

УДК 553.2.41(571.65)

ПОРФИРОВАЯ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЛАБАЗНОЕ (ОМОЛОНСКИЙ КРАТОННЫЙ ТЕРРЕЙН, СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ): ВОЗРАСТ, МИНЕРАЛОГИЯ ОРУДЕНЕНИЯ И МИНЕРАЛЬНАЯ ТЕРМОБАРОМЕТРИЯ РУДОВМЕЩАЮЩИХ ГРАНИТОИДОВ ВИКТОРИНСКОГО КОМПЛЕКСА

© 2025 г. В. Ю. Соловьёв^{а, *}, В. В. Приймченко^{а, **}, Г. О. Ползуненков^{а, ***},
М. И. Фомина^а, Т. И. Михалицына^а, А. М. Гагиева^а, В. Б. Хубанов^б,
П. П. Колегов^а, В. В. Акинин^а

^аСеверо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН,
ул. Портовая, 16, Магадан, 685000 Россия

^бГеологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН,
ул. Сахьяновой, 6а, Улан-Удэ, 670047 Россия

*e-mail: solovev@neisri.ru

**e-mail: priymenkovladimir@gmail.com

***e-mail: gennadiy_mag@mail.ru

Поступила в редакцию 29.06.2024 г.

После доработки 07.10.2024 г.

Принята к публикации 28.10.2024 г.

Приводятся новые данные о возрасте (U–Pb, LA-SF-ICP-MS: 86 ± 1 млн лет) кварцевых монцодиоритов викторинского комплекса Конгинской магматической зоны Омолонского кратонного террейна. Рудопроявление Лабазное, несущее прожилково-штокверковое сульфидно-кварцевое и жильное полиметаллическое оруденение, локализовано в пределах интрузивно-купольного поднятия, в центральной части которого обнажается шток монцодиоритов викторинского комплекса. Приведена петрографо-геохимическая характеристика и минеральная термобарометрия рудовмещающих кварцевых монцодиоритов. Охарактеризованы минералогия руд и приведена оценка изотопного возраста (K–Ar: 82 ± 4 млн лет) кристаллизации серицита из околожильного контакта с монцодиоритовой интрузией. На основании геологических взаимоотношений и изотопно-геохронологических данных установлена парагенетическая связь молибден-порфирового оруденения с этапом позднемелового магматизма — внедрением гранитоидных тел викторинского комплекса. Реконструирована стадийность образования парагенетических ассоциаций минералов в последовательности — магнетит-кварцевая, молибденит-кварцевая, сульфидно-кварцевая; гипогенный этап завершается полиметаллической стадией. Материалы изотопного датирования руд и рудовмещающих гранитоидов в регионе исследования свидетельствуют о позднемеловом (коньяк-кампан) возрасте порфировых рудно-магматических систем Конгинской магматической зоны.

Ключевые слова: порфировая рудно-магматическая система, изотопный возраст, минералогия, петрография, термобарометрия

DOI: 10.31857/S0203030625010045, EDN: HGNRJE

ВВЕДЕНИЕ

В пределах Омолонского кратонного террейна (КТ), традиционно именуемого Омолонским массивом, известны молибден-порфировые

рудопроявления Хрустальное, Вечернее, Шлиховое, Захаренко (рис. 1), приуроченные к позднемеловым гранитоидным интрузиям викторинского комплекса [Горячев и др., 2017; Глухов и др., 2021].

Гранитоидные тела (преимущественно силлы, мелкие штоки многофазного строения, реже дайки и единичные относительно крупные массивы), сложенные порфировидными монцонитами, гранодиоритами, кварцевыми диоритами, граносиенитами, редко габбро ранней фазы, пространственно совмещены с выходами вулканогенно-осадочных, покровных и субвулканических образований конгинского андезит-риолитового комплекса, формируя единые вулкано-тектонические структуры. Вулканогенные образования конгинского комплекса отнесены к позднему мелу по находкам флористических остатков в вулканогенно-осадочных отложениях конгинской свиты (ЛОС-200, Шевченко, Симаков, 1999)¹. Тесная пространственная сопряженность гранитоидных интрузий викторинского комплекса с вулканогенными образованиями конгинского комплекса, их взаимоотношения и принадлежность к единой структуре, близкие петро- и геохимические свойства послужили основанием для объединения их в позднемеловую конгинскую вулкано-плутоническую ассоциацию (ЛОС-200). Вулканогенные образования конгинского комплекса и ассоциирующие с ними интрузии викторинского комплекса прослеживаются в виде цепочки изолированных вулканоструктур, составляющих линейную Конгинскую магматическую зону (МЗ). Конгинская МЗ располагается в центральной части Омолонского КТ, протягиваясь в субмеридиональном направлении на 200–250 км вдоль Конгинского глубинного разлома, и ограничивается с севера и юга зонами Омкучанского и Тебанинского глубинных разломов (см. рис. 1). Согласно мнению большинства исследователей Конгинская МЗ является линейным, ортогональным к генеральному простиранию, структурным элементом Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП).

Металлогенический потенциал Конгинской МЗ имеет высокую оценку [Горячев и др., 2017]; здесь известны многочисленные месторождения и рудопроявления золото-серебряного, серебро-полиметаллического, золото-редко-

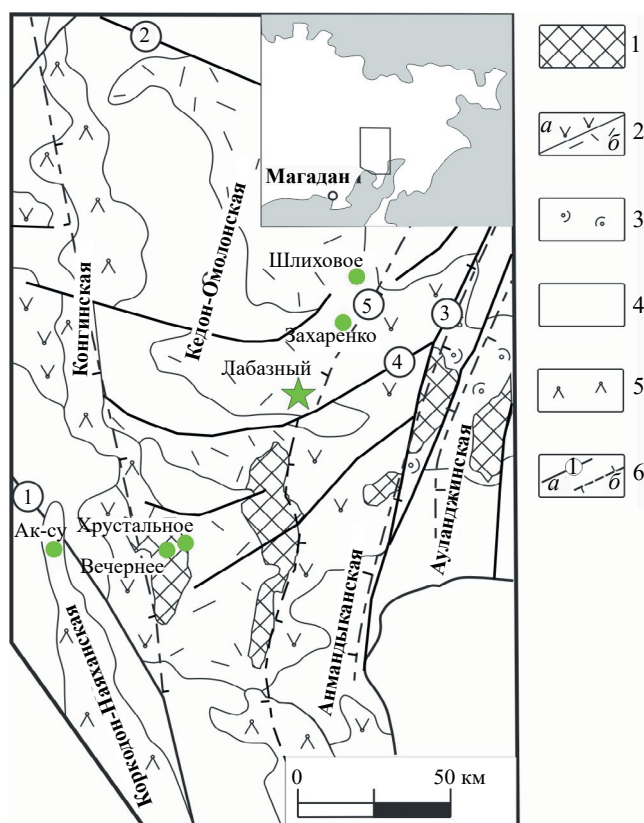


Рис. 1. Геолого-тектоническая схема Омолонского кратонного террейна, по материалам [Егоров и др., 2001; Терехов и др., 1984] с дополнениями.

1 — выступы дорифейского кристаллического фундамента; 2, 3 — среднепалеозойский кедонский базальт-андезит-риолитовый комплекс: 2 — вулканогенные отложения основного-среднего (а), кислого (б) состава, 3 — вулканогенно-молассовые отложения позднего девона — раннего карбона; 4 — каменноугольные-раннемеловые осадочные и вулканогенно-осадочные отложения; 5 — ОЧВП и оперяющие его Коргодон-Наяханская и Конгинская магматические зоны; 6 — а — разломы (1 — Тебанинский, 2 — Омкучанский, 3 — Верхне-Омолонский, 4 — Некучанский, 5 — Корго-аргычанский), б — границы структурно-формационных зон: Ауланджинской, Амандыканской, Кедон-Омолонской. Зеленые кругами и звездами обозначены медно-молибден-порфировые рудопоявления, парагенетически связанные с позднемеловыми гранитоидами.

металльного и медно-молибден-порфирового оруденения (Бодрое, Кустики/Седое, Захаренко, Желты и др.). При этом недостаток информации о составе и возрасте рудной минерализации и продуцирующего ее магматизма, малая доля современных аналитических данных порождают дискуссию о формационной принадлежности и типе рудообразования для ряда рудных объектов. К таковым относится рудопоявление Лабазное, рассматриваемое

¹ Шевченко В.М., Симаков К.В. Легенда Омолонской серии Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200000. 2-изд. Магадан: СевВостНИЦМИС, 1999. 173 с.

как золото-полисульфидный тип золото-серебряной формации, связанный со среднепалеозойским (ранний девон — ранний карбон) этапом магматизма Омогонского КТ [Кузнецов и др., 2001], либо как полнопроявленная порфировая рудно-магматическая система, отвечающая позднемеловому этапу магматической активности ОЧВП [Глухов и др., 2021].

В настоящей публикации представлены новые данные о возрасте гранитоидного магматизма и связанной с ним рудной минерализации объекта Лабазное; реконструированы *P-T* условия кристаллизации магматического расплава; приводятся материалы комплексного изучения минералогии руд; сделан вывод о генетическом типе рудообразования.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу работы положена авторская коллекция образцов, собранная в ходе полевых работ 2019 г. Петрографические и минералогические исследования осуществлялись авторами на микроскопе AxioPlan Imagin с использованием программного комплекса PETRO [Ползунов, Кондратьев, 2023]. Химические составы породообразующих и рудных минералов, в количестве 957 измерений по 10 образцам, определялись на микроанализаторе Camebax с использованием энергодисперсионного спектрометра X-Max (аналитики В.Ю. Соловьёв, Е.М. Горячева). Измерения проводились в условиях ускоряющего напряжения — 20 кВ, увеличения более $\times 400$ и времени накопления спектров 30 с. Оптимизация для количественных вычислений выполнялась по химически чистой меди каждые 1.5–2.0 ч. В качестве стандартов использовались аттестованные природные [Jarosewich et al., 1980] и синтетические материалы. Предел обнаружения элементов составлял 0.3 мас. %, диаметр электронного луча 3–4 мкм.

U–Pb датирование по циркону осуществлялось методом LA-SF-ICP-MS, на базе однокольлекторного магнитно-секторного масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой Element XR и установки для лазерной абляции UP-213 в ЦКП “Геоспектр” Геологического института им. Н.Л. Добрецова СО РАН (г. Улан-Удэ). Пробоподготовка и анализ производились согласно стандартным процедурам, по [Хабанов и др., 2016]. В качестве внешнего стандарта

использовался цирконовый эталон 91 500 [Wiedenbeck et al., 1995]. Данные масс-спектрометрического анализа обрабатывались в программах “Glitter” [Van Achterbergh et al., 2001; Griffin et al., 2008] и “IsoplotR” [Vermeesch, 2018]. Проблема оценки дискордантности по двум независимым системам, существующая для кристаллов циркона мелового возраста — низкое количество ^{207}Pb в кристаллах и большая погрешность при определении $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ изотопного возраста, решалась с использованием $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ изотопного возраста, скорректированного на ^{207}Pb [Williams, 1998].

K–Ar изотопное датирование серицита, выделенного из околожильного контакта в кварцевых монцодиоритах, проводилось в лаборатории петрологии и изотопной геохронологии СВКНИИ ДВО РАН (г. Магадан) на масс-спектрометре МИ-1201ИГ (аналитик В.В. Лавренко). Концентрации калия измерялись на атомно-абсорбционном спектрометре ААС-1 (аналитик Я.С. Игнатенко) с погрешностью менее 1%. При расчетах возраста использовались константы, рекомендованные XXI сессией Комиссии по определению абсолютного возраста: $1_k = 0.581 \times 10^{-10} \text{ год}^{-1}$; $1_b = 4.962 \times 10^{-10} \text{ год}^{-1}$; распространенность изотопов: ^{39}K — 93.26; ^{40}K — 0.01167; ^{41}K — 6.73 ат. %; изотопное отношение атмосферного аргона $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} = 295.5$ [Steiger, Jager, 1977].

