

АБСОЛЮТНЫЙ ВОЗРАСТ, ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И РУДОНОСНОСТЬ
ТИМОФЕЕВСКОГО МАССИВА ГОРНОГО АЛТАЯА. И. Гусев¹, Н. И. Гусев²¹Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В. М. Шукшина, Бийск, Россия; ²Всероссийский геологический исследовательский институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

Приведены новые данные по геологическому строению, оруденению, составу, петрологии, возрасту, петрологии и геохимии Тимофеевского штока Горного Алтая. Абсолютный возраст монцогаббро второй фазы внедрения штока определен в 397 млн лет (ранний девон); Nd-модельный возраст протолита при плавлении габброидов – 893 млн лет, что характерно для транзитной зоны от среднепалеозойской консолидации к Алтае-Монгольскому террейну. По химизму породы Тимофеевского штока относятся к известково-щелочной и шошонитовой сериям. Геодинамический аспект генерации расплавов объясняется смешением щелочных океанических базальтов плюмовой обстановки и нормальных океанических базальтов срединно-океанических хребтов, имевших место в эволюции Палеоазиатского океана в раннем палеозое. Самарий-неодимовые изотопные метки габброидов указывают на близость их значений к хондритовым метеоритам. Соотношения изотопов неодима с возрастом габбро указывают, что под Коргонским прогибом в раннем палеозое существовала изотопно отличающаяся земная кора, близкая к деплетированной мантии. Пространственно и парагенетически с Тимофеевским штоком связано одноименное скарново-железорудное месторождение

Ключевые слова: Горный Алтай, Коргонский прогиб, Тимофеевский шток, габбро, монцогаббро, сиенит, кварцевый сиенит, скарны, железные руды.

ABSOLUTE AGE, PETROLOGY, GEOCHEMISTRY AND ORE MINERALIZATION
OF TIMOFEEV MASSIF OF GORNY ALTAIA. I. Gusev¹, N. I. Gusev²¹V. M. Shukshin Altai State University for Humanities and Pedagogy, Biysk, Russia; ²A. P. Kfrpbnsky Russian Geological Research Institute, Saint-Petersburg, Russia

The paper gives new data on the geological structure, ore mineralization, composition, petrology, absolute age, petrology and geochemistry of Timofeev stock of Gorny Altai. The absolute age of monzogabbros of the stock intrusion lower phase is defined as 397 Ma, that corresponds to the Lower Devonian. Nd-model age of protolith during melting of gabbroids composes 893 Ma, that is characteristic of transit zone from the Middle Paleozoic consolidation to the Altai – Mongolian terrain. According to the chemistry, the Timofeev stock rocks belong to the lime-alkali and shoshonite series. The geodynamic aspect of melt generation is interpreted by mixing alkaline oceanic basalts of the plume setting and normal oceanic basalts of mid-oceanic ridges that took place in the Paleo-Asian Ocean evolution in the Early Paleozoic. Samarium-neodymium isotopic labels of gabbroids indicate the proximity of their values to chondrite meteorites. The ratio of neodymium isotopes with gabbro age indicates that the isotopically varying earth's crust, close to the depleted mantle, existed under the Korgon trough in the Early Paleozoic. The skarn-iron-ore deposit of the same name is spatially and paragenetically connected with the Timofeev stock.

Keywords: Gorny Altai, Korgon trough, Timofeev stock, gabbro, monzogabbro, syenite, quartz syenite, skarns, iron ores.

DOI 10.20403/2078-0575-2023-46-186-195

Определения абсолютных возрастов вулкано-генных разрезов и интрузивных пород имеют главнейшее значение в геологии складчатых территорий, петрогенезиса пород и поисков полезных ископаемых [8, 12, 13]. Это особенно важно для Алтайского региона, где имеются уникальные, крупные, средние и мелкие по запасам месторождения различных металлов, многие из которых отнесены к стратегическому сырью России. В 2019–2022 гг. в процессе проведения экспедиций Русского географического общества (Барнаульского и Бийского отделений) получены новые данные по геологии и полезным ископаемым Рудного и Горного Алтая [2, 3, 4]. При этом проводились и отборы проб для определения возраста, в том числе и в породах Коргонского прогиба Алтая.

В северном обрамлении Коргонского прогиба при выполнении ГДП-200 [1] выделено несколько штоков габброидов и диоритов, отнесенных к майорскому комплексу (штоки Владимировский, Тимофеевский, Кириловский, Еловский и др.) с выделением Владимировского ареала [5]. С частью из них связаны специфические типы оруденения (скарновые кобальтовое и железорудное), а также некоторые жильные гидротермальные проявления свинцово-цинкового, золотого, уран-молибденового и редкометалльно-редкоземельного оруденения. К этой же полосе приурочен и Кумирский шток с одноименным скандий-уран-редкоземельным месторождением мирового класса по запасам металлов. Специфический магматизм и набор различных

типов эндогенного оруденения указанной полосы аномальны для всего Коргонского прогиба.

При проведении экспедиций последних лет в этом районе установлено, что визуально габброиды, диориты и другие дифференциаты массивов Владимировского ареала, а также дайковые образования и связанные с ними типы оруденения не укладывались в понимание типоморфных разностей майорского комплекса и его металлогении. Для района Владимировского штока установлено [3], что вмещающие породы, ранее относившиеся к коргонской свите раннего – среднего девона, имеют ордовикский возраст, а дериваты самого интрузива датированы поздним ордовиком (конкордантный возраст $458,8 \pm 5,7$ Ма). По северной периферии Коргонского прогиба впервые выделена тимофеевская свита ордовикского возраста, а интрузивные массивы Владимировского ареала могут быть отнесены к самостоятельному одноименному комплексу. В связи с этим стало весьма актуальным более детальное изучение вещественного состава расположенного близко Тимофеевского интрузивного массива и определение его абсолютного возраста.

Цель настоящего исследования – детальное изучение вещественного состава Тимофеевского массива, определение и уточнение его абсолютного возраста и связанного с ним оруденения.

Аналитические методы исследования

ICP-MS анализ проведен в ЦЛ ВСЕГЕИ; определение редких элементов в горных породах выполнены эмиссионной спектрометрией с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре «OPTIMA-4300»; для Cu, Zn, Pb, Li – методом ISP-AES (Санкт-Петербург); проведено U-Pb изотопное датирование (SHRIMP II). При выборе в цирконах участков для анализа использовались оптические и катодолюминесцентные наблюдения. U-Pb отношения были нормированы на значение 0,0668 по соответствующему стандарту «Темора». Погрешность измерений единичных анализов в пределах 1s, для расчетных конкордантных возрастов и их пересечений с конкордией – 2s. Графики строились с использованием программы ISOPLOT/EX; масс-спектрометрическое определение изотопного состава Sm-Nd осуществлено в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург).

