



Выявление новых объектов, перспективных на молибден-медно-порфировое оруденение при создании Госгеолкарты-1000/3 на примере листов О-55, О-56 (Северное Приохотье, Магаданская область)

Аленичева А. А.¹, Касаткин Н. С.^{1,2}, Юрченко Ю. Ю.¹, Zubova T. N.¹, Шатов В. В.¹, Сергеев С. А.¹

¹ ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, г. Санкт-Петербург, Россия; ² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. По результатам создания Госгеолкарты 1000/3 листов О-55, О-56 на территории Магаданской области выделены новые рудные узлы: Мотыклейский, Чистоозёрный и Павловичский, перспективные на молибден-медно-порфировое оруденение. Минерализация порфирового типа связана с Приохотским плутоническим поясом альб-сеноманских гранитоидов магаданского комплекса известково-щелочной серии ($K/Na < 1$). Преобладают порфировидные тоналиты и кварцевые диориты магнетитовой серии I типа, нередко адакитового состава. Оруденение вмещают островодужные юрско-нижнемеловые осадочно-вулканогенные образования. Связь оруденения с гранитоидами обоснована U-Pb SIMS SHRIMP и Re-Os TIMS датированием. Минерализация в потенциальных рудных узлах проявлена обширными полями гидротермально-метасоматических изменений (пропилитов и кварц-серицит-пиритовых метасоматитов). Даны рекомендации проведения дальнейших крупномасштабных геолого-съёмочных и поисковых работ на площади потенциальных рудных узлов.

Ключевые слова: Мотыклейский, Чистоозёрный, Павловичский рудные узлы, Cu-Mo-Au порфировое оруденение, порфировидные гранодиориты-тоналиты, кварцевые диориты, адакиты, U-Pb SHRIMP датирование, Re-Os изохронные даты.

Для цитирования: Аленичева А. А., Касаткин Н. С., Юрченко Ю. Ю., Zubova T. N., Шатов В. В., Сергеев С. А. Выявление новых объектов, перспективных на молибден-медно-порфировое оруденение при создании Госгеолкарты-1000/3 на примере листов О-55, О-56 (Северное Приохотье, Магаданская область). Руды и металлы. 2024. № 2. С. 5–27. DOI: 10.47765/0869-5997-2024-10006.

Identification of new objects promising for porphyry molybdenum-copper mineralization when creating the State geological map 1000/3: Sheets O-55, O-56 (Northern Priokhotye, Magadan region) as an example

Alenicheva A. A.¹, Kasatkin N. S.^{1,2}, Yurchenko Yu. Yu.¹, Zubova T. N.¹, Shatov V. V.¹, Sergeev S. A.¹

¹ A. P. Karpinsky All-Russian Scientific Research Geological Institute, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II, St. Petersburg, Russia

Annotation. The Motykleisky, Chistoozerny, and Pavlovichsky new ore clusters promising for porphyry molybdenum-copper mineralization have been identified in the Magadan region due to results of creation of the State Geological Map 1000/3, sheets O-55, O-56. The porphyry-type mineralization is associated with the Priokhotsky plutonic belt of Albian-Cenomanian granitoids of the Magadan suite of the calcareous-alkaline series ($K/Na < 1$). The granitoids are dominated by porphyritic tonalites and quartz diorites of type I magnetite series, often adakitic in composition. The mineralization is accommodated by the Jurassic-Lower Cretaceous island-arc sedimentary-volcanic formations. Relationship between the mineralization and granitoids is substantiated by the U-Pb SIMS SHRIMP and Re-Os TIMS dating. In potential ore clusters, the mineralization is manifested by extensive fields of hydrothermal-metasomatic alterations (propylites and quartz-sericite-pyrite metasomatites). Recommendations are given for follow-up large-scale geological survey and prospecting in the area of the potential ore clusters.

Keywords: The Motyklei, Chistoozerny, and Pavlovichi ore clusters; Cu-Mo-Au porphyry mineralization; porphyritic granodiorite-tonalites; quartz diorites; adakites; U-Pb SHRIMP dating; Re-Os isochron dates.

For citation: Alenicheva A. A., Kasatkin N. S., Yurchenko Yu. Y., Zubova T. N., Shatov V. V., Sergeev S. A. Identification of new objects promising for porphyry molybdenum-copper mineralization when creating the State geological map 1000/3: Sheets O-55, O-56 (Northern Priokhotye, Magadan region) as an example. Ores and metals. 2024. No. 2. pp. 5–27. DOI: 10.47765/0869-5997-2024-10006.



Введение. Создание государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения (Госгеолкарта-1000/3) является одним из важнейших этапов региональных геолого-съёмочных работ, главный результат которых – прогнозная оценка территорий на высоколиквидные и стратегические виды полезных ископаемых с выделением перспективных рудных объектов для дальнейшего изучения. Работы по созданию Госгеолкарты-1000/3 листов О-55-Талон, О-56-Магадан выполнялись в рамках объекта Института им. А. П. Карпинского «Создание и подготовка к изданию государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения по группе листов территории Российской Федерации в 2021–2023 годах».

В соответствии с государственным заданием Роснедр РФ при создании Госгеолкарты-1000/3 листов О-55, О-56 решалась геологическая задача по уточнению закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых и локализации перспективных участков на площади листов. На основе комплексного анализа материалов предшественников, комплексов карт геофизических и геохимических основ масштаба 1 : 1 000 000 и результатов проведённых аналитических исследований каменного материала, отобранного во время полевых работ в Магаданской области в 2021–2022 гг., выделены новые металлогенические таксоны в ранге потенциальных рудных узлов (РУ) – Мотыклейский, Чистоозёрный и Павловичский, перспективные на Au-Mo-Cu-порфировое оруденение (рис. 1).

Методы исследований. Все исследования проводились в Центральной лаборатории (ICP-MS, AAS, РСФА, РЭМ) и Центре изотопных исследований (локальный U-Pb SIMS SHRIMP-II, изохронный Re-Os методы, определение РЗЭ в цирконах) ФГБУ «Институт Карпинского».

Исследования химического состава пород проводились рентгеноспектральным флуоресцентным анализом (РСФА) на рентгеновском спектрометре ARL 9800 ф. ARL (Швейцария),

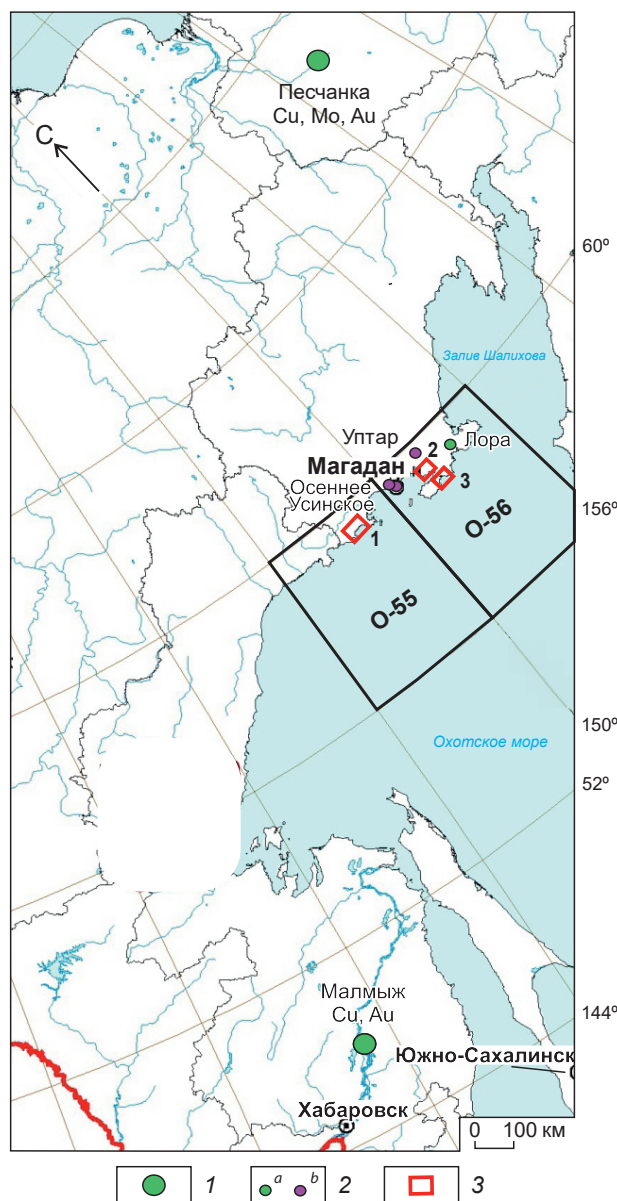


Рис. 1. Расположение листов О-55, О-56 и контуры выявленных потенциальных рудных узлов:

1 – крупные порфировые месторождения; 2 – порфировые проявления (а – Cu, Au; b – Mo); 3 – потенциальные рудные узлы: Мотыклейский (1), Чистоозёрный (2); Павловичский (3)

Fig. 1. Location of sheets O-55, O-56 and outlines of identified potential ore clusters:

1 – large porphyry deposits; 2 – porphyry occurrences (a – Cu, Au, b – Mo); 3 – potential ore clusters: Motykleysky (1), Chistoozersky (2) Pavlovichsky (3)



определение благородных металлов, микро-элементов и редких земель ICP-MS, AAS) – на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой ELAN-DRC-e (Perkin Elmer) и Agilent 7700x (Agilent Technologies).

Оптико-микроскопический анализ выполнен на препаратах (аншлиф/прозрачно-полированный шлиф), изготовленных из штучных проб, отобранных из минерализованных зон. Изучение минеральных агрегатов в препаратах проводилось на оптическом микроскопе ПОЛАМ-Р312, оснащённом видеоокуляром. Микрорентгеноспектральные исследования рудных минералов в препаратах выполнялись на растровом электронном микроскопе (РЭМ) VEGA 3 фирмы TESCAN (Чехия), оснащённом высокоскоростным детектором вторичных электронов SE «Ultim Max» фирмы «Oxford Instruments» (Великобритания), детектором вторичных электронов BSE и системой микроанализа Aztec ЭДС (аналитик О. А. Яковлева).

Геолого-структурное и металлогеническое районирование. Глобальный тектонический фактор выделения перспективных рудных объектов – их расположение в зоне конвергентного взаимодействия Евразийской окраины континента с Тихоокеанской плитой и островными дугами [3], где в результате субдукции океанической коры формируются большие объёмы окисленной гранитоидной магмы, генерирующей оруденение порфирового типа. К структурам регионального порядка, выделенным на территории листов, относятся пермско-раннемеловая Охотско-Тайгоноская палеоостроводужная система, позднеюрско-раннемеловой Удско-Мургальский вулканогенный пояс и Приохотский магматический пояс, проявленный крупными плутонами гранитоидов позднеальб-сеноманского возраста. Формирование гранитоидов происходило в обстановке коллизионного сжатия при переходе от субдукции к скольжению тектонических плит [10]. Синсдвиговые деформации вызывают декомпрессию верхней мантии, плавление слэба и внедрение потенциально рудоносных известково-щелочных магнезиальных корово-мантийных гранитоидов *S* и *I* типа. С мезозойскими вулканоплутониче-

скими поясами Тихоокеанского складчатого обрамления на Дальнем Востоке России связаны такие крупные месторождения порфирового типа, как Малмыж и Песчанка Сихотэ-Алиньской и Охотско-Чукотской минерагенических провинций соответственно [9, 11]. С ранне-позднемеловыми порфировыми интрузиями (~ 100 млн лет) на Центральном Сихотэ-Алине кроме золото-медно-порфирового месторождения Малмыж ассоциирует целый ряд Cu-Au и Cu-Au-Mo проявлений [9]. В южной части Охотско-Чукотской минерагенической провинции в Магадан (Челомджа)-Ямской и Кони-Пьягинской минерагенических зонах (МЗ) в пределах площади листов О-55, О-56 профилирующее Cu-Au и Cu-Au-Mo-порфировое оруденение также связано с альб-сеноманским магматизмом [1, 5]. К порфировым объектам на площади листов относятся рудопроявления Лора, Мыс Павловича (Викинг), Уптар, Усинское, Оксинское, и Осеннее (см. рис. 1). Объекты ранга месторождений с утверждёнными в ГКЗ запасами меди, молибдена и золота на площади листов не выявлены.