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РУДНОГО ПОЛЯ ЛАБАЗНОЕ

Рудопоявление Лабазное расположено у восточной границы Конгинской МЗ, вблизи скрытого Коаргычанского глубинного разлома субмеридионального простирания, разделяющего Кедон-Омогонскую и Анмандыканскую структурно-формационные зоны (по [Егоров и др., 2002]) Омогонского КТ. В центральной части рудного участка установлены выходы кварцевых сиенитов и монцодиоритов позднемелового викторинского комплекса и субвулканических тел риолитов среднепалеозойского кедонского комплекса (рис. 2). По периферии интрузивных тел распространены дайки базальтов (предположительно мелового возраста) северо-восточного простирания. Рудовмещающие образования представлены стратифицированными вулка-

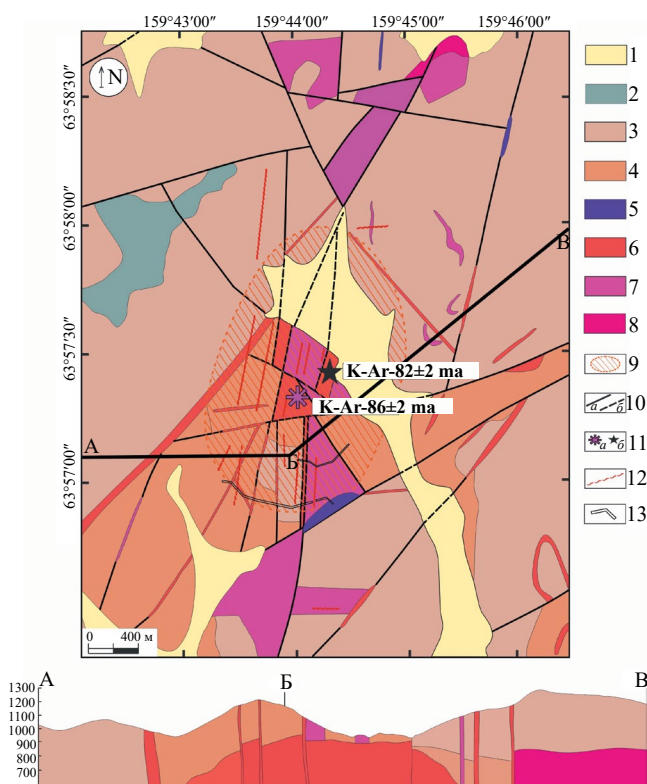


Рис. 2. Геологическая карта и разрез по линии А–Б–В рудного поля Лабазное, по (В.Н. Шамин, 1987; В.Н. Паньков, 1990) с дополнениями.

1 — рыхлые четвертичные аллювиальные отложения; 2–4 — среднепалеозойские вулканы кедонской серии: 2 — трахиандезиты снайперской толщи (C_{sn}), 3 — игнимбриты и туфы риодацитов ледниковской толщи (D_{ld}), 4 — андезиты, андезит-базальты и андезит-дациты грунтовой толщи (D_{l-grt}); 5 — дайки базальтов позднемелового возраста; 6 — поздне-меловые интрузии гранитоидов викторинского комплекса; 7 — субвулканические тела риолитов кедонского комплекса среднепалеозойского возраста; 8 — выходы дорифейского кристаллического фундамента; 9 — штокверк с сульфидно-кварцевыми прожилками; 10 — разломы установленные (а), предполагаемые (б); 11 — места отбора проб на изотопное датирование методами: U–Pb (а), K–Ar (б); 12 — зоны ориентированных прожилков; 13 — каналы.

ногенными толщами кедонской серии среднепалеозойского возраста, в строении которой здесь участвуют (по В.Н. Панькову, 1990)²: андезиты, андезитбазальты и дациандезиты *грунтовой толщи* (D_{l-grt}) и вулканогенно-осадочные образования, игнимбриты, лавы и туфы (преимущественно кислого состава) *ледниковской толщи* (D_{ld}). На игнимбритах ледниковской толщи

² Паньков В.Н. Отчет о результатах поисковых работ на объекте «Лабазный» на площади листов Р-57-8-А-6-2, 4; Р-57-8-Б-а, б; Р-57-8-Б-в-2; Р-57-8-Б-г-1, 2 (Лабазный поисковый отряд). Эвенск: СЭГРЭ, 1990. Кн. 1. 261 с. Кн. 2. 228 с.

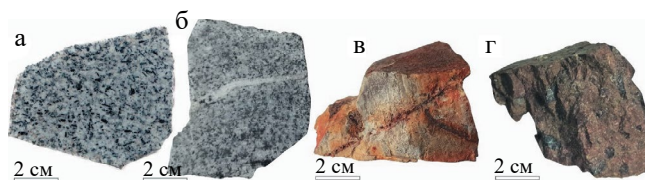


Рис. 3. Рудомещающие породы Лабазного рудного поля. а, б — кварцевый монцодиорит викторинского комплекса; в — риолит кедонского комплекса; г — игнимбрит дацита кедонской серии.

несогласно залегают трахиандезиты *снайперской толщи* (C_{sn}), которые хорошо прослеживаются в рельефе и бронируют крутые вершины небольших вулканоструктур. В контактовых зонах вулканы ледниковской и снайперской толщ преобразованы в серицит-кварцевые филлизиты с тонкими прожилками и вкрапленностью пирита, халькопирита, молибденита. К наиболее поздним магматическим образованиям относятся гранитоиды позднемелового викторинского комплекса (рис. 3а, 3б), которые слагают небольшие штоки, площадью около 5 км² (по результатам магниторазведки, с учетом нескрытой части свода³). С данным этапом связано формирование Лабазного оруденения, представленного сульфидно-кварцевым штокверком и сульфидно-кварцевыми жилами.

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГРАНИТОИДОВ

Викторинский комплекс в пределах Лабазного рудного поля представлен штоками плотных биотит-амфиболовых кварцевых монцодиоритов, от светло-серого до темно-серого цвета, порфировидной структуры со среднезернистой основной массой и массивной текстурой. По содержанию порообразующих оксидов, анализируемые гранитоиды относятся к кварцевым монцодиоритам [Петрографический ..., 2008] (табл. 1).

Вторичные изменения представлены серицитизацией и слабым окварцеванием.

³ Шамин В.Н., Крамарев С.П., Тедеев Т.В. и др. Отчет о групповой геологической съемке и поисках месторождений масштаба 1:50 000 в верхнем течении р. Омолон, в бассейне рек Биркачан, Кубаки и др. (листы Р-57-8-А; Р-57-9-А,Б; Р-57-8-В,Г; Р-57-9-В; Р-57-20-А,Б; Р-57-21-А) за 1983–1987 г. Биркачанский отряд. Сеймчан, СГРЭ, 1987. Кн. 1. 335 с., Кн. 2. 299 с.

Таблица 1. Химический состав кварцевых монцодиоритов рудного поля Лабазное

Элемент	Образец	
	LBUPb 1_2	LBUPb 3_4*
SiO ₂	62.41	62.32
TiO ₂	0.58	0.47
Al ₂ O ₃	18.38	17.08
Fe ₂ O ₃ общ	6.22	7.03
CaO	6.44	5.16
MgO	2.03	1.87
MnO	0.15	0.12
K ₂ O	2.24	3.05
Na ₂ O	3.64	2.82
P ₂ O ₅	0.22	0.19
ППП	0.93	1.4
Сумма	103.35	100.11

Примечание. * — по [Глухов и др., 2022].

Минеральный состав (усредненный) кварцевых монцодиоритов: плагиоклаз — 55%; амфибол — 15%; калиевый полевой шпат — до 10%, биотит — до 15% и кварц — до 15%; из аксессуарных минералов встречаются циркон и апатит.

Основная масса породы состоит из аллотриоморфнозернистого кварц-полевошпатового агрегата (выполняющего интерстиции между порфировыми выделениями), призматических зерен тонко сдвойникового плагиоклаза и редких чешуек светлой слюды; размер зерен основной массы породы не превышает 0.3 мм (рис. 4а).

Около 20% объема породы составляют порфировидные (от 0.5 до 3 мм в поперечнике) таблитчатые и удлиненно-призматические зерна плагиоклаза, роговой обманки и биотита.

Порфировидные зерна плагиоклаза (андезин-лабрадор, An₅₀₋₆₅) нередко имеет нормальное (прямое) зональное строение — центральные части отвечают лабрадору (An₅₀₋₆₆₍₅₈₎), реже

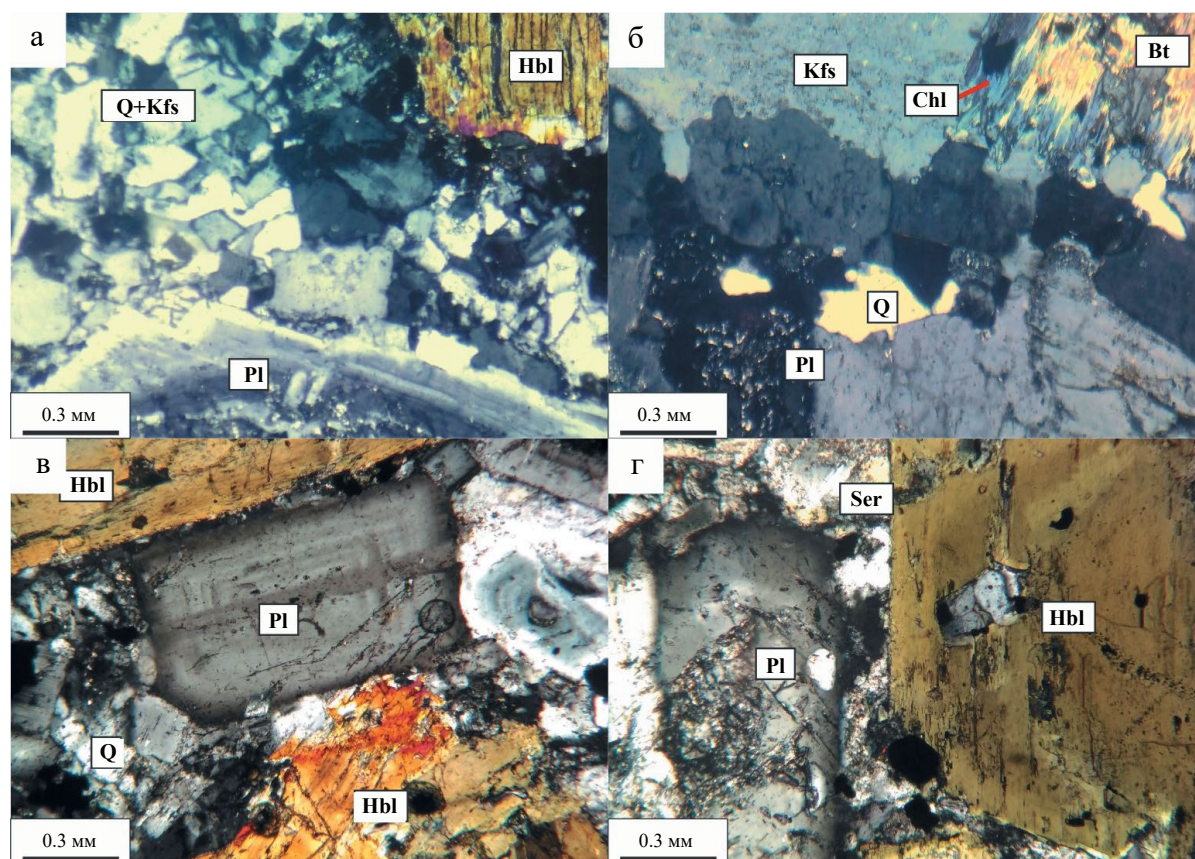


Рис. 4. Микрофотографии шлифов кварцевых викторинского комплекса рудного поля Лабазное. Николи скрещены. а, б — образец LBUPb 1_2, в, г — образец LBUPb 3_4. Здесь и далее по тексту минеральные обозначения приведены по [Laurence N. Warr., 2021].