Геологическое строение участка

Участок Тимофеевского скарново-железрудного месторождения расположен на границе Алтайского края и Республики Алтай, на водоразделе ручьев Тимофеева и Потапова (правые притоки р. Кума в системе р. Чарыш). В региональном плане участок локализован на северной периферии Коргонского прогиба и тяготеет к зоне влияния глубинного Чарышско-Теректинского разлома. В этом блоке располагается ряд интрузивных массивов, с глубинными очагами которых связаны промышленные месторождения различных металлов (Кор-

гонское железорудное, Владимировское кобальтовое, Кумирское скандий редкометалльно-редкоземельное, Красноярское эпитептермальное золотосеребряное) (рис. 1). Магматизм указанной полосы обнаруживает признаки мантийной природы, что меняет традиционные представления на геодинамическую обстановку участка и его металлогению.

Тимофеевское месторождение открыто в 1955 г. партией № 88 Березовской экспедиции. Поисково-оценочные работы выполнены в 1956 г. Казинихинской ГРП Северо-Алтайской ГРЭ. До 1975 г. проводились только геофизические и тематические исследования различных масштабов. В 1975–1976 гг. Тимофеевской партией Северо-Алтайской ГРЭ на месторождении и в его районе проведены поиски м-блов 1:10 000 – 1:25 000 с оценкой рудных линз на поверхности (А. А. Мацулевич, Т. Н. Подкопытова, В. И. Кац, В. А. Козлов, Ю. В. Робертус). В 1980–1983 гг. выполнена оценка месторождения на глубину штольнями и скважинами подземного бурения: сечение выработок $6,4 \text{ м}^2$, диаметр бурения 36–76 мм, выход керна по руде 79,5 %. Всего пробурено 26 скважин глубиной до 121 м.

Месторождение расположено на стыке двух крупных региональных зон (Коргонской и Ануйской) в краевой части Коргонского прогиба. Рудная зона приурочена к экзоконтактовой зоне Тимофеевского интрузивного массива, осложненного внедрением даек монцогаббро, сиенитов и кварцевых сиенитов и размещена среди пироксен-амфиболовых скарнов, развитых по осадочно-вулканогенным образованиям, представленным базальтовыми и андезитовыми порфиритами, фельзитами, туфами, метапесчаниками и линзами доломитов протяженностью более 1 км при максимальной мощности до 200 м (рис. 2).

Указанные породы участвуют в строении северного крыла Казинихинской антиклинали. Установлено крутое ($72\text{--}80^\circ$) моноклиальное падение толщи на север и северо-восток. В экзоконтактовой полосе Тимофеевского штока породы подверглись слабому ороговикованию, окварцеванию и интенсивному скарнированию. Карбонатные породы, на поверхности слагающие линзы протяженностью 200–600 м и мощностью 30–140 м, на горизонте штольни объединяются в одну зону. Скарны развиваются в основном по породам Тимофеевского штока, в меньшей степени по доломитам и известковистым песчаникам. По вулканитам образуются скарны пироксеновые, реже гранат-пироксеновые; по карбонатным породам – гранат-пироксеновые с флогопитом и форстеритом.

В наземном магнитном поле Тимофеевское месторождение четко фиксируется в виде узкой линейно вытянутой аномальной зоны длиной около 1000 м со значением магнитности до +50000 гамм. Рудная зона имеет субширотное простирание и падение на север – северо-восток согласно с рудовмещающей толщей. На поверхности выделены Главное рудное тело и 10 мелких линз. Протяженность

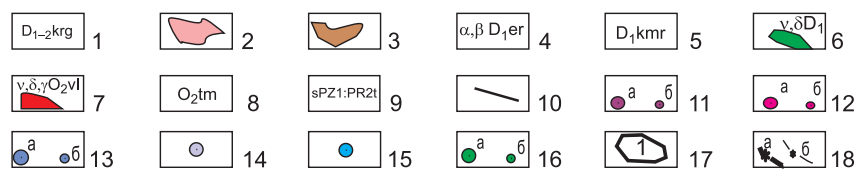
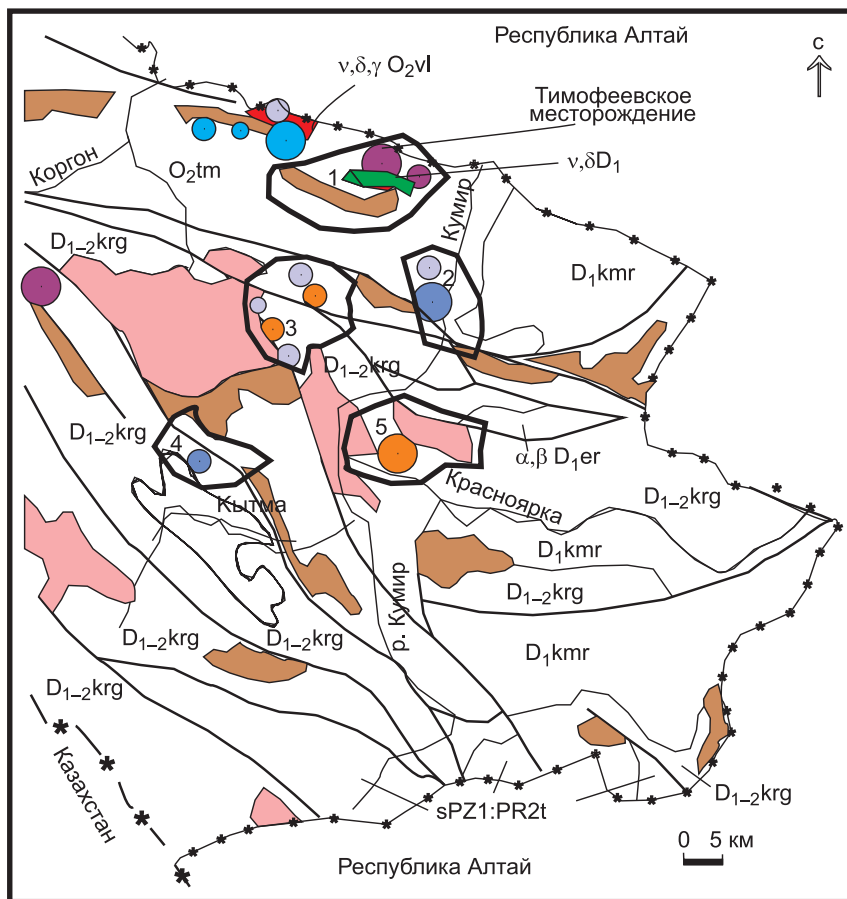


