового дифракционного спектрометра «IncaWave-500» (аналитики Н.Н. Кошлякова, Ф.Д. Сандалов, МГУ).

Микротермометрическое изучение индивидуальных включений проводилось в Институте геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН) с использованием измерительного комплекса, состоящего из камеры THMSG 600 фирмы «Linkam» (Англия), установленной на микроскопе «Olympus BX51» (Япония), видеокамеры и управляющего компьютера.

**Геологическая характеристика и закономерности размещения золотого оруденения.** Стадухинский рудно-россыпной район выделяют в границах развития интрузивного магматизма и широко проявленной россыпной золотоносности. Основным этапом интрузивного магматизма, с которым связана активная гидротермальная деятельность, является конец раннего мела. В интервале 113–100 млн лет (U-Pb датирование) на территории района в результате внедрения гранитоидов сформировалась 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 проявлений золота.

В развитии локальных рудно-магматических систем (РМС) выделены этапы, связанные с разными фазами внедрения гранитоидов и формирования 3-х основных типов золотого оруденения [Николаев и др., 2023].

В наиболее ранний этап из рудоносного флюида при  $T=340\text{--}370^\circ\text{C}$  с соленостью 1,4–6,4 мас. % NaCl экв., связанного с восстановленными магмами, на глубине 2–3 км сформировалось типичное для

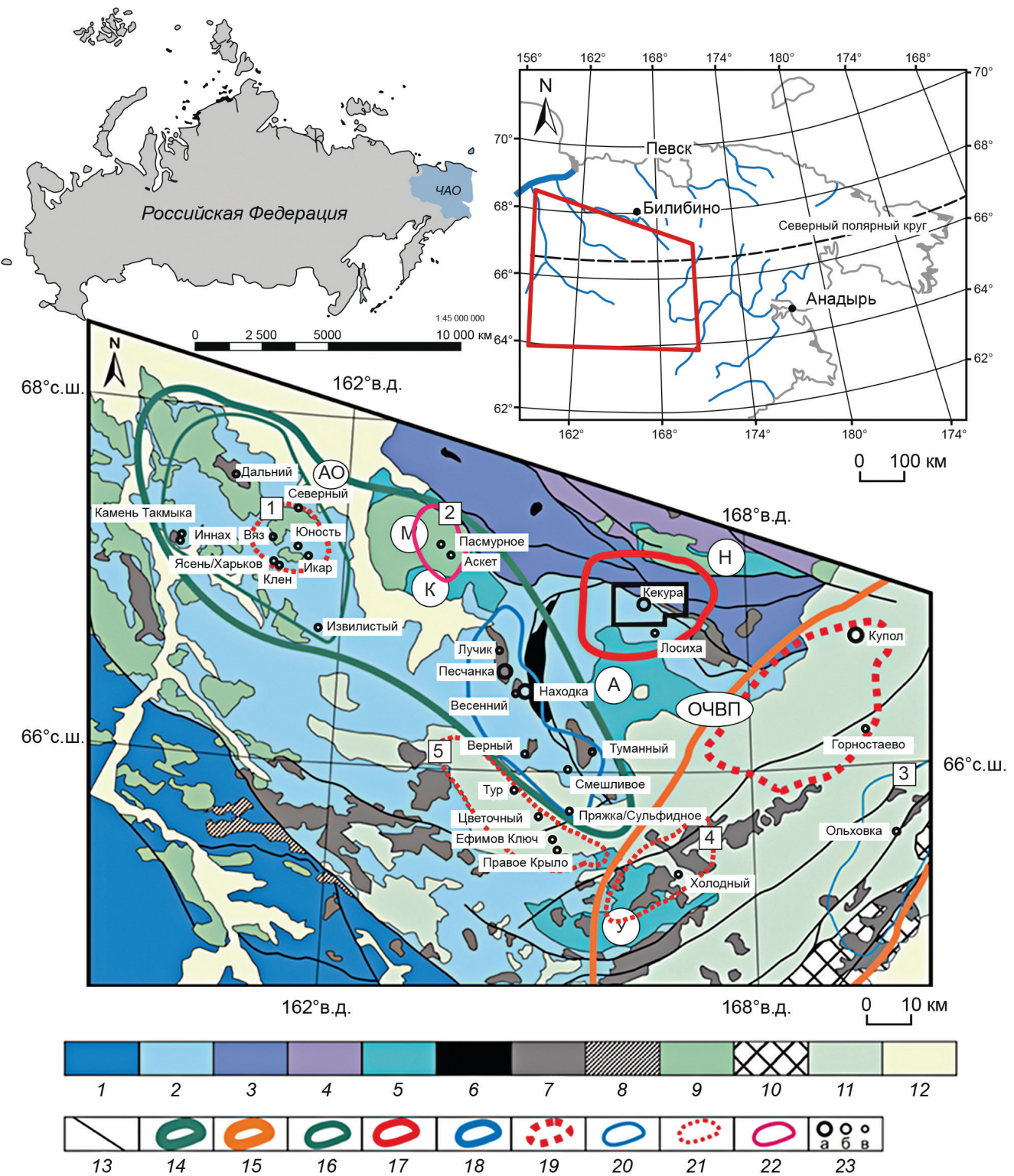


Рис. 1. Схема геологического строения Западной Чукотки. На врезке контур района работ. Палеозой-мезозойские комплексы основных структурно-тектонических зон Верхояно-Чукотской складчатой системы: 1 — Березовской, 2 — Олойской, 3 — Южно-Ануйской, 4 — Ануйской, 5 — позднеюрско-раннемеловые осадочные комплексы наложенных впадин (Н — Нутесынской, К — Камешковской, А — Айнахургенской, У — Умкувеевской), 6 — массивы альпинотипных ультрабазитов, 7 — массивы гранитоидов и габброидов, 8 — тела талалахского щелочного комплекса, 9 — вулканогенные комплексы наложенных впадин мезозойид (М — Мангазейской) и вулканогенных поясов: 10 — Удско-Мургаляского (титон-апт?), 11 — Охотско-Чукотского (альб-сантон), 12 — четвертичные отложения, 13 — разрывные нарушения; рудные зоны: 14 — Алазей-Олойская (Cu), 15 — Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (Au-Ag); рудные районы: 16 — Тополево-Хетачанский (Cu-Au), 17 — Стадухинский (Au), 18 — Баимский (Cu), 19 — Купольский (Au-Ag); рудные узлы: 20 — CuMoAu (3 — Ольховский), 21 — AuAg (1 — Верхне-Кричальский, 4 — Гангутский, 5 — Нембондинский), 22 — AuAgCu (2 — Мангазейский); 23 — месторождения: а — крупные, б — средние, в — мелкие и рудопроявления



Таблица 1

Состав и генетические характеристики основных типов золотого оруденения в Стадухинском рудно-россыпном районе

Тип/основные характеристики	Золото-редкометалльный	Золото-кварцевый безрезитовый	Золото-серебряный
Состав жильного выполнения	Кварц, сульфиды	Кварц, серит, карбонат	Кварц
Рудные минералы	Арсенопирит, пирит, молибденит, шеелит, висмутин, самородный висмут, теллуриды и сульфотеллуриды висмута, самородное золото	Арсенопирит, шеелит, галенит, сфалерит, блеклая руда, самородное золото	Арсенопирит, пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, блеклые руды, сурьмяные и свинцово-сурьмяные сульфосили серебра, акантит, самородное золото
Рудная ассоциация элементов	Au, As, W, Bi, Mo, Sn	Au, As, W	Au, Ag, As, Pb, Zn, Sb
Средняя пробность самородного золота	900‰	840‰	680‰
Глубина формирования	2–3 км	1,5 км	<1,5 км
Температура рудообразования, °C	340–370	230–270	270–300
Соленость флюида	1,4–6,4; 38,5–43 мас. % NaCl экв	3,1–5,9 мас. % NaCl экв.	4–14 мас. % NaCl экв.

