

Раздел 1

ГЕОЛОГИЯ

Section 1

GEOLOGY

УДК 549.2/.8:548

**НЕКОТОРЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
«ПОРФИРОВ» ЛОКТЕВСКОГО ПРОЯВЛЕНИЯ (РУДНЫЙ АЛТАЙ)**

А.И. Гусев, В.В. Дудина, Т.А. Зацепин

*Алтайский государственный педагогический университет, Бийск,**E-mail: anzerg@mail.ru*

В статье приведены новые данные о геолого-геохимических особенностях порфиров Локтевского проявления с акцентом на условия образования, абсолютный возраст и применение. Локтевское проявление «порфиров» приурочено к одноименному интрузивному массиву, относящемуся к волчихинскому комплексу. Массив сложен 3 фазами внедрения: 1 – габброидами, 2 – кварцевыми диоритами и плагиогранитами (тоналитами), 3 – гранитами и лейкогранитами. «Порфиры» Локтевского проявления представлены чёрными и зеленоватыми разностями габброидов и кварцевых диоритов и в связи с современными требованиями должны называться порфиритами. U-Pb возраст определён по циркону (SHRIMP II) и составил 320 млн. лет, что отвечает раннему карбону. Средне-основные разности пород массива формировались из глубинных мантийных расплавов с участием плюмового источника. Кислые разности пород генерированы мантийно-коровым взаимодействием с контаминацией корового материала. С глубинным очагом, формировавшим породные типы массива связан большой комплекс эндогенного оруденения, относящийся к стратегическому сырью. Прогнозные ресурсы «порфиров» категории P_2 оценены в 1.54 млн. тонн. Они могут использоваться, как поделочное сырьё.

Ключевые слова: габброиды; кварцевые диориты; тоналиты; абсолютный возраст; плюмовый источник; декоративное поделочное сырьё.

*DOI:10.24412/2410-1192-2025-17601**Дата поступления: 7.11.2024. Принята к печати: 16.12.2024*

Порфир в переводе с древнегреческого означает «красный» или «пурпурный». Он стал использоваться мастерами еще в древнем Египте для изготовления саркофагов, считался символом богатства и власти. Различают две разновидности порфиров: тёмно-розовый и чёрный. Порфир на Алтае является визитной карточкой природных камней региона и в его пределах имеются обе разновидности [Гусев, 2020]. Чёрный порфир Локтевского проявления известен давно и, к сожалению, былая слава его изделий стала забываться. Хотя изделия из него (вазы, столешницы) имеются во многих музеях России и зарубежья. «Порфиры»

Локтевского проявления привлекают внимание геологов и своим составом, и необычной историей происхождения. Они относятся по современным представлениям к волчихинскому комплексу, а ранее название «порфиров» следует для базитовых разностей заменить порфиритами. Порфир в настоящее время применим только для кислых разностей пород – гранитоидов [Петрографический кодекс..., 2009].

В Рудном Алтае развиты различные типы интрузивных горных пород: от базитовых до гранитоидов [Гусев и др., 2011; Гусев, 2021; Гусев, Гусев, 2023]. Интрузивный магматизм волчихинского комплекса своеобразен и не получил должного освещения в открытой печати. С кислыми интрузиями волчихинского комплекса связаны различные типы эндогенного оруденения: олова, вольфрама, молибдена, золота и редких земель, которые входят в число стратегических металлов России. С базитовым магматизмом комплекса пространственно и парагенетически связано жильное золотое и медное оруденение, а также поделочный камень, получивший название – «порфир».

В связи с этим актуальность исследования «порфиров» заключается в определении абсолютного возраста, фазового состава рудогенерирующего потенциала Локтевского массива.

Цель исследования – на основе использования современных лабораторных данных, а также геохимических и петрологических критериев выявить особенности генезиса и определить перспективы Локтевского проявления на «порфиритовое» сырьё.

Материалы и методы

Полевые работы проведены Гусевым А.И. в ходе полевой экспедиции РГО в 2022–2023 годах. Выполненные анализы: определение абсолютного возраста уран-свинцовым методом по циркону (SHRIMP II), определение изотопов Sm и Nd, а также силикатный на главные компоненты химическим методом и для микроэлементов – методом ICP-MS и ICP-AES в лабораториях ВСГЕИ (г. Санкт-Петербург) и ИМГРЭ (г. Москва). Изучение петрографического состава пород выполнено на микроскопе ПОЛАМ РП-1 в Лаборатории Петрологии и металлогении золота Алтайского государственного университета, Бийский филиал им. В.М. Шукшина. Пригодность порфиритов для изготовления декоративных изделий осуществлялось в Лаборатории ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург) и включало определение по ГОСТ: полируемости, а также физических и теплофизических характеристик. Определение радиоактивности порфиритов проведено радиометром по образцам в Горно-Алтайской экспедиции (с. Малоенисейское).

Результаты и обсуждение

Геолого-геохимическая характеристика Локтевского проявления порфиров. В Рудно-Алтайской структурно-формационной зоне волчихинский габбро-тоналит-гранитовый комплекс образует две ветви линейно расположенных тел, контролируемых разломами северо-западного направления. Западная ветвь (Орловский ареал) объединяет Локтевский, Антошихинский и Сугатовско-

Шемонаихинский массивы. Восточная (Боровлянский ареал), приуроченная к северо-восточному крылу Алейского поднятия, в Российской части Рудно-Алтайской зоны представлена Сосновским массивом.

В составе комплекса выделяются три основные фазы внедрения: 1) габброиды, 2) кварцевые диориты и плагиограниты (тоналиты), 3) граниты и лейкограниты. Широким распространением пользуются дайки и разнообразной морфологии малые интрузии, сложенные диорит-порфиритами, тоналит-, гранодиорит-, плагиогранит-, и гранит-порфирами, редко дацитами и риодацитами.

Локтевскому проявлению в плане соответствует неоднородное положительное магнитное поле напряженностью 300–400 нТл над гранитной фазой. Положительное гравитационное поле и повышенные аномальные значения магнитного поля, предполагают наличие габброидов первой фазы, расположенных в южной части массива, где выделено Локтевское проявление.