Рис. 1. Схема размещения полезных ископаемых Коргонского прогиба (составлена А. И. Гусевым с учетом данных [1])

1 – лавы, туфы, игнимбриты дацитов, риолитов, трахириолитов коргонской свиты; 2 – субвулканические плагиограниты, лейкоплагиограниты; 3 – экзрузии трахириолитов, трахириодацитов; 4 – лавы, туфы андезибазальтов, базальтов ергольской свиты; 5 – песчаники, алевропесчаники, алевролиты, мраморы кумирской свиты; 6 – габбро, габбро-монцониты, сиениты Тимофеевского массива; 7 – габбро, диориты, граниты владимировского комплекса среднего ордовика; 8 – лавы, туфы андезибазальтов, риолитов, линзы доломитов тимоевской свиты среднего ордовика; 9 – метapelитовые сланцы терехтинского метаморфического комплекса; 10 – разломы; полезные ископаемые: 11 – скарновые месторождения (а) и проявления (б) железа; 12 – высокосульфидизированные эпitherмальные золотосеребряные месторождения (а) и проявления (б); 13 – комплексные грейзеново-гидротермальные скандий-торий-уран-редкоземельные месторождения (а) и проявления (б); 14 – гидротермальные и эпitherмальные редкоземельные проявления; 15 – эпitherмальные свинцово-цинковые проявления; 16 – скарновые кобальтовые месторождения (а) и проявления (б); 18 – границы: государственная (а), административная (б)

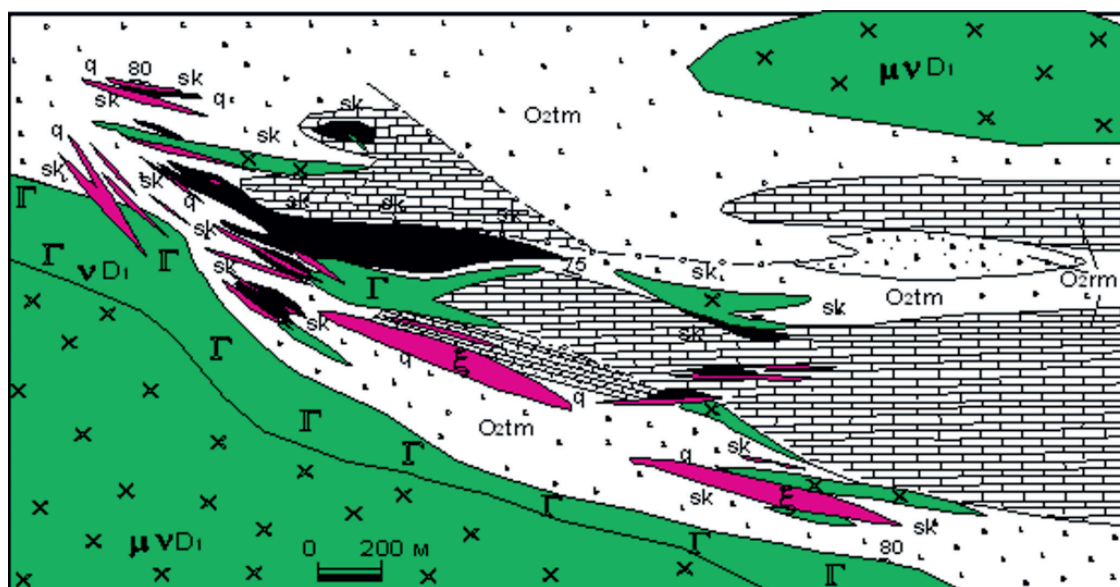


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Тимофеевского месторождения по В. А. Козлову, Ю. В. Робертусу с добавлениями авторов

1 – дайки сиенитов и кварцевых сиенитов; 2 – монцогаббро; 3 – габбро; тимоевская свита: 4 – доломиты, 5 – метapесчаники, 6 – туфы андезибазальтов и базальтов, 7 – лавы базальтов и андезибазальтов, 8 – разломы, 9 – магнетитовые руды, 10 – скарны и скарноиды, 11 – окварцевание и кварцевые прожилки, 12 – элементы залегания

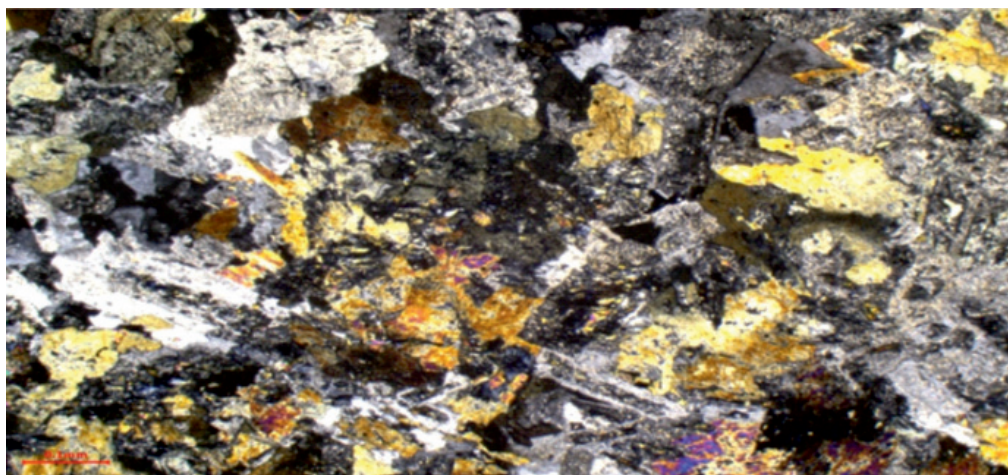


Рис. 3. Микрофото габбро. Николи x

Главного тела 350 м (на горизонте штольни 360 м), мощность 20–45 м (2–10 м). Форма тел линзовидная и линзовидно-пластовая. Протяженность Главного рудного тела по падению 250–275 м. Пологое (30°) тектоническое нарушение срезает рудное тело ниже горизонта штольни. Мелкие линзы прослеживаются по падению на 50–70 м.