систем золота, связанных с интрузиями золото-редкометалльное оруденение. В кварцевых жилах и прожилках содержится до 10 % сульфидов, главным из которых является арсенопирит, а также шеелит, минералы висмута и высокопробное самородное золото (табл. 1). Золото распределено неравномерно, его содержания в рудах варьирует от первых граммов на тонну до сотен г/т.

В более поздний этап на глубинах, сопоставимых с выделяемой авторами [Baker, et al., 2002] «эпитермальной зоной», из рудоносного флюида с соленостью 3,1–5,9 мас. % NaCl экв., связанного с второй фазой внедрения гранитоидов, при  $T = 230\text{--}270\text{ }^{\circ}\text{C}$  сформировалось богатое золото-кварцевое оруденение в безрезитах. Оно характеризуется низкой сульфидностью руд (1–3 %), в которых продолжает доминировать арсенопирит при отсутствии минералов висмута (табл. 1). Самородное золото средней пробности характеризуется ураганными содержаниями в бананцах.

В заключительный этап гидротермальной деятельности, вероятно связанный с внедрением поздних даек, из углекисло-водных растворов с соленостью 4–14 мас. % NaCl экв. при  $T = 270\text{--}300\text{ }^{\circ}\text{C}$  формировалась золото-серебряная минерализация существенно халькофильного состава, представленная простыми сульфидами, блеклыми рудами, Sb и Pb-Sb сульфосолями серебра, акантитом и низкопробным самородным золотом, имеющим относительно равномерное распределение (табл. 1).

Локальным центром рудно-магматической системы, в котором сконцентрированы основные разведанные запасы золота, является массив Кекура с одноименным месторождением, образовавшимся в месте пересечения мощных тектонических зон северо-западного и северо-восточного направлений (рис. 2).

Ядерная часть рудно-магматической системы с месторождением Кекура и однотипными проявлениями ближнего круга сопряжена с выработанным блоком вмещающих вулканогенно-осадочных пород, по которому заложены долины водотоков с крупнейшими россыпями Стадухинского района. Вероятно, источником россыпей послужили уничтоженные к настоящему времени эрозией жильно-прожилковые проявления золото-кварцевой формации в терригенных породах рамы, фрагменты которых сохранились в экзоконтактах массива Кекура.

С периферийными гранитоидными массивами магматогенного поднятия связаны проявления золото-редкометалльного (теллуридно-висмутового) оруденения, а с роями поздних даек северо-восточного направления — золото-серебряные проявления в терригенных породах рамы. Продуктивность россыпей и проявлений коренного золота в периферийной частях магматогенного поднятия оценивалась как невысокая, однако результаты поисковых работ последних лет позволяют пересмотреть эти представления.

**Поисковые геолого-геохимические критерии выявления, типизации и оценки перспективности золотого оруденения.** При поисках золотого оруденения в системах золота, связанных с интрузиями ведущими методами выявления и оценки перспективности проявлений являются геохимические съемки и прямые геологические наблюдения в поисковых маршрутах. Предпосылками к этому являются благоприятные условия для формирования вторичных остаточных ореолов рассеяния рудных элементов и хорошая обнаженность в характерном для районов магматогенных поднятий альпинотипном рельефе.

Общей характеристикой месторождений и проявлений золотого оруденения являются высокоинтенсивные вторичные ореолы Au и As в рыхлых