Геология и рудоносные магматические комплексы. Оруденение порфирового типа в потенциальных рудных объектах приурочено к юрским и верхнеюрско-нижнемеловым островодужным осадочно-вулканогенным образованиям, которые интродуцируются гранитоидами магаданского плутонического комплекса. Вмещающими породами служат смятые в складки базальты, андезибазальты, андезиты, дациты и их туфы, а также туфопесчаники, туфоалевролиты, глинистые сланцы позднеюрско-раннемеловых момолтыкичского и сигланского комплексов и раннемеловых пьягинского и поперечного вулканических комплексов. На дискриминационной диаграмме рассеянных элементов (ICP-MS) La-Y-Nb [13] фигуративные точки вулканитов сигланской свиты попадают в поле островодужных толеитов, часть точек момолтыкичской свиты локализуется в поле островодужных толеитов, часть – в поле переходных пород от островодужных толеитов к известково-щелочным базальтам, также как и раннемеловыми

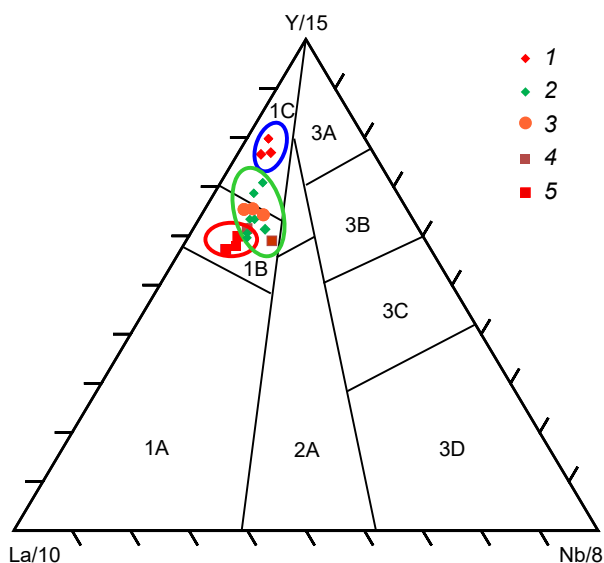


Рис. 2. Дискриминационная диаграмма La-Y-Nb [13] для верхнеюрских–нижнемеловых базальтов Удско-Мургаляского вулканогенного пояса и Охотско-Тайгонской палеоостроводужной системы:

1 – сигланская свита (J_3-K_1); 2 – момолтыкичская свита (J_3-K_1) (U-Pb – 145–137 млн лет); 3 – поперечная свита K_1 (U-Pb – 124–128 млн лет); 4 – пьегинская свита K_1 (U-Pb – 101–110 млн лет); 5 – дайки базальтов K_1 (U-Pb – 110–102 млн лет); 1 – базальты вулканических дуг (1A – известково-щелочные, 1C – островодужные толеиты, 1B – известково-щелочные базальты и островодужные толеиты, перекрытие полей), 2 – континентальные базальты, 3 – океанические базальты

Fig. 2. Discrimination diagram La-Y-Nb [13] for Upper Jurassic-Lower Cretaceous basalts of the Uda-Murgal volcanogenic belt and the Okhotsk-Taigonos paleo-island arc system:

1 – Siglan Formation (J_3-K_1); 2 – Momoltyk Formation (J_3-K_1) (U-Pb – 145–137 Ma); 3 – Poperechnaya formation K_1 (U-Pb – 124–128 Ma); 4 – Pyaginskaya formation K_1 (U-Pb – 101–110 Ma); 5 – K_1 basalt dikes (U-Pb – 110–102 Ma); 1 – basalts of volcanic arcs (A – calc-alkaline, C – island-arc tholeiites, B – calc-alkaline basalts and island-arc tholeiites: the fields overlapping), 2 – continental basalts, 3 – oceanic basalts

вые базальтоиды поперечной и пьегинской свит (рис. 2).

Гранитоиды, с которыми ассоциирует Cu-Mo и Cu-Au-Mo оруденение, по петрохимии

и возрасту, обоснованному изотопно-геохронологическими данными [2], выделены в позднеальб-сеноманский магаданский комплекс в составе южного отрезка Приохотского plutонического пояса, впервые выделенного В. И. Шпикерманом [12]. В пределах потенциальных РУ породы комплекса слагают интрузивные массивы Мотыклейский, Малоойринский, Мыс Речной, Анкара, Павловичский.

Устанавливаются три основные фазы внедрения пород магаданского комплекса: наиболее ранняя – габбродиоритов, диоритов, диорит-порфиров и кварцевых диоритов, вторая фаза – гранодиоритов, порфировидных тоналитов и поздняя фаза – плагиогранит-порфиров, лейкогранитов, микротоналит-порфиров, кварцевых монцонит-порфиров и даек лейкогранитов и аплитов. Преобладают порфировидные гранодиориты-тоналиты и кварцевые диориты (рис. 3). Плагиоклаз (до 60 %) чаще всего образует крупные вкрапленники с размером до 1,5–2,4 мм по удлинению и мелкие зёрна длиннопризматического облика, вместе с кристаллами биотита погружённые в более мелкозернистую основную массу плагиоклаза и роговой обманки. По углу погасания двойников плагиоклаз чаще относится к андезину (№ 43–47). Кварц в кварцевых диоритах (до 20 %) формирует зёрна ксеноморфного облика, которые заполняют интерстиции между зёрнами полевых шпатов, а также образуют включения в них. Калишпат ксеноморфен, пелитизирован, помимо зёрен формирует редкие микропегматитовые сростки с кварцем. Роговая обманка образует идиоморфные порфировидные зёрна и обычно ксеноморфные выделения в основной массе. Моноклинный пироксен содержится в виде редких мелких призматических зёрен и реликтов в роговой обманке. Биотит бурый, как правило, ксеноморфен, замещается агрегатом хлорита и рудного минерала. В составе акцессорных минералов преобладает магнетит (2–3 мас. %), другие акцессории представлены апатитом, цирконом, сфеном, рутилом, монацитом, ортитом.

Вторичные гидротермально-метасоматические изменения выражаются в развитии

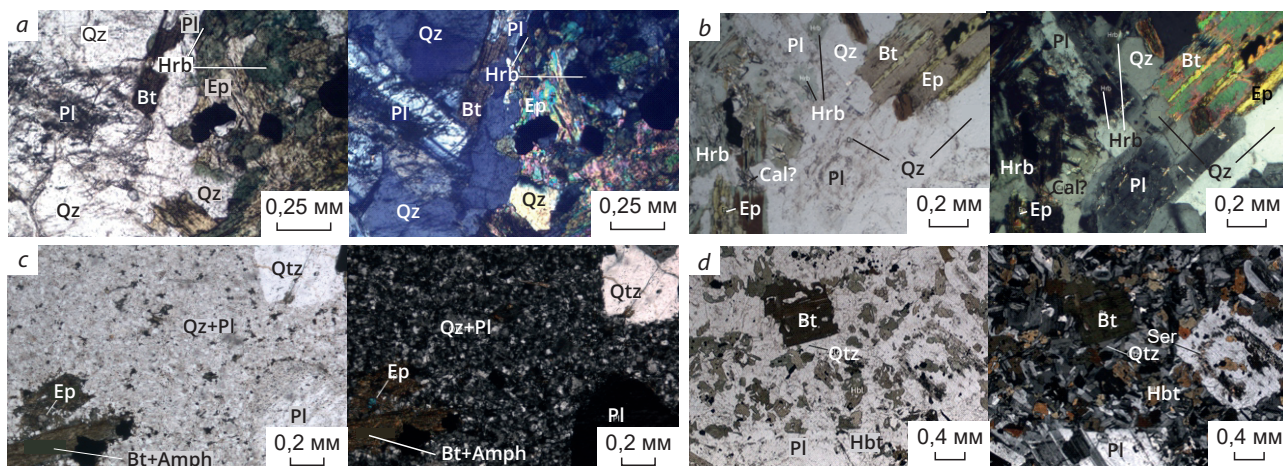


Рис. 3. Микрофотографии прозрачно-полированных шлифов, слева без анализатора, справа с анализатором:

a – биотит-роговообманковый порфировидный тоналит (52056/1, Павловичский массив); *b* – кварцевый диорит (41036/3, рудоносный шток Мыс Речной); *c* – плагиогранит-порфир (21505/1, Магаданский батолит); *d* – амфибол-биотитовый диорит (31045/3, Ойринский массив); Qz – кварц, Pl – плагиоклаз, Bt – биотит, Ep – эпидот, Hrb – роговая обманка, Cpx – клинопироксен, Ser – серицит, Cal – кальцит, Hbt – геденбергит, Amf – амфибол

Fig. 3. Microphotographs of polished transparent sections (without analyzer, on the left; with analyzer, on the right):

a – porphyritic biotite-hornblende tonalite (52056/1, Pavlovichsky massif); *b* – quartz diorite (41036/3, ore-bearing stock Mys Rechnoy); *c* – plagiogranite-porphyry (21505/1, Magadan batholith); *d* – amphibole-biotite diorite (31045/3, Oirinsky massif); Qz – quartz, Pl – plagioclase, Bt – biotite, Ep – epidote, Hrb – hornblende, Cpx – clinopyroxene; Ser – sericite; Cal – calcite, Hbt – hedenbergite, Amf – amphibole

серицитового агрегата (Ser ~ 2 %) по плагиоклазу. Эпидот отмечается в редких зёрнах удлинённого облика, которые развиваются по биотиту. Эпидот также наблюдается в самостоятельных зёрнах размером до 0,1 мм совместно с агрегатами мелкочешуйчатого хлорита (размер лейст ~ 0,02 мм). Хлорит образует самостоятельные удлинённые кристаллы размером до 0,5 мм, для таких зёрен также характерна тесная ассоциация с эпидотом/клиноцоизитом.

Изученные гранитоиды диорит-тоналит-плагиогранитовой формации образуют тренд магматической дифференциации с содержанием SiO₂ от 56 до 76 мас. %, относятся к известково-щелочной серии нормального ряда с подчинённым количеством умеренно-щелочных гранитов и монцонитов (рис. 4, *a*, *b*), натрий преобладает над калием при соотношении K₂O/Na₂O = 0,2–0,86. На классификационной диаграмме SiO₂–K₂O породы в ос-

новном располагаются в поле низкокальциевых разностей, что согласуется с преобладанием в составе магаданского комплекса тоналитовых гранодиоритов и кварцевых диоритов, а в поле высококальциевых пород попадают гранодиориты проявления Уптар. Диаграмма Al/(Na + K)–Al/(Ca + Na + K) определяет состав гранитоидов от умеренно- до высокоглинозёмистых и характеризует их как *I* тип (см. рис. 4, *c*). Соотношение Fe₂O₃/FeO > 0,4 во всех петрографических разностях указывает на окисленный тип пород магнетитовой серии (см. рис. 4, *d*).

Гранитоиды магаданского комплекса характеризуются фракционированным распределением редкоземельных элементов, сумма которых ΣREE = 30–90 ppm при отношении La/Yb = 5–6, обогащением лёгкими редкоземельными элементами (LREE) относительно тяжёлых (HREE); нормированные по хондри-ту графики REE демонстрируют отсутствие