битовниту ($An_{87-90(88.5)}$) и андезину ($An_{34-41(38)}$), краевые – андезину ($An_{30-48(38)}$), реже лабрадору ($An_{51-60(53)}$), в единичных случаях олигоклазу ($An_{20-28(24)}$) (рис. 5). Центральные части зерен плагиоклаза соссюритированы; отмечается развитие серицита по микротрещинам.

Амфибол представлен идиоморфными неяснозональными призматическими зернами (до 3 мм) кальциевой роговой обманки – магнезиальным гастингситом; при этом краевые части зерен зачастую сложены магнезиальной роговой обманкой и чермакитом (см. рис. 5а, 5б), которые неравномерно замещаются биотитом и хлоритом с каемками магнетита и ильменита. В порфировидных зернах роговой обманки и плагиоклаза отмечаются пойкилитовые вросстки кварца.

Биотит образует чешуйчатые и пластинчатые зерна (до 2 мм), нередко с корродированными краями; по спайности и краям зерен замещается хлоритом (до 60% площади зерна).

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГРАНИТОИДОВ

Кварцевые монцодиориты рудного поля Лабазное (обр. LBUPb 1_2, LBUPb 3_4)

характеризуются низкими значениями потерь при прокаливании (ППП = 0.93–1.4 мас. %), свидетельствующими о незначительных вторичных изменениях (см. табл. 1).

По положению фигуративных точек на классификационных диаграммах (рис. 6в, 6г) породы характеризуются как метаглиноземистые гранитоиды I-типа магнезиальной ($FeO_t/(FeO_t+MgO) < 0.78$ мас. %) и высококальциевой известково-щелочной серий.

Гранитоиды викторинского комплекса, установленные в пределах рудных участков Конгинской МЗ – Лабазный, Захаренко, Седой, Желты, относятся к породам высокоглиноземистым, нормально– и умеренно-щелочным калий-натриевого типа [Глухов и др., 2022]. Кварцевые монцодиориты рудного поля Лабазное характеризуются повышенными содержаниями (относительно кларка) As, Ba, Co, Cu, Ga, Mo, Mn, Sr, Te, Tl, V; отмечается значительное обогащение РЗЭ (коэффициент концентрации от 4.16 до 13.75); обогащены легкими РЗЭ относительно тяжелых $((La/Yb)_N = 6.5–7.1)$ и крупноионными литофильными элементами (LILE: Ba, U и Pb); обеднены высокочargedными, несовместимыми с

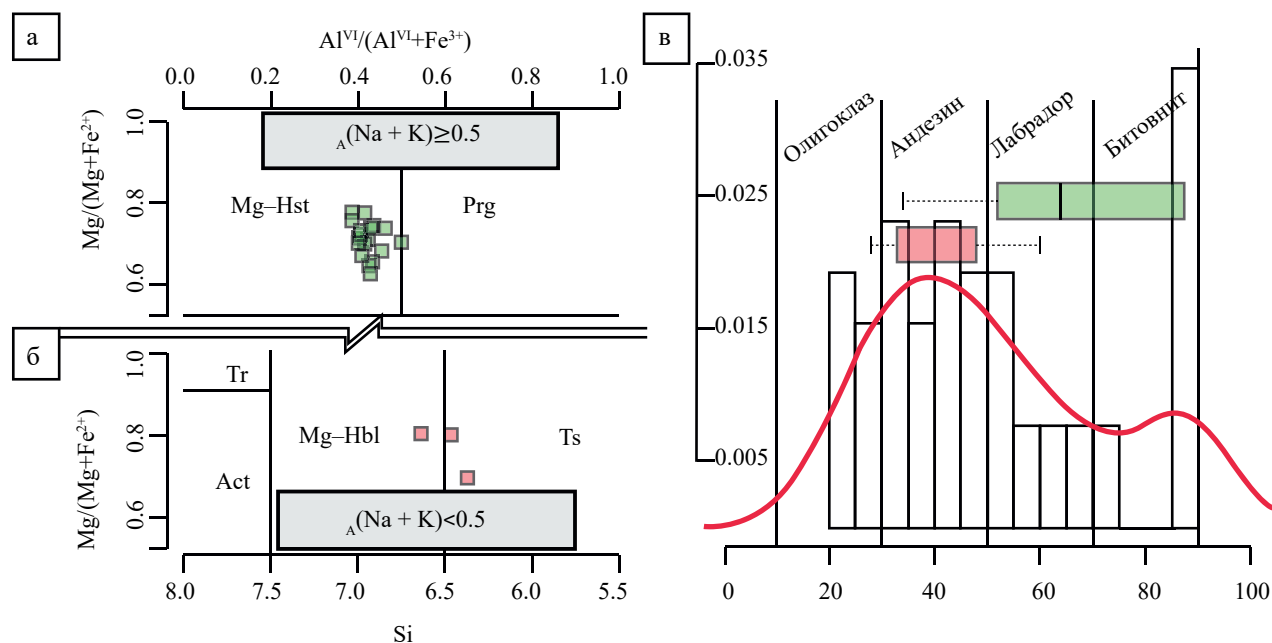


Рис. 5. Составы амфиболов (а, б) и плагиоклазов (в) кварцевых монцодиоритов викторинского комплекса на классификационных диаграммах [Leake et al., 1997].

Цвета: зеленый — центральные части кристаллов, розовый — краевые части кристаллов. Prg — паргасит, Mg–Hst — магнезиогастингсит, Tr — тремолит, Act — актинолит, Mg–Hbl — магнезиальная роговая обманка, Ts — чермакит.

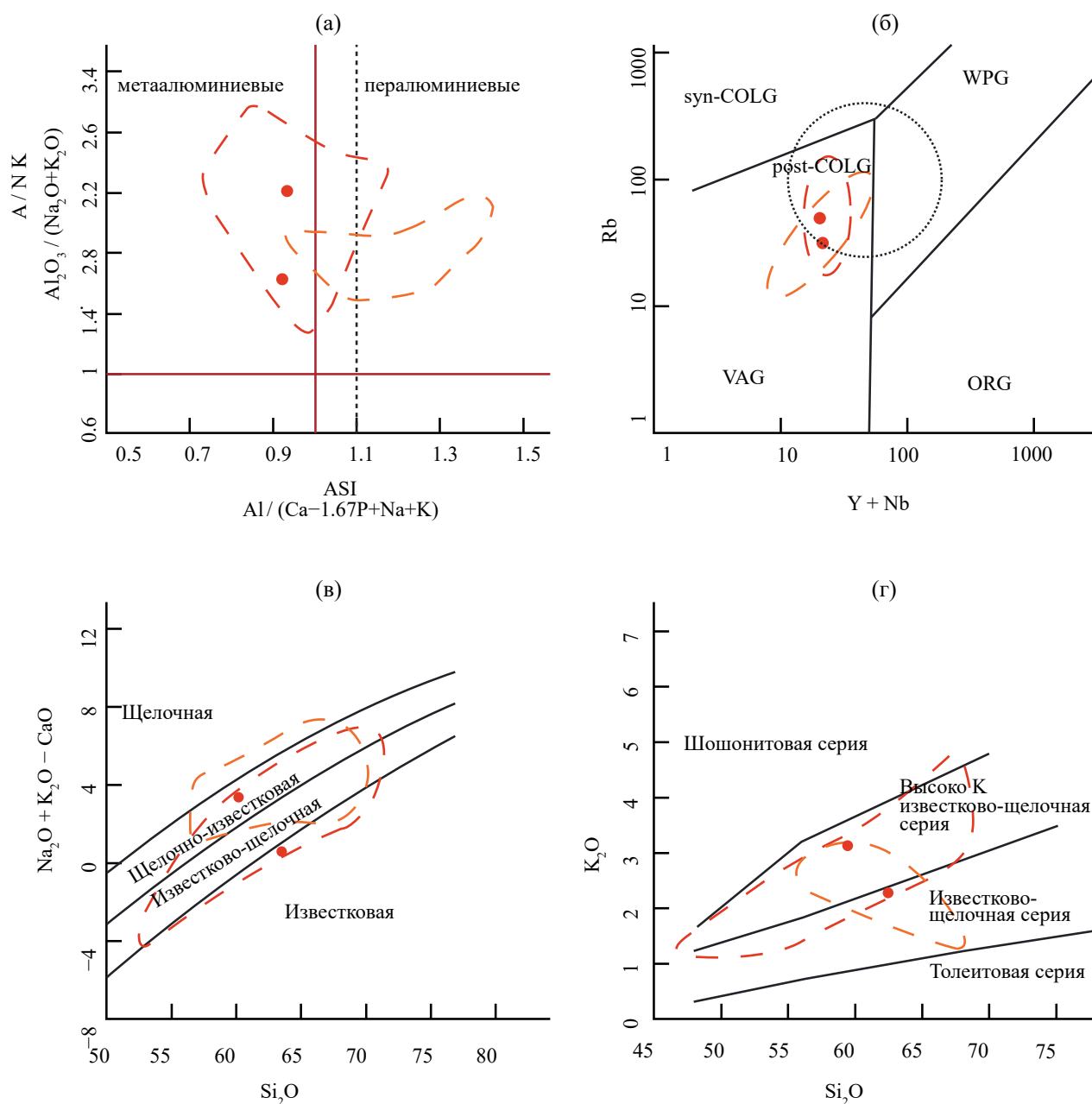


Рис. 6. Точки составов кварцевых монцодиоритов викторинского комплекса рудопоявления Лабазное (красные точки) на дискриминационных диаграммах.

а — $(A/NK)/ASI$ [Frost et al., 2001], б — $Rb/Y+Nb$ (Pearce et al., 1984), в — $(Na_2O+K_2O-CaO)/SiO_2$ [Frost et al., 2001], г — K_2O/SiO_2 [Peccherillo and Teylor, 1976]. Поля составов на диаграмме Пирса — геодинамические обстановки: syn-COLG — коллизионные, post-COLG — постколлизионные, WPG — внутриплитные, VAG — вулканических дуг, ORG — океанических хребтов. Пунктирная линия — контуры поле составов: красный — гранитоидов викторинского комплекса Конгинской МЗ Омолонского КТ, и Пенжинского сегмента ОЧВП, по данным [Глухов и др., 2022, Шатова, Серегин 2023], оранжевый — гранитоидов раннемелового намындыканского комплекса Намындыкано-Моланджинской зоны Омолонского КТ, по данным [Шатова, Серегин, 2023].

расплавом элементами (HFSE: Nb, Ta и Ti) (рис. 7). На дискриминационной диаграмме Дж. Пирса [Pearce et al., 1984] кварцевые монцодиориты сопоставимы с гранитоидами вулканических дуг (см. рис. 6б).