Описание пород Локтевского проявления. Ранняя фаза габброидов весьма разнообразна по своей цветовой

гамме, составу (габбро-порфириты, габбро-долеритовых порфиритов и других), наличию порфировых выделений плагиоклаза, придающих породе декоративный облик. Структура пород порфировая. Под микроскопом в габбро-порфиритах обнаруживается габбровая микроструктура основной ткани. Состав габбро (%): плагиоклаз (An_{55-70}) – 55–60, гиперстен – 10–15, клинопироксен – 10–25, оливин – 0–10, роговая обманка – 10–15. Акцессорные минералы представлены титаномagnetитом, magnetитом, пиритом, пирротинном, реже – цирконом, алланитом. При этом по периферии габброидного тела выделяются разности более тёмные (рис. 1), а ближе к центру – с зеленоватым оттенком (рис. 2). Местами в габброидах отмечаются меланократовые включения черной окраски, представленные базальтовыми порфиритами размерами от 0.5×1 до 3×5 см. (рис. 3). Мафитовые включения базальтовых порфиритов по объёму варьируют от 3 до 6%.

Следует отметить, что мафитовые включения разных размеров и форм не нарушают эстетическое восприятие готовых изделий, а органически в них вписываются (рис. 4).



Рис. 1. Чёрный порфирит из периферии массива
Fig.1. The black porphyrytes from periphery of massif



Рис. 2. Порфирит с зеленоватым оттенком
Fig. 2. Porphyrytes with greenish tint

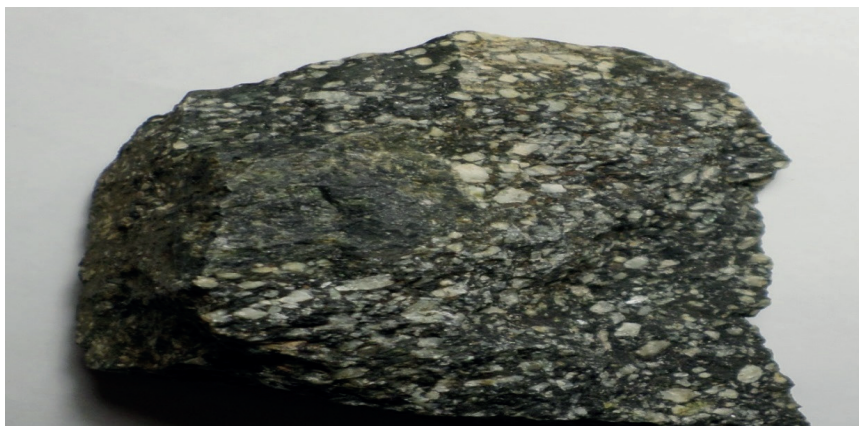


Рис. 3. Порфирит с меланократовым включением в левой части
Fig. 3. Porphyrytes with melanocratic inclusion in left part

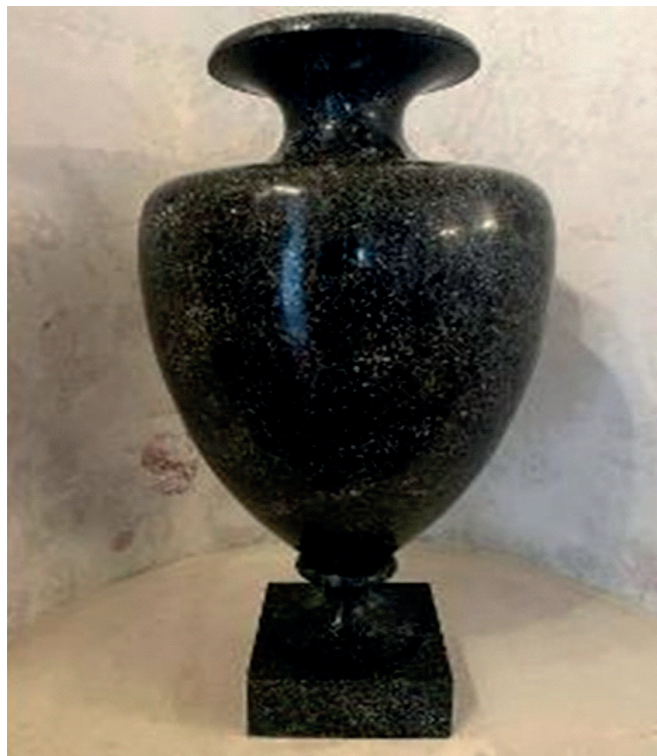


Рис. 4. Ваза из Локтевского «порфирита» Агатовых комнат Царского села
Fig. 4. Vase from Loktev porphyrytes. Agatic rooms of Tsar village

По химическому составу габбро-порфириды характеризуются как низко-титанистые, умеренно железистые ($\text{FeO}^*/\text{MgO} = 1.9$) известково-щелочные породы миаскитового ряда с низкой анпаитностью (0.22–0.23) (табл. 1).

Кварцевые диорит-порфириды массивной текстуры, мелко-среднезернистые, темно-зеленовато-серые, сменяющиеся диорит-порфиритами краевой фации. Под микроскопом они обнаруживают гипидиоморфнозернистую структуру, состоят (%) из зонального (№ 20–50) плагиоклаза – 50–60, роговой обманки – 15–20, кварца – 15–15, биотита – 10–15, калишпата – 0–15. Вторичные минералы представлены серицитом, эпидотом, цоизитом, акцессории – магнетитом, ильменитом, сфеном, цирконом. Петрохимически кварцевые диориты характеризуются как низкоглиноземистые ($\text{Shand} = 0.9$) умеренно железистые ($\text{FeO}^*/\text{MgO} = 3$) известково-

щелочные разности с аномально высокой анортитовостью ($c = 0.8$).