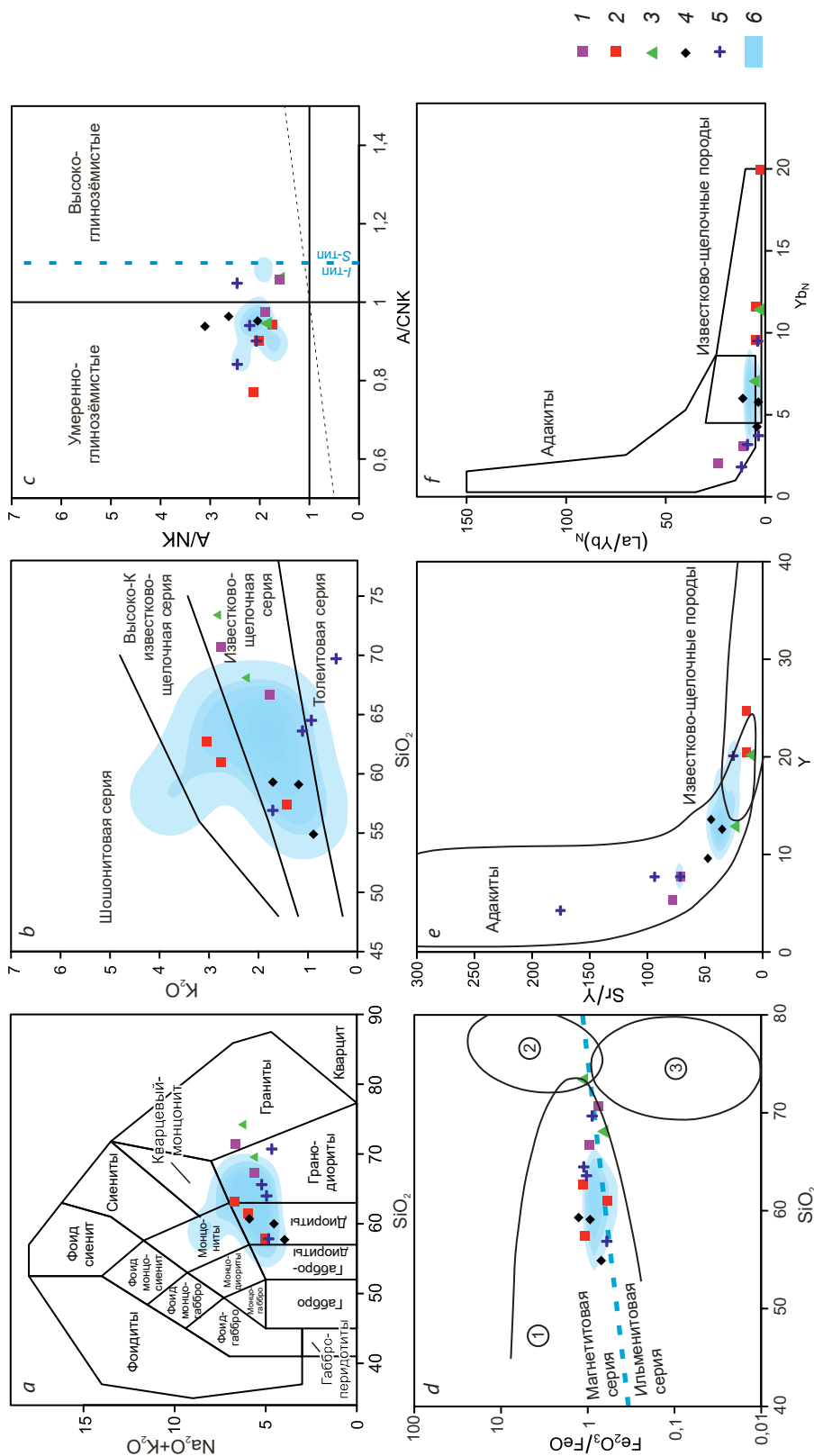


Рис. 4. Классификационные диаграммы для изученных гранитоидов магаданского комплекса:

a – SiO_2 –($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) [19]; *b* – SiO_2 – K_2O [20]; *c* – $\text{Al}/(\text{Na} + \text{K})$ – $\text{Al}/(\text{Ca} + \text{Na} + \text{K})$ [14]; *d* – $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ – SiO_2 , определяющая породы магнетитовой и ильменитовой серий [17]; *e*, *f* – Sr/Y – Y и $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ – Yb_{N} с полями составов адakitов и нормальных известково-щелочных пород [15]; рудопроявления: 1 – Усинское, 2 – Уптар, потенциальные РУ: 3 – Павловичский, 4 – Чистоозёрный, 5 – Мотыклейский; 6 – адakitы Магаданского комплекса

Fig. 4. Classification diagrams for the studied granitoids of the Magadan suite:

a – SiO_2 –($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) [19]; *b* – SiO_2 – K_2O [20]; *c* – $\text{Al}/(\text{Na} + \text{K})$ – $\text{Al}/(\text{Ca} + \text{Na} + \text{K})$ [14]; *d* – $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ – SiO_2 , defining the ilmenite series [17]; *e*, *f* – Sr/Y – Y and $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ – Yb_{N} with composition fields of adakites and normal calc-alkaline rocks [15]; ore occurrence: 1 – Usinsk, 2 – Uptar; potential ore cluster: 3 – Pavlovichsky, 4 – Chistozerny, 5 – Motyleysky; 6 – adakites of the Magadan suite

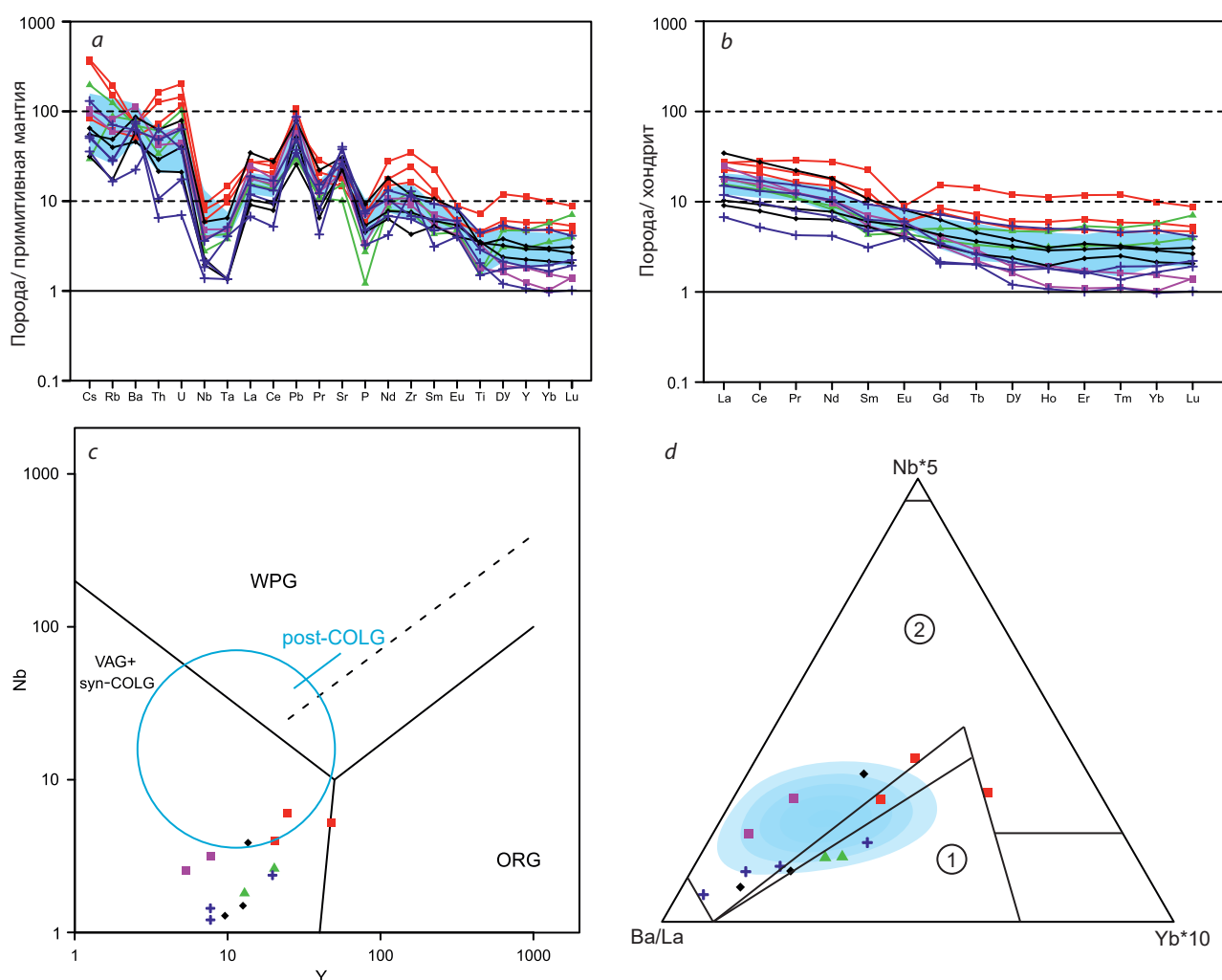


Рис. 5. Классификационные диаграммы для изученных гранитоидов магаданского комплекса:

a – диаграммы микроэлементов (г/т), нормированных по примитивной мантии [22]; *b* – диаграммы REE (г/т), нормированных по хондриту [18]; *c* – диаграмма Nb–Y, с полями гранитных пород, образовавшихся в геодинамических обстановках: синколлизионных (syn-COLG), постколлизионных (post-COLG), вулканических дуг (VAG), внутриплитных (WPG) и океанических хребтов (ORG) [21]; *d* – дискриминационная диаграмма Nb–Ba/La–Yb, г/т [16]: 1 – поле надсубдукционных магматических пород островных дуг и континентальных окраин (конвергентные окраины), 2 – поле магматических пород границ скольжения (трансформные окраины континентов и островных дуг); остальные усл. обозн. см. рис. 4

Fig. 5. Classification diagrams for the studied granitoids of the Magadan suite:

a – diagrams of trace elements (g/t), normalized to the primitive mantle [22]; *b* – REE diagrams (g/t) normalized to the chondrite [18]; *c* – Nb–Y diagram, with fields of granite rocks formed in geodynamic settings: syn-collisional (syn-COLG), post-collisional (post-COLG), volcanic arcs (VAG), intraplate (WPG) and oceanic ridges (ORG) [21]; *d* – discrimination diagram Nb–Ba/La–Yb, g/t [16]: 1 – field of supra-subduction igneous rocks of island arcs and continental margins (convergent margins), 2 – field of igneous rocks of slip boundaries (transform margins of continents and island arcs); for other legend see fig. 4

Табл. 1. Геохимические параметры изученных гранитоидов магаданского комплекса, отвечающие составу адакитов

Table 1. Geochemical parameters of the studied granitoids of the Magadan suite, corresponding to the adakite composition

№	Номер пробы авторский	Геохимические параметры, г/т									U-Pb возраст, млн лет
		SiO ₂	MgO	K/Na	Sr	Y	Zr	Yb	Sr/Y	La/Yb	
1	31028/2	62,1	2,25	0,8	404	15,5	105	1,85	26	6,7	103 ± 1
2	31040/1	63,1	2,03	0,4	472	13,1	102	1,34	36	9,9	
3	31041/2	65,5	1,86	0,5	402	13,1	118	1,3	31	8,8	
4	31045/3	56,2	4,43	0,3	463	12,8	65,6	1,24	36	6,3	
5	51104/1	64,1	1,89	0,4	452	11,8	87,8	1,03	38	10,1	
6	51056/1	58,1	1,96	0,8	575	13,4	73,8	1,15	43	9,5	91 ± 1
7	91044/1	58,8	2,53	0,3	605	16,8	167	1,63	36	8,1	
8	91052/1	65,6	0,97	0,7	563	7,79	77,8	0,86	72	12,8	88 ± 1
9	KO-14	62,4	2,56	0,52	443	13	7,32	1,42	34	7,3	
10	32061/1	63,8	1,61	0,3	751	8,01	71,5	0,73	94	13,3	100 ± 1
11	32062/3	64,7	1,34	0,2	800	4,56	66,2	0,43	175	17,9	
12	41012/1	60,5	2,5	0,4	483	19,6	145	1,95	25	6,9	102 ± 1
13	41036/3	59,1	3,24	0,4	445	12,6	78,8	1,27	35	5,3	100 ± 1
14	41036/1	54,9	3,73	0,3	458	9,61	44,8	0,94	47	6,3	
15	61038/1	59,3	3,62	0,4	610	13,6	123	1,32	45	17	106 ± 1
16	41046/2	66,7	1,57	0,5	552	7,77	113	0,68	71	16,9	
17	41048/1	70,7	0,86	0,7	414	5,31	94,8	0,45	78	35,6	
18	92093/3	69,9	0,92	0,1	574	8,02	135	0,85	71	5,1	
19	92095/1	57,1	3,41	0,6	519	20,4	118	25,4	25	25,4	102 ± 1

Примечание. Номера образцов: 1–5 – кварцевые диориты, тоналит, Ойринский массив; 6 – монцонит, Тауйский массив; 7, 8 – диорит, гранодиорит, междуречье рек Яна и Момолтыкис; 9 – кварцевый диорит, массив Антара; 10, 11 – кварцевый диорит, гранодиорит, Малоойринский, Мотыклейский массивы (Мотыклейский РУ); 12 – Магаданский батолит; 13–15 – кварцевый диорит, диорит, диоритовый порфирит, Мыс Речной (Чистоозёрный РУ); 16, 17 – тоналит, гранит, Магаданский батолит (Усинское рудопроявление); 18, 19 – гранодиорит, диорит, массив Онацевича (Мотыклейский рудный район).

или небольшую положительную аномалию европия (рис. 5, b). Гранитоиды обеднены и высокозарядными элементами (HFSE): Nb = 2–3,5 г/т, Hf = 1,2–3,2 г/т, Ta = 0,9 г/т, Th = 4,2 г/т, обогащены некоторыми литофильными элементами (LILE) (Cs, Ba и Sr) (см. рис. 5, a).