МИНЕРАЛЬНАЯ ТЕРМОБАРОМЕТРИЯ КВАРЦЕВЫХ МОНЦОДИОРИТОВ

Оценка условий формирования кварцевых монцодиоритов на ранней магматической стадии выполнена по составам амфибола и плагиоклаза

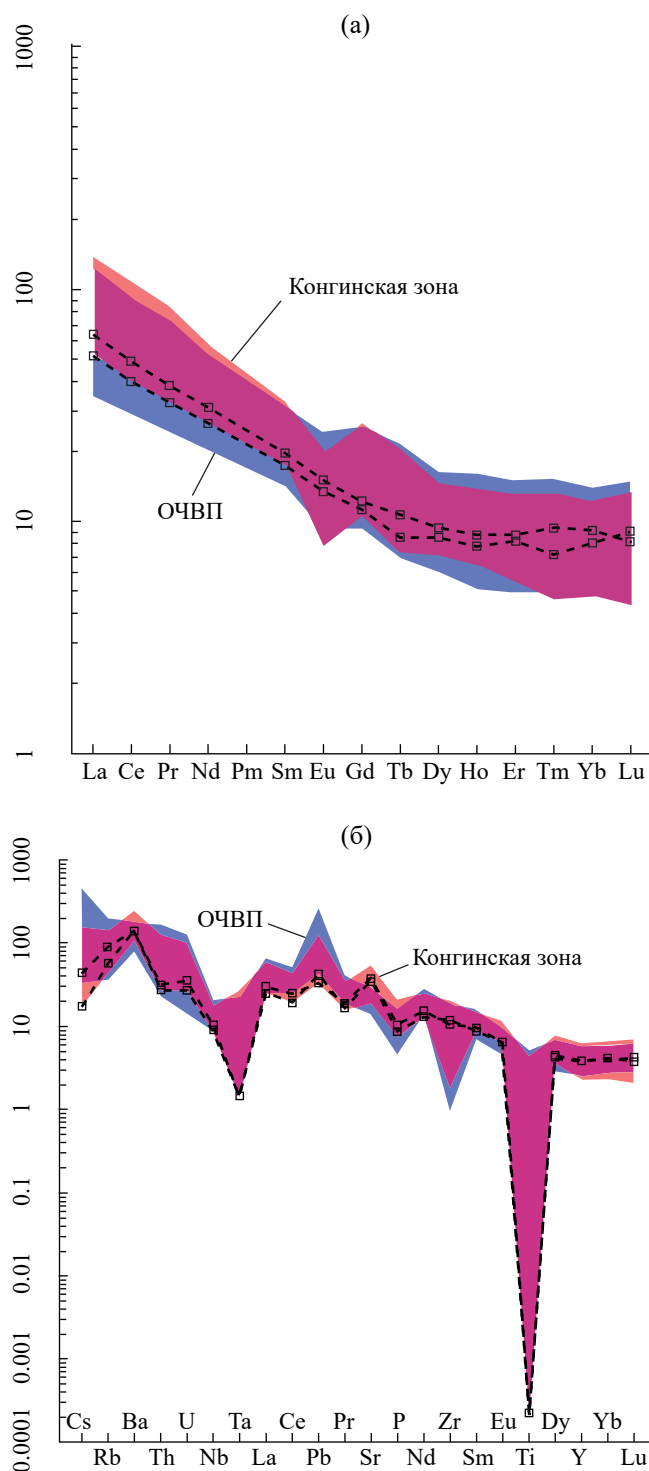


Рис. 7. Кривые распределения примесных элементов в кварцевых монцодиоритах викторинского комплекса рудопроvinces Лабазное (а — нормированных на хондрит [Boynton, 1984]; б — нормированных на примитивную мантию [Donough, Sun, 1995]).

Цветом выделены области распределения примесных элементов меловых гранитоидов викторинского комплекса (Конгинской МЗ — синий цвет) и гармандинского комплекса (ОЧВП — оранжевый), по [Акинин, Миллер, 2011; Глухов и др., 2022].

(термобарометр: Hbl–расплав [Putirka, 2016]; барометр: Al–in–Hbl [Mutch et al., 2016]; термометр: Hbl–Pl [Powell, Holland, 1994]) (табл. 2). Параметры давления и температуры поздней магматической стадии оценивались по барометру [Yang, 2017] и термометру [Duan et al., 2021] основанными на валовом составе средних и кислых магм.

Калибровки термометра традиционно производится по содержанию SiO_2 в породах — $T_{\text{SiO}_2} (^{\circ}\text{C}) = -14.16 \cdot \text{SiO}_2 + 1723$ [Duan et al., 2021]; однако авторы считают, что рассчитанная таким образом температура может рассматриваться только в качестве сравнения, так как гранитоиды не представляют собой чистый расплав.

Эмпирический барометр Х. Янга [Yang, 2017]: $P_{(\text{Мра})} = -0.2426 \cdot Q^3 + 26.392 \cdot Q^2 - 980.74 \cdot Q + 12\,563$ — опирается на нормативный минеральный состав гранитоидов. Количество воды в расплаве $\text{H}_2\text{O}_{\text{расплав}}$ рассчитано по [Ridolfi et al., 2010] и изменяется от 5.0 до 7.5 вес. %, что соответствует водонасыщенным магмам порфировых месторождений [Li et al., 2009].

На основании полученных термобарометрических оценок реконструируется следующая последовательность формирования кварцевых монцодиоритов: 1 — выделение амфибола из расплава (Hbl–расплав) происходило приблизительно в субсолидусных условиях ($T = 940^{\circ}\text{C}$, $P = 6.45$ кбар) на глубине около 19 км (рис. 8); 2 — дальнейшая кристаллизация амфибола протекала совместно с плагноклазом (центральные части зерен — $820\text{--}870^{\circ}\text{C}$, $P = 5.4$ кбар; краевые — $800\text{--}850^{\circ}\text{C}$, $P = 3.5\text{--}4.0$ кбар) на глубинах около 16 и далее 12 км; 3 — позднемагматическая стадия кристаллизации (кварц + полевой шпат) происходила при температуре 840°C и давлении 2 кбар на глубине около 5–6 км.

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ОРУДЕНЕНИЯ И ВТОРИЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ РУДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

На объекте Лабазное рудная минерализация представлена сульфидно-кварцевым штокверком и сульфидно-кварцевыми жилами, приуроченным к телам кварцевых монцодиоритов викторинского комплекса. Площадь штокверковой

Таблица 2. Представительные составы амфиболов из кварцевых монцодиоритов (обр. LBUPb 1_2)

Позиция	Центр		Край — 1		Край — 2	
Оксиды, вес. %						
SiO ₂	39.98	41.81	42.28	42.19	44.89	44.12
TiO ₂	2.06	1.85	2.06	2.00	2.03	2.02
Al ₂ O ₃	13.46	12.22	11.71	11.79	8.67	9.61
*Fe ₂ O ₃	6.30	6.69	6.28	6.95	7.80	7.19
*FeO	9.93	10.47	8.73	7.89	6.10	6.62
MgO	10.95	10.93	12.49	12.67	13.80	13.64
CaO	11.60	11.36	11.73	11.58	11.23	11.43
MnO	0.35	0.39	0.38	0.44	0.86	0.60
Na ₂ O	2.28	2.02	2.13	2.20	1.53	1.74
K ₂ O	0.78	1.03	0.67	0.65	0.65	0.52
*H ₂ O	1.97	1.99	2.00	2.00	2.01	2.00
Сумма	99.66	100.76	100.46	100.36	99.57	99.50
Формульные коэффициенты						
T — позиция						
Si	5.970	6.175	6.204	6.185	6.564	6.462
Al (IV)	2.030	1.825	1.796	1.815	1.436	1.538
M1—M3 — позиция						
Al (VI)	0.339	0.302	0.229	0.222	0.058	0.121
Ti	0.231	0.206	0.227	0.221	0.223	0.223
Fe ³⁺	0.708	0.744	0.693	0.767	0.858	0.793
Mg	2.438	2.407	2.732	2.769	3.008	2.978
Fe ²⁺	1.240	1.293	1.071	0.967	0.746	0.811
Mn	0.044	0.049	0.047	0.055	0.107	0.074
M4 — позиция						
Ca	1.856	1.798	1.844	1.819	1.759	1.794
Na	0.144	0.202	0.156	0.181	0.241	0.206
A — позиция						
Na	0.516	0.376	0.450	0.444	0.193	0.288
K	0.149	0.194	0.125	0.122	0.121	0.097
Классификация	Mg—Hst	Mg—Hst	Mg—Hst	Mg—Hst	Mg—Hbl	Ts
Расчетные параметры						
[1] T (°C)	856	967	814	828	814	810
[2] P (kbar)	6.9	5.7	5.3	5.3	3.2	3.8
[3] Wt. % H ₂ O _{melt}	7.5	6.5	6.4	6.4	4.9	5.6
[3] DNNO	0.1	0.11	0.48	0.56	1.15	1.01

Примечание. Расчетные величины, по [Hora et al., 2001]; [1] — термометр, по [Holland, Blundy, 1994]; [2] — барометр, по [Mutch et al., 2016]; [3] — гидрометр и оксиметр, по [Ridolfi et al., 2010]; Mg–Hst — магнезиогастингсит, Mg–Hbl — магнезиальная роговая обманка, Ts — чермакит.

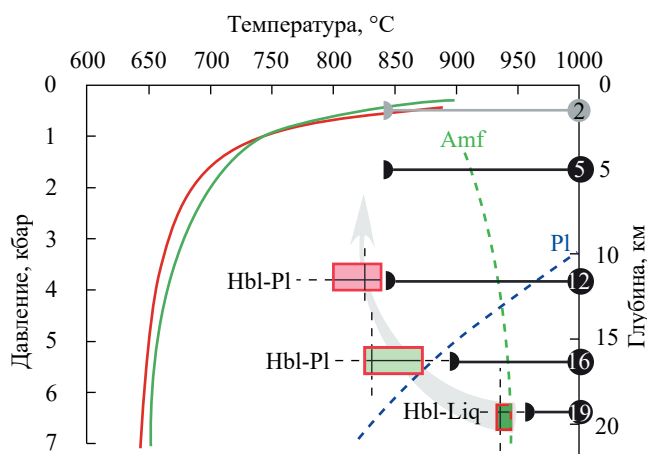


Рис. 8. Диаграмма “Температура–Давление–Глубина” для кварцевых монцодиоритов викторинского комплекса рудного поля Лабазное.

Цветные линии водных экспериментальных солидусов: красная — гранодиорит, по [Schmidt, Thompson, 1996], темно-зеленая — тоналит, по [Bea et al., 2021]; пунктирные зеленая — амфибол, синяя — плагиоклаз, по [Schmidt, Thompson, 1996]. Черные кружки — оценка давлений и температур формирования кварцевых монцодиоритов рудного поля Лабазное по их валовому составу по [Yang, 2017; Duan et al., 2021]. Цветные прямоугольники: темно-зеленый — термобарометр амфибол — расплав [Putirka, 2016], светло-зеленый — центральные, и розовый — краевые части парагенезиса амфибола и плагиоклаза (температура [Powell, Holland, 1994], давление [Mutch, 2016]). Серая стрелка — предполагаемый тренд кристаллизации кварцевых монцодиоритов рудного поля Лабазное. Красная обводка — обр. LUPb 1_2, синяя — обр. LUPb 3_4.

зоны составляет 3.7 км² (2.5×1.5 км). Здесь в тонких прожилках штокверка установлено содержание золота до 0.56 г/т, серебра — до 51.7 г/т, молибдена — до 0.3%, по материалам В.Н. Панькова (1990). В границах штокверковой зоны распространены более поздние сульфидно-кварцевые жилы с золото-серебро-полиметаллической минерализацией; они образуют линейно-вытянутые прожилково-жильные зоны, мощностью от первых см до 3.5 м и протяженностью до 750 м. Основная часть прожилково-жильных зон расположена в апикальных частях интрузивно-купольного поднятия. По данным В.Н. Шамина с соавторами (1987) и В.Н. Панькова (1990) максимальные количества золота в прожилково-жильных зонах серебро-полиметаллического оруденения в штуфах достигают 24 г/т, серебра — до 566 г/т, цинка и свинца — 1%, при этом содержания меди и молибдена не определялись.

В рудно-магматической системе Лабазного нами выделены гидротермальные стадии различающиеся по вещественному составу и последовательности развития системы рудных прожилков: 1) магнетит-кварцевые (Тип А, здесь и далее классификация прожилков в соответствии с работой [Sillitoe, 2010]) (рис. 9а); 2) молибденит-кварцевые (Тип В) (см. рис. 9б, 9в); 3) сульфидно-кварцевые (Тип D) (см. рис. 9б, 9в); 4) полиметаллические (см. рис. 9г, 9д).