Тоналитовые порфиры слагают основные части Локтевского, Антошинского и Сосновского массивов. В Локтевском проявлении порфиров – это породы розовато-серого цвета массивной текстуры равномернозернистой и порфировидной средне-, реже мелко- и крупнозернистой структуры. Под микроскопом характеризуются гранитовой, в сочетании с монцонитовой структурой, состоят (%) из кварца – 15, плагиоклаза (№ 20–36) – 35–50, калиевого полевого шпата – 12–20, биотита – 3–10. Акцессории представлены магнетитом, ильменитом, сфеном, цирконом, флюоритом. Породы характеризуются повышенной глиноземистостью ($\text{Shand} = 1.0$), умеренными железистостью ($\text{FeO}^*/\text{MgO} = 3.5–4.3$) анортитовостью ($c = 0.18$).

Таблица 1

Химический состав породных типов и мафитовых включений Локтевского проявления

Table 1

Chemical composition of rock types and mafic inclusions of Loktev manifestation
(oxides – in %, elements- in ppm)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7
SiO_2	49.9	50.7	55.28	55.56	63.7	50.35	50.95
TiO_2	1.27	1.18	0.96	0.94	0.72	0.93	0.95
Al_2O_3	16.4	16.3	17.97	17.9	15.89	15.43	14.9
Fe_2O_3^*	10.8	10.6	7.3	7.26	5.47	9.95	11.27
MnO	0.19	0.21	0.13	0.11	0.09	0.11	0.13
MgO	5.9	5.7	4.14	4.06	2.56	6.9	7.3
CaO	8.8	8.6	7.38	7.3	5.21	7.2	8.8
Na_2O	2.5	2.4	4.23	4.3	4.17	3.4	2.3
K_2O	1.2	1.4	0.7	0.95	1.5	0.5	1.42
P_2O_5	0.23	0.22	0.2	0.1	0.15	0.05	0.12
Ппп	2.1	2.3	1.53	1.52	0.5	3.6	1.86
Сумма	99.29	99.61	100.0	100.0	100.01	98.42	100.0
V	210	208	187	190	167	327	324
Cr	298	295	267	267	234	312	304

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7
Co	14.5	14.1	13.9	12.8	12.6	15.8	15.2
Ni	4.1	3.9	3.7	3.5	3.1	5.1	5.0
Rb	15.1	15.3	14.2	16.2	30.2	14.7	13.9
Sr	598	586	605	610	425	345	352
Zr	134	141	169	165	216	103	98
Nb	7.1	7.2	6.8	7.0	7.4	7.7	8.0
Y	18.7	19.0	19.9	20.2	23.7	19.2	19.1
Ga	19.5	20.1	20.3	21.5	19.9	17.8	17.3
Cs	3.1	3.3	4.2	4.1	3.3	2.7	2.5
Ba	124	122	123	130	230	98	88
La	10.9	11.1	11.2	12.0	13.8	10.7	11.2
Ce	24.4	25.4	25.5	26.1	33	23.9	25.9
Pr	3.6	3.65	3.7	3.8	4.5	3.4	3.8
Nd	15.0	15.1	14.9	15.2	19.8	14.7	15.0
Sm	3.7	3.78	3.8	3.9	4.43	3.6	4.0
Eu	1.06	1.08	1.1	1.09	1.11	0.97	0.95
Gd	3.4	3.47	3.5	3.6	3.89	3.6	3.5
Tb	0.53	0.54	0.55	0.58	0.63	0.6	0.58
Dy	3.1	3.15	3.2	3.3	3.83	3.2	3.7
Ho	0.57	0.58	0.6	0.65	0.77	0.51	0.68
Er	1.71	1.74	1.75	1.8	2.2	1.8	1.9
Tm	0.25	0.25	0.26	0.3	0.34	0.24	0.28
Yb	1.4	1.5	1.6	1.7	2.26	1.45	1.5
Lu	0.21	0.22	0.23	0.25	0.33	0.2	0.24
Hf	2.9	3.0	3.2	3.3	5.5	2.3	2.2
Ta	0.33	0.34	0.4	0.43	0.45	0.32	0.31
Pb	9.5	10.1	10.3	10.8	12.4	18.9	20.1
Th	1.4	1.45	1.43	1.5	3.8	1.2	1.1
U	0.52	0.55	0.57	0.6	1.1	0.34	0.3
Sc	28.3	27.2	22.6	22.1	21.9	30.2	33.1
Li	6.9	6.4	8.8	8.2	7.2	5.2	5.0
K _{агп}	0.22	0.23	0.27	0.29	0.36	0.25	0.25
(La/Yb) _N	5.2	5.0	4.77	4.77	4.15	5.0	5.09
Eu/Eu*	0.89	0.89	0.9	0.87	0.91	0.81	0.73
Nb/Y	0.38	0.38	0.34	0.35	0.31	0.4	0.42
Zr/Y	7.2	7.4	8.5	8.1	9.1	5.4	5.1

Примечание: оксиды – в %, элементы – в г/т.

В таблице содержания элементов нормализованы по хондриту C1 [McDonough, Sun, 1995]. Ппп – потери после прокаливания. Eu* = (SmN+GdN)/2. Кагп – коэффициент агпаитности. Породные типы Локтевского проявления: 1–2 – габбро-порфириды, 3–4 – кварцевые диоритовые порфириды, 5 – тоналитовые порфиры; мафитовые включения в габброидах: 6–7 – базальты.

Note: Contents of elements normalized on chondrites C1 [McDonough, Sun, 1995]. Eu* = (SmN+GdN)/2. Cagp – coefficient agpaitic. LOI – loss on ignition. Rock types of Loktev manifestation: 1–2 – gabbro-porphyrytes, 3–4 – quartz diorite porphyrytes, 5 – tonalite porphyres; mafic inclusions in gabbro: 6–7 – basalts.

Мафитовые включения представлены базальтами чёрной окраски сиало-интерсертальной, и пилотакситовой микроструктурной основной ткани породы; микролиты плагиоклаза, хлорит, кальцит (около 3–5%), кварц (около 7%), лейкоксен (7–10%). Среди фенокристов преобладает плагиоклаз № 60–70 – 70%, реже отмечаются пироксен – 20%, оливин – 10%. Аксессуары – магнетит, титаномagnetит, пирротин. По петрохимическим показателям – это низкотитанистые, низко-щелочные породы при преобладании натрия над калием.