Распределение REE в гранитоидах молибденового проявления Уптар отличается неглубоким отрицательным минимум на фоне общего обогащения REE и более слабого их фракционирования (см. рис. 5, b).

На вариационной диаграмме Sr/Y–Y часть изученных гранитоидов магаданского комплекса попадает в поле интрузивных пород (см. рис. 4, e, f), отвечающих типовым геохимическим параметрам адакитов и характеризуются (табл. 1): повышенными содержаниями SiO₂ > 56 %, Al₂O₃ > 15 %, MgO чаще всего около 3 %, реже до 4,5 %, низкими концентрациями Y и Yb < 18 и 1,9 ppm соответственно, высоким содержанием Sr > 400 ppm, высокими отношениями V/Sc и Sr/Y (40–80) и



отсутствием Eu аномалии [15]. Практический интерес к изучению адакитов состоит в том, что с этим типом пород связано большинство порфировых Cu-Au-Mo месторождений. Формирование адакитов обычно связано с плавлением субдуцируемой океанической коры (слэба) и образованием магм с высоким содержанием Si и достаточно высокой летучестью кислорода, которые являются двумя основными факторами, определяющими формирование меднопорфирового оруденения [7].

По геодинамической типизации изученные гранитоиды магаданского плутонического комплекса отнесены к альб-сеноманскому коллизионному поясу, сформировавшемуся в синдвиговой обстановке на границе скольжения плит на окраине Азиатского континента, по [10], что не противоречит положению фигуративных точек магаданского комплекса в поле син- и постколлизионных пород на диаграмме [21] (см. рис. 5, с). Анализ микроэлементного состава (Nb-Ba/La-Yb) с использованием дискриминантной диаграммы подтверждает вывод о формировании большей части магаданских гранитоидов в обстановке границ скольжения плит на трансформной континентальной окраине, для некоторой части гранитоидов геодинамическая обстановка трактуется как переходная от надсубдукционной к трансформной (см. рис. 5, d).

Индикаторами геодинамической обстановки также могут служить адакиты, формирование которых связано с плавлением океанической коры в субдукционной обстановке или в постсубдукционной обстановке трансформной окраины по типу Нижней Калифорнии [16].

Изотопно-геохимические и изотопно-геохронологические данные. Генетическая связь Cu-Mo-порфирового оруденения с магаданскими гранитоидами обоснована полученными изотопно-геохронологическими данными. Измеренные U-Pb возраста цирконов из гранитоидов образуют конкордантные кластеры дат в интервале 95–108 млн лет с пиком магматизма – 100 млн лет. В катодоллюминесцентном изображении кристаллы цирконов демонстрируют гомогенный характер с осцилляторной зональностью, типичной для

магматических цирконов (рис. 6: a^3 , e^3 , c^2 , d^3). С U-Pb датами цирконов (см. рис. 6, a^2 , e^2 , c^1 , d^2) хорошо коррелируются полученные Re-Os изохронные датировки, рассчитанные с использованием программного обеспечения ISOPLOT по пириту (см. рис. 6, a^1), выделенному из кварц-пиритовых прожилков в пункте минерализации меди Сигнал в Мотыклейском РУ, молибдениту проявлений Усинское (см. рис. 6, b^1) и Мыс Павловича (см. рис. 6, d^1). Для всех трёх образцов начальные отношения $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0,13\text{--}0,65$ указывают на присутствие в источнике рудообразующих флюидов мантийного компонента, также, как и высокие содержания $\text{Re} > 33$ мг/т в молибденитах (табл. 2). Использование двух независимых методов датирования: U-Pb SIMS SHRIMP и Re-Os TIMS изохронного подтверждает связь гидротермального рудообразующего процесса с гранитоидным магматизмом. При этом устанавливаются две стадии рудогенеза: ранняя 108–104 млн лет и поздняя 102–99 млн лет, связанные с последовательными этапами проявления магматизма.

Для оценки потенциальной рудоносности гранитоидов изучались петрохимические и геохимические особенности как породы в целом, так и отдельных минералов – цирконов.

Для магм, генерирующих медно-порфировое оруденение, характерны высокая степень окисления (FMQ+1 до +2), высокое содержание воды (≥ 4 мас. % H_2O) и высокая степень фракционирования. Изученные гранитоиды магаданского комплекса представляют собой окисленные породы магнетитовой серии, содержащие магнетит и титанит. На классификационной диаграмме $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}-\text{SiO}_2$ основная часть фигуративных точек попадает в поле медно-порфировых систем, гранодиориты массива Павловича могут относиться к гранитоидам, специализированным на молибден (см. рис. 4, d).

Авторами выполнено изотопно-геохимическое исследование микроэлементного состава аксессуарных цирконов (REE+Y, Hf, Ti, Pb, U, Th) по методике Центра изотопных исследований ФГБУ «Институт Карпинского» [8] для ряда интрузивных массивов как в потен-

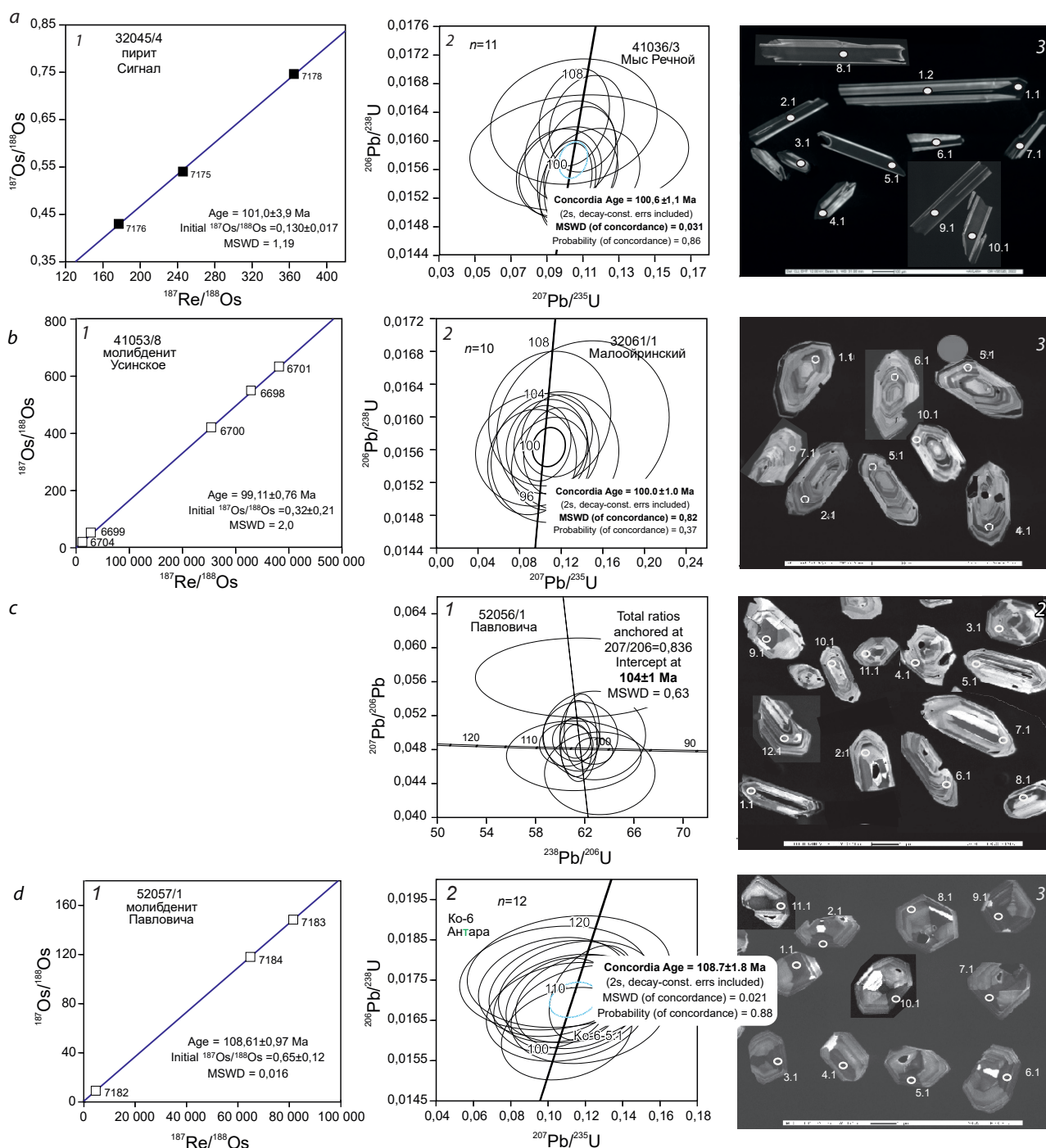


Рис. 6. a^1, b^1, d^1 – Re-Os изохроны по пириту и молибденитам; a^2, b^2, c^1, d^2 – U-Pb-SHRIMP диаграммы с конкордантными кластерами значений возраста цирконов из гранитоидов магаданского комплекса; a^3, b^3, c^2, d^3 – катодолуминесцентное изображение проанализированных цирконов с точками измерений и их номерами

Fig. 6. a^1, b^1, d^1 – Re-Os isochrones from pyrite and molybdenites; a^2, b^2, c^1, d^2 – U-Pb-SHRIMP diagrams with concordant clusters of age values for zircons from granitoids of the Magadan suite; a^3, b^3, c^2, d^3 – cathodoluminescent image of analyzed zircons with measurement points and their numbers



Табл. 2. Результаты Re-Os анализа образцов пирита и молибденита

Table 2. Results of the Re-Os analysis of pyrite and molybdenite samples

№	Номер авторский	Навеска, мг	Re, ppb	Os, ppb	$^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$	$\pm 2\sigma$, %	$^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$	$\pm 2\sigma$, %	$\pm 2\sigma$, абс.
Пирит, Мотыклейский рудный узел									
1	32045/4	114,98	6,67	0,137	245,8	1	0,5403	1,4	0,0075
2	32045/4	205,74	16,3	0,458	176,9	1	0,43	1,56	0,0067
3	32045/4	136,41	5,29	0,313	84,13	1	0,41	0,71	0,0029
4	32045/4	196,31	12,4	0,176	364,8	1	0,7463	1,09	0,0081
5	32045/4	178,44	21,7	0,175	701,3	1	1,5072	1,18	0,0178
6	32045/4	186,52	14,7	0,0694	1429	1	3,2799	1,17	0,0384
Молибденит, Павловичский рудный узел									
1	52057/1	2,296	130 563	154	79 723	1	142,87	0,4	0,57
2	52057/1	1,057	58 105	129	4684	1	9,138	0,44	0,04
3	52057/1	2,073	64 960	77,6	81 543	1	148,38	0,05	0,08
4	52057/1	2,577	63 079	76,3	64 852	1	118	1,26	1,49
5	52057/1	2,632	52 036	66,2	30 239	1	54,03	0,92	0,49
6	52057/1	1,729	73 153	95,4	34 480	1	64,38	1,21	0,78
Молибденит, Усинское рудопроявление									
1	41053/8	4,5095	66,7	70,7	328 877	1	550,31	0,39	2,14
2	41053/8	8,1685	101	122	27 628	1	45,56	0,98	0,45
3	41053/8	7,0767	33,0	34,8	254 064	1	421,32	0,27	1,13
4	41053/8	4,9209	48,7	50,6	381 797	1	626,42	0,28	1,77
5	41053/8	2,9197	108	182	7629	1	12,962	0,36	0,05

циальных РУ, так и в известных на площади листа О-56 медно-молибден-порфировых проявлениях, таких как Лора, Уптар, Усинское. Сопоставление полученных индикативных характеристик цирконов с крупнейшим на Дальнем Востоке Au-Cu-порфировым месторождением Малмыж позволило отнести к высокопродуктивным на медно-порфировое оруденение только два интрузивных массива – Малоойринский и Мотыклейский в прогнозируемом Мотыклейском рудном узле (табл. 3). Цирконы этих двух интрузий отвечают параметрам, свойственным для высокопродуктивных магм, и характеризуются более высокими отношениями Eu/Eu^* ($> 0,3$), $10\,000 \cdot (\text{Eu}/\text{Eu}^*)/\text{Y}$ (> 1), $(\text{Ce}/\text{Nd})/\text{Y}$ ($> 0,01$) и более низкими отношениями Dy/Yb ($< 0,3$) в сопоставлении с непродуктивными магматическими формациями. Отношения (Eu/Eu^*)

и Се являются индикаторами степени окисления материнского гранитоидного расплава.

Порфировидные кварцевые диориты штокообразной интрузии Мыс Речной (41036/1) Чистоозёрного РУ показали умеренную продуктивность (см. табл. 3).