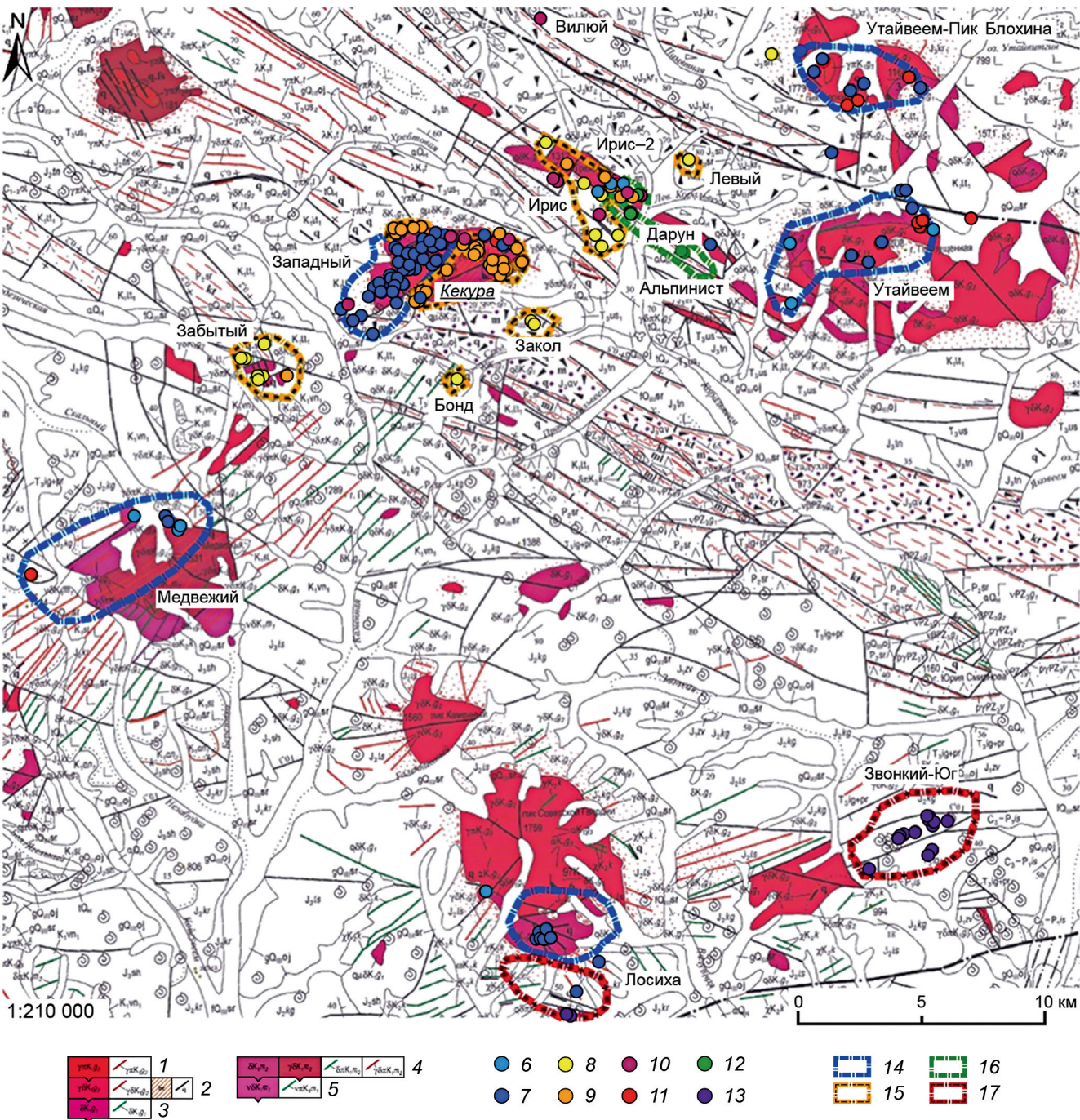


Рис. 2. Геологическое строение и пространственное размещение основных типов оруденения в Стадухинском рудно-россыпном районе. Гвардейский комплекс диорит-гранодиорит-гранитовый: 1 — третья фаза (гранит-порфиры  $Y_{\text{л}}$ ), дайки гранит-порфиров, аплитов (а); 2 — вторая фаза (гранодиориты, гранодиорит-порфиры  $Y_{\text{дл}}$ ), дайки гранодиоритов, гранодиорит порфиров  $Y_{\text{дл}}$ ; березиты; жилы и жильно-прожилковые зоны кварцевого состава; 3 — первая фаза (диориты, кварцевые диориты  $q_{\text{д}}$ , кварцевые монцодиориты  $q_{\text{мд}}$ ), дайки диоритов, кварцевых диоритов ( $q_{\text{д}}$ ). Медвежинский комплекс габбро-диорит-гранодиоритовый: 4 — вторая фаза (диориты, диорит-порфириты  $дл$ , кварцевые диорит-порфириты  $q_{\text{дл}}$ , тоналиты), дайки диорит-порфиритов, кварцевых диорит-порфиритов  $q_{\text{дл}}$ , гранодиорит-порфиров; 5 — первая фаза (габбро-диориты  $vd$ ); дайки габбро-порфиритов. Типы минерализации: 6 — кварц-молибденитовый, 7 — золото-редкометалльный, 8 — золотокварцевый, 9 — золотокварцевый (березитовый), 10 — кварц-антимонитовый, 11 — серебро-полиметаллический, 12 — полиметаллический, 13 — золото-серебряный. Области минерализации: 14 — золото-редкометалльная, 15 — золотокварцевая (березитовая), 16 — полиметаллическая, 17 — золото-серебряная

образованиях, формирующиеся за счет коренных источников. Структура аномальных полей главного и сопутствующих рудных элементов в рыхлом элювио-делувии наследует морфологию метасоматических образований и жильно-прожилковых зон,

отражая насыщенность последними интрузивных массивов, к которым они приурочены.

В результате длительного многостадийного формирования рудно-магматической системы массива Кекура практически вся масса интрузивных пород



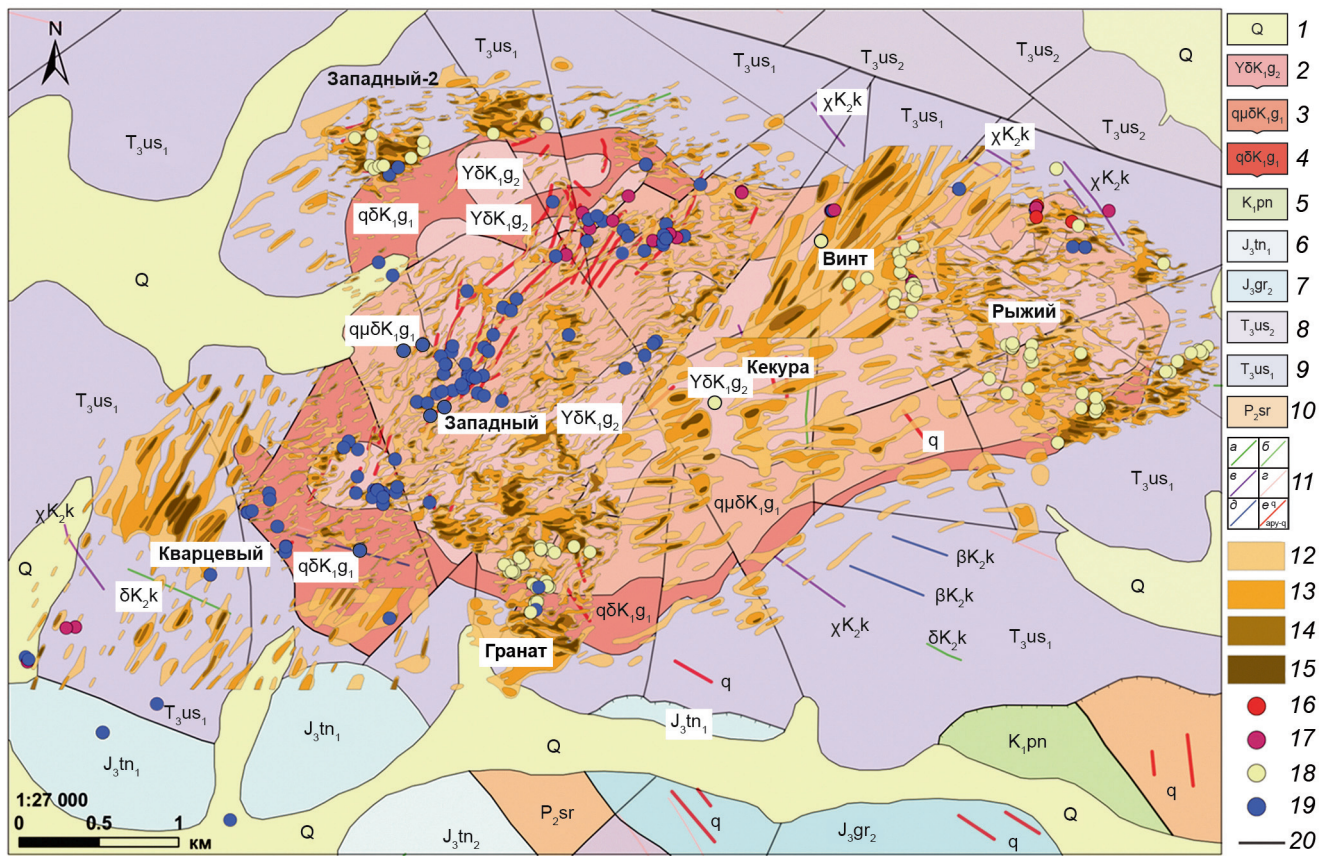


Рис. 3. Геологическое строение и вторичные ореолы золота месторождения Кекура: 1 — неразделенные четвертичные отложения; гвардейский комплекс диорит-гранодиорит-гранитовый; 2 — вторая фаза (гранодиориты), 3 — первая фаза (кварцевые монцдиориты), 4 — первая фаза (кварцевые диориты); 5 — нижнемеловые осадочные образования (пеньельская толща); верхнеюрские образования: 6 — теньельвеевская осадочная толща, 7 — гремучинская свита, туфы среднего состава; верхнетриасовые осадочные образования устьевской толщи (флишоидное переслаивание алевролитов, песчаников, аргиллитов); 8 — верхняя подтолща, 9 — нижняя подтолща; 10 — верхнепалеозойские туфо-терригенные образования (сухорусленская толща); 11 — дайки: а — диорит-порфиров, б — диоритов, в — лампрофиров, г — гранодиорит-порфиров, д — базальтов, е — жилы и жильно-прожилковые зоны арсенопирит-кварцевого и кварцевого составов; содержания Au во вторичных ореолах (в г/т): 12 — 0,03–0,1, 13 — 0,1–0,3, 14 — 0,3–1, 15 — >1; типы минерализации: 16 — серебро-полиметаллический, 17 — кварц-антимонитовый, 18 — золото-кварцевый березитовый, 19 — золото-редкометалльный, 20 — тектонические нарушения

Таблица 2

Сравнительная характеристика параметров вторичных ореолов золота проявлений Стадухинского магматогенного поднятия

Массив	Количество проб		Доля аномальных проб в разных градациях содержаний золота, в %			C <sub>ср</sub> , г/т	P, м <sup>2</sup> %
	всего	аномальных (C <sub>Au</sub> >0,01 г/т)	0,01–0,1 г/т	0,1–1 г/т	≥ 1 г/т		
Кекура	21445	12923	46	18	2,6	0,05	108,5
Гвардейский	858	304	27	9	2,2	0,06	58,5
Медвежкий	1562	295	15	5	0,3	0,04	27,1
Утайвеевский	2453	90	3	0,8	0,1	0,03	8,4
Лосенок	1420	256	11	9	2	0,09	11,3
Звонкое	523	100	17	4,4	0,4	0,04	4,5

была подвержена метасоматическим изменениям с многочисленными проявлениями рудной минерализации. Площадь геохимических ореолов золота в рыхлых образованиях на уровне современного среза составляет 76 % от площади массива.