По сумме щелочей и кремнекислотности породы Локтевского проявления относятся к нормальной известково-щелочной серии пород. Коэффициент алкаитности в них увеличивается незначительно от 0.22 в габброидах до 0.35 в более кислых разностях (тоналитах). Отношение лёгких к тяжёлым

редкоземельным элементам (РЗЭ) в породах указывают на умеренно-высокий тип дифференциации РЗЭ. Отношение Eu/Eu^* устойчиво ниже хондритовых значений.

Ранее возраст волчихинского комплекса считался средне-поздне-каменноугольным [Шокальский и др., 2000]. Нами проведено абсолютное датирование порфириров Локтевского ареала из габбро-долеритовых порфириров U-Pb методом по циркону (SHRIMP II) (рис. 5). Он составил 320 млн. лет, отвечая раннекаменноугольной стадии, т.е. более древний, чем считалось ранее.

На петрохимической диаграмме $(Na_2O+K_2O) - SiO_2$ все породные типы Локтевского проявления выстраиваются вдоль линии раздела умеренно-щелочной и известково-щелочной серий, локализуясь в пределах последней. Фигуративная точка тоналитового порфира располагается в кислой области диоритов (рис. 6).

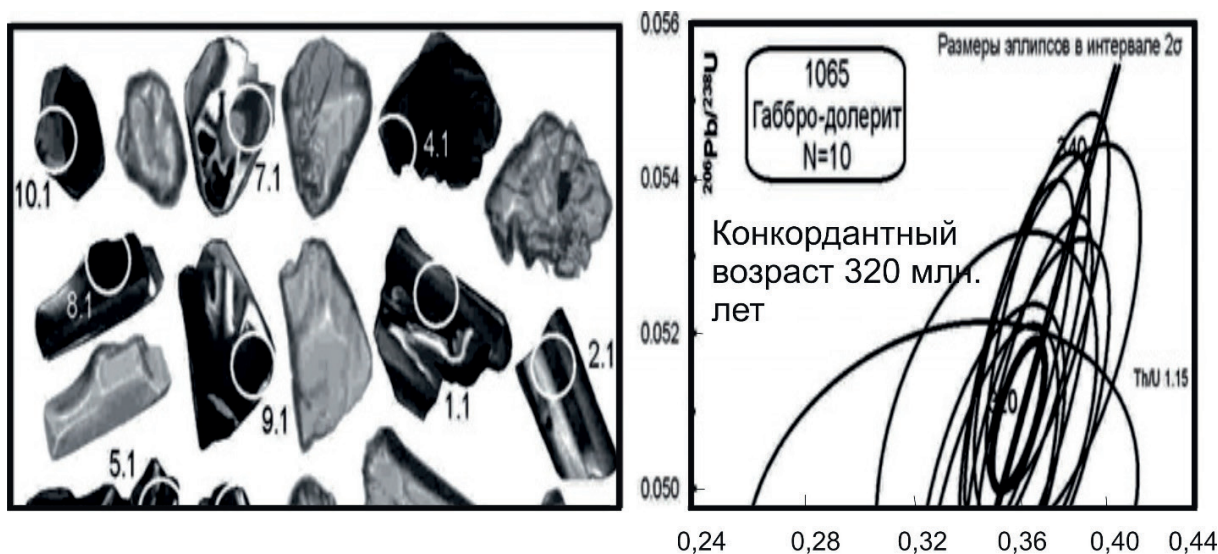


Рис. 5. Католюминесцентные изображения цирконов и конкордантный возраст габбро-долеритовых порфириров Локтевского массива

Fig. 5. Cathodoluminescence (CL) images of zircon and concordia of age of gabbro-dolerite porphyrites Loktev massif

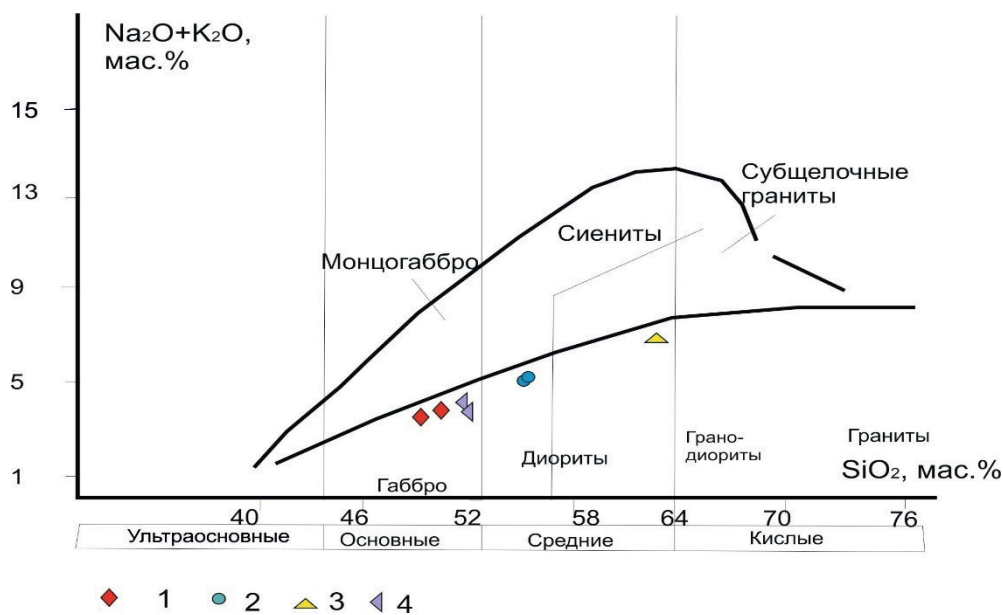


Рис. 6. Диаграмма $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ породных типов Локтевского массива.

1 – Габбро-порфиристы, 2 – кварцевые диоритовые порфиристы, 3 – тоналитовые порфиры, 4 – мафитовые включения базальтов

Fig. 6. Plot of $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ of rock types of Loktev massif.