Мотыклейский потенциальный медно-молибден-золоторудный РУ. Мотыклейский РУ находится в Магаданской области в 150 км к западу от административного центра г. Магадана (см. рис. 1). Геологическая и геохимическая изученность площади ограничивается ГСР масштаба 1 : 200 000 (Е. Г. Песков, 1984), литохимической съёмкой и геохимическими поисками по потокам рассеяния масштабов 1 : 200 000 (В. Ю. Одынец, 1984) и 1 : 50 000 (И. А. Резвушкин, 1989). В результате поисковых работ масштаба 1 : 50 000 (А. Н. Глухов, 2007), охватывающих незначительную юго-

Табл. 3. Геохимические параметры цирконов магаданского плутонического комплекса

Table 3. Geochemical parameters of zircons from the Magadan plutonic suite

Номер образца авторский	Проявление, интрузивный массив, порода	Возраст, млн лет	Индикативные геохимические параметры циркона – PIZ (Porphyry Indicator Zircons) [8]							Продуктивность
			Ce/Nd	Eu/Eu*	(Ce/Nd)/Y	Dy/Yb	(10 000 · Eu/Eu*)/Y	Th/U	T °C ¹	
			> 1	> 0,4	> 0,01	< 0,3	> 1	0,1–1	637–738	
Эталон [8]	Месторождение Малмыж	98 ± 1	10	0,6	0,02	0,16	10	0,6	680 ± 20	Наивысшая
Мотыклейский рудный узел, магаданский плутонический комплекс										
32061/1	Малоойринское проявление, Малоойринский массив, гранодиорит порфиоровидный	100 ± 1	15,6	0,53	0,024	0,21	6,9		677	Наивысшая
32049/1	Мотыклейский массив, габбродиорит	100 ± 1	5,9	0,88	0,011	0,17	13,9		512	Высокая
Чистоозёрный рудный узел, магаданский плутонический комплекс										
41036/1	Массив Мыс Речной, кварцевый диорит порфиоровидный	100 ± 1	3,9	0,43	0,001	0,27	1,1	0,6–1,3	721	Умеренная
Павловичский рудный узел, магаданский плутонический комплекс										
Ko16	Массив Антара, кварцевые диориты	104 ± 1	3,4	0,51	0,007	0,16	5,5		717	Умеренная
52056/1	Массив Павловича, гранодиориты	104 ± 1	6,7	0,31	0,008	0,18	4,2		566	Низкая

Примечание. ¹ – температура кристаллизации цирконов по измеренному соотношению Ti-Zr.

восточную часть Мотыклейского РУ, локализованы три наиболее перспективных участка: Шелтинга, Дальний и Сопка Рыжая. На двух последних в настоящее время проводятся лицензионные работы на рудное золото и медь (рис. 7).

Геологическое строение. Мотыклейский РУ выделен в пределах одноимённого рудного района Магадан (Челомджа)-Ямской МЗ, специализированной на Au-Mo-Cu-порфировое оруденение. На площади развиты осадочно-

вулканогенные образования момолтыкичского (J_3-K_1mt) и сигланского (J_3-K_1sg) комплексов в составе покровных базальтов, андезибазальтов, андезитов, их туфов, туфоалевролитов и субвулканических тел риолитов и дацитов, даек базальтов. Вулканиды прорываются гранитоидами магаданского комплекса, слагающими интрузивные массивы Мотыклейский, Онара и Малоойринский (см. рис. 7). В составе интрузий преобладают кварцевые диориты, порфиоровидные тоналиты, граниты и плагио-

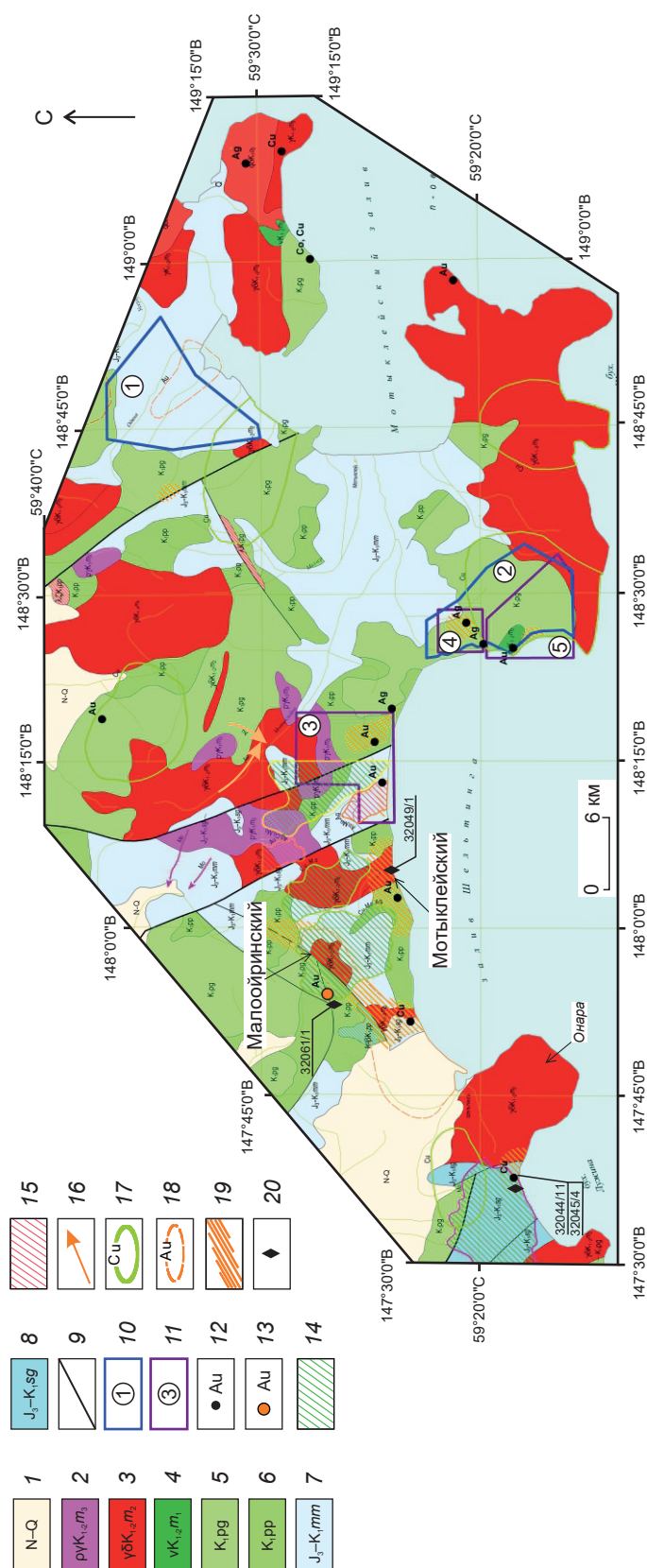


Рис. 7. Геолого-поисковая карта потенциального Мотыклейского рудного узла в составе одноимённого рудного района:

1 – неоген-четвертичные образования; магматические породы трёх фаз внедрения магаданского комплекса (K_{1-2}): 2 – плагиограниты, гранит-порфиры третьей фазы, 3 – гранодиориты-тоналиты, кварцевые диориты второй фазы, 4 – габбро, габбродиориты первой фазы; нижнемеловые образования вулканических комплексов: 5 – пьегинского, 6 – поперецкого, 7 – пьегинского, 8 – поперецкого, 9 – поперецкого с действующими линиями вулканизма; 10 – пьегинского, 11 – поперецкого, 12 – поперецкого, 13 – поперецкого, 14 – поперецкого, 15 – поперецкого, 16 – поперецкого, 17 – поперецкого, 18 – поперецкого, 19 – поперецкого, 20 – поперецкого.

Fig. 7. Geological prospecting map of the Motykley potential ore cluster incorporated into the Motykley ore region:

1 – Neogene-Quaternary formations; igneous rocks of three phases of emplacement of the Magadan suite (K_{1-2}): 2 – plagiogranites, granite-porphyrates of the third phase, 3 – granodiorites-tonalites, quartz diorites of the second phase; 4 – gabbro, gabbro-diorites of the first phase; Lower Cretaceous formations of volcanic complexes: 5 – Pyaginsky, 6 – Poperechny; The Upper Jurassic-Lower Cretaceous is formed by sedimentary-volcanogenic complexes: 7 – Momolykichi, 8 – Sigla; 9 – tectonic disturbances; 10 – areas with valid licenses (1 – placer Au, 2 – ore Au, Cu); 11 – promising areas identified at the exploration stage (Glukhov, 2007); 12 – points of Au, Ag, Cu mineralization; 13 – Malooyirinsky occurrence of Au; mineralization type: 14 – porphyry copper, 15 – gold-silver (Rezvuishkin, 1989); 16 – lithochemical flows; 17 – lithochemical halos in loose sediments; 18 – scattering aureole; 19 – hydrothermally altered rocks; 20 – sampling points with original sample numbers (32044/11 – point of Cu mineralization Signal)

граниты, развиты дайки габбро и габбродиоритов, в эндоконтактах наблюдаются пегматиты и аплиты. Интрузивные тела сопровождаются ореолами контактово-метаморфизованных пород (ширина 1–5 км), среди которых преобладают амфибол-эпидот-хлорит-биотитовые роговики.

Прогнозно-поисковые признаки оруденения. На площади РУ расположено Малоойринское золоторудное проявление, приуроченное к эндо- и экзоконтактовым зонам Малоойринского штока гранодиоритов (см. рис. 7), в которых развиты обширные поля сульфидизированных и гематитизированных кварц-эпидотовых метасоматитов с содержаниями Au в штучных пробах до 6 г/т, Ag до 15 г/т и Cu 0,01–0,15 % (Е. Г. Песков, 1984). Литохимические аномалии по сульфидно-кварцевым и эпидот-кварцевым метасоматитам в экзоконтактовых зонах Малоойринского штока гранодиоритов характеризуются содержаниями Au до 0,01 г/т, Ag до 0,2 г/т, Cu до 0,1 %, Mo до 0,005 %.

На побережье залива Шелтинга среди вторичных кварцитов выявлены пункты минерализации Au (0,1–0,6 г/т) и Ag (3–10 г/т) (Е. Г. Песков, 1984), опережающими геохимическими поисками (В. Ю. Одынец, 1984, И. А. Резвушкин, 1989) здесь установлены потоки рассеяния Cu и Au по ручьям Июльский, Рубикон и Щедрый.

Индикативные геохимические параметры цирконов показали наивысшую потенциальную продуктивность на Cu-Mo-порфировое оруденение гранодиоритов Малоойринской интрузии (см. табл. 3).

На площади развиты обширные ореолы гидротермально-метасоматических образований кварц-светлослюдистого (вторичные кварциты, березиты), темноцветного (пропилиты, скарноиды) и полевошпатового составов по осадочно-вулканогенным образованиям. Преобладают метасоматиты хлоритового, эпидот-хлоритового, кварц-эпидот-хлоритового, кварц-серицитового, кварц-серицит-хлоритового и кварц-эпидотового составов местами с рассеянной вкрапленностью пирита.

Выявлены литохимические аномалии во вторичных ореолах рассеяния и потоки рас-

сеяния меди, золота, молибдена, серебра и элементов-спутников (мышьяка, висмута, свинца, цинка). На участке Шелтинга (А. Н. Глухов, 2007) оконтурен обширный (площадью 11 км²) массив вторичных кварцитов с редкой (до 1–2 %) вкрапленностью пирита, реже магнетита. Минерализация представлена главным образом магнетитом и пиритом, реже пирротинном.

Авторами в процессе полевых работ в береговых обнажениях в бухте Лужина задокументирована минерализованная зона (1 км) гидротермально-изменённых базальтов сигланской свиты вблизи тектонического контакта с интрузией гранодиоритов Онара. Установлен пункт минерализации Сигнал (Cu, Ag) по результатам анализа штучных проб (ICP-MS) с повышенными содержаниями Ag до 7,8 г/т, Cu до 0,18 % и Au – 0,031 г/т. В эндоконтакте интрузии развиты кварц-мусковитовые грейзены и обильное кварц-сульфидное прожилкование.

Авторы связывают перспективы Мотыклейского потенциального РУ с двумя формационными типами оруденения: мезотермальным золото-медно-молибден-порфировым и адуляр-кварцевым эпитепирмальным Au-Ag-серебряной формации. Развитие обширных площадей вторичных кварцитов с аномальными литохимическими ореолами и эпитепирмальным золото-серебряным оруденением предполагает верхнерудный эрозионный срез и наличие нескрытого штокверкового медно-молибден-порфирового оруденения, связанного с Малоойринской интрузией.