Железные руды в основном двух типов: амфибол-пироксен-магнетитового (основного) и собственно магнетитового. Структура тонко-мелкозернистая, текстура массивная, реже пятнистая. Магнетит распределен в руде в виде гнезд, пятен и вкрапленности. Среднее содержание железа до 37,1 %. Средний химический состав руды (%): $\text{Fe}_{\text{вал}}$ 45,8, SiO_2 17,08, Al_2O_3 2,83, CaO 5,29, MgO 6,71, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 0,93, S 14, P_2O_5 5,29. Содержание примесей (%): TiO_2 0,32, MnO 0,2, Co 0,008, Zn 0,018, Pb 0,001, Cr_2O_3 0,016. Широко развиты сульфиды, представленные пиритом, очень редко пирротинном, халькопиритом, сфалеритом, арсенопиритом. На руды наложены уранинит, сопутствующие ему сульфиды и ортит, образующие гнезда и линзы 0,2–3 м в поперечнике. Содержание U 0,001–0,095 %, Th 0,003–0,01 %, Mo 0,001–0,004 %, Pb 0,01–0,1 %; отмечены повышенные концентрации Sc (30–52 г/т).

Тимофеевский интрузивный массив сложен породами трех фаз внедрения: 1) габбро, 2) монцогаббро, габбро-монцонитами, 3) монцодиоритами. Дериваты ранней фазы тяготеют к контактовой части, а более поздние локализируются в центре штока. Такой характер зональности свидетельствует о том, что дифференциация глубинного очага происходила сравнительно быстро, в результате чего ранние фазы не успевали закристаллизоваться и легко прорывались последующими. Такой сценарий приводит к формированию прямой интрузивной зональности [16]. Габбро 1-й фазы внедрения от темно-зеленой до зеленовато-серой. Структура офитовая (рис. 3), текстура массивная. Порода средне-крупнокристаллическая. Состав (%): плагиоклаз 62–70, ортопироксен 12, клинопироксен 3, оливин 2, роговая обманка 8, эпидот 5, актинолит 2. Акцессории – магнетит, титаномagnetит, апатит, лейкоксен. Ортопироксен (гиперстен) наблюдается в виде неправильных зе-

рен и замещается роговой обманкой и эпидотом. Клинопироксен представлен авгитом, слегка окрашенным в буроватый цвет. Оливин образует овально-округлые выделения в виде мелких агрегатов, некоторые из них формируют сростания с рудными минералами (титаномagnetитом и магнетитом). Плагиоклаз представлен двумя генерациями: 1) битовнитом (№ 72–75), который выделяется в виде крупных кристаллов таблитчатой формы, иногда сильно соскюритизирован; 2) лабрадором (№ 56–59) таблитчатой и призматической форм, местами нацело соскюритизирован и замещен хлоритом.

Монцогаббро роговообманковое второй фазы внедрения (шлиф Т-1). Окраска пород от серо-зеленой до серой с розоватым оттенком.

Структура гипидиморфнозернистая, местами монцонитовая (см. рис. 3), текстура массивная. Состав (%): плагиоклаз 50, роговая обманка 30, биотит 6, эпидот 5, актинолит 3, калиевый полевой шпат 2, хлорит 2; акцессории (%): титанит 1, магнетит 1, отмечаются единичные зерна пирита и апатита.

Плагиоклаз образует две генерации: 1) раннюю в виде призматических вростков в роговой обманке (лабрадор 66 – битовнит 72), более идиоморфен по отношению к роговой обманке; 2) позднюю в основной ткани породы (призматические выделения лабрадора с варьирующим составом: с колебаниями анортитовой молекулы от 62 до 68)

Поздний плагиоклаз нередко зональный с ядром, представленным лабрадором, по периферии сложен альбитом в виде тонкой каемки. Роговая обманка по оптическим показателям близка к обыкновенной и распространена в породе неравномерно: в виде то отдельных кристаллов, то гломеропорфировых скоплений размерами до 0,5–1 см в поперечнике. Биотит встречается в виде мелких чешуек в сростании с роговой обманкой по периферии ее зерен. Калиевый полевой шпат представлен ортоклазом, выделяющимся в интерстициях плагиоклаза в виде мелких ксеноморфных образований.

Местами порода интенсивно изменена с образованием двух групп типов изменений: роговая обманка замещается 1) актинолитом и эпидотом, 2) хлоритом и эпидотом.

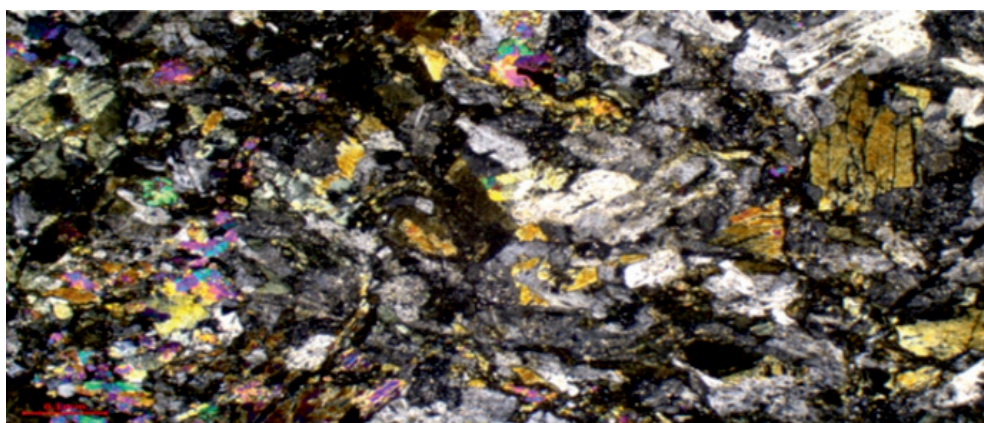


Рис. 4. Микрофото монцогаббро. Николи х

Таблица 1

Результаты исследований изотопного состава Pb, U, Th в цирконах монцогаббро (образец Т-1) Тимофеевского штока и абсолютные возрасты

Точка замера	$^{206}\text{Pb}_c$	U, г/г	Th, г/г	$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	$^{206}\text{Pb}^*$	Абс. возраст						Ошибка
						(1) $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	(2) $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	(1) $\frac{^{238}\text{U}}{^{206}\text{Pb}^*}$	(1) $\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{206}\text{Pb}^*}$	(1) $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	(1) $\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}}$	
9-1	0,1	526	334	0,66	28,3	391,6	391	15,968	0,055	0,482	0,063	0,276
3-1	0,12	332	176	0,55	17,9	392	391,1	15,95	0,056	0,488	0,063	0,221
10-1	0,22	483	224	0,48	26,1	392,2	391,8	15,94	0,055	0,478	0,063	0,241
5-1	0,58	149	63	0,44	8,06	392,4	392,3	15,93	0,055	0,474	0,063	0,167
8-1	0,22	435	222	0,53	23,7	396,2	395,5	15,78	0,056	0,49	0,063	0,221
7-1	0,1	1005	664	0,68	54,8	396,6	396,2	15,76	0,055	0,48	0,063	0,36
4-1	0,06	618	362	0,61	24	399,2	399,4	15,65	0,054	0,477	0,064	0,29
2-1	0,12	485	276	0,59	26,7	399,8	400	15,63	0,054	0,478	0,064	0,266
6-1	0,25	517	322	0,64	28,6	401,4	401,4	15,57	0,055	0,483	0,064	0,21
1-1	0,17	494	338	0,71	27,4	401,8	401,8	15,55	0,055	0,484	0,064	0,238

Примечания. Ошибки составляют 1-сигма. Pb_c и Pb^* указывают на обычную и радиогенную части свинца соответственно. Общий Pb скорректирован с использованием измеренного ^{204}Pb . Значения возраста: 1 – для обычного свинца, 2 – для радиогенной части.