Анализ данных, полученных авторами, в совокупности с материалами производственного отчета В.Н. Панькова (1990) позволяют заключить, что каждому типу прожилков тождественна соответствующая минерализация:

— пирит-магнетит-кварцевая минеральная ассоциация — наиболее ранняя. Магнетит (II) составляет до 50% массы магнетит-кварцевых прожилков. Кварц в данной ассоциации темно-серый, мелкокристаллический, размером до 2 мм. Встречаются единичные зерна пирита (I);

— пирит-молибденит-кварцевая ассоциация представлена тонкими прожилками мощностью до нескольких миллиметров. Обнаружены взаимоотношения, где чешуйки молибденита рассекают пирит (I) (см. рис. 10а). Кварц изометричный, с единичными включениями пирита (II), по которому нередко развивается лимонит;

— сульфидно-кварцевая минеральная ассоциация включает в себя такие сульфиды, как: пирит (III), халькопирит (I), пирротин, арсенопирит. Пирит (III) является самым часто встречаемым в данной ассоциации, составляя до 20% объема прожилков. Он образует преимущественно ксеноморфные выделения в кварце, захватывающие в процессе формирования магнетит (I) (см. рис. 10б). Халькопирит (I) и пирротин имеют равновесные границы и представлены мелкими, до 0.3 мм вкраплениями в пирите (III) (см. рис. 10в), редко в кварце. Халькопирит (I) и пирротин характеризуется стехиометричностью состава (табл. 3). К данной ассоциации отнесен арсенопирит; его описание приводится в материалах отчета В.Н. Панькова (1990), где он предстает в виде крупных раздробленных кристаллов, сцементированных нерудным материалом и халькопиритом;

— полиметаллическая минерализация проявляется в пределах рудопроявления в виде

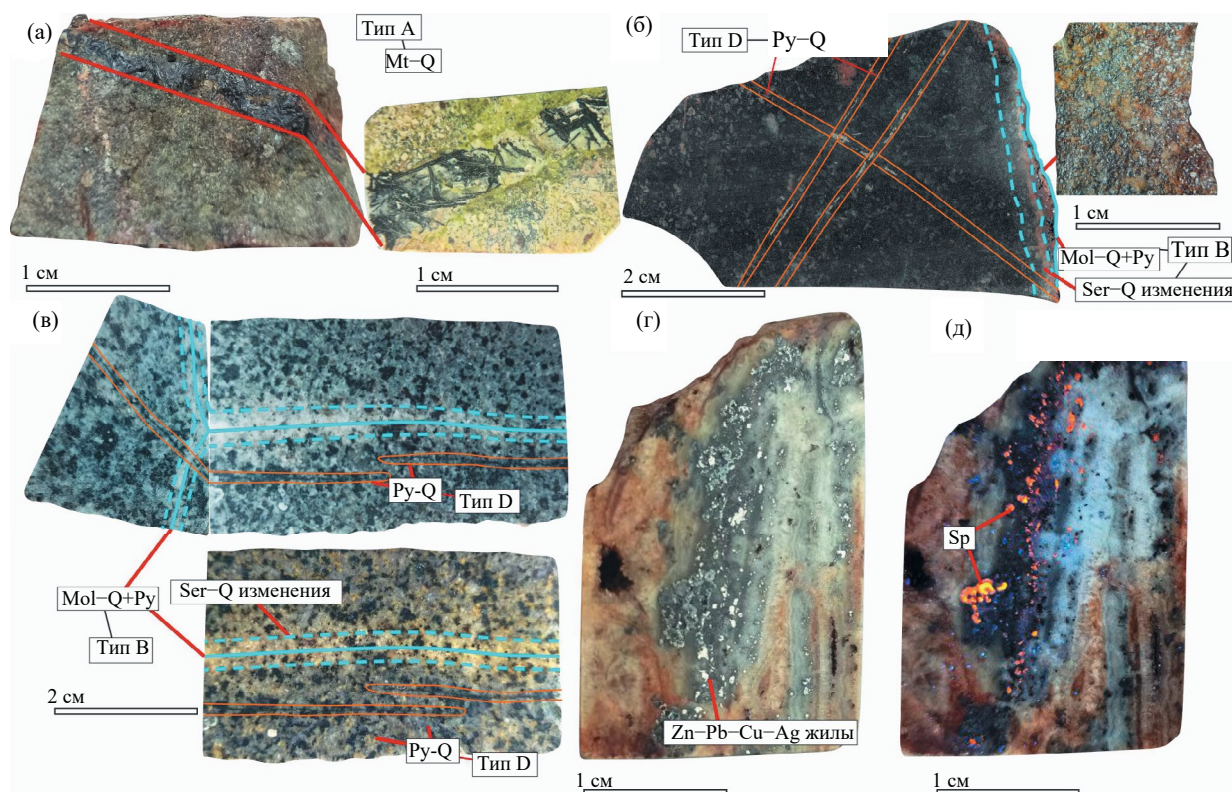


Рис. 9. Разновидности жильных образований в породах рудного поля Лабазное.

а — магнетит-кварцевые прожилки в эпидотизированных вулканитах кедонской серии; б — молибденит-кварцевые и пирит-кварцевые прожилки в андезит-базальтах грунтовой толщи; в — молибденит-кварцевые и пирит-кварцевые прожилки в кварцевых монодиоритах викторинского комплекса (снизу химически окрашены калийсодержащие минералы); г, д — Zn-Pb-Cu-Ag жилы при дневном (г) и ультрафиолетовом (д) свете.

Минералы: Q — кварц, Мт — магнетит, Mol — молибденит, Sp — сфалерит, Py — пирит, Ser — серицит.

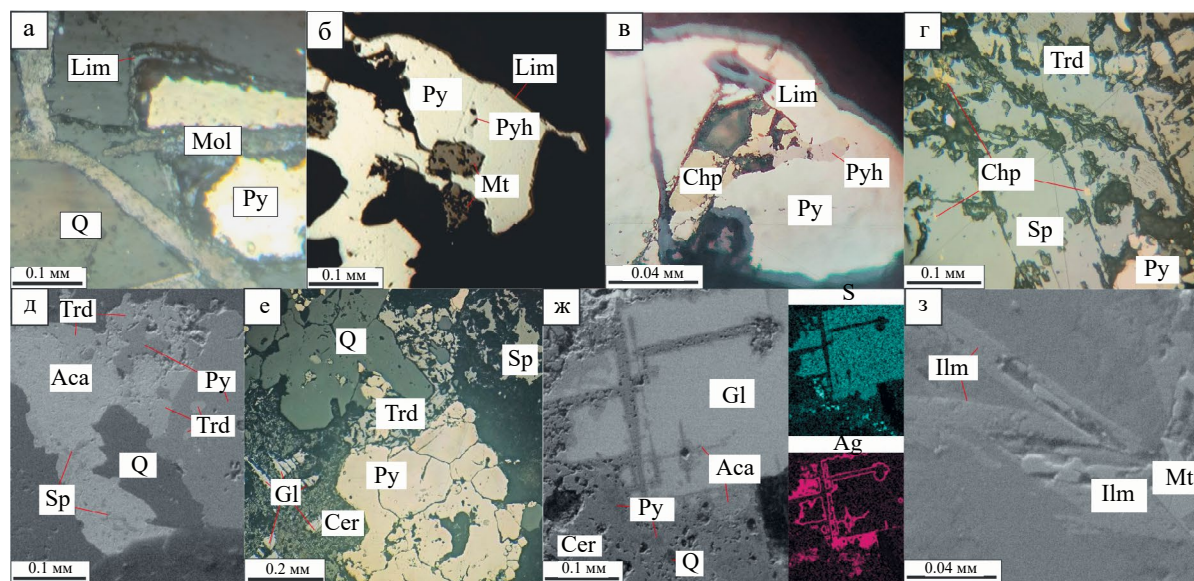


Рис. 10. Взаимоотношения рудных минералов рудного поля Лабазное.

а — молибденит рассекает пирит в молибденит-кварцевом прожилке; б — кристаллы магнетита, захваченные пиритом; в — халькопирит и пирротин выполняют каверны в пирите, по которому развивается лимонитовая корка; г-ж — серебро-полиметаллическая минерализация; з — магнетит-ильменитовые сростания.

Минералы: Q — кварц; Py — пирит; Chp — халькопирит; Pyh — пирротин; Lim — лимонит; Мт — магнетит; Mol — молибденит; Ilm — ильменит; Sp — сфалерит; Gl — галенит; Cer — церуссит; Aca — акантит; Trd — тетрадерит.

Таблица 3. Результаты микронзондового анализа сульфидов рудного поля Лабазное

№	№ образца	Сумма	Весовые концентрации, %					Формульные коэффициенты				
Молибден-порфировая стадия												
Пирит — $Fe_{1.00}S_{2.00}$												
			S		Fe			S		Fe		
25	210006	99.83	53.27		46.55			2.00		1.00		
52	VL4	100.24	53.59		46.65			2.00		1.00		
136	VL2	99.82	53.56		46.26			2.01		1.00		
31	VL5	100.46	53.61		46.86			2.00		1.00		
As-содержащий пирит — $Fe_{1.00}As_{0.01}S_{1.99}$												
			S		Fe		As	S		Fe		As
99	VL5	100.3	53.26		46.54		0.50	1.99		1.00		0.01
Халькопирит — $Cu_{0.74}Fe_{0.75}S_{1.51}$												
			S		Fe		Cu	S		Fe		Cu
110	210008	99.98	33.89		27.72		38.37	1.47		0.69		0.84
140	VL7	100.01	35.36		31.72		32.93	1.51		0.78		0.71
172	210008-1	99.79	35.32		30.74		33.73	1.51		0.76		0.73
Пирротин — $Fe_{7.01}S_{7.99}$												
			S		Fe			S		Fe		
100	210008	100.11	40.3		59.81			8.1		6.90		
128	VL2	99.88	38.97		60.92			7.90		7.1		
141	VL7	99.27	38.94		60.34			7.94		7.06		
152	210008-1	99.94	40.36		59.57			8.12		6.88		
Галенит — $Pb_{1.02}S_{0.98}$												
			S		Pb			S		Pb		
43	210005-1	100.2	13.06		87.14			0.99		1.02		
67	210005-1	100.31	13.03		87.27			0.98		1.02		
70	210005-1	100.28	13.39		86.88			1.00		1.00		
67	VL5	99.86	13.1		86.76			0.99		1.01		
Bi-содержащий галенит — $Pb_{0.99}Bi_{0.01}S_{1.00}$												
			S		Pb		Bi	S		Pb		Bi
56	210005-1	98.47	12.86		84.64		0.97	0.99		1.00		0.01
64	210005-1	99.18	13.58		84		1.6	1.01		0.97		0.02
71	210005-1	99.11	13.3		84.7		1.11	1.00		0.99		0.01
Сфалерит — $Zn_{0.96}S_{1.03}$												
			S	Zn	Mn	Fe	Cd	S	Zn	Mn	Fe	Cd
40	VL5	99.24	34.36	64.51	0.37	—	—	1.04	0.96	0.01	—	—
42	VL5	99.04	34.04	64.94	—	—	0.05	1.03	0.97	—	—	—
94	VL5	98.7	33.97	62.25	—	1.05	0.64	1.03	0.93	—	0.02	0.01

Таблица 3. Окончание

№	№ образца	Сумма	Весовые концентрации, %							Формульные коэффициенты						
Акантит — $Ag_{1.96}S_{1.04}$																
			S				Ag			S				Ag		
33	VL5	98.29	13.34				84.96			1.04				1.96		
Ag–Zn–As-теннантит-тетраэдрит*																
			S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Sb	S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Sb
17	VL5	100.02	25.9	0.85	35.15	7.26	8.21	5.22	17.43	13.10	0.25	8.97	1.80	1.78	0.79	2.32
Ag–Zn-тетраэдрит*																
			S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Sb	S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Sb
39	VL5	98.41	23.91	2.29	27.6	6.53	—	12.41	25.66	13.13	0.72	7.65	1.76	—	2.02	3.71
45	VL5	98.38	23.54	0.36	25.48	6.31	—	15.97	26.73	13.26	0.12	7.24	1.74	—	2.67	3.96
72	VL5	99.36	24.03	—	27.6	6.99	2.33	14.01	24.4	13.15	—	7.62	1.88	0.55	2.28	3.52
98	VL5	99.57	24.87	0.56	30.35	6.81	4.21	10.16	22.61	13.21	0.17	8.13	1.77	0.96	1.60	3.16

Примечание. Аналитик В.Ю. Соловьёв; анализ выполнен на микроанализаторе Camebax в Северо-Восточном ЦКП, СВКНИИ ДВО РАН, Магадан.