Аномальное поле золота в рыхлых образованиях имеет сложное строение (рис. 3). «Блочная» форма локальных аномалий в восточной части массива связана с выходами на поверхность мощных зон полнопроявленных березитов с кварцевыми жилами

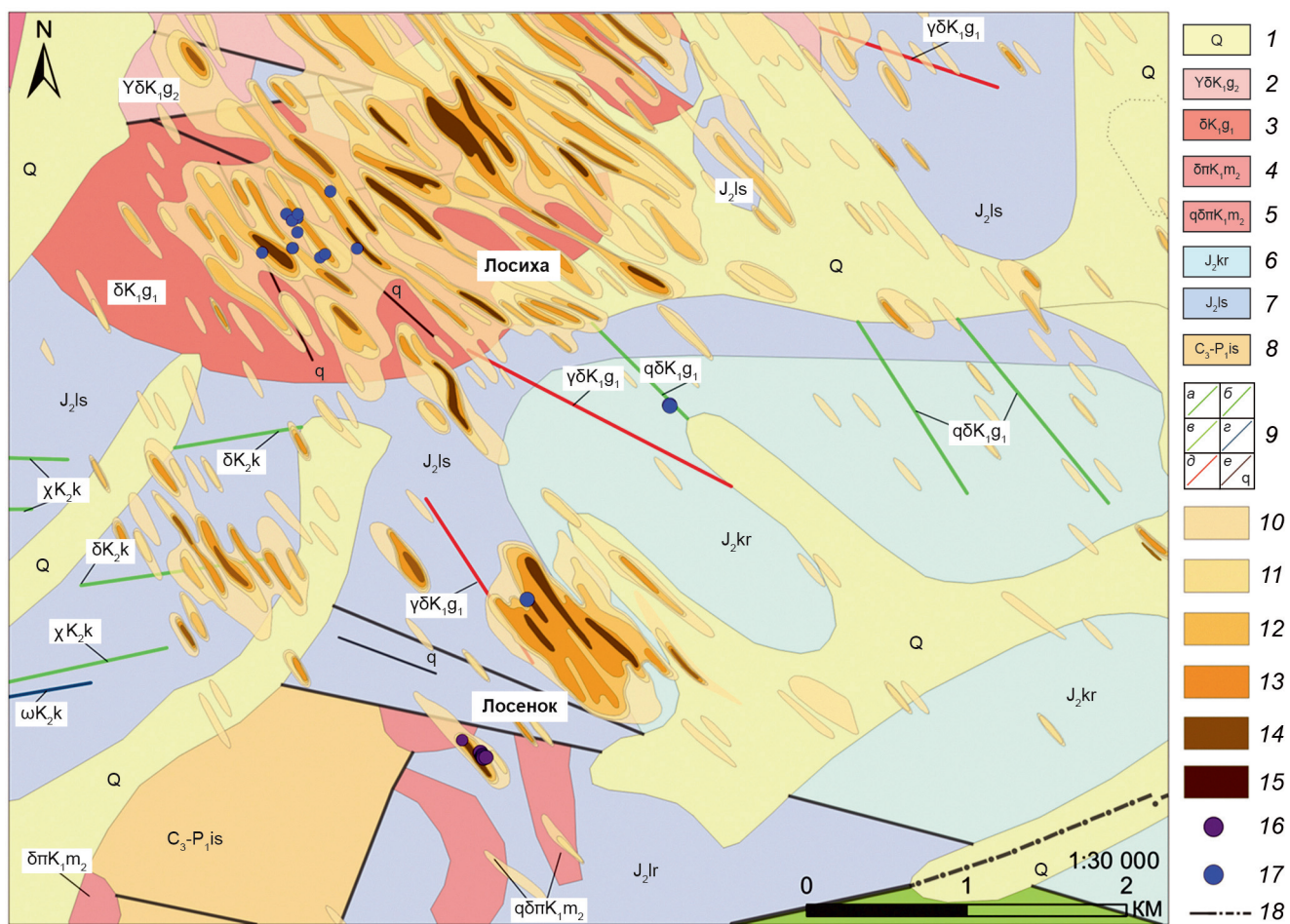


Рис. 4. Геологическое строение и вторичные ореолы золота проявления Лосиха и участка детальных работ Лосёнок: 1 — четвертичные аллювиальные, водно-ледниковые и ледниковые отложения неразделенные; гвардейский диорит-гранодиорит-гранитовый комплекс: 2 — поздняя фаза, гранодиориты  $\gamma\delta K_1 g_2$ , 3 — ранняя фаза, диориты  $\delta K_1 g_1$ ; медвежинский габбро-диорит-гранодиоритовый комплекс: 4 — поздняя фаза, диорит-порфиры  $\delta\pi K_1 m_2$ , 5 — ранняя фаза, кварцевые диорит-порфиры  $q\delta\pi K_1 m_1$ ; туфо-терригенные образования средней юры: 6 — каркасинская свита, 7 — лосихинская свита; 8 — верхнепалеозойские туфо-терригенные образования (истоковская свита); 9 — дайки позднемелового возраста: а — диоритов ( $\delta$ ), б — лампрофиров ( $\chi$ ), в — кварцевых диоритов ( $q\delta$ ), г — верлитов ( $\omega$ ), д — гранодиоритов ( $\gamma\delta$ ), е — кварцевые жилы; типы рудной минерализации в жильно-прожилковых образованиях: 16 — золото-серебряный, 17 — золото-редкометалльный; 18 — тектонические нарушения. Содержания Au во вторичных ореолах рассеяния (в г/т): 10 — 0,004–0,01, 11 — 0,01–0,03, 12 — 0,03–0,1, 13 — 0,1–0,3, 14 — 0,3–1, 15 — >1

замещения, содержащими промышленные запасы золота. Прерывисто-цепочечная морфология вторичных ореолов золота более характерна для жильно-прожилкового типа с золото-редкометалльной минерализацией западной части массива.

Второстепенные элементы рудной минерализации (вольфрам, медь, свинец, сурьма, серебро) образуют в структуре аномального геохимического поля слабоинтенсивные ореолы на значительно меньшей площади.

В рыхлых образованиях над жильно-прожилковыми зонами в терригенных породах рамы формируются обогащенные вторичные ореолы за счет быстрого высвобождения золота из кварцевой матрицы, что приводит к его «преувеличенной» доли в составе тонкой фракции, отбираемой в геохимические пробы.

Периферийные гранитоидные массивы Стадухинского магматогенного поднятия характеризуются доминирующим развитием золото-редкометал-

ного оруденения, пространственно и генетически связанного с ранней (монцит-диорит-гранодиоритовой) фазой гвардейского интрузивного комплекса. Потенциальны рудные тела представлены зонами сближенных тонких параллельных жил и прожилков с маломощными березитовыми оторочками. Жилы и прожилки содержат, как правило, обильную вкрапленность арсенопирита, а также более редкие сульфиды, теллуриды и самородное золото.