Монцодиориты 3-й фазы внедрения (рис. 4) встречаются среди габброидов в центральной части Тимофеевского массива в виде небольших тел овальной формы размерами 10–15 на 50–65 м. Контакты с габброидами секущие. Иногда в приконтактной части наблюдаются ксенолиты габброидов ранних фаз внедрения: зеленовато-темно-серые с розоватым оттенком среднекристаллические породы гипидиоморфно-зернистой микроструктуры. Состав (%): плагиоклаз (An) от 32 до 44–65, моноклиновый пироксен (авгит) 17, калиевый полевой шпат 12–16, эпидот 3–5; акцессорные: апатит, магнетит, титаномagnetит, циркон, лейкоксен, пирит, пирротин. Пироксен изредка замещается эпидотом.

Определение абсолютного возраста пород Тимофеевского массива

Определение абсолютного возраста проведено по циркону из монцогаббро. Выполнено 10 замеров в различных зернах минерала (рис. 5).

Цирконы светло-розовые, прозрачные и коричневые мутные, представляют собой угловатые обломки и обломки удлиненно-призматических

кристаллов длиной от 88 до 258 мкм, большинство с включениями и/или трещинками.

В катодных лучах с умеренно-ярким и умеренным свечением, большинство измеренных цирконов обладают магматической зональностью или ее следами.

Результаты исследования изотопов в цирконе приведены в табл. 1.

Разброс значений возраста по 10 замерам варьирует от 391 до 401,8 млн лет. По результатам U-Pb датирования для всех измеренных цирконов принят конкордантный возраст $397,0 \pm 2,1$ Ма, отвечающий раннему девону. Вариации концентраций элементов в цирконе (г/г): U 149–1005, Th 63–664, Th/U 0,44–0,71.

Петрохимические особенности интрузивных пород

Химический состав пород Тимофеевского массива и вмещающих ороговикованных туфов отражен в табл. 2.

Интрузивные породы массива по химизму принадлежат натровой серии. В них слабо отрицатель-

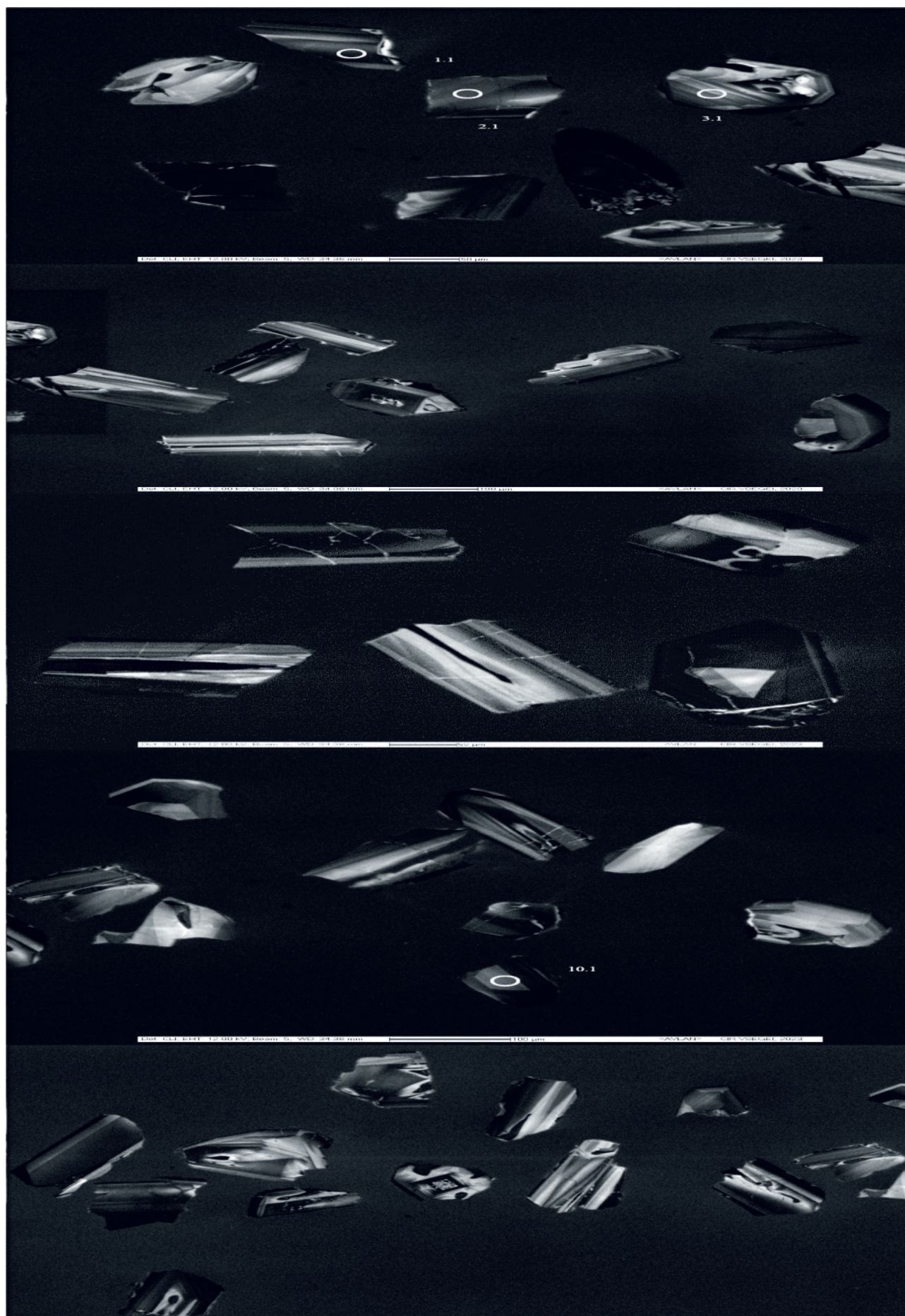


Рис. 5. Католюминесцентные изображения морфологии зональных кристаллов циркона и места замеров по определению изотопов