Чистоозёрный медно-молибден-золоторудный потенциальный РУ. Выделен на побережье Тауйской губы Охотского моря, в районе мыса Речной. Находится в Магаданской области в 55 км к юго-востоку от г. Магадана (см. рис. 1).

В пределах РУ выделяются два перспективных участка – Олачанская площадь с Au-Ag минерализацией, связанной с субвулканическими риолитами [6], и Мыс Речной с минерализацией порфирового типа. Геолого-съёмочные работы масштаба 1 : 50 000 и поисковые работы на площади не проводились.

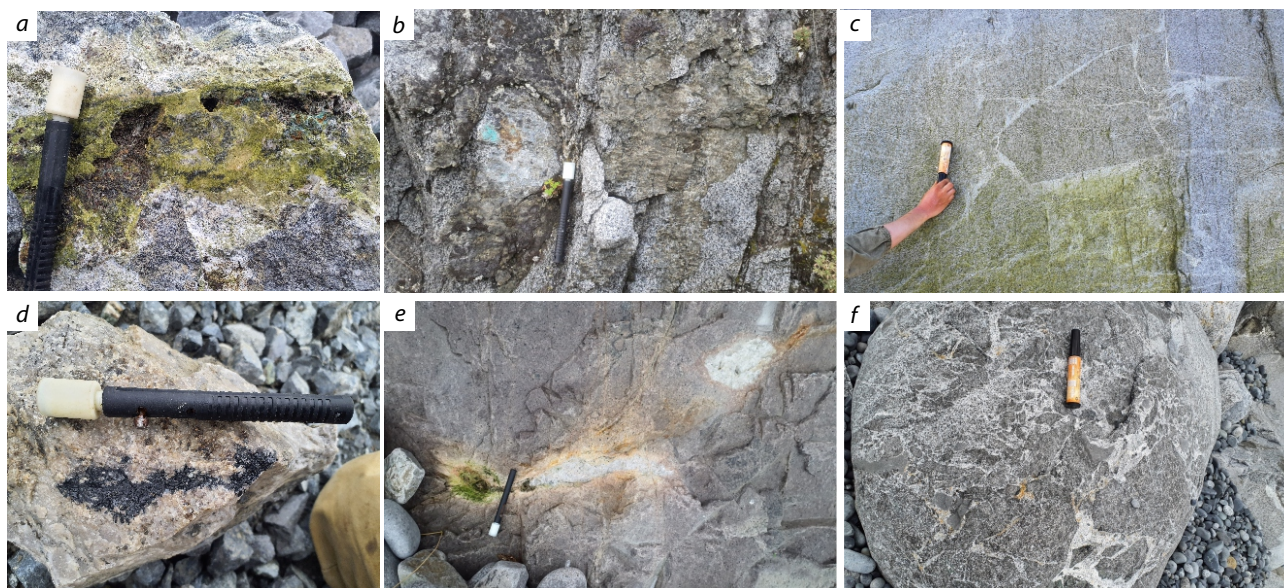


Рис. 8. Разновидности минерализованных образований Мотыклейского рудного узла:

a – эпидот-хлоритовые метасоматиты по вулканитам; *b, c* – вторичная Cu-минерализация и эпидот-хлоритовые изменения по гранодиоритам; *d* – кварц-турмалиновые прожилки в грейзенизированных породах; *e* – кварц-полевошпатовые прожилки с хлоритом; *f* – брекчированная порода с карбонатным цементом

Fig. 8. Varieties of mineralized formations of the Motykley ore cluster:

a – epidote-chlorite metasomatites upon volcanics; *b, c* – secondary Cu mineralization and epidote-chlorite alterations upon granodiorites; *d* – quartz-tourmaline veinlets in greisenized rocks; *e* – quartz-feldspathic veinlets with chlorite; *f* – brecciated rock with carbonate cement

Геологическое строение. Площадь участка Мыс Речной Чистоозёрного РУ сложена нижнемеловыми образованиями пъягинского вулканического комплекса (K_{1pg}) (рис. 9) в составе островодужных базальтов, андезибазальтов, андезитов и дацитов с субвулканическими телами порфировых дацитов адакитового состава, риолитов, дайками базальтов, лампрофиров, риолитов. Интрузивные породы представлены гранитоидами магаданского комплекса небольшого интрузивного массива Мыс Речной площадью $\sim 4 \text{ км}^2$, дайками габбро и габбродолеритов, микроналит-порфиров, гранит-порфиров и аплитов магаданского plutonic complex.

Прогнозно-поисковые признаки. Предшественниками в районе Мыса Речной выявлены пункт минерализации меди с повышенными содержаниями (Cu до 0,5 %, Ag до 2 г/т,

Zn до 0,04 %, Au – 0,003 г/т) по данным спектрального анализа, литохимические ореолы молибдена с содержаниями до 0,001 %, приуроченные к базальтам, андезибазальтам и их туфам на контакте с интрузией Мыс Речной, вторичный литохимический поток меди, шлиховые знаки золота по притокам, дренирующим интрузивный массив, гидротермально-изменённые вулканиты пъягинской толщи, приуроченные к зонам дробления, брекчирования, эпидотизации и пиритизации с малахитовой зеленью [6].

В процессе полевых специализированных исследований авторами с участием Е. Е. Коловой (СВКНИИ ДВО РАН) установлены признаки порфировой системы, выраженные в развитии штокверкового кварц-биотит-сульфидного прожилкования и кварц-калишпатовых гнёзд с сульфидной минерализацией до

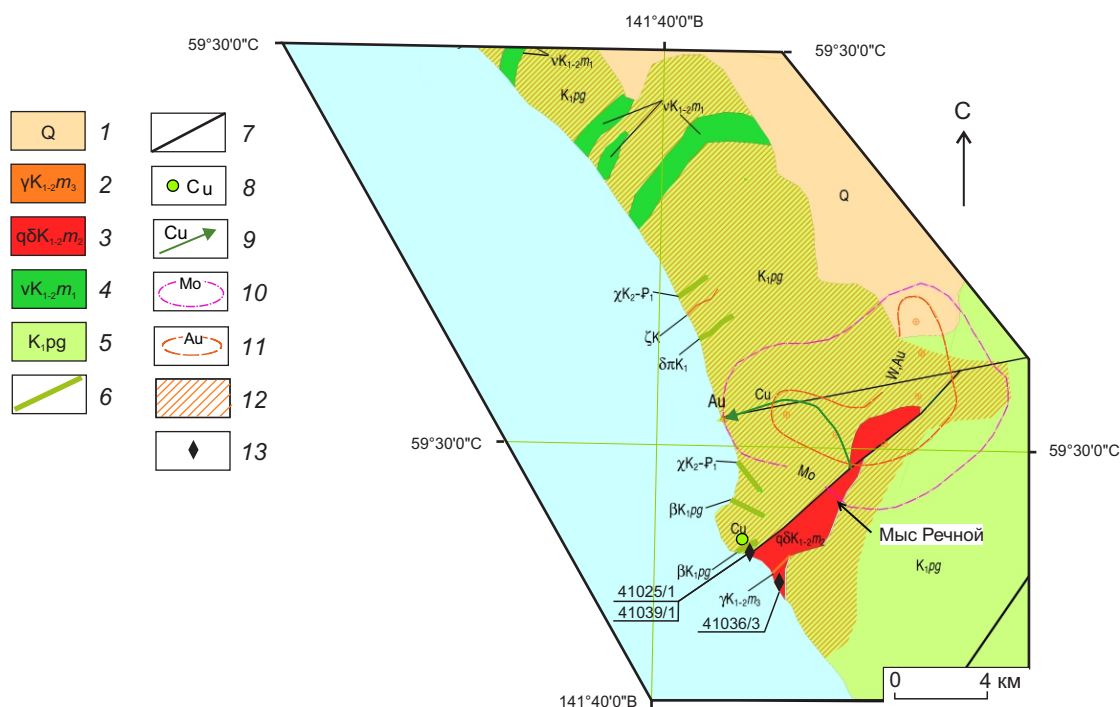


Рис. 9. Геолого-поисковая карта участка Мыс Речной потенциального Чистоозёрного рудного узла:

1 – четвертичные образования; магматические породы трёх фаз внедрения магаданского комплекса: 2 – плагиограниты, гранит-порфиры третьей фазы, 3 – кварцевые диориты второй фазы, 4 – габбро, габбродолериты первой фазы; 5 – нижнемеловые образования п्याгинского вулканического комплекса; 6 – дайки диоритовых порфиров; 7 – тектонические нарушения; 8 – пункт минерализации меди; 9 – потоки рассеяния меди; 10 – литохимический ореол молибдена; 11 – шлиховой ореол золота; 12 – гидро-термально-изменённые породы; 13 – точки опробования с авторскими номерами проб

Fig. 9. Geological prospecting map of the Mys Rechnoy area (Chistoozerny potential ore cluster):

1 – quaternary formations; igneous rocks of three phases of emplacement of the Magadan complex: 2 – plagiogranites, granite-porphyrates of the third phase, 3 – quartz diorites of the second phase, 4 – gabbro, gabbrodolerites of the first phase; 5 – Lower Cretaceous formations of the Pyaginsky volcanic complex; 6 – dikes of diorite porphyrites, 7 – tectonic disturbances; 8 – Cu mineralization point; 9 – copper dispersion fluxes; 10 – lithochemical halo of molybdenum, 11 – gold heavy mineral concentrate halo; 12 – sampling points with original sample numbers

2–5 % в порфировидных кварцевых диоритах штокообразной интрузии Мыс Речной. В экзоконтакте интрузии по туфам и базальтам п्याгинской толщи развиты кварц-эпидот-сульфидные прожилки с медной зеленью, кварц-серицитовые метасоматиты. Шток разбит серией тектонических нарушений северо-восточного направления, к которым приурочены минерализованные зоны дробления, истирания и брекчирования.

Из метасоматически изменённых пород рудоносного штокверка отобраны штучные про-

бы, в одной из которых (№ 41039/2) установлены (ICP-MS) повышенные концентрации Cu – 1,1 %, Au – 63 г/т, Ag – 17,3 г/т, Bi – 33,4 г/т, Zn – 0,18 %. В протоловках пород выявлена минеральная ассоциация: пирит, халькопирит, борнит, молибденит, халькозин, галенит, магнетит.

В результате электронно-микронзондовых исследований аншлифов из метасоматитов штокверка Мыс Речной в образце 41039/2 обнаружены теллуриды золота и серебра – селванит $(Au,Ag)_2Te_4$ и гессит Ag_2Te , а также



Табл. 4. Результаты электронно-зондового микроанализа образца 41025/1, %

Table 4. Results of the electron probe microanalysis of Sample 41025/1, %

Метка спектра	S	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Bi	Всего	Минерал
Спектр 6	53,44		46,56							100	Пирит
Спектр 10	51,9		48,08	0,02						100	Пирит
Спектр 11	34,43	0,28	6,3			58,62	0,37			100	Сфалерит
Спектр 12	34,06		1,49		64,45					100	Халькозин
Спектр 15	12,5							86,48	1,02	100	Галенит
Спектр 16	35,13		10,17		54,7					100	Халькозин
Спектр 17	53,42		46,58							100	Пирит
Спектр 18	34,33		19,39		46,28					100	Борнит
Спектр 19	39,67		60,33							100	Пирротин
Спектр 20	35,86		30,67		33,47					100	Халькопирит
Спектр 26	37,33		28,93					33,74	0	100	Галенит
Спектр 28	35,37		31,98		32,65					100	Халькопирит
Спектр 29	36,63		32,89					30,48	0	100	Галенит
Спектр 30	12,27		1,14					84,3	2,3	100	Галенит
Спектр 32	53,52		46,48							100	Пирит
Спектр 41	12,48		1,71					83,67	2,14	100	Галенит
Спектр 45	39,26		60,61	0,14						100	Пирротин
Спектр 46	31,71	0,36	7,65			59,82	0,46			100	Сфалерит
Спектр 51	12,5		0,64					83,82	3,04	100	Галенит
Спектр 60	12,58							85,41	2,02	100	Галенит

свинца – алтаит $PbTe$ и Bi_2S_3 . В аншлифе образца 41025/1 диагностированы минералы молибдена, меди, свинца и цинка (табл. 4).

Благоприятный геофизический фактор, указывающий на наличие нескрытых интрузивных основных пород магнетитовой серии, – выявленная высокоинтенсивная положительная магнитная аномалия.