* — по [Мозгова, Цепин, 1983].

прожилков и маломощных кварцевых жил, вмещающих пирит (IV), сфалерит, галенит и продукты его гипергенного изменения, халькопирит (II), акантит, а также блеклые руды. Пирит (IV) в данной ассоциации содержит примесь As до 0.5%. Халькопирит (II) формирует мелкие включения в сфалерите размером до 0.2 мм (см. рис. 10г). Сфалерит отлагается в виде зерен размером до 3 мм, а также в виде мелкой вкрапленности в акантите (до 0.05 мм) (см. рис. 10д). В качестве незначительных примесей наблюдаются Mn до 0.37%, Fe до 1.05%, Cu до 0.79% и Cd до 0.64%. Галенит образует относительно крупные (до 3 мм) кристаллы с корродированными границами, иногда замещается англезитом и церусситом, которые формируют вокруг него оторочку (см. рис. 10е). По поверхности зерен галенита развивается акантит (см. рис. 10ж). Согласно химическому составу, галенит стехиометричен (см. табл. 3), встречаются отдельные участки зерен с примесью Bi до 1.6%. Для акантита характерны две формы выделений: а) неправильные сращения с блеклыми рудами и вкрапленным сфалеритом; б) в виде каемок по поверхности галенита. Размер обособлений достигает 0.5 мм. Химический состав акантита стехиометричен

(см. табл. 3). В блеклых рудах отмечается некоторая изменчивость состава, характерная для данного типа соединений, но в целом, по классификации Н.Н. Мозговой [Мозгова, Цепин, 1983], можно выделить две группы: 1) Ag–Zn–тетраэдрит; 2) Ag–Zn–As–теннантит–тетраэдрит. Результаты микрозондового анализа сульфидов приведены в табл. 3.

Помимо минерализованных прожилков присутствует вкрапленная минерализация, представленная магнетитом (I) (и продуктом его окисления — гематитом), в меньшей степени рутилом и ильменитом. В составе магнетита установлены разности с примесью Ti до 1.88%. Ильменит и рутил наблюдаются как акцессорные минералы во вмещающих породах рудного поля Лабазное; здесь они образуют призматические и неправильной формы кристаллы, размером до 0.2 мм (см. рис. 10в). По химическому составу ильменит принадлежит изоморфному ряду ильменит ($FeTiO_3$) — пиротит ($MnTiO_3$) с примесью Mn от 7.73 до 8.22%. В рутиле в виде примеси содержится Fe (до 13.77%).

На завершающей стадии гидротермальной активности в пределах рудного поля происходит формирование кальцитовых прожилков.

Стадийность минералообразования показана в табл. 4.

Реконструируемая последовательность образования ассоциаций минералов в целом характерна для Cu–Mo-порфировых систем [Sillitoe, 2010], что указывает на отсутствие дальнейших рудогенерирующих геологических событий.

В пределах рудного поля по вмещающим вулканитам кедонской серии и гранитоидам викторинского комплекса развивается штокверковая зона вторичных метасоматических изменений с зональным расположением ореолов. От центральной части рудного поля к краевой устанавливаются области развития серицит-кварцевых (см. рис. 11а, 11б), актинолит-эпидот-полевошпатовых (см. рис. 11в, 11г), и хлорит-карбонатных вторичных преобразований (см. рис. 11д). Наименее преобразованные кварцевые монцодиориты викторинского

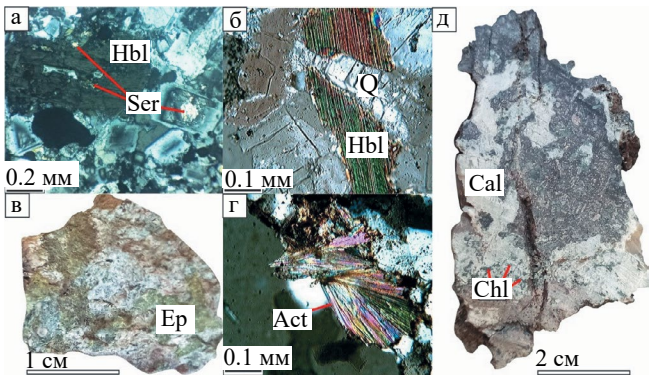


Рис. 11. Вторичные изменения пород рудороявления Лабазное.

а, б — серицит-кварцевые изменения по кварцевым монцодиоритам викторинского комплекса; в, г — актинолит-эпидотовые изменения в кварцевых жилах; д — хлорит-карбонатные изменения в кристаллокластическом туфе андезита кедонской серии.

Минералы: Act — актинолит; Ep — эпидот; Ser — серицит; Hbl — роговая обманка; Q — кварц; Cal — кальцит; Chl — хлорит.

Таблица 4. Стадии минералообразования Лабазненского рудного поля

Стадии Минерал	Пост- магма- тическая	Пирит- магнетит- кварцевая	Пирит- молибденит- кварцевая	Сульфид- нокварце- вая	Поли- метал- лическая	Каль- цитовые прожилки	Гипер- генный этап
Кварц	(I)	(II)					
Магнетит							
Ильменит							
Рутил*							
Гематит							
Пирит		(I)	(II)	(III)	(IV)		
Арсенопирит				(I)	(II)		
Халькопирит							
Пирротин*							
Молибденит*							
Сфалерит							
Галенит							
Акантит*							
Блеклые руды*							
Кальцит							
Лимонит*							
Церуссит и оксиды РЬ*							

Примечание. Линии толстые — распространенные минералы, средней толщины — второстепенные, тонкие — редкие; * — минералы, ранее не описанные на рудопроявлении Лабазное.

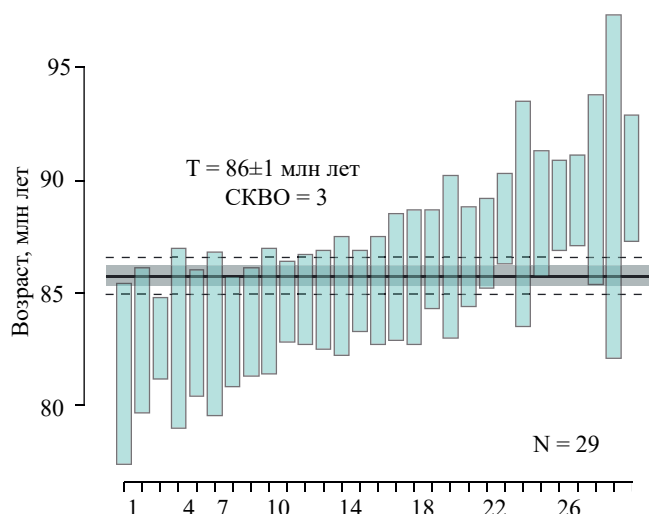


Рис. 12. Диаграмма средневзвешенного $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ возраста цирконов из кварцевых монцодиоритов викторинского комплекса.

Планки погрешностей на уровне 2σ .

комплекса характеризуются серицит-кварцевыми изменениями.

О ВОЗРАСТЕ ГРАНИТОИДОВ И ОРУДЕНЕНИЯ

Изотопное датирование кварцевых монцодиоритов викторинского комплекса центральной части рудопоявления Лабазное выполнено по образцам, отобранным из наименее измененных разностей (проба LBUPb_1, 2) (см. рис. 2). Выделенные цирконы прозрачные, призматические, идиоморфные, размер 50–80 мкм. Для 10 зерен выполнено 29 измерений изотопных отношений U-Pb системы. Полученные результаты приведены на рис. 12. Полная таблица измеренных изотопных отношений и возрастов доступна по запросу у авторов. Для оценки возраста по $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ отношению осуществлялась коррекция на обыкновенный свинец ^{207}Pb (с использованием поправки по модели Стейси–Крамерса [Steacey, Kramers, 1975]). Полученный средневзвешенный $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ возраст для кварцевых монцодиоритов составил 86 ± 1 млн лет (поздний мел, коньяк–сантон).

Формирование оруденения является наиболее поздним термальным событием; в пределах рудного поля с этим процессом связана серицитизация кварцевых монцодиоритов (см. рис. 12а) и вмещающих вулканитов. Для установления возраста верхней границы оруденения

проведено К–Аг изотопное датирование серицита, выделенного из околожильного контакта в кварцевом монцодиорите (см. рис. 3б). Результаты датирования следующие: номер пробы — LUPb_3, 4; материал датирования — серицит; $K = \sigma - 2.46 \pm 0.04\%$; $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}} = 14.20 \pm 1.2$ нг/г; $T \pm \sigma = 82 \pm 4$ млн лет. Полученное значение, с учетом погрешности, близко к оценке времени кристаллизации рудоносных кварцевых монцодиоритов и интерпретируется авторами как возраст заключительного термального события в рамках рудно-магматической системы, т. е. как верхняя возрастная граница оруденения.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные геохронологические данные укладываются в модель [Sillitoe, Hedenquist, 2003], согласно которой гранитоидные интрузии и связанное с ними молибден-порфировое оруденение рассматривается в рамках единой порфировой рудно-магматической системы. Примером служит медно-порфировое месторождение Бату-Хиджау в Индонезии, для которого результатами U–Pb датирования установлен интервал формирования рудоносных многофазных интрузий, не превышающий 0.008 млн лет [Garwin, 2002]. При этом, согласно R. Sillitoe [2010], функционирование гидротермальных систем, связанных с интрузиями, продуцирующими медно-порфировое оруденение, в большей степени зависит от продолжительности самого этапа интрузивного магматизма.

Тем самым критерием для объединения объектов подобного типа может являться близкий (в пределах аналитической ошибки изотопного метода) возраст магматизма и связанного с ним оруденения [Cathles et al., 1997; Cathles, Shannon, 2007; и др.].

Поведение главных и примесных элементов в составе изученных кварцевых монцодиоритов характерно для большинства порфировых систем [Ishihara, 1981; Seedorff et al., 2005]. Показательным является наличие так называемых адакитовых геохимических меток, связанных с высокой долей мантийного материала в рудной магме [Li et al., 2009]. Так магматические породы, ассоциирующие с медно-порфировыми месторождениями, характеризуются высокими содержаниями SiO_2 (≥ 56 мас. %), Al_2O_3 (≥ 15 мас. %) и Sr (≥ 400 ppm) и низкими — Y (≤ 18 г/т)

и Yb (≤ 1.9 г/т) [Defant, Drummond, 1990; Kay, Kay, 1993].

Химический состав Лабазненских кварцевых монцодиоритов в целом соответствует магмам, несущим медно-порфировое оруденение — Sr (690–787 г/т), Y (≤ 15.8 –17 г/т), Yb (1.67–1.9 г/т), Sr/Y (43.7–46.6), а соотношение ряда химических элементов отвечает адакитовым характеристикам (рис. 13).

В работе В.Ю. Прокофьева и В.Б. Наумова [Prokofiev, Naumov, 2022] на основе данных многочисленных замеров по газовой-жидким включениям в породах медно-порфировых месторождений мира (всего 70 месторождений) сделан вывод, что состав флюидов, отделяющихся от расплавов, меняется с ростом давления, в соответствии с изменениями максимальных и средних температур флюида в различных типах порфировых месторождений; авторами предложена гипотетическая схема зависимости

типов Cu–Mo–Au-порфировых месторождений от глубин отделения флюида из магматического расплава. На основе данных построений, полученные нами параметры кристаллизации монцитонитовидного расплава на рудопроявлении Лабазное (см. рис. 8), в первом приближении соответствуют молибденовому типу порфирового оруденения.