Таблица 2

Химический состав породных типов Тимофеевского штока (оксиды в %, элементы в г/т)

Компонент	1	2	3	4	5	6*	7*	8*
SiO ₂	48,8	52,2	51,1	52,0	53,8	54,1	59,4	62,8
TiO ₂	1,35	1,05	1,31	1,06	0,29	0,74	0,95	0,65
Al ₂ O ₃	18,0	17,6	17,9	17,1	6,53	15,2	18,4	16,2
Fe ₂ O ₃	2,52	1,75	2,84	3,7	0,59	1,9	5,03	3,4
FeO	6,58	5,99	5,76	5,08	4,64	7,63	3,22	3,1
MnO	0,19	0,16	0,13	0,18	0,2	0,32	0,06	0,03
MgO	7,49	6,2	6,07	6,26	12,0	4,94	1,42	0,77
CaO	6,96	7,72	6,56	5,74	14,8	5,2	2,84	2,85
Na ₂ O	2,8	3,28	4,08	3,31	0,6	5,1	7,54	8,41
K ₂ O	1,9	2,35	1,26	2,79	2,33	1,5	0,19	0,29
P ₂ O ₅	0,27	0,18	0,21	0,21	0,068	0,21	0,41	0,19
П.п.п.	2,36	1,49	2,65	2,01	3,88	3,1	0,6	0,3
Σ	100,0	101,0	101,0	100,0	100,0	99,94	100,06	99,99
V	229	268	207	232	83,9	137,1	130	120
Cr	176	98,7	110	122	60,4	8,8	8,2	5,5
Co	33,5	27,2	29,6	33,8	12,1	14,8	14,1	9,4
Ni	67,9	24,2	42,2	45,8	20,7	8,3	8,1	5,1
Cu	38,2	18,9	6,07	33,4	4,19	7,2	7,5	7,3
Zn	58,4	63,2	43,4	73,3	97,4	14,3	14,1	12,5
Rb	53,7	60,2	30,4	95	50,1	6,2	7,0	10,0
Sr	346	522	258	415	57,9	243	245	210
Nb	6,2	4,53	4,86	8,05	3,96	11,7	12,0	11,8
Cs	0,64	0,35	0,41	0,65	0,4	0,21	0,3	0,4
Ba	603	673	293	415	856	95	100	98
Pb	2,76	6,43	2,34	5,03	1,93	1,9	2,2	2,5
Th	3,76	4,56	2,67	3,84	2,21	5,2	4,8	5,7
La	16,3	14,6	14,0	17,4	5,59	27,4	27,2	28,2
Ce	41,7	33,6	33,6	39,1	14,6	72,2	71,8	72,4
Pr	6,02	4,56	4,47	5,2	2,49	10,8	10,6	11,8
Nd	25,1	16,8	18,8	22	10,5	56	55	58,2
Sm	6,78	4,64	4,81	4,85	3,58	13,5	13,3	14,5
Eu	1,7	1,28	1,4	1,54	0,62	2,54	2,5	2,0
Gd	6,29	4,4	4,99	4,79	2,66	13,8	13,7	14,1
Tb	0,83	0,65	0,7	0,82	0,4	2,22	9,3	10,0
Dy	5,11	4,04	4,17	4,93	2,16	13,1	13,0	13,2
Ho	1,01	0,94	0,93	1,2	0,54	2,69	2,7	2,9
Er	2,86	1,98	2,46	2,58	1,34	7,9	8,0	7,5
Tm	0,4	0,3	0,41	0,41	0,25	0,98	0,96	0,8
Yb	2,78	2,15	2,2	3,0	1,43	5,95	5,9	4,5
Lu	0,49	0,31	0,39	0,44	0,23	0,77	0,72	0,6
Y	29,7	23,8	25,7	30,3	16,8	70,9	69,5	63,2
Ga	20,2	18,4	17,6	18,0	8,71	18,9	19,0	19,5
Zr	154	95	149	43,2	71,6	158	155	170
Sc	24,1	36,4	22,7	24,7	10,3	19,8	19,5	12,5
Hf	3,7	2,54	3,84	1,6	1,85	4,36	4,2	4,0
Ta	0,36	0,22	0,3	0,52	0,29	0,69	0,7	0,6
Mo	0,69	0,85	1,04	0,84	1,14	0,6	0,5	0,65
Be	2,06	1,82	1,71	2,25	2,77	3,66	3,5	3,6
W	0,83	2,19	0,81	0,74	<0,5	<0,5	0,5	0,6

Окончание табл. 2

Компонент	1	2	3	4	5	6*	7*	8*
U	0,81	1,37	1,21	0,72	11,09	2,2	2,1	2,5
Li	10,9	10,4	12,1	13,7	16,7	3,3	3,5	3,8
Ag	0,039	0,053	0,035	0,039	0,011	–	–	–
Bi	<0,1	0,12	<0,1	0,2	0,16	–	–	–
ΣREE	147,07	114,05	119,03	138,56	63,19	300,75	304,18	303,8
TE _{1,3}	0,99	0,98	0,95	0,99	0,91	0,97	1,49	1,54
Eu/Eu*	0,78	0,85	0,86	0,96	0,59	0,56	0,55	0,42
(LaYb) _N	3,97	4,6	4,31	3,95	3,33	3,1	3,1	4,25
Nb/Y	0,21	0,19	0,18	0,26	0,24	0,16	0,17	0,19
Zr/Y	5,2	4,0	5,8	1,4	4,3	2,2	2,2	2,7

Примечание. Значения РЗЭ нормированы по хондриту по [11]. TE_{1,3} – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ как среднее между первой и третьей тетрадами по [10]. Породные типы Тимофеевского массива и вмещающих туфов: 1–2 – габбро, 3–4 – монцогаббро, 5 – ороговикованный туф среднего состава; дайки: 6 – сиенит, 7–8 – кварцевые сиениты. Звездочкой отмечены анализы, выполненные в лаборатории ИМГРЭ (Москва).

ная аномалия по европию (Eu/Eu* 0,42–0,96) и сравнительно умеренные показатели фракционирования РЗЭ ((LaYb)_N от 3,1 до 4,6). В кварцевых сиенитах проявлен тетрадный эффект фракционирования (ТЭФ) РЗЭ М-типа (TE_{1,3} 1,49–1,54), свидетельствующий о весьма высокой активности фтор-комплексов в магматогенных флюидах, игравших значительную роль в переносе металлов.

На ТАС диаграмме породные типы располагаются в полях габбро, монцогаббро и сиенитов (рис. 6).