Rock types of Loktev massif: 1 – gabbro-porphyrystes, 2 – quartz diorite porphyrites, 3 – tonalite porphyries, 4 – mafic inclusions of basalts

Интерпретация результатов

Известно, что в начале XVIII века в горах и предгорьях Алтая были обнаружены залежи цветных камней, в том числе порфира. Однако долгие годы они оставались невостребованными. С 1786 г., после того как обер-гиттенфервальтером (а именно – старшим заводским управителем) П.И. Шангиным, горным инженером Колывано-Воскресенских заводов, были обнаружены порфиры высокого качества в ущелье реки Коргон, начались работы по добыче. Коргонский порфир нашел свое применение в качестве украшения богатых дворцов и роскошных особняков столичной знати. Из него делали барельефы, скульптуры, различные малые архитектурные формы (вазы, столешницы, шахматные фигуры, шкатулки). По описям тех лет видно, что местный порфир имел несколько отличий: светло-

багровый, красный, тёмно-кофейный и сине-фиолетовый. Массовая добыча и использование Коргонского порфира продолжались в течение активного строительства новой столицы (Санкт-Петербурга) и закончилось после отмены крепостного права, в связи с исчезновением дешевой рабочей силы. Вплоть до окончания XIX века еще использовались блоки, заготовленные в 1830–1850-х гг., но позже месторождение не разрабатывалось из-за труднодоступности и, соответственно, дороговизны работ. А ведь Коргонский порфир был и относится по своим декоративным свойствам к декоративным и высокодекоративным камням. Что подтверждается использованием его в наиболее значимых постройках, таких, например, как мемориальный Собор Воскресения Христова на Крови, более известный как храм Спаса на Крови в Санкт-Петербурге. Для того, чтобы объ-

ективно оценить декоративные свойства и возможность использования Локтевских порфиринов в качестве поделочного камня, следует сопоставить важнейшие характеристики с Коргонским порфировым эталоном, прошедшим проверку по многим декоративным показателям. Следует отметить, что Коргонский «порфир» также следует относить к порфирирам.

Нами проведены определения физико-механических и теплофизических свойств и сопоставление «порфиринов» Коргонских и Локтевских, сведенных в табл. 2.

Приведенные данные показывают, что по многим показателям Локтевские «порфириры» близки к Коргонским, а по теплофизическим свойствам они лучше Коргонских. По удельной теплоёмкости, коэффициенту теплового расширения и радиоактивности – они более предпочтительны, чем Коргонские. По этим показателям они могут использовать-

ся для получения более долговечных декоративных изделий, обладающих меньшей радиоактивностью, чем Коргонские. Локтевский карьер «порфиринов» имеет прекрасные горнотехнические условия с развитой инфраструктурой и сетью дорог. Прогнозные ресурсы «порфиринов» Локтевского массива категории P_2 оценены в 1.54 млн. тонн [Гусев, Одинцев, 2012].

Порфириры Локтевского проявления формировались из мантийных расплавов базальтового состава, что было показано выше. Следовательно, для выяснения глубинных петрологических особенностей и некоторых генетических аспектов формирования порфиринов можно воспользоваться специальными экспериментальными диаграммами по термодинамике и определению геодинамических обстановок генерации первичных базальтовых расплавов и канонических типов базальтов.

Таблица 2

Некоторые физические и теплофизические свойства «порфиринов» Коргонских и Локтевских по [Гусев, Одинцев, 2012]

Table 2

Some physic and thermal properties «porphyryteses» Korgon and Loktev after [Gusev, Odintsev, 2012]

Показатели	Коргонский порфирит	Локтевский порфирит
Средняя плотность, кг/м ³	2627	2630
Истинная плотность, кг/м ³	2654	2660
Предел прочности при сжатии кг/см ²	3227	3345
Снижение прочности при сжатии породы при водонасыщении, %	10.0	10.1
Пористость, %	1.03	1.01
Водопоглощение, %	0.19	0.15
Истираемость, г/см ²	0.16	0.15
Коэффициент размягчения, %	3	2.8
Удельная теплоёмкость, кДж/кг СО	0.83	0.84
Коэффициент теплового расширения, 10 ⁻⁶ /К	5.4	5.3
Радиоактивность, мкР/час	14	11

Так, на диаграмме Nb/Y – Zr/Y преобладающее число анализов пород Локтевского проявления попадает в область плюмовых источников, т.е. они имеют глубинную мантийную природу, за исключением анализа тоналитового порфира, локализуемого в поле неплюмовых источников (рис. 7). Последнее связано с вероятной контаминацией коровым материалом на путях движения расплавов из глубинных очагов и значительное их раскисление вплоть до тоналитовых порфиров.

Мафитовые включения в габброидах, представленные базальтами, попадают также в поле ОРВ (базальтов океанических плато) плюмовых источников и, вероятно, являются захваченными мантийными базальтами в глубинном очаге.

В координатах Th/Hf – Ta/Hf основная масса пород попадает в область внутриконтинентальных рифтовых толеитов (рис. 8).

Состав тоналитового порфира на этой диаграмме попадает в поле базальтов островодужных континентальных окраин. Это объясняется тем, что тоналит, вероятно, является породой, образовавшейся в результате мантийно-корового взаимодействия на путях движения мантийных расплавов к поверхности, и произошло раскисление первичного мантийного расплава.

Таким образом, геодинамическая обстановка формирования порфиров Локтевского проявления была внутриконтинентальная рифтогенная, вызванная функционированием плюма.