Для разбраковки потенциально рудоносных (продуктивных к порфировому оруденению) и безрудных магм могут использоваться дискриминационные диаграммы геохимических параметров, рассчитанных из валового химического состава гранитоидов. На диаграммах SiO_2 –Sr/Y, SiO_2 –V/Sc [Loucks, 2014] и Sr/MnO — Sr/Y [Ahmed et al., 2019] фигуративные точки составов анализируемых кварцевых монцодиоритов располагаются в областях гранитоидов продуктивных на медно-порфировое оруденение (см. рис. 13а, 13б), а также смешанных “продуктивно–непродуктивных” (см. рис. 13в), данное указывает на перспективность Лабазненских штоков на Cu–Mo–Au порфировое оруденение. Химический состав плагиоклазов также используется для различия интрузий по перспективности на порфировое оруденение [Williamson et al., 2016]. На диаграмме An, %–Al/(Ca+Na+K) точки составов плагиоклазов кварцевых монцодиоритов равномерно расположились в областях перспективных (23 анализа) и неперспективных (29 анализов) на оруденение интрузий (см. рис. 13г).

Полученные для рудопроявления Лабазное возрастные значения по кварцевым монцодиоритам викторинского комплекса (86 ± 1 млн лет, U–Pb метод по циркону) и серициту, выделенному из околожильного контакта с монцодиоритами (82 ± 4 млн лет, K–Ar метод), хорошо согласуются между собой и могут служить (с учетом аналитической погрешности) временными рамками формирования оруденения.

В целом, полученные данные сопоставимы с материалами изотопного датирования гранитоидов викторинского комплекса [Горячев и др., 2017; Глухов и др., 2021; и др.]. Близкие значения возраста гранитоидных интрузий викторинского комплекса известны для аналогичных объектов медно-порфировых рудно-магматических систем Конгинской МЗ — медно-молибден-порфировое рудопроявление Захаренко (86.4 ± 1 млн

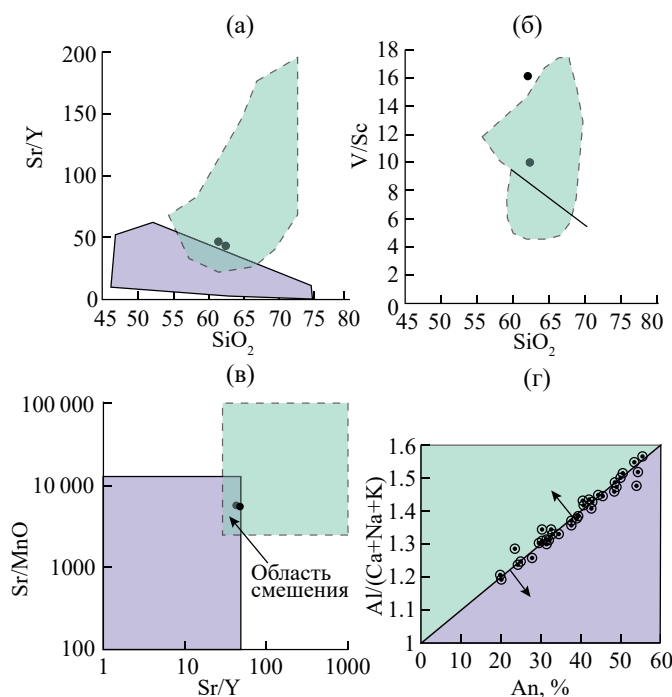


Рис. 13. Состав монцодиоритов Лабазненского рудного поля (черные кружки) на дискриминационных диаграммах для разбраковки потенциально рудоносных интрузий.

а — SiO_2 –Sr/Y и б — SiO_2 –V/Sc, по [Loucks, 2014]; в — Sr/Y–Sr/MnO, по [Ahmed et al., 2019]; г — An, %–Al/(Ca+Na+K) в плагиоклазе, по [Williamson et al., 2016].

Светло-зеленый цвет — перспективные интрузии на Cu–Au порфировое оруденение, фиолетовый цвет — неперспективные.

лет, U–Pb по циркону, TIMS) и скарново-полиметаллическое рудопроявление Седое/Кустики (86 ± 1 млн лет, U–Pb по циркону, TIMS). Возраст минерализации на рудопроявлении Захаренко, по данным ^{40}Ar – ^{39}Ar датирования серицита из вмещающих метасоматически измененных риолитов кедонской серии, составил 88.0 ± 1.5 млн лет [Глухов и др., 2021].

В северной части Омолонского КТ (Намындыкано-Моланджинская зона) для гранитоидов викторинского комплекса получены датировки 82.2 ± 1.0 и 84.6 ± 0.7 млн лет (U–Pb, SHRIMP-II, [Шатова, Серегин 2023]). Наиболее древняя из них, по нашему мнению, относится к гранитоидам гармандинского комплекса (K_{1-2} , по ЛОС-200).

В пределах Коркодон-Наяханской МЗ гранитоиды наяханского комплекса обнаруживают сходные значения возраста — 86 – 84 ± 1 млн лет (U–Pb SHRIMP); для молибден-порфирового оруденения рудопроявления Ак-Су, связанного с магматизмом наяханского комплекса, датирование молибденита показало 84.6 ± 0.5 млн лет (Re–Os) [Акинин и др., 2019; Соцкая и др., 2021].

Более древних, альб-сеноманских датировок, в Конгинской зоне пока не выявлено.

ВЫВОДЫ

Рудопроявление Лабазное приурочено к интрузивно-купольному поднятию, в центральной части которого вскрываются штокообразные тела гранитоидов позднемелового викторинского комплекса. По результатам термобарометрических оценок пары амфибол–плагиоклаз реконструирована динамика полибарической кристаллизации кварцевых монцодиоритов из центральной части рудного поля Лабазное. Методами минеральной термобарометрии реконструированы P – T условия кристаллизации монцонитоидного расплава в последовательности: интрателлурическая кристаллизация амфибола из расплава на глубине около 19 км ($T = 940^\circ\text{C}$; $P = 6.45$ кбар), котектическая кристаллизация плагиоклаза и амфибола на глубинах около 16 и 12 км (центральные части зерен — 820 – 870°C ; $P = 5.4$ кбар; краевые части — 800 – 850°C ; $P = 3.5$ – 4.0 кбар), завершающая субсолидусная кристаллизация на глубине около 5–6 км ($T = 840^\circ\text{C}$; $P = 2$ кбар).

Рудопроявление Лабазное относится к молибден-порфировой и полиметаллической рудной формации с классической для порфировой рудно-магматической системы последовательностью образования минеральных парагенезисов.

Выделен ряд рудных минералов: молибденит, акантит, блеклые руды, пирротин, ранее не описанных в рудном поле Лабазное.

Принадлежность рудопроявления к золото-полисульфидному минеральному типу золото-серебряной формации раннедевон–раннекарбонного металлогенического этапа, не подтвердилась. Полученные данные свидетельствуют о возможности обнаружения в ОЧВП промышленной минерализации медно-молибден-порфирового типа.

Ближние значения возраста кварцевых монцодиоритов — 86 ± 1 млн лет, коньяк-сантон (U–Pb по циркону), и серицита из сульфидно-кварцевых прожилков контактовой зоны гранитоидных штоков — 82 ± 4 млн лет (K–Ar), позволяют обосновать парагенетическую связь монцонитоидов с молибден-порфировым оруденением.

Обобщение материалов изотопного датирования по гранитоидам викторинского комплекса Конгинской МЗ и ассоциирующей с ними медно-молибден-порфировой минерализации (рудопроявления Лабазное, Захаренко, Хрустальное, Вечернее, Шлиховое) свидетельствуют о позднемеловом (коньяк-кампан) возрасте рудно-магматических систем, функционирование которых связано с формированием ОЧВП.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность за помощь в работе, научные замечания и консультации академику РАН Н.А. Горячеву, Е.М. Горячевой, к.г.-м.н. О.Т. Соцкой. Особую признательность авторы выражают Т.А. Кормушину за оказанную помощь в проведении полевых работ.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Изучение минералогии и определение K–Ar возраста кристаллизации мусковита выполнены при поддержке государственных тем Института СВКНИИ ДВО РАН: НИР “Рудообразующие процессы и системы в истории формирования главных текто-

нических структур Арктической и Тихоокеанской континентальных окраин Северо-Востока Азии” — 121031700301-5, исследования U—Pb возраста осуществлено при поддержке темы НИР “Разработка критериев рудоносности магматических комплексов” — № 124051600003-4.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акинин В.В., Миллер Э.Л. Эволюция известково-щелочных магм Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Петрология. 2011. Т. 19. № 3. С. 249–290.
- Акинин В.В., Колова Е.Е., Савва Н.Е., Горячев Н.А., Маматюсупов В.Т., Кузнецов В.М., Альшевский А.В., Ползуненков Г.О. Возраст гранитоидов и ассоциирующего молибден-порфинового оруденения Коркодоно-Наяханской зоны, Северо-Восток России // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2019. № 4. С. 3–8.
- Акинин В.В., Глухов А.Н., Ползуненков Г.О., Альшевский А.В., Алексеев Д.И. Возраст эпитегрмального золото-серебряного оруденения на месторождении Кубака (Омолонский кратонный террейн, северо-восток России): геологические и изотопно-геохронологические (U—Pb, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) ограничения // Тихоокеанская геология. 2020. Т. 39. № 1. С. 37–47.
- Горячев Н.А., Егоров В.Н., Савва Н.Е., Кузнецов В.М., Фомина М.И., Рожков П.Ю. Геология и металлогения фанерозойских комплексов юга Омолонского массива. Владивосток: Дальнаука, 2017. 312 с.
- Глухов А.Н., Котов А.Б., Прийменко В.В., Сальникова Е.Б., Иванова А.А., Плоткина Ю.В., Федосеев А.М. Гранитоиды Конгинской магматической зоны Омолонского массива (северо-восток России): состав пород, возраст и геодинамическая обстановка формирования // Геотектоника. 2022. № 2. С. 1–14.
- Глухов А.Н., Прийменко В.В., Фомина М.И., Акинин В.В. Металлогения Конгинской зоны Омолонского террейна (северо-восток Азии) // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2021. № 2. С. 3–16.
- Егоров В.Н., Шерстобитов П.А., Ермоленко В.Г., Грищенко Ш.Г. Отчет по ГДП-200 на площади листов Р-57-III, IV, V (новая серия) Южно-Омолонская партия. Объяснительная записка: В 5 кн. Магадан: ФГУП “Магадагеология”, 2002. 830 с.
- Коваленкер В.А., Борисенко А.С., Прокофьев В.Ю., Сотников В.И., Боровиков А.А., Плотинская О.Ю. Золотоносные порфиново-эпитегрмальные рудообразующие системы: особенности минералогии руд, флюидный режим, факторы крупномасштабного концентрирования золота // Актуальные проблемы рудообразования и металлогении. Тез. докладов Международного совещания. Новосибирск: Геос, 2006. С. 103–104.
- Кузнецов В.М., Акинин В.В., Бяков А.С., Жуланова И.Л., Желебогло О.В., Бондаренко С.А., Гусев Е.А., Вопиловская О.А., Иванова В.В., Разуваева Е.И., Супруненко О.И., Усов А.Н., Алексеев Д.И., Беликова О.А., Шпикерман Е.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Верхояно-Колымская. Лист Р-57 (Эвенск). Объяснительная записка. Минприроды России, Роснедра, ФГБУ “ВСЕГЕИ”. СПб.: ВСЕГЕИ, 2022. 519 с.
- Кузнецов В.М., Гагиев М.Х., Дылевский Е.Ф., Михайлова В.П., Палымская З.А., Шашурина И.Т., Шевченко В.М., Шпикерман В.И. Геологическая карта и карта полезных ископаемых Колымо-Омолонского региона. Масштаб 1:500 000. Объяснительная записка. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. 270 с.
- Кузнецов В.М., Палымская З.А., Шашурина И.Т., Михайлова В.П., Кошкарёв В.Л. Металлогеническая карта Колымо-Омолонского региона. Масштаб 1:500 000. Объяснительная записка. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. 190 с.
- Лычагин П.П., Дылевский Е.Ф., Ликман В.Б. Магматизм Омолонского срединного массива // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1990. № 7. С. 17–90.
- Мозгова Н.Н., Цепин А.И. Блеклые руды (особенности химического состава и свойств). М.: Наука, 1983. 279 с.
- Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. 2-е изд. СПб.: ВСЕГЕИ, 2008. 204 с.
- Ползуненков Г.О., Кондратьев М.Н. PETRO: Программа для получения и обработки микрофотографий шлифов с использованием android-смартфона // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2023. № 1. С. 28–32.
- Соцкая О.Т., Михалицына Т.И., Савва Н.Е., Горячев Н.А., Маматюсупов В.Т., Семьшев Ф.И., Малиновский М.А. Рудно-метасоматическая зональность молибден-порфировой системы Аксу (Северо-Восток Азии) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2021. № 3. С. 3–17.
- Терехов М.И., Лычагин П.П., Мерзляков В.М., Жуланова И.Л., Дылевский Е.Ф., Палымский Б.Ф. Объяснительная записка к Геологической карте между-речья Сугоя, Коркодоно, Омолон, Олоя, Гижиги

масштаба 1:500 000. Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1984. 144 с.