В результате проведенных исследований на перспективной площади Мыс Речной Чистоозёрного рудного узла установлены признаки слабовскрытой полихронной порфирово-эпитеpмальной системы с прожилково-вкрапленным штокверковым оруденением медно-порфирового типа и парагенетически

связанной с ней эпитеpмальной золото-теллуридной минерализацией. Рудоносный штокверк генетически связан с альб-сеноманскими гранитоидами магаданского комплекса. Предполагается, что развитие рудообразующей порфировой системы происходило в два этапа: ранний мезотермальный и поздний эпитеpмальный. Эпитеpмальная минерализация в порфировых системах, согласно эпитеpмально-порфировой модели Р. Силитоу [23], указывает на верхнерудный срез и может быть хорошим поисковым признаком на обнаружение нескрытых рудных тел.

Павловский серебро-медно-молибдено-ворудный потенциальный РУ находится в

Магаданской области в 140 км к юго-востоку от г. Магадан (см. рис. 1). Географически расположен в южной части п-ва Кони на побережье залива Забияка.

Геологическое строение. В структурном плане территория узла относится к Кони-Пьягинскому отрезку Охотско-Тайгоносской островодужной системы. Значительную часть площади занимает крупный батолитоподобный многофазный массив Павловича площадью ~ 54 км², сложенный гранитоидами магаданского комплекса, прорываемыми среднеюрские вулканогенно-осадочные образования одянской и евгеньевской свит [4]. В южной части батолита Павловича в 1959 г. В. Ф. Карпичевым при ГСР-200 выявлено Cu-Mo проявление Мыс Павловича (Викинг).

Рудное тело представляет собой штокверк сульфидно-кварцевых жил и прожилков в порфиридных гранодиоритах массива Павловича с вкрапленной сульфидной минерализацией [4]. Штокверк вскрыт в береговых обрывах высотой 300–350 м, окрашенных гипергенными медными минералами в зелёный цвет.

Оценка перспектив проявления Мыс Павловича по результатам работ предшественников неоднозначная. По неопубликованным данным (Ю. П. Скибина, 1981), проявление является высокоперспективным для выявления крупного промышленного месторождения комплексных молибденово-медных руд. В. Д. Юдиным и В. Ф. Семёновым в 1984 г. по итогам ГСР-50 дана невысокая прогнозная оценка ресурсов кат. P₂: Cu – 290 тыс. т, Mo – 14 тыс. т, Ag – 290 т при среднем содержании Cu 0,24 %, Mo 0,012 % и Ag 20,4 г/т.

Авторами в процессе полевых работ в береговых обнажениях обследованы коренные выходы рудоносного штокверка Мыса Павловича на протяжении около 2 км в целях уточнения рудно-формационного типа и выявления дополнительных данных для оценки перспектив. Отмечены широко развитые среди гранитоидов зоны вторичных кварцитов, ортоклазитов, окварцевания, кварцево-жильного прожилкования с сульфидизацией, прожилками и гнездовой вкрапленностью молиб-

денита и примазками малахита. В штучных пробах из минерализованных зон установлены (ICP-MS) повышенные концентрации Cu – 0,1 %, Mo – 0,09 %, Ag – 1,66 г/т, в отдельных пробах содержания достигают аномальных: Cu – 10,7 %, Mo – 0,23 %, Ag – 142 г/т, Au – 0,35 г/т, Bi – 23,4 г/т, Te – 5 г/т.

Обоснование выделения Павловичского серебро-медно-молибденоворудного потенциального узла, охватывающего всю площадь Павловичского массива (54 км²) и вмещающего вулканогенные образования, основано как на авторских наблюдениях, так и на комплексном анализе материалов предшественников. Они показали и в контуре батолита, и на его экзоконтактах широкое развитие рудной минерализации, проявленное пунктами минерализации золота, кварц-пиритовым прожилкованием и участками гидротермально-метасоматических пород с обильной пиритизацией. Литохимические потоки меди, золота, цинка, молибдена в рыхлых отложениях (Ю. В. Одынец, 1980) и вторичные ореолы рассеяния молибдена невысокие ($6 \cdot 10^{-5}$ – $6 \cdot 10^{-4}$), что может объясняться значительной глубиной залегания богатых руд. У северной границы батолита установлены шлиховой ореол золота и точечные шлиховые пробы в аллювии ручьёв, дренирующих гранитоиды массива и вмещающие вулканогенные образования. В этой части выявленного потенциального узла проводятся лицензионные работы на россыпное золото.

По мнению авторов, объект представляет интерес для дальнейшего изучения с позиции его неоднозначной оценки разными исследователями и неясного рудно-формационного типа. При изучении микроэлементного состава цирконов (обр. 52056/1) (см. табл. 3) установлена низкая продуктивность гранодиоритов массива Павловича на Cu-Mo-порфировое оруденение. Это может быть связано с тем, что изученные гранодиориты представляют собой непродуктивный (пострудный) этап магматизма, учитывая, что Re-Os возраст (108 млн лет) молибденита из минерализованной зоны Павловичского РУ древнее, чем U-Pb возраст гранодиорита (104 млн лет). Другим объ-



яснением низкой фертильности гранитоидов является то, что рудно-формационный тип минерализации на проявлении Мыс Павловича не относится к порфировому типу.

Закключение. Авторы данной работы считают, что металлогенический потенциал Дальневосточного региона на золото, молибден и медь не исчерпывается выявленными в последние десятилетия крупными месторождениями Песчанка и Малмыж и связывают прогнозную эффективность изученных листов О-55, О-56 с возможным обнаружением промышленных рудных объектов молибден-медно-порфировой формации в потенциальных Мотыклейском, Чистоозёрном и Павловичском рудных узлах.

Обоснованием прогнозирования перспективных РУ послужили прогнозно-поисковые критерии и признаки, сопоставимые с эталонными объектами: золото-медно-порфировым месторождением Малмыж и золото-молибден-медно-порфировым месторождением Песчанка в Баимской рудной зоне. Рудообразующие порфировые интрузии альб-сеноманского магаданского комплекса во всех выделенных потенциальных узлах по возрасту и составу соответствуют позднеальб-сеноманским гранитоидам диорит-тоналитовой формации месторождения Малмыж [24]. Умеренно-щелочные гранитоиды в составе магаданского комплекса, сопоставимые с монцонит-диорит, монцонит-сиенитовой формацией рудогенерирующих интрузий месторождения Песчанка [11], находятся в подчинённом количестве. В то же время установлено сходство геологического строения с месторождением Песчанка по составу островодужного субстрата, представленного юрскими, верхнеюрско-нижнемеловыми и меловыми вулканогенно-осадочными породами, тогда как оруденение Малмыжского месторождения вмещают терригенные породы.

Перспективность выделенных потенциальных узлов подтверждается широким развитием гидротермально-метасоматических образований: пропилитов, калиево-полевошпатовых, серицит-кварц-пиритовых, кварц-сульфидных метасоматитов, а также характерным для пор-

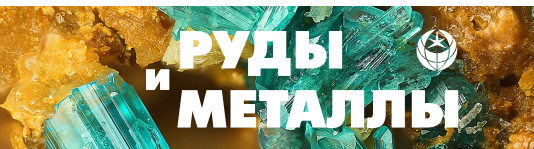
фировых объектов составом минеральной ассоциации (пирит, пирротин, халькопирит, халькозин, борнит, молибденит, ковеллин, галенит, магнетит).

Выявление минерализации порфирово-эпитермального типа на участке Мыс Речной Чистоозёрного РУ позволяет сопоставлять этот объект с подобной порфирово-эпитермальной золото-медно-молибденоворудной системой месторождения Весеннее Баимской рудной зоны, на котором эпитермальная золото-серебряная минерализация указывает на верхнерудный срез [11]. Нами предполагается слабая эродированность порфирово-эпитермальной системы Мыс Речной, что наряду с другими изученными параметрами может рассматриваться хорошим поисковым признаком для прогнозирования медно-порфирового оруденения на глубину.

Полученные данные дают основание рекомендовать площадь потенциальных Мотыклейского, Чистоозёрного, Павловичского РУ для дальнейшего изучения крупномасштабными геолого-съёмочными работами с попутными поисками. В плане постановки первоочередных работ заслуживают внимания два участка Мотыклейского РУ: Малоойринское проявление золота, приуроченное к одному из гранитоидов, и участок Шелтинга с Мотыклейским гранитоидным массивом, для которых наивысшую и высокую оценку потенциальной продуктивности на медно-порфировое оруденение показали индикативные геохимические параметры цирконов (см. табл. 1).

Исследования выполнены в рамках Государственного задания Федерального агентства по недропользованию от 14.01.2022 г. № 049-00018-22-01 по объекту «Создание и подготовка к изданию государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения по группе листов территории Российской Федерации в 2021–2023 годах (листы О-55, 56)».

Авторы выражают благодарность директору СВКНИИ ДВО РАН В. В. Акинину – член-корреспонденту РАН за содействие в проведении полевых работ на территории Магадан-



ской области, консультативную поддержку и научное обсуждение материалов в рамках научного сотрудничества с ФБГУ «Инсти-

тут Карпинского», а также академику РАН А. И. Ханчуку за консультативную поддержку и научное обсуждение материалов.

Список литературы

1. Акинин А. В., Бердников Н. В., Ползуненков Г. О., Глухов А. Н., Колова Е. Е. Геохимические критерии известково-щелочных магм, перспективных на обнаружение медно-порфировых месторождений на Северо-Востоке России // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. – 2020. – № 1. – С. 3–10.
2. Аленичева А. А., Акинин В. В., Колова Е. Е., Веселовский П. И., Касаткин Н. С., Беликова О. А., Ползуненков Г. О. Новые данные о U-Pb возрасте, петрохимических особенностях и металлогенической специализации магматических образований в зоне сочленения Кони-Тайгонской островодужной системы и Охотско-Чукотского вулканоплутонического пояса // Петрология и рудоносность магматических формаций. – Новосибирск : ИГМ СО РАН, 2022. – С. 12–14.
3. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. Кн. 1. / Под ред. А. И. Ханчука. – Владивосток : Дальнаука, 2006. – 572 с.
4. Касаткин Н. С., Аленичева А. А., Юрченко Ю. Ю., Таловина И. В. Новые изотопные данные о возрасте рудоносных магматических комплексов и оруденения перспективного медно-молибденового рудопоявления Мыс Павловича (Викинг) в Кони-Пьягинской минерагенической зоне (Северное Приохотье, Магаданская область) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции, Якутск, 26–29 марта 2024 г. – Якутск : СВФУ им. М. К. Аммосова, 2024. – 620 с. – URL: https://diamond.ysn.ru/wp-content/uploads/2024/04/СБОРНИК_МНПК_2024_итог.pdf (дата обращения 24.05.2024).
5. Колова Е. Е., Глухов А. Н., Ползуненков Г. О., Акинин В. В. Медно-порфировая минерализация Тальникового рудного поля (Охотский сегмент Охотско-Чукотского вулканогенного пояса) // Тихоокеанская геология. – 2023. – Т. 42, № 6. – С. 39–61. – DOI 10.30911/0207-4028-2023-42-6-39-61.
6. Корольков В. Г., Королькова А. М. Объяснительная записка к Государственной геологической карте СССР листа О-56-II м-ба 1 : 200 000. – 1987.
7. Коротков В. В. Геолого-генетическая и прогнознопойсковая модель месторождений порфирового типа (обзор 1). – URL: <https://vims-geo.ru> (дата обращения 17.06.2024).
8. Петров О. В., Киселев Е. А., Ханчук А. И., Иванов В. В., Шатов В. В., Аленичева А. А., Молчанов А. В., Терехов А. В., Леонтьев В. И., Родионов Н. В., Беляцкий Б. В., Сергеев С. А. Распределение элементов-примесей в цирконе как индикатор рудоносности магматических пород Au-Cu-порфировых проявлений Малмыжского и Понийского рудных полей (Нижнее Приамурье, Дальний восток) // Региональная геология и металлогения. – 2020. – № 84. – С. 55–70.
9. Петров О. В., Ханчук А. И., Иванов В. В., Киселёв Е. А., Шатов В. В., Змиевский Ю. П., Молчанов А. В., Терехов А. В., Сергеев С. А. U-Pb SIMS геохронология рудоносных магматических пород золото-медно-порфировых проявлений Малмыжского и Понийского рудных полей (Нижнее Приамурье) // Региональная геология и металлогения. – 2020. – № 84. – С. 41–56.
10. Ханчук А. И., Гребенников А. В., Иванов В. В. Альб-сеноманские окраинно-континентальный орогенный пояс и магматическая провинция Тихоокеанской Азии // Тихоокеанская геология. – 2019. – Т. 38, № 3. – С. 4–37.
11. Читалин А. Ф., Николаев Ю. Н., Бакшеев И. А., Прокофьев В. Ю., Фомичев Е. В., Усенко В. В., Нагорная Е. В., Марущенко Л. И., Сидорина Ю. Н., Джеджева Г. Т. Порфирово-эпитермальные системы Баимской рудной зоны, Западная Чукотка // Смирновский Сборник-2016. Проблемы минерагении, экономической геологии и минеральных ресурсов. Ч. 1, 2. – М. : МАКС Пресс, 2016. – С. 82–114.
12. Шпикерман В. И. Объяснительная записка к Государственной геологической карте листа Р-55 м-ба 1 : 1 000 000. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2016.