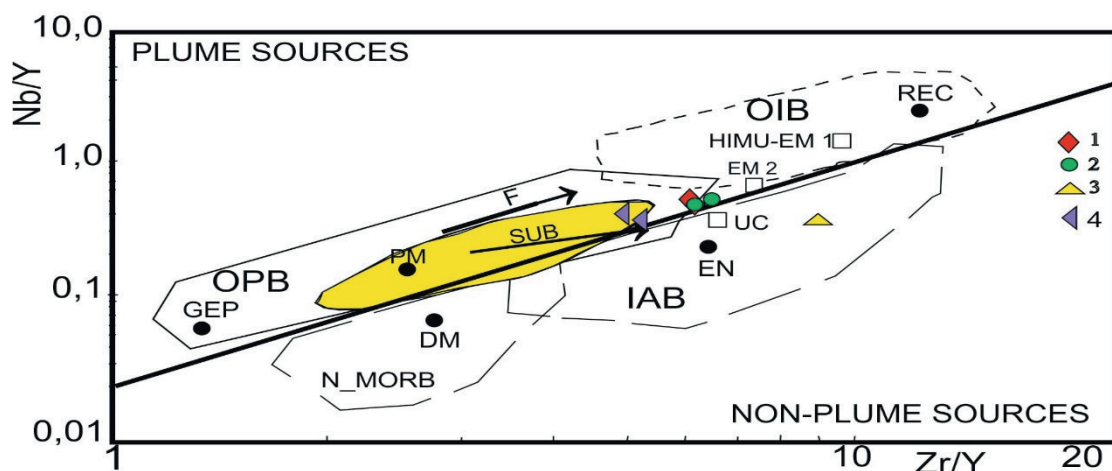


Рис. 7. Диаграмма Nb/Y – Zr/Y для пород Локтевского массива.

Контурные поля [Condie, 2005]: N-MORB – базальты COX; OPB – базальты океанических плато; OIB – базальты океанических островов; IAB – базальты островных дуг. Реперные резервуары: PM – примитивная мантия; DM – неглубокая деплетированная мантия, DEP – глубокая деплетированная мантия; HIMU – источник, обогащенный U и радиогенным Pb; EM1 и EM2 – обогащенные мантийные источники; EN – обогащенный компонент верхней континентальной коры и субконтинентальной литосферы; UC – верхняя континентальная кора; REC – рециклинговый компонент. Стрелками показаны эффекты периодического плавления (F) и субдукции (SUB).

Остальные условные на рис. 6

Fig. 7. Plot of ratio Nb/Y – Zr/Y for rock types of Loktev massif.

Contours of fields [Condie, 2005]: N-MORB – basalts of COR; OPB – basalts of oceanic plate; OIB – basalts of ocean islands; IAB – basalts of oceanic arc; PM – primitive mantle; DM – non deep depletion mantle; DEP – deep depletion mantle; HIMU – source of enriched U and radiogenic Pb; EM1 and EM2 – enriched mantle sources; EN – enriched component of upper continental earth crust and subcontinental lithosphere; UC – upper continental crust; REC – recycling component. Pointers show effects periodical melting (F) and subduction (SUB). Legend in fig 6

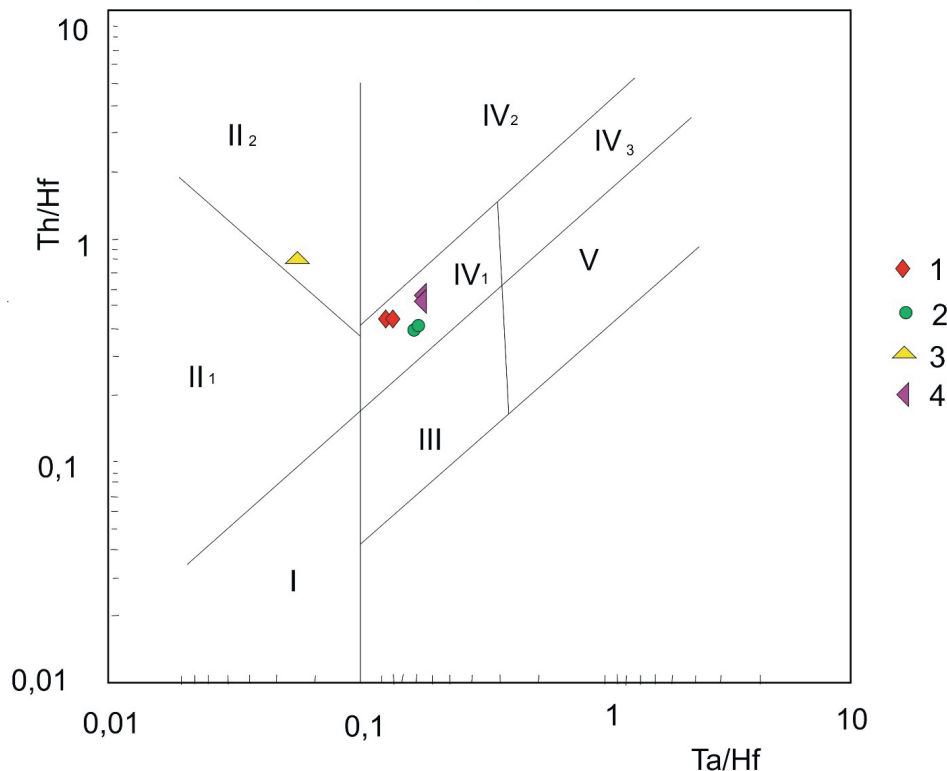


Рис. 8. Диаграмма Th/Hf – Ta/Hf по [Wang et al., 2001] для породных типов Локтевского массива. Поля на диаграмме: I – NMORB; II1 – океанические островные базальты; II2 – базальты островодужных континентальных окраин; III – базальты океанических островов (TMORB и EMORB); IV1 – внутриконтинентальные рифтовые толеиты; IV2 – континентальные обстановки растяжения/рифтовые базальты; IV3 – внутриконтинентальные известково-щелочные базальты; V – мантийные плюмовые базальты. Условные на рис. 6

Fig. 8. Plot of Th/Hf – Ta/Hf after [Wang et al., 2001] for rock types of Loktev massif. Fields on plot: I – NMORB; II1 – Oceanic Island basalts; II2 – Continental marginal island arc basalts; III – Oceanic Island basalts, TMORB and EMORB; IV1 – Intra-continental rift tholeiites; IV2 – Continental extensional/rift basalts; IV3 – Intra-continental calc-alkaline basalts; V – Mantle plume basalts. Legend on fig 6

Подтверждением рифтогенно-плюмовой обстановки пород волчихинского комплекса, в том числе и Локтевского массива с одноименным проявлением, является их приуроченность к глубинным разломам, линейная вытянутость к единому субширотному направлению.