На петрохимической диаграмме K₂O–Na₂O породные типы массива локализуются в известково-щелочной и шошонитовой сериях (рис. 7), что весьма схоже с положением пород на такой же диаграмме для Владимирского штока.

По соотношениям Zr/Y–Nb/Y породные типы локализуются вблизи линии смешения плюмовых (OIB) и N-MORB базальтов срединно-океанических хребтов (рис. 8).

Для габбро 1-й фазы внедрения (возраст 400 млн лет) Тимофеевского массива определены изотопы стронция и неодима в обр. Т-7: Sm 3,658; Nd 15,290; ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd 0,1446; ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 0,512747; +/–2s 7; ε_{Nd}(0) 2,1; ε_{Nd}(T) 4,8; T_{DM} 893; T_{DM2} 763.

Концентрации Sm и Nd в габброидах Тимофеевского массива в 24 и 36 раз больше их содержания в хондрите C1 (0,15 Sm и 0,416 Nd); ε_{Nd} в габбро ранней фазы близок к таковому в интрузиях региона Алтая среднепалеозойской консолидации; Nd-модельный возраст пролита габброидов характерен для транзитной зоны от среднепалеозойской консолидации к Алтае-Монгольскому террейну [15].

На диаграмме соотношений ε_{Nd}(T) – ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd габбро 1-й фазы внедрения Тимофеевского массива располагаются выше состава хондритовых метеоритов по самарию и ниже – по неодиму вблизи поля синорогенных гранитоидов (рис. 9).

На диаграмме ε_{Nd}(T)–возраст отложений или интрузивный возраст габбро ранней фазы Тимофеевского массива локализуется выше хондрито-

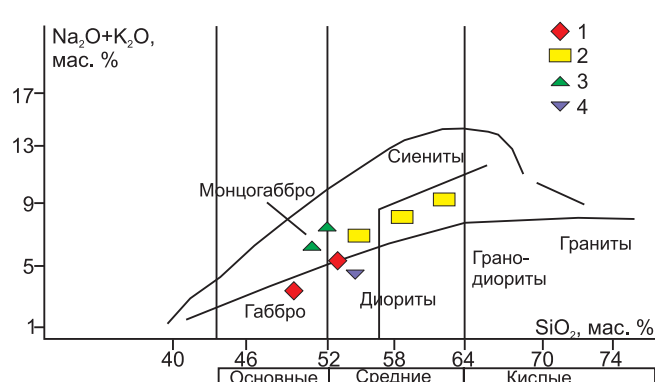


Рис. 6. Петрохимическая диаграмма диагностики горных пород в координатах SiO₂ – (Na₂O+K₂O) для пород Тимофеевского массива и вмещающих туфов

1 – габбро; 2 – монцогаббро; 3 – туф ороговикованный; 4 – сиенитоиды

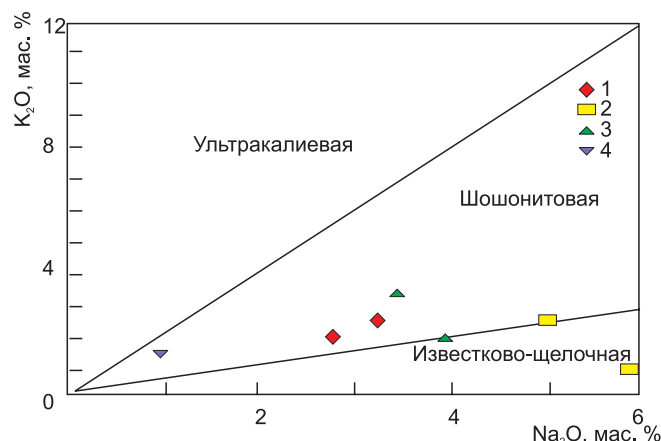


Рис. 7. Диаграмма K₂O–Na₂O по [6] для интрузивных пород Тимофеевского массива

Усл. обозн. см. на рис. 5

вой линии и тяготеет к области палеозойской ювенильной коры и линии деплетированной мантии (рис. 10).

Таким образом, положение изотопных спектров самария и неодима на диаграммах и отношения ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd, ранжирующиеся от 0,51253 в туфах риолитов и 0,512872 в монцогаббро Владимир-

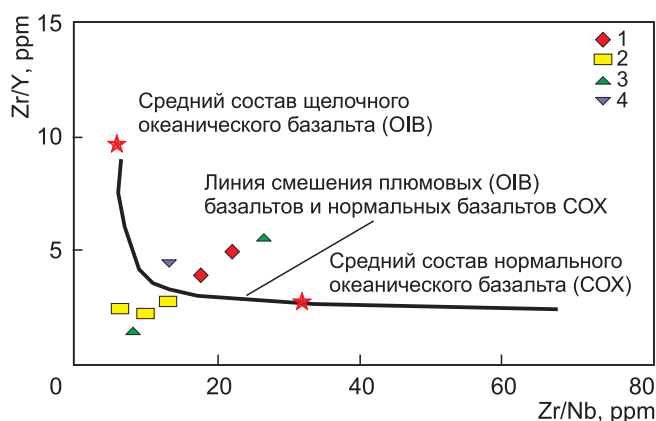


Рис. 8. Диаграмма Zr/Y–Zr/Nb по [9] для породных типов Тимофеевского массива

Звездочками отмечены средние составы щелочного океанического базальта (OIB) и нормального океанического базальта (COX). Остальные усл. обозн. см. на рис. 5

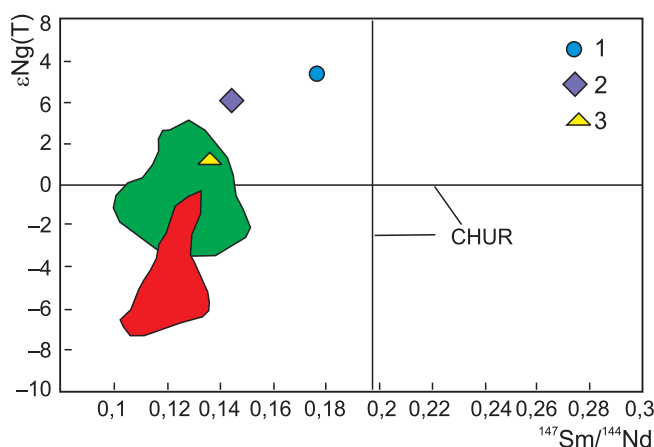


Рис. 9. Диаграмма $\epsilon Nd(T)$ – $^{147}Sm/^{144}Nd$ для магматических пород Владимирского ареала