13. Cabanis B., Lecolle M. Le diagramme La/10–Y/15–Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de mélange et/ou de contamination crustale // Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Série II. – 1989. – V. 309. – P. 2023–2029.
14. Chappell B., White A. J. R. I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt // Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences. – 1992. – № 83. – P. 1–26
15. Defant M. J., Drummond M. S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere // Nature. – 1990. – № 347. – P. 662–665.
16. Grebennikov A., Khanchuk A. Pacific-type transform and convergent margins: igneous rocks, geochemical contrasts and discriminant diagrams // International Geology Review. – 2021. – V. 63. – P. 601–629.
17. Ishihara S. The granitoid series and mineralization // Economic geology. – 1981. – № 75. – P. 458–484.
18. McDonough W. F., Sun S.-S. The composition of the Earth // Chemical Geology. – 1995. – № 120. – P. 223–253.
19. Middlemost E. A. K. Magmas. Rocks and Planetary Development. – Longman, Harlow. – 1997. – 299 p.
20. Le Maitre R. W., Bateman P., Dudek A., Keller J., Lameyre J., Le Bas M. J., Sabine P. A., Schmid R., Sorensen H., Streckeisen A., Wooley A. R., Zanettin B. A classification of igneous rocks and glossary of terms. – Blackwell, Oxford. – 1989. – 193 p.
21. Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindle A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // Journal of Petrology. – 1984. – № 25 (4). – P. 956–983.
22. Sun S.-S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes // Geological Society of London Special Publication № 42 (1). – 1989. – P. 313–345.
23. Sillitoe R. H. Porphyry copper systems // Economic Geology. – 2010. – V. 105, № 1. – P. 3–41.
24. Soloviev S. G., Kryazhev S. G., Dvurechenskaya S. S., Vasyukov V. E., Shumilin D. A., Voskresensky D. A. The superlarge Malmyzh porphyry Cu-Au deposit, Sikhote-Alin, eastern Russia: Igneous geochemistry, hydrothermal alteration, mineralization, and fluid inclusion characteristics // Ore Geology Reviews. – 2019. – V. 113. – P. 103–112.

References

1. Akinin A. V., Berdnikov N. V., Polzunenkov G. O., Glukhov A. N., Kolova E. E. Geokhimicheskie kriterii izvestkovo-shchelochnykh magm, perspektivnykh na obnaruzhenie medno-porfirovykh mestorozhdenii na Severo-Vostoke Rossii [Geochemical criteria for calc-alkaline magmas promising for the discovery of porphyry copper deposits in the North-East of Russia], *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN [Bulletin of the North-Eastern Scientific Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences]*, 2020, No 1, pp. 3–10. (In Russ.).
2. Alenicheva A. A., Akinin V. V., Kolova E. E., Veselovskii P. I., Kasatkin N. S., Belikova O. A., Polzunenkov G. O. Novye dannye o U-PB vozraste, petrokhimicheskikh osobennostyakh i metallogenicheskoi spetsializatsii magmaticheskikh obrazovaniy v zone sochleneniya Koni-Taigonoskoi ostrovoduzhnoi sistemy i Okhotsko-Chukotskogo vulkano-plutonicheskogo poyasa [New data on U-PB age, petrochemical features and metallogenic specialization of igneous formations in the junction zone of the Koni-Taigonos island arc system and the Okhotsk-Chukotka volcano-plutonic belt], *Petrologiya i rudonosnost' magmaticheskikh formatsii [Petrology and ore potential of magmatic formations]*, Novosibirsk, IGM SO RAN Publ., 2022, pp. 12–14.
3. Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostochno Rossii: v 2 kn. Kn. 1. [Geodynamics, magmatism and metallogeny of the East of Russia: in 2 books. Book 1.], Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2006, 572 p.
4. Kasatkin N. S., Alenicheva A. A., Yurchenko Yu. Yu., Talovina I. V. Novye izotopnye dannye o vozraste rudonosnykh magmaticheskikh kompleksov i orudeneniya perspektivnogo medno-molibdenovogo rudoproyavleniya Mys Pavlovicha (Viking) v Koni-P'yaginskoi mineragenicheskoi zone (Severnoe Priokhot'e, Magadanskaya oblast') [New isotopic data on the age of ore-bearing magmatic complexes and mineralization of the perspective copper-

- molybdenum ore occurrence of Cape Pavlovich (Viking) in the Koni-Pyaginsky mineragenic zone (Northern Priokhotye, Magadan region)], *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii: Materialy XIV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Yakutsk, 26–29 marta 2024 g.* [Geology and mineral resources of the North-East of Russia: Materials of the XIV All-Russian Scientific and Practical conference, Yakutsk, March 26–29, 2024], Yakutsk, M. K. Ammosov NEFU, 2024, 620 p., available at: https://diamond.ysn.ru/wp-content/uploads/2024/04/SBORNIK_MNPK_2024_itog.pdf (accessed 24.05.2024).
5. Kolova E. E., Glukhov A. N., Polzunenkov G. O., Akinin V. V. Medno-porfirovaya mineralizatsiya Tal'nikovogo rudnogo polya (Okhotskii segment Okhotsko-Chukotskogo vulkanogenogo poyasa) [Copper-porphyry mineralization of the Talnik ore field (Okhotsk segment of the Okhotsk-Chukotsk volcanic belt)], *Tikhookeanskaya geologiya* [Russian journal of Pacific geology], 2023, V. 42, No 6, pp. 39–61, DOI 10.30911/0207-4028-2023-42-6-39-61. (In Russ.).
 6. Korol'kov V. G., Korol'kova A. M. Ob"yasnitel'naya zapiska k Gosudarstvennoi geologicheskoi karte SSSR lista O-56-II m-ba 1 : 200 000 [Explanatory note to the State Geological Map of the USSR sheet O-56-II scale 1 : 200 000], 1987.
 7. Korotkov V. V. Geologo-geneticheskaya i prognoznno-poiskovaya model' mestorozhdenii porfirovogo tipa (obzor 1) [Geological-genetic and predictive prospecting model of porphyry type deposits (review 1)], available at: <https://vims-geo.ru> (accessed 17.06.2024).
 8. Petrov O. V., Kiselev E. A., Khanchuk A. I., Ivanov V. V., Shatov V. V., Alenicheva A. A., Molchanov A. V., Terekhov A. V., Leont'ev V. I., Rodionov N. V., Belyatskii B. V., Sergeev S. A. Raspreделение elementov-primesei v tsirkone kak indikator rudonosnosti magmaticheskikh porod Au-Cu-porfirovykh proyavlenii Malmyzhskogo i Poniiskogo rudnykh polei (Nizhnee Priamur'e, Dal'nii Vostok) [Distribution of impurity elements in zircon as an indicator of ore content of magmatic rocks of Au-Cu-porphyry manifestations of the Malmyzhsky and Poniysky ore fields (Lower Amur region, Far East)], *Regional'naya geologiya i metallogeniya* [Regional Geology and Metallogeny], 2020, No 84, pp. 55–70. (In Russ.).
 9. Petrov O. V., Khanchuk A. I., Ivanov V. V., Kiselev E. A., Shatov V. V., Zmievskii Yu. P., Molchanov A. V., Terekhov A. V., Sergeev S. A. U-Pb SIMS geokhronologiya rudonosnykh magmaticheskikh porod zoloto-medno-porfirovykh proyavlenii Malmyzhskogo i Poniiskogo rudnykh polei (Nizhnee Priamur'e) [U-Pb SIMS geochronology of ore-bearing igneous rocks of gold-copper-porphyry manifestations of the Malmyzhsky and Poniysky ore fields (Lower Amur region)], *Regional'naya geologiya i metallogeniya* [Regional Geology and Metallogeny], 2020, No 84, pp. 41–56. (In Russ.).
 10. Khanchuk A. I., Grebennikov A. V., Ivanov V. V. Al'b-senomanskii okrainno-kontinental'nyi orogennyi poyas i magmaticheskaya provintsia Tikhookeanskoi Azii [Albian-Cenomanian marginal continental orogenic belt and magmatic province of Pacific Asia], *Tikhookeanskaya geologiya* [Russian journal of Pacific geology], 2019, V. 38, No 3, pp. 4–37. (In Russ.).
 11. Chitalin A. F., Nikolaev Yu. N., Baksheev I. A., Prokof'ev V. Yu., Fomichev E. V., Usenko V. V., Nagornaya E. V., Marushchenko L. I., Sidorina Yu. N., Dzhedzheya G. T. Porfirovo-epitermal'nye sistemy Baimskoi rudnoi zony, Zapadnaya Chukotka [Porphyry-epithermal systems of the Baim ore zone, Western Chukotka], *Smirnovskii Sbornik-2016. Problemy mineragenii, ekonomicheskoi geologii i mineral'nykh resursov. Ch. 1, 2* [Smirnov Collection-2016. Problems of minerogeny, economic geology and mineral resources. Part 1, 2], Moscow, MAKSS Press Publ., 2016, pp. 82–114. (In Russ.).
 12. Shpikerman V. I. Ob"yasnitel'naya zapiska k Gosudarstvennoi geologicheskoi karte lista P-55 m-ba 1 : 1 000 000 [Explanatory note to the State Geological Map sheet P-55 scale 1 : 1,000,000], St. Petersburg, VSEGEI Publ., 2016.
 13. Cabanis B., Lecolle M. Le diagramme La/10–Y/15–Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de melange et/ou de contamination crustale, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Série II*, 1989, V. 309, pp. 2023–2029. (In French).
 14. Chappell B. W., White A. J. R. I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt, *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 1992, No 83, 1–26.
 15. Defant M. J., Drummond M. S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere, *Nature*, 1990, No 347, pp. 662–665.



16. Grebennikov A., Khanchuk A. Pacific-type transform and convergent margins: igneous rocks, geochemical contrasts and discriminant diagrams, *International Geology Review*, 2021, V. 63, pp. 601–629.
17. Ishihara S. The granitoid series and mineralization, *Economic geology*, 1981, No 75, 458–484.
18. McDonough W. F., Sun S.-S. The composition of the Earth, *Chemical Geology*, 1995, No 120, pp. 223–253.
19. Middlemost E. A. K. Magmas. Rocks and Planetary Development, Longman, Harlow, 1997, 299 p.
20. Le Maitre R. W., Bateman P., Dudek A., Keller J., Lameyre J., Le Bas M. J., Sabine P. A., Schmid R., Sorensen H., Streckeisen A., Wooley A. R., Zanettin B. A classification of igneous rocks and glossary of terms, Blackwell, Oxford, 1989, pp. 193.
21. Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindle A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks, *Journal of Petrology*, 1984, No 25 (4), pp. 956–983.
22. Sun S.-S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes, *Geological Society of London Special Publication*, No 42 (1), 1989, pp. 313–345.
23. Sillitoe R. H. Porphyry copper systems, *Economic Geology*, 2010, V. 105, No 1, pp. 3–41.
24. Soloviev S. G., Kryazhev S. G., Dvurechenskaya S. S., Vasyukov V. E., Shumilin D. A., Voskresensky D. A. The superlarge Malmyzh porphyry Cu-Au deposit, Sikhote-Alin, eastern Russia: Igneous geochemistry, hydrothermal alteration, mineralization, and fluid inclusion characteristics, *Ore Geology Reviews*, 2019, V. 113, pp. 103–112.

Аленичева Антонина Андреевна (Antonina_Alenicheva@karpinskyinstitute.ru)

старший научный сотрудник ¹

Касаткин Никита Сергеевич

ведущий инженер, аспирант ^{1,2}

Юрченко Юрий Юльевич

кандидат геолого-минералогических наук, начальник отдела ¹

Зубова Татьяна Николаевна

заместитель генерального директора по ГРП ¹

Шатов Виталий Витальевич

кандидат геолого-минералогических наук, директор центра ПМИ ¹

Сергеев Сергей Андреевич

кандидат геолого-минералогических наук, директор ЦИИ ¹

¹ ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, г. Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II», г. Санкт-Петербург, Россия