Изотопный состав Sm и Nd для габброидов Локтевского проявления составляет $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.1931$; $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.513005$; $\epsilon_{\text{Nd}}(T_{320}) = +7.1$, что отвечает близости к рифтогенным толеитовым базальтам. По соотношениям $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ – $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ габбро-порфириды Локтевского проявления располагаются выше

состава хондритовых метеоритов по самарию и ниже – по неодиму вдали от поля синорогенных гранитоидов (рис. 9). Это указывает, что габброиды Локтевского проявления формировались значительно позднее орогенных гранитоидов, то есть в постколлизийную стадию – плюм-рифтогенного этапа эволюции региона.

Выводы

1. Новые данные, полученные при детальном изучении ранних разностей Локтевского проявления, позволяют считать их порфиритами, так как они относятся к основной и средней группе пород по кислотности.

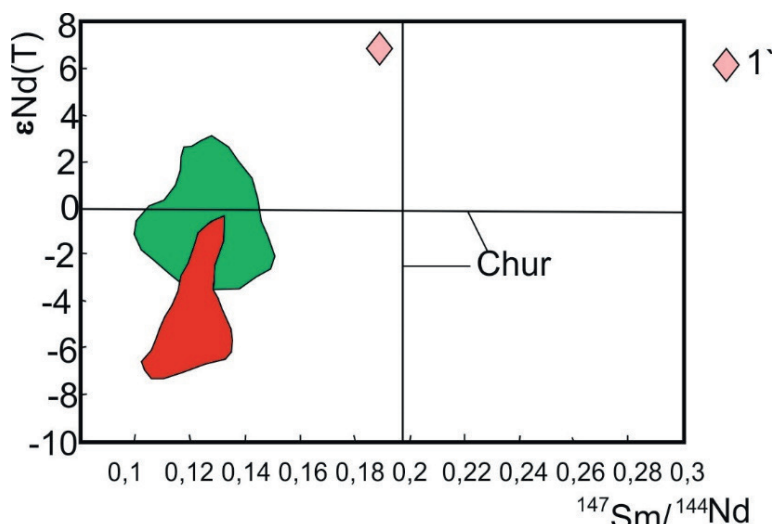


Рис. 9. Диаграмма $\epsilon Nd(T) - 147Sm/144Nd$ для габбро-порфиров Локтевского проявления. Линии CHUR – составы хондритовых метеоритов; зелёное поле – синорогенные гранитоиды и красное поле – ранне-среднепалеозойские метасадочные породы по [Zhao et al., 1993; Chen, Jahn, 2001]. 1 – габбро-порфириды

Fig. 9. Plot $\epsilon Nd(T) - 147Sm/144Nd$ for gabbro-porphyrite of Loktev manifestation. Lines CHUR – contents of chondrite meteorites; green field – sinorogenic granitoids and red field – Early-Middle Paleozoic meta-sediment rocks after [Zhao et al., 1993; Chen, Jahn, 2001]. 1- gabbro-porphyrite

2. Их абсолютный возраст определён в 320 млн. лет, что позволяет относить породные типы Локтевского массива к более древним образованиям, чем считалось ранее.

3. Генерация их происходила в глубинных условиях из расплавов мантийных источников в плюм-рифтогенной обстановке. В них имеются мафитовые включения базальтов мантийной природы. На путях движения мантийных расплавов происходило смешение с коровым материалом и появлением более кислых

разностей: тоналитовых порфиров и гранитов.

4. По физико-механическим и теплофизическим свойствам Локтевские «порфириды» обладают более привлекательными свойствами и могут найти применение для изготовления высокохудожественных декоративных изделий.

5. Значительные прогнозные ресурсы «порфиров», благоприятные горно-технические условия Локтевского карьера позволяют рекомендовать их для отработки Колыванскому заводу.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Список литературы

- Гусев А.И. Геммология Алтая и Салаира. Бийск: АГГПУ, 2020. 318 с.
- Гусев А.И., Гусев Н.И., Васильченко Т.А. Магматизм и оруденение Рудного Алтая. Бийск: ФГБОУ ВПО АГАО, 2011. 270 с.
- Гусев А.И., Одинцев А.В. Геолого-экономический потенциал минерально-сырьевой базы Горного Алтая. Gamburgh: Palmarium Academic Publishing, 2012. 440 с.

Гусев А.И. Петрология и рудоносность гранит-лейкогранитового Устьянского массива Рудного Алтая // Известия АО РГО. 2021. №2 (61). С. 51–61.

Гусев А.И., Гусев Н.И. Новые данные по абсолютным возрастам некоторых магматических пород Горного Алтая // Известия АО РГО. 2023. № 1 (68). С. 16–30.

Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 200 с.

Шокальский С.П., Бабин Г.А., Владимиров А.Г., Борисов С.М. Корреляция магматических и метаморфических комплексов западной части Алтае-Саянской складчатой области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2000. 187 с.

Chen B., Jahn B.M. Geochemical and isotopic study of sedimentary and granitic rocks from the Altai orogeny (NW China) and tectonic implications // Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from Central Asia. Novosibirsk., Publishing House of SB RAS. Department “GEO”, 2001. P. 14–17.

Condie K.C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? // Lithos. 2005. Vol. 79 (3–4). P. 491–504.

Mc Donough W.F., Sun S. The composition of the Earth // Chem. Geol. 1995. Vol. 120. P. 223–253.

Wang Y.L., Zhag C.J., Xiu S.Z. Discrimination of Th/Hf-Ta/Hf for tectonic settings in Basalts // Acta Petrologica Sinica. 2001. Vol. 17. No. 3. P. 413–421.

Zhao Z.H., Wang Z.G., Zou T.R., Masuda A. Progress of solid-earth sciences in northern Xinjiang. Beijing; Science Press, 1993. P. 239–266.

Referencies

Gusev A.I. Gemmology of Altay and Salair [Altai and Salair gemology]. Biysk: AGPPU, 2020. 318 p. (in Russian).