Линии CHUR – составы хондритовых метеоритов; зеленое поле – синорогенные гранитоиды, красное поле – ранне-среднепалеозойские метаосадочные породы по [7, 14]; Владимирский массив: 1 – монцогаббро, 2 – вмещающие туфы риолитов; 3 – габбро Тимофеевского массива

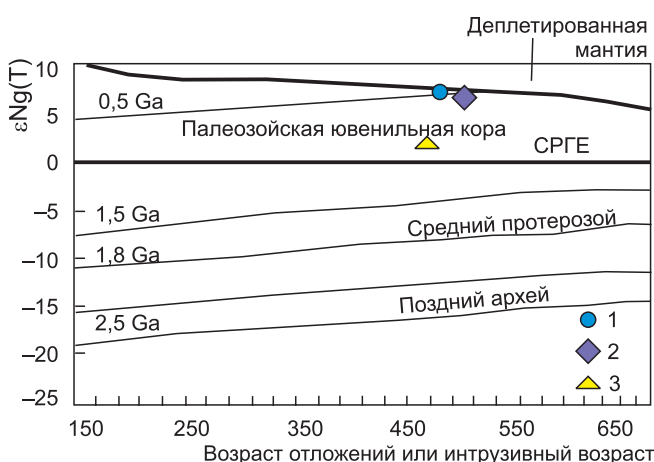


Рис. 10. Диаграмма $\epsilon Nd(T)$ – возраст отложений или интрузивный возраст по [7] для магматических пород Владимирского ареала

1 – монцогаббро, 2 – вмещающие туфы риолитов, 3 – габбро Тимофеевского массива

ского массива до 0,512747 в габбро 1-й фазы внедрения Тимофеевского интрузива свидетельствуют в пользу того, что под Коргонским прогибом в раннем палеозое существовала изотопно отличающаяся земная кора, близкая к деплетированной мантии.

Выводы

Породы Тимофеевского массива относятся к шошонитовой серии. Монцогаббро второй фазы внедрения имеют возраст $397,0 \pm 2,1$ Ма (ранний девон) [5] и не могут рассматриваться в составе майорского комплекса, датируемого средним девонем. Неодим-модельный возраст протолита, за счет которого формировался расплав, генерировавший дериваты штока, составляет 893 млн лет, характерен для транзитной зоны Алтайского орогена. Самарий-неодимовые соотношения в монцогаббро близки к хондритовым, указывающим на синорогенную природу. Эпсилон-неодимовые данные в габброидах Тимофеевского массива свидетельствуют о том, что под Коргонским прогибом во время формирования штока существовала изотопно-трансформированная земная кора, близкая к деплетированной мантии. По соотношениям редких элементов в породных типах выявлено, что генерация расплавов происходила в результате смешения плюмовых (OIB) и N-MORB базальтоидов срединно-океанических хребтов Палеоазиатского океана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. второе. Сер. Алтайская. Лист М-45-VII. Объяснительная записка / А. Н. Уваров, С. А. Кузнецов, Л. А. Гладких и др. – М.; СПб., 1999. – 205 с.
2. Гусев А. И., Гусев Н. И. Новые данные по абсолютному возрасту, петрологии и потенциальной рудоносности Мурзинского интрузивного массива (северо-западный Алтай) // Отечественная геология. – 2020. – № 6. – С. 30–41.
3. Гусев А. И., Гусев Н. И. Абсолютный возраст и петрогеохимия Владимирского массива Горного Алтая // Природные ресурсы Горного Алтая: геология, геофизика, экология, минеральные, водные и лесные ресурсы Алтая. – 2021. – № 1–2. – С. 5–18.
4. Гусев А. И., Гусев Н. И. Петрология и геохимия интрузивных пород Синюхинского месторождения (Горный Алтай) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2020. – № 3(43). – С. 100–109.
5. Корреляция магматических и метаморфических комплексов западной части Алтае-Саянской складчатой области / С. П. Шокальский, Г. А. Бабин, А. Г. Владимиров, С. М. Борисов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2000. – 187 с.
6. Amphibol “sponge” in arc crust? / J. Davidson, S. Turner, H. Handley, et al. // Geology. – 2007. – Vol. 35. – P. 787–790.
7. Chen B., Jahn B.-M. Geochemical and isotopic studies of the sedimentary and granitic rocks of the Altai

orogen of northwest China and their tectonic implications // *Geological Magazine*. – 2002. – No. 139. – P. 1–13.

8. **Devonian** volcanic rocks of the southern Chinese Altai, NW China: Petrogenesis and implication for a propagating slab-window magmatism induced by ridge subduction during accretionary orogenesis / X. Maa, K. Caib, T. Zhaoa, et al. // *Journal of Asian Earth Sciences*. – 2018. – Vol. 160. – P. 78–94.

9. **Geochronology** and petrology of the Early Carboniferous Misho Mafic Complex (NW Iran), and implications for the melt evolution of Paleo-Tethyan rifting in Western Cimmeria / E. Saccani, Z. Arimzadeh, Y. Dilek, A. Jahaniri // *Lithos*. – 2013. – Vol. 175–176. – P. 264–278.

10. **Irber W.** The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. – 1999. – Vol. 63, no. 3/4. – P. 489–508.

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

12. **Petrogenesis** and tectonic implications of Late Carboniferous continental arc high-K granites in the Dongwuqi area, central Inner Mongolia, North China / D. Tian, H. Yanga, W. Gea, et al. // *Journal of Asian Earth Sciences*. – 2018. – Vol. 167. – P. 82–102.

13. **Petrogenesis** of Permian-Triassic intraplate gabbro-granitic rocks in the Russian Altai / O. A. Gavryushkina, N. N. Kruk, I. V. Semenov, et al. // *Lithos*. – 2019. – Vol. 326–327. – P. 71–89.

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

15. **Sr-Nd** isotopic systematics of granitoids and evolution of continental crust of the western part of Altai-Sajan fold region / N. N. Kruk, S. N. Rudnev, S. A. Vystavnoi, S. V. Paleeskiy // *Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from Central Asia*. – Novosibirsk: SB RAS Publ., “GEO” Branch, 2001. – P. 68–72.

16. **Vigneress J. L.** The role of discontinuous magma inputs in felsic magma and ore generation // *Ore geology reviews*. – 2007. – Vol. 30. – P. 181–216.

REFERENCES

1. Uvarov A.N., Kuznetsov S.A., Gladkikh L.A., et al. *Gosudarstvennaya karta Rossiyskoy Federatsii mashchtaba 1:200 000. Izdanie vtoroe. Seriya Altayskaya. List M-45-VII. Obyasnitelnaya zapiska*. [State Geological Map of