По своему составу и морфологии вторичные ореолы золото-редкометалльного оруденения в периферийных гранитоидных массивах сходны с ореолами западной части рудного поля Кекура. В составе аномальных зон в разных сочетаниях в качестве спутников золота присутствуют As, W, Bi, Mo, Sn, Cu, Pb, Ag, Sb.

Высокая интенсивность и «блочный» характер строения аномалий золота выявлены только в Гвардейском массиве, где золото-редкометалльное оруденение имеет ряд индивидуальных особенностей вещественного состава, к числу которых относится



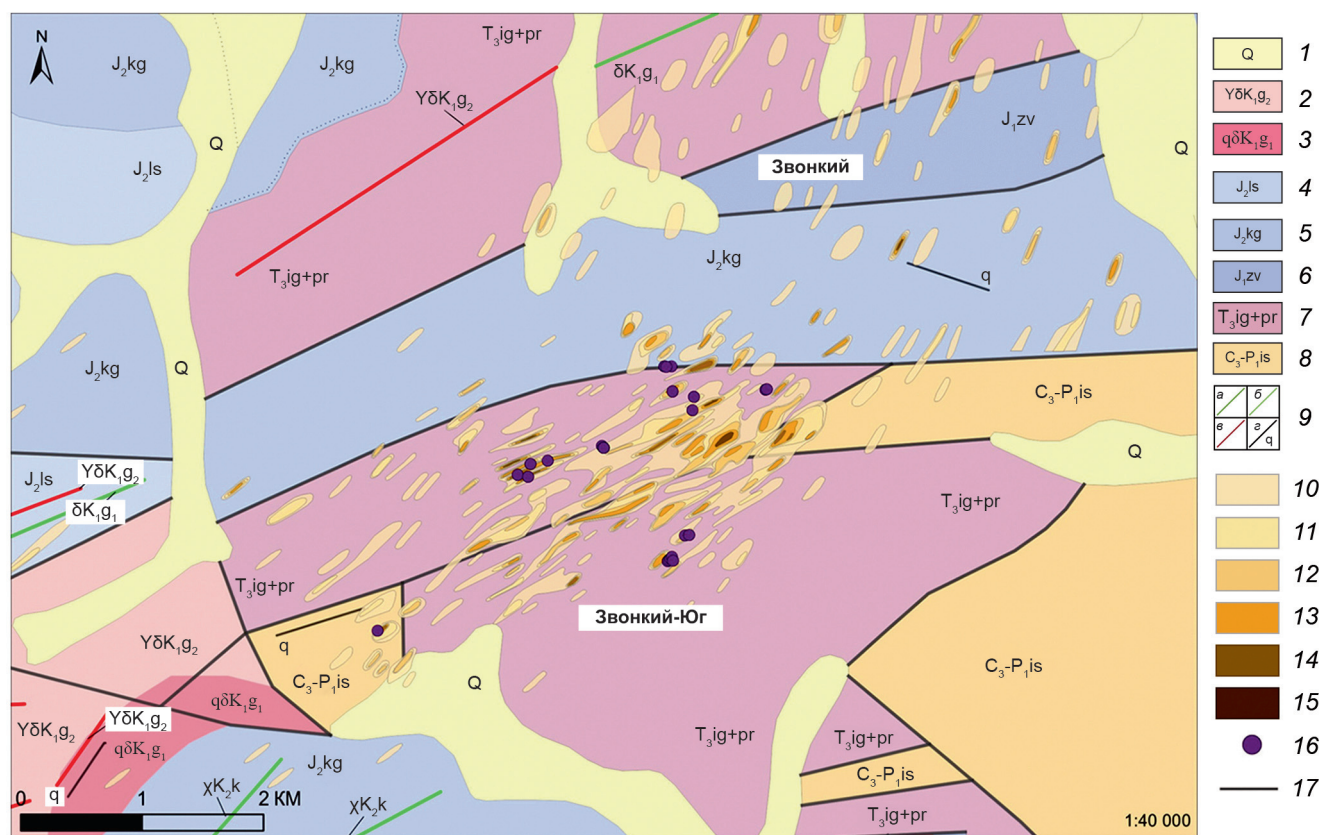


Рис. 5. Геологическое строение и вторичные ореолы золота проявления Звонкое: 1 — неразделенные четвертичные отложения; интрузивные образования гвардейского диорит-гранодиорит-гранитового комплекса: 2 — вторая фаза, 3 — первая фаза; стратифицированные туфо-терригенные образования мезозоя — верхнего палеозоя: 4 — лосихинская свита, 5 — койгвеевская свита, 6 — звонкинская свита, 7 — игрековская и приреченская толщи объединенные, 8 — истоковская свита; 9 — дайки: а — диоритов, б — лампрофиров, в — гранодиоритов, г — кварцевые жилы. Содержания Au во вторичных ореолах (в г/т): 10 — 0,004–0,01, 11 — 0,01–0,03, 12 — 0,03–0,1, 13 — 0,1–0,3, 14 — 0,3–1, 15 — >1; 16 — пункты Au-Ag минерализации; 17 — тектонические нарушения

отсутствие арсенопирита и других сульфидов. Геохимическая ассоциация в рудах (Au-Te-Bi) определяет крайне бедный состав вторичных ореолов рассеяния, в котором практическое поисковое значение имеет только золото (рис. 4).

Жильно-прожилковая золоторудная минерализация других периферийных массивов не распространяется на всю их площадь. Ей присущи зоны прерывисто-цепочечных вторичных ореолов золота, приуроченных к эндо- и экзоконтактам массивов (Медвежкий), либо локальные аномалии, образующиеся за счет разрозненных и разноориентированных кварцевых жил (Утайвеевский).

Золото-серебряное оруденение распространено на периферии магматогенного поднятия в породах осадочной рамы. Приурочено к системам разрывных нарушений, вмещающих серии даек, и представлено небольшими по протяженности и мощности кварцевыми жилами. Выделяется по среднеинтенсивным вторичным ореолам Au, Ag, As, Pb, Cu и Zn, образующим прерывистые линейные аномальные зоны (рис. 5).

По своим параметрам вторичные ореолы золота месторождений и проявлений в системе золота, связанные с интрузиями Стадухинского магма-

тогенного поднятия (табл. 2) не отличаются от параметров ореолов орогенных золото-кварцевых месторождений жильного типа (содержания Au десятки г/т — первые г/т, площадные продуктивности — 5–100 м<sup>2</sup>%).

При соотношениях запасов крупных, средних и мелких месторождений согласно десятичной классификации Qкр.:Qср.:Qмелк. = 100:10:1 [Красников, 1965] и модельных соотношениях между их площадными продуктивностями во вторичных ореолах Rкр.:Rср.:Rмелк. = 21,5:4,64:1 [Соловов, 1985] при нижней границе P = 5 м<sup>2</sup>%, соответствующей мелкому объекту, месторождения средней крупности будут характеризоваться продуктивностями в интервале 25–100 м<sup>2</sup>%, крупные — >100 м<sup>2</sup>%.

В соответствии с такими модельными соотношениями площадные продуктивности вторичных ореолов золота в массиве Кекура отвечают границе среднего-крупного, в Гвардейском массиве — мелкого-среднего, в Утайвеевском и Медвежком — мелкого масштабов оруденения. Мелкий масштаб оруденения прогнозируется также для золото-серебряных проявлений Лосенок и Звонкое.

Достоверность прогноза по геохимическим данным с учетом модельных расчетов подтверждается

результатами проведенных геологоразведочных работ в Стадухинском рудном районе.

Для оценки перспективности слабо изученных проявлений золотого оруденения в системах золота, связанных с интрузиями, выделяемых по результатам поисковых геохимических работ, нами рекомендуется использовать ряд дополнительных критериев.