Gusev A.I., Gusev N.I., Vasilchenko T.A. Magmatizm i orudnenie Rudnogo Altaya [Magmatism and mineralization of the Ore Altai Mountains]. Biysk: FGBOU VPO AGAO, 2011. 270 p. (in Russian).

Gusev A.I., Odintsev A.V. Geologo-ekonomicheskii potentsial mineral'no-syr'evoy bazy Gornogo Altaya [Geological and economic potential of the mineral resource base of the Altai Mountains]. Gamburgh: Palmarium Academic Publishing, 2012. 440 p. (in Russian).

Gusev A.I. Petrologiya i rudonosnost' granit-leykograditovogo Ustyanskogo massiva Rudnogo Altaya [Petrology and ore occurrence of the granite-leucogranite Ustyansky massif of the Ore Altai Mountains] // Izvestiya AO RGO [Bulletin of the Altai Branch of the Russian Geographical Society]. 2021. No 2 (61). P. 51–61 (in Russian).

Gusev A.I., Gusev N.I. Novye dannye po absolutnym vozrastam nekotorykh magmaticheskikh porod Gornogo Altaya [New data on absolute ages of some igneous rocks of the Altai Mountains] // Izvestiya AO RGO [Bulletin of the Altai Branch of the Russian Geographical Society]. 2023. No 1 (68). P. 16–30 (in Russian).

Petrograficheskiy kodeks Rossii. Magmaticheskie, metamorficheskie, metasomaticheskie, impaktnye obrazovaniya [Petrographic Code of Russia. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact formations]. SPb: Izdatel'stvo VSEGEI, 2009. 200 p. (in Russian).

Shokal'skiy S.P., Babin G.A., Vladimirov A.G., Borisov S.M. Korrelyatsiya magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov zapadnoj chasti Altae-Sayanskoj skladchatoj oblasti [Correlation of magmatic and metamorphic complexes of the western part of the Altai-Sayan folded region]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, filial «Geo», 2000. 187 p. (in Russian).

Chen B., Jahn B.M. Geochemical and isotopic study of sedimentary and granitic rocks from the Altai orogeny (NW China) and tectonic implications // Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from Central Asia. Novosibirsk., Publishing House of SB RAS. Department "GEO", 2001. P. 14–17.

Condie K.C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? // Lithos. 2005. Vol. 79 (3–4). P. 491–504.

Mc Donough W.F., Sun S. The composition of the Earth // Chem. Geol. 1995. Vol. 120. P. 223–253.

Wang Y.L., Zhag C.J., Xiu S.Z. Discrimination of Th/Hf-Ta/Hf for tectonic settings in Basalts // Acta Petrologica Sinica. 2001. Vol. 17. No. 3. P. 413–421.

Zhao Z.H., Wang Z.G., Zou T.R., Masuda A. Progress of solid-earth sciences in northern Xinjiang. Beijing; Science Press, 1993. P. 239–266.

SOME GEOLOGY-GEOCHEMICAL ASPECT OF «PORPHYRES» LOKTEV MANIFESTATION OF RUDNYY ALTAY

A.I. Gusev, V.V. Dudina, T.A. Zatsepin

Altai State Pedagogical University, Biisk,

E-mail: anzerg@mail.ru

The new data about geology-geochemical peculiarities of «porphyres» Loktev manifestation with accent on conditions forming, absolute age and application lead in paper. Loktev manifestation of «porphyres» time to of some name massif that it carries to Volchiha complex. Massif composed by 3 phasies of intrusive: 1 – gabbroids, 2 – quartz diorites and plagiogranites (tonalities), 3 – granites and leucogranites. «Porphyres» of Loktev manifestation presented by black and greenish differences of gabbroids and quartz diorites and in coonection with modern demands must name porphyrites. U-Pb age determined on zircon and composed 320 mln years, that it replays Early Carboniferous. Middle-basic differences of rocks massif formed from deep mantle melts with participation of plum sources. The acid differences generated by mantle-crust interaction with contamination of crust material. With deep melting spot, forming rock types of massifs connected big complex endogenetic ore mineralization, carrying to strategic raw material. Extension ores of «porphyres» category P₂ evaluated 1.54 mln tons. They can be utilizing so ornamental stone and so for covering of baths and sweeting-rooms.

Key words: gabbroids; quartz diorites; tonalities; absolute age; plum sources; decorative ornamental raw material.

Received November 7, 2024. Accepted: December 16, 2024

Сведения об авторах

Гусев Анатолий Иванович – доктор геолого-минералогических наук, профессор Алтайского государственного педагогического университета. Бийский филиал им. В.М. Шукшина. Россия, 659300, г. Бийск, ул. Советская, д. 5. ORCID: 0000-0001-7840-0272. E-mail: anzerg@mail.ru.

Дудина Валерия Вячеславовна – научный работник Лаборатории петрологии и металлогении золота Алтайского государственного педагогического университета. Бийский филиал им. В.М. Шукшина. Россия, 659300, г. Бийск, ул. Советская, д. 5.

Зацепин Тимофей Алексеевич – научный работник Лаборатории петрологии и металлогении золота Алтайского государственного педагогического университета. Бийский филиал им. В.М. Шукшина. Россия, 659300, г. Бийск, ул. Советская, д. 5.

Information about the authors

Gusev Anatolij Ivanovich – Doctor geology-mineralogical sciences, professor of Altai State Pedagogical University. Biysk branch named after V.M. Shukshin. 5, Sovetskaya St., 659300 Biisk, Russia. ORCID: 0000-0001-7840-0272. E-mail: anzerg@mail.ru.

Dudina Valeriya Vyacheslavovna – science worker of Laboratory petrology and metallogeny of gold of Altai State Pedagogical University. Biysk branch named after V.M. Shukshin. 11, Sovetskaya St., 659300 Biisk, Russia.

Zatsepin Timofey Alekseevich – science worker of Laboratory petrology and metallogeny of gold of Altai State Pedagogical University. Biysk branch named after V.M. Shukshin. 11, Sovetskaya St., 659300 Biisk, Russia.