Тихомиров П.Л. Меловой окраинно-континентальный магматизм Северо-Востока Азии и вопросы генезиса крупнейших фанерозойских провинций кремнекислого магматизма. М.: ГЕОС, 2020. 376 с.

Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д., Цыганков А.А. U-Pb изотопное датирование цирконов из PZ₃-MZ магматических комплексов Забайкалья методом магнитно-секторной масс-спектрометрии с лазерным пробоотбором: процедура определения и сопоставление с SHRIMP данными // Геология и геофизика. 2016. № 1. С. 241–258.

Шатова Н.В., Серегин С.В. Новые данные о возрасте интрузивных пород намындыканского и викторинского комплексов южной части Омолонского массива (Магаданская область) // Региональная геология и металлогения. 2023. № 93. С. 5–27.

Ahmed A., Crawford A.J., Leslie C., Phillips J., Wells T., Garay A., Hood S.B., Cooke D.R. Assessing copper fertility of intrusive rocks using field portable X-Ray fluorescence (pXRF) data // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. 2019. V. 20.

Bea F., Morales I., Molina J.F., Montero P., Cambeses A. Zircon stability grids in crustal partial melts: implications for zircon inheritance // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2021. V. 176.

Boynton W.V. Geochemistry of rare Earth elements: meteorite studies // Rare Earth Element Geochemistry / Ed. P. Henderson. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 1984. P. 63–114.

Cathles L.M., Erend A.H.J., Barrie T. How long can a hydrothermal system be sustained by a single intrusive event? // Economic Geology. 1997. V. 92(7–8). P. 766–771.

Cathles L.M., Shannon R. How potassium silicate alteration suggests the formation of porphyry ore deposits begins with the nearly explosive but barren expulsion of large volumes of magmatic water // Earth Planet. Sci. Lett. 2007. V. 262. P. 92–108.

Defant M.J., Drummond M.S. Derivation of Some Modern Arc Magmas by Melting of Young Subducted Lithosphere // Nature. 1990. V. 347. P. 662–665.

Donough W.F., Sun S. Composition of the Earth // Chem. Geol. 1995. V. 120. P. 223–253.

Duan M., Niu Y., Sun P., Chen S., Juanjuan K., Jiyong L., Zhang Y., Hu Y., Shao F. A simple and robust method for calculating temperatures of granitoid magmas // Mineralogy and Petrology. 2021. V. 116. P. 93–103.

Frost B.R., Barnes C.G., Collins W.J., Ellis D.J., Frost C.D. A geochemical classification for granitic rocks // J. Petrol. 2001. V. 42. P. 2033–2048.

Garwin S. The geologic setting of intrusion-related hydrothermal systems near the Batu Hijau porphyry copper-gold deposit, Sumbawa // Society of Economic Geologists. 2002. Special Publication. 9. P. 333–366.

Griffin W.L., Powell W.J., Pearson N.J., O'Reilly S.Y. GLITTER: Data reduction software for laser ablation ICP-MS // Mineralogical Association of Canada. 2008. V. 40. P. 204–207.

Holland T., Blundy J. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1994. V. 116. P. 433–447.

Hora J.M., Kronz A., Möller-McNett S., Wörner G. An Excel-based tool for evaluating and visualizing geothermobarometry data // Computers and Geosciences. 2013. V. 56. P. 178–185.

Ishihara S. The granitoid series and mineralization // Economic geology. 1981. V. 75. P. 458–484.

Jarosewich E., Nelson J.A., Norbers J.A. Reference samples for electron microprobe analysis // Geostandards Newsletter. 1980. V. 4. P. 43–47.

Kay R.W., Kay S.M. Delamination and delamination magmatism // Tectonophysics. 1993. V. 219. P. 177–189.

Laurence N. Warr. IMA-CNMNC approved mineral symbols // Mineralogical Magazine. 2021. V. 85(3). P. 291–320.

Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G. Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the International mineralogical association commission on new minerals and mineral names // Mineral. magazine. 1997. V. 61. № 2. P. 295–321.

Li L.X., Song Q.H., Wang D.H., Wang C.H., Qu W.J., Wang Z.G., Bi S.Y., Yu C. Re–Os isotopic dating of molybdenite from the Fuanpu molybdenum deposit of Jilin Province and discussion on its metallogenesis // Rock and mineral analysis. 2009. V. 28. P. 283–287.

Loucks R.R. Distinctive composition of copper-ore-forming arc magmas // Australian Journal of Earth Sciences. 2014. V. 61. P. 5–16.

Mutch E.J.F., Blundy J.D., Tattitch B.C., Cooper F.J., Brooker R.A. An experimental study of amphibole stability in low-pressure granitic magmas and a revised Al-in-hornblende geobarometer // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2016. V. 171.

Pearce J.A., Harris N.B., Tindle A.G. Trace elements discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // Journal of Petrology. 1984. V. 25. P. 956–983.

Peccerillo R., Taylor S.R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area,

- northern Turkey // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 1976. V. 58. P. 63–81.
- Powell R., Holland T.J.B.* Optimal geothermometry and geobarometry // *American Mineralogist*. 1994. V. 79. P. 120–133.
- Prokofiev V.Y., Naumov V.B.* Ranges of physical parameters and geochemical features of mineralizing fluids at porphyry deposits of various types of the Cu–Mo–Au system: Evidence from fluid inclusions data // *Minerals*. 2022. V. 12(5). 529. P. 1–23.
- Putirka K.* Amphibole thermometers and barometers for igneous systems and some implications for eruption mechanisms of felsic magmas at arc volcanoes // *American Mineralogist*. 2016. V. 101. P. 841–858.
- Ridolfi F., Renzulli A., Puerini M.* Stability and chemical equilibrium of amphibole in calc-alkaline magmas: an overview, new thermobarometric formulations and application to subduction-related volcanoes // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 2010. V. 160. P. 45–66.
- Seedorff E., Dilles J.H., Proffett J.M., Einaudi M.T., Zurcher L., Stavast W.J.A., Johnson D.A., Barton M.D.* Porphyry deposits: Characteristics and origin of hypogene features // *Economic geology*. 2005. V. 100. P. 251–298.
- Schmidt M.W., Thompson A.B.* Epidote in calc-alkaline magmas: An experimental study of stability, phase relationships, and the role of epidote in magmatic evolution // *American Mineralogist*. 1996. V. 81. P. 462–474.
- Sillitoe R.H.* Porphyry copper system // *Economic geology*. 2010. V. 105. P. 3–41.
- Sillitoe R.H., Hedenquist J.W.* Linkages between volcanotectonic setting, ore-fluid composition and epithermal precious-metals deposits // *Economic geology*. 2003. Special Publication 10. P. 315–343.
- Steiger R.H., Jager E.* Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1977. V. 36. P. 359–362.
- Stacey J. S., Kramers I.D.* Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1975. V. 26. P. 207–221.
- Van Achterbergh E., Ryan C.G., Jackson S.E., Griffin W.L.* Data reduction software for LA-ICP-MS: appendix // *Mineralogical Association of Canada*. 2001. V. 29. P. 239–243.
- Vermeesch P.* IsoplotR: a free and open toolbox for geochronology // *Geoscience Frontiers*. 2018. V. 9. P. 1479–1493.
- Wiedenbeck M., Alle' P., Corfu F., Griffin W.L., Meier M., Oberli F., Von Quadt A., Roddick J.C., Spiegel W.* Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses // *Geostandard Newsletter*. 1995. V. 19. P. 1–23.
- Williams I.S.* U–Th–Pb Geochronology by Ion Microprobe // *Reviews in Economic Geology*. 1998. V. 7. P. 1–35.
- Williamson B.J., Herrington R.J., Morris A.* Porphyry copper enrichment linked to excess aluminum in plagioclase // *Nature Geosci.* 2016. V. 9. P. 237–241.
- Yang X.* Estimation of crystallization pressure of granite intrusions // *Lithos*. 2017. V. 286–287. P. 324–329.

**Labaznoe Porphyry Ore-Magmatic System
(Omolon Craton Terrain, North-East of Russia):
Age, Mineralogy of Mineralization and Mineral Thermobarometry
of Ore-Hosting Granitoids of the Viktorinsky Complex**

V. Yu. Solov'ev^{1,*}, V. V. Priyenko^{1,}, G. O. Polzunenkov^{1,***}, M. I. Fomina¹,
T. I. Mikhaliitsyna¹, A. M. Gagieva¹, V. B. Khubanov², P. P. Kolegov¹, V. V. Akinin¹**

¹*North-Eastern Complex Research Institute named after N. A. Shilo, Far Eastern Branch
of the Russian Academy of Sciences, Portovaya str., 16, Magadan, 685000 Russia*

²*Dobretsov Geological Institute SB RAS, Sakhyanova str., 6a, Ulan-Ude, 670047 Russia*

**e-mail: solovev@neisri.ru*

***e-mail: priyenkovaldimir@gmail.com*

****e-mail: gennadiy_mag@mail.ru*

New data are presented on the age (U–Pb, LA-SF-ICP-MS: 86 ± 1 Ma) of quartz monzodiorites of the Viktorinsky complex of the Kongin magmatic zone of the Omolon cratonic terrane. The Labaznoye ore occurrence, bearing veinlet-stockwork sulfide-quartz and vein polymetallic mineralization, is localized within the intrusive-dome uplift, in the central part of which a stock of monzodiorites of the Viktorinsky complex is exposed. The petrographic and geochemical characteristics and mineral thermobarometry of the ore-hosting quartz monzodiorites are presented. The mineralogy of the ores is characterized and an estimate of the isotopic age (K–Ar: 82 ± 4 Ma) of sericite crystallization from the near-vein contact with the monzodiorite intrusion are characterized. Based on geological relationships and isotope-geochronological data, a paragenetic relationship was established between molybdenum-porphyry mineralization and the stage of Late Cretaceous magmatism — the intrusion of granitoid bodies of the Viktorinsky complex. The stages of formation of paragenetic mineral associations were reconstructed in the sequence magnetite-quartz, molybdenite-quartz, sulfide-quartz; the hypogene stage ends with a polymetallic mineralization. The isotope dating materials of ores and ore-hosting granitoids in the study region indicate a Late Cretaceous (Coniacian-Campanian) age of porphyry ore-magmatic systems of the Konginsky magmatic zone.

Keywords: porphyry ore-magmatic system, isotopic age, mineralogy, petrography, thermobarometry