К ним относится характер распределения золота по классам содержаний во вторичных ореолах, указывающий на возможное наличие богатых (бонанцевых) руд в коренных источниках (табл. 2). Практика показывает, что в условиях интенсивно расчлененного рельефа индикатором богатого оруденения являются вторичные ореолы с суммарной долей содержаний золота в классах 0,1–1 г/т и >1 г/т, составляющей более 20 % от общего числа аномальных проб (массив Кекура). Признаки наличия такого оруденения просматриваются в Гвардейском массиве и на участке Лосенок, где доля проб с богатыми содержаниями золота во вторичных ореолах превышает 10 %. Этим показателям существенно уступает доля проб с высокими содержаниями золота в ореолах Медвежкинских и Утайвеевских массивов (менее 5 %), которые не могут быть отнесены к категории перспективных.

Использование этого критерия для оценки золотого-редкометального оруденения в массивах Кекура (участок Западный) и Медвежкинском показывает, что при сопоставимых площадных продуктивностях их вторичных ореолов (24,1 и 27,1 м<sup>2</sup> % соответственно), доля проб с высокими содержаниями (10 % против 2,5 %) определяет более высокую перспективность первого объекта по сравнению со вторым.

Геологические критерии имеют не менее важное значение для поисков и оценки перспективности выявляемых объектов в системах золота, связанных с интрузиями.

Рудоносные структуры в Стадухинском магматогенном поднятии сочетают в себе отрицательные (кальдерообразные) морфоструктуры, сводовые части которых (отпрепарированные интрузии) отчетливо выделяются в современном рельефе с радиально-концентрическим рисунком гидросети. Интрузивно-купольные структуры, являющиеся локальными рудогенерирующими центрами, легко дешифрируются на аэро- и космоснимках и выделяются как приоритетные для детального опоскования.

Выявленные закономерности размещения месторождений и проявлений в пределах магматогенного поднятия, свидетельствуют о концентрической зональности рудного района [Николаев и др., 2023], представленной: 1) ядерной частью с золоторудным месторождением Кекура и однотипными проявлениями ближнего круга, относящимися к золото-кварцевому березитовому типу; 2) промежуточной зоной с золото-кварцевым и полиметаллическим оруденением в осадочных толщах; 3) внешней

зоной, с проявлениями золото-редкометального оруденения в периферийных гранитоидах и золото-серебряными проявлениями в вулкано-терригенных породах рамы (рис. 2).

Золото-кварцевое березитовое и золото-редкометальное оруденение с промышленными кондициями развито исключительно в границах гранитоидных массивов. Золото-кварцевая и золото-серебряная минерализация в осадочных породах, несмотря на высокие (до сотен граммов на тонну) содержания золота в отдельных жилах и прожилках, не имеет промышленных перспектив из-за недостаточной мощности и незначительных объемов жильной массы.

Существует целый ряд простых поисковых признаков, по которым выявляются и прослеживаются золотоносные структуры в гранитоидах и вулкано-терригенных породах рамы. Общим для всех типов золоторудной минерализации является ее приуроченность к кварцево-жильным образованиям и прожилкам, присутствие свободного золота, легко визуализируемого в поисковых маршрутах.

Проявление метасоматоза как поисковый признак широко используется на стадии поисков золотого оруденения. Мощные зоны березитов с развалами кварцевых жил и видимым золотом наиболее типичны для золото-кварцевого оруденения в массиве Кекура. Для его западной части, где развито золото-редкометальное оруденение жильно-прожилкового типа, характерна повышенная сульфидность в кварце (арсенопирит, пирит, молибденит, борнит, халькопирит) и маломощные оторочки березитов вдоль контактов жил.

Прослеживание рудоносных образований по развалам кварца в поисковых маршрутах в целом достаточно эффективно, но часто осложнено в местах сплошного развития крупноглыбовых курумов, перекрывающих поверхность гранитоидных массивов, а также в нижних частях склонов, где развивается солифлюкция.

На таких перекрытых солифлюкцией, часто задернованных участках поисковым признаком являются характерные уступы в рельефе, маркирующие скрытые выходы более устойчивых к выветриванию кварцево-жильных образований или линейные просядки и борозды над рудоносными зонами с повышенной сульфидностью.

На участках, перекрытых курумами, прослеживание рудоносных структур по редким обломкам продуктивного кварца затруднено. Дополнительным поисковым признаком является присутствие тонких безрудных кварцевых прожилков в глыбах курумов, хорошо заметное на их поверхности и имеющее более широкое распространение по сравнению с редкими обломками продуктивного кварца.

Прямым минералогическим признаком, указывающим на продуктивность жильного кварца, является присутствие в нем самородного золота. Оно легко визуализируется в кварц-серицитовый

матрице жил замещения золото-кварцевого оруденения (массив Кекура), в жильном кварце в терригенных породах рамы и кварц-карбонатных прожилках с золото-теллуридно-висмутовой минерализацией (Гвардейский массив). В перечисленных образованиях содержания визуально диагностируемого золота составляют, как правило, десятки — сотни г/т. Реже при таких уровнях содержаний самородное золото можно обнаружить в кварц-сульфидных жилах с золото-редкометальной и золото-серебряной минерализацией, где оно маскируется среди агрегатов сульфидов.

Прямым признаком принадлежности к конкретным типам золотого оруденения является состав сопутствующей рудной минерализации (табл. 1). Прямой связи перспективности выявляемых проявлений золота с интенсивностью сопутствующей рудной минерализации при этом не наблюдается.

Предварительная оценка перспективности выявляемых проявлений по результатам геологических наблюдений базируется на их геометрических размерах, площадях развития метасоматоза, протяженности и ширине развалов кварца, размерах его обломков, а также на присутствии рудных минералов, в том числе самородного золота, которые в совокупности с результатами поисков по вторичным ореолам рассеяния служат основой для прогноза золотого оруденения.

Фактором, определяющим близость характеристик выявляемого оруденения к промышленным кондициям, являются содержания золота в рудных образованиях, оцениваемые по данным штучного опробования. Основной диапазон содержаний в наиболее богатых пробах из Утайвеевского, Медвежкинских и Пика Блохина гранитоидных массивов — 1–10 г/т, в то время как в западной части массива Кекура — 5–100 г/т, в его восточной части и в Гвардейском массиве — 10–500 г/т.

Статистическая обработка результатов анализов при массовом штучном и скопковом опробовании позволяет достаточно точно прогнозировать ожидаемый уровень содержаний золота в потенциальных рудных телах еще до их вскрытия горными выработками. В условиях расчлененного рельефа по этим данным решаются задачи оценки степени эродированности прогнозируемого оруденения [Николаев и др. 2021]. Критерии оценки уровня эрозионного среза оруденения являются неотъемлемой частью поисковой модели в системах золота, связанных с интрузиями.

Исследование вертикальной геохимической зональности золотого оруденения в Стадухинском районе на разных гипсометрических уровнях в массивах Кекура, г. Трехречье, Гвардейском, Пик Блохина и на участке Звонкий позволило выявить общий ряд вертикальной геохимической зональности рудно-магматической системы (снизу-вверх): Bi-Te-Na-Cu-S-As-Co-Fe-K-W-Al-Mg-Ni-Au-Mo-Ca-Sb-Mn-Zn-Pb-Ag.

По результатам обработки выявлены геохимические показатели зональности общего вида  $AgSbPb/WMoCuAs$  (рис. 6), численные значения которых использовались для определения уровня среза выходящих на поверхность проявлений золота (табл. 3).

Полученный ряд вертикальной геохимической зональности хорошо согласуется с общепринятой геолого-поисковой моделью систем золота, связанных с интрузиями [Baker, et al., 2002], в которой элементы нижней его части (W-Te-Bi-Fe-S-Cu-Co) представляют ранний, более высокотемпературный, минеральный парагенезис золото-редкометального этапа, а элементы верхней части (Au-Ag-Sb-As-Pb-Zn) — средне-низкотемпературный парагенезис элементов золото-кварцевого березитового и золото-серебряного этапов, оруденение которых относят к эпитепирмальной зоне (рис. 6).

Дополнительным критерием для оценки степени эродированности локальных рудных систем является пробность золота в рудах коренных источников. Микрозондовыми исследованиями установлен ее рост с глубиной: от электрума в золото-серебряных жилах эпитепирмальной зоны (400–600‰) к средней пробности в золото-кварцевых рудах и березитах (800–880‰) и высокопробному в парагенезисе с теллуридами висмута в золото-редкометальном типе (>900‰) (рис. 6).

Согласно полученным оценкам, уровень эрозионного вскрытия рудно-магматической системы в центральной части магматогенного поднятия (массив Кекура и его сателлиты) соответствует нижним частям эпитепирмальной зоны с перспективами выявления на глубине более высокотемпературного золото-редкометального оруденения. Фактором, свидетельствующим в пользу вскрытия эрозией относительно глубинных частей рудно-магматических систем в Утайвеевском, Медвежкинском и Пика Блохина гранитоидных массивах являются высокие температуры гомогенизации газовой-жидкой включений, которыми обосновывается созданная из ряда фрагментов искусственная композиция, по которой исследовалась вертикальная геохимическая зональности системы золота, связанных с интрузиями в Стадухинском районе (рис. 6).

Основные геолого-геохимические характеристики поисковой модели золотого оруденения в Стадухинском рудно-россыпном районе приведены в табл. 3.

**Заключение.** В результате выполненных исследований получены новые данные, существенно расширяющие представление о геохимической структуре, составе, закономерностях размещения, параметрах рудообразования, глубинах формирования и пульсационном характере рудно-магматического процесса в Стадухинском рудно-россыпном районе с крупным золоторудным месторождением Кекура. Построена модель вертикальной геохимической зональности системы золота, связанной с интрузиями и разработаны критерии оценки



Таблица 3

Рудоконтролирующие факторы и поисковые признаки главных типов золотого оруденения, связанного с интрузиями в Стадухинском рудно-россыпном районе

Тип/основные критерии	Золото-редкометалльный	Золото-кварцевый березитовый	Золото-серебряный
Структурная позиция в системе магматогенного поднятия	Центральный и периферийные локальные магматические очаги	Центральный магматический очаг и апофизы ближней периферии на пересечении радиальных разрывных нарушений	Системы разрывных нарушений и даек в периферийной части магматогенного поднятия
Связь с магматизмом	Генетическая и пространственная, локализация в пределах интрузивных массивов	Генетическая и пространственная, локализация в пределах интрузивных массивов и зонах ближних экзоконтактов	Вероятно генетическая, но может быть только пространственная в системах разрывных нарушений, вмещающих рои даек.
Состав и возраст рудоконтролирующих магматических образований	Монцитониты, монцодиориты, диориты, гранодиориты ранней фазы внедрения	Граниты, гранодиориты поздней фазы внедрения	Дайки диоритов завершающего этапа магматизма
Связь с разрывной тектоникой	Локализация в северо-восточных и северо-западных системах разрывных нарушений	Локализация в северо-восточных и субширотных системах разрывных нарушений	Локализация в северо-восточных системах разрывных нарушений
Структурно-морфологический тип оруденения	Параллельные жилы в трещинах скола	Жилы замещения, линзы, прожилки в березитах по контракционным трещинам	Жилы в трещинах скола и отрыва
Протяженности и мощности жил и жильно-прожилковых зон	Протяженности: 50–1000 м Мощности: 0,2–1,5 м	Протяженности: 50–1000 м Мощности: 2–20 м	Протяженности: 20–200 м Мощности 0,2–0,5 м
Ожидаемые классы крупности золоторудных объектов	Мелкий-средний	Средний-крупный	Мелкий
Параметры вторичных ореолов золота, соответствующие указанной выше крупности объектов	Площадная продуктивность 5–50 м <sup>2</sup> %	Площадная продуктивность 25–>100 м <sup>2</sup> %	Площадная продуктивность 5–10 м <sup>2</sup> %
	Доля высоких (>0,1 г/т) содержаний в ореолах 5–10 %	Доля высоких (>0,1 г/т) содержаний в ореолах >20 %	Доля высоких (>0,1 г/т) содержаний в ореолах 1–10 %
Ожидаемые средние содержания золота в рудах по данным штучного опробования	4,6 г/т	23,9 г/т	3,5 г/т
Геохимические ассоциации в рудах (подстрочные индексы — коэффициенты концентрации элементов по отношению к фону)	Au <sub>1531</sub> As <sub>380</sub> Bi <sub>22</sub> S <sub>13</sub> Te <sub>12</sub> Sb <sub>11</sub> W <sub>8</sub> Cu <sub>6</sub> Ag <sub>5</sub> Se <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> Mo <sub>2</sub>	Au <sub>7969</sub> As <sub>802</sub> Sb <sub>16</sub> Ag <sub>15</sub> S <sub>8</sub> Pb <sub>2</sub>	Au <sub>1181</sub> As <sub>483</sub> Ag <sub>156</sub> Sb <sub>26</sub> Pb <sub>18</sub> Cd <sub>8</sub> Mo <sub>3</sub> Cr <sub>3</sub> Cu <sub>2</sub> Zn <sub>2</sub> S <sub>2</sub> Be <sub>2</sub>
Значения показателя вертикальной геохимической зональности для оценки степени эродированности РМС	AgSbPb/WMoCu Верхнерудный — 0,3 Нижнерудный — 0,0013 AgSbPb/WMoAs Верхнерудный — 0,013 Нижнерудный — 0,000019	AgSbPb/WMoCu Верхнерудный — 6,4 Нижнерудный — 0,37 AgSbPb/WMoAs Верхнерудный — 0,63 Нижнерудный — 0,0026	AgSbPb/WMoCu Верхнерудный — 469 Нижнерудный — 42 AgSbPb/WMoAs Верхнерудный — 7,2 Нижнерудный — 0,32

уровня эрозионного среза оруденения и его распространения на глубину.

Уровень эрозионного вскрытия рудно-магматической системы, согласно разработанной модели вертикальной минералого-геохимической зональности, оценивается как соответствующий нижним частям эпитермальной зоны. Главным фактом, свидетельствующим в пользу вскрытия эрозией относительно глубинных частей в периферийных гранитоидных массивах рудно-магматической си-

стемы являются состав, высокая пробность золота и более высокие температуры гомогенизации газожидких включений.

Впервые для подобных систем выявлены золото-серебряные проявления на их периферии, имеющие промышленные перспективы. Дана их прогнозная оценка.

Проведенными расчетами и последующей разведкой перспективных объектов установлено, что предельным для Стадухинского магматогенного

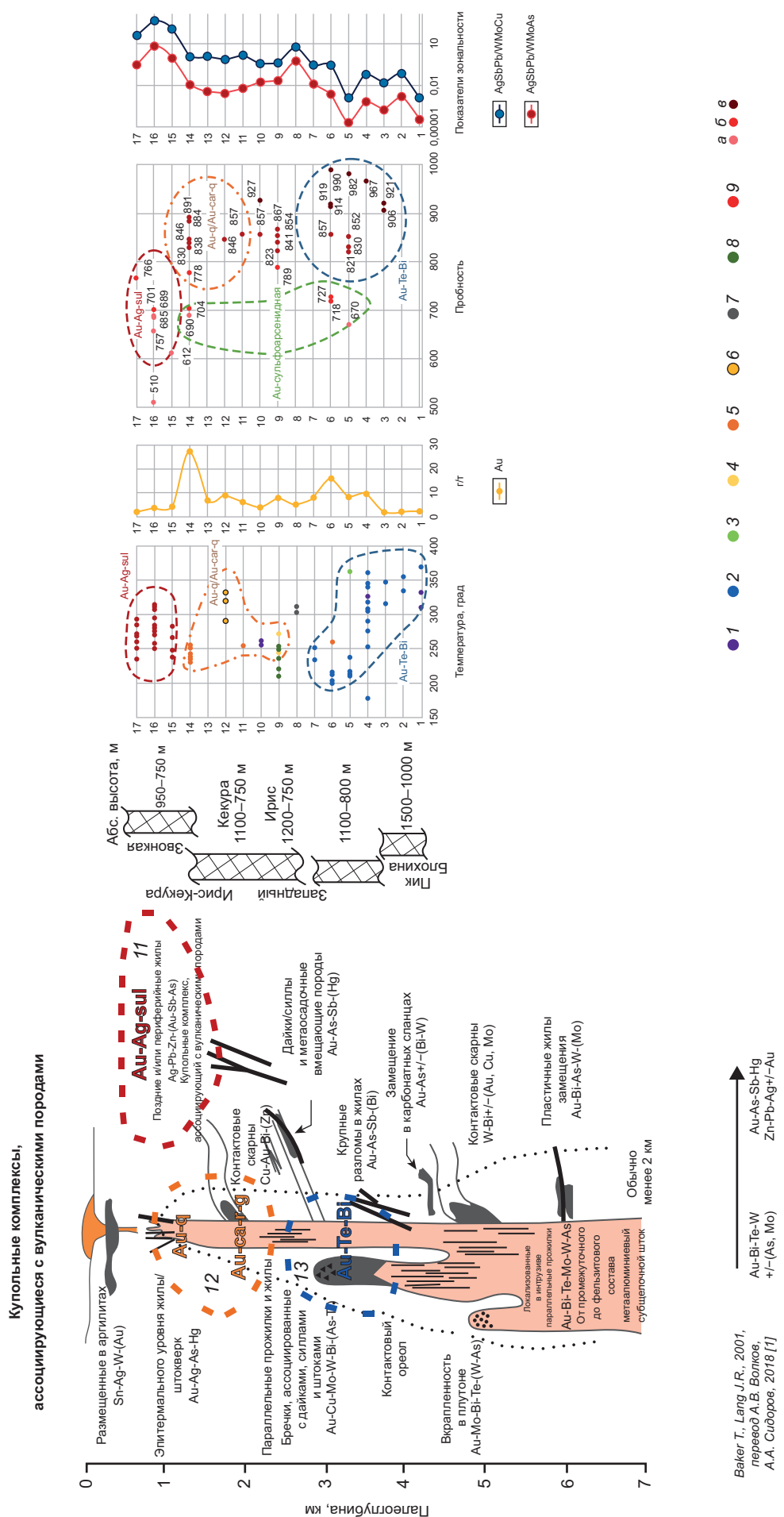


Рис. 6. Модель вертикальной рудно-геохимической зональности для золоторудной системы, связанной с интрузиями в Стадухинском рудно-россыпном районе (Западная Чукотка). Зоны 1–17 (абс. высоты, м) формировались внутри участков по уровню гипсометрии исходя из геолого-генетической модели систем золота, связанных с интрузиями и собственных минералогических и термобарогеохимических исследований. 1–8 — золото-редкометалльные (Медвежий, Пик Блохина, Лосиха, Западный), 9–14 — золото-кварцевые безрезитовые (Ирис, Гранат, Рыжий, Кекура), 15–17 — золото-серебряные (Лосенок, Звонкий). Типы минерализации: 1 — кварц-молибденитовый, 2 — золото-редкометалльный, 3 — золото-сульфосарсидный, 4 — золото-кварцевый (безрезитовый), 5 — золото-кварцевый (березитовый), 6 — Q-Chl метасоматиты, 7 — кварц-антимонитовый, 8 — полиметаллический, 9 — золото-серебряный; 10 — золото-арсенистое (700–900‰), 11 — золото-серебряное (700–900‰), 12 — золото-кварцевое безрезитовое, 13 — золото-редкометалльное

поднятии и подобных структур региона является средний масштаб крупности промышленных запасов золота в месторождениях при его высоких содержаниях в рудах.

Сложное строение аномальных геохимических полей в системах золота, связанных с интрузиями, отражающая развитие в их границах разных минеральных и структурно-морфологических типов

золотого оруденения, свидетельствуют о том, что переход к горным работам должен осуществляться только после проведения детальных геохимических поисков в масштабе 1 : 10 000–1 : 5 000, которые обязательно должны сопровождаться поисковыми геологическими маршрутами того же масштаба с опробованием всех потенциально рудоносных образований и изучением их вещественного состава.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Волков А.В., Савва Н.Е., Сидоров А.А. и др. Золоторудное месторождение Школьное (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. 2011. Т. 53. № 1. С. 3–31.

Волков А.В., Сидоров А.А. Прогнозно-поисковая модель месторождений золота, связанных с интрузивами гранитоидов арктической зоны России // Арктика: экономика и экология. 2018. Т. 31, № 3. С. 84–99.

Волков А.В., Черепанова Н.В., Прокофьев В.Ю. и др. Месторождение золота в Бутарном гранитоидном штоке (Северо-Восток России): геологическое строение, минералогия и условия формирования руд // Геология рудных месторождений. 2013. Т. 55, № 3. С. 214–237.

Красников В.И. Основы рациональной методики поисков рудных месторождений. 2-е изд. М.: Недра, 1965. 399 с. ил., карт.; 22.

Николаев Ю.Н., Балыкова И.В., Кузин С.В. и др. Состав, условия формирования, закономерности размещения и зональность золотого оруденения в Стадухинском рудно-россыпном районе (Западная Чукотка) // Руды и металлы. 2023. № 3. С. 78–89.

Николаев Ю.Н., Калько И.А., Власов Е.Ю., Прокофьев В.Ю. Минералого-геохимические характеристики

и оценка промышленных перспектив золото-серебряной минерализации в Олойской зоне // Разведка и охрана недр. 2021. № 10. С. 60–69.

Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых: Учебник для вузов. М.: Недра, 1985. 294 с.

Baker T. Emplacement depth and carbon dioxide-rich fluid inclusions in intrusion-related gold deposits // Economic Geology. 2002. № 97 (5). P. 1111–1117.

Hart C.J.R., McCoy D., et al. Geology, exploration and discovery in the Tintina gold province, Alaska and Yukon // Soc. Econ. Geol. Spec. Publ. 2002. № 9. P. 241–274.

Lang J.R., Baker T., Hart C.J.R., Mortensen J.K. An exploration model for intrusion-related gold systems // Soc. Econ. Geol. Newsl. 2000. № 40. P. 1–15.

Nguimatsia D.F.W., Bolarinwa A.T., Yongue R.F., et al. Diversity of Gold Deposits, Geodynamics and Conditions of Formation: A Perspective View // Open Journal of Geology. 2017. № 7. P. 1690–1709.

Статья поступила в редакцию 07.02.2025,  
одобрена после рецензирования 23.05.2025,  
принята к публикации 28.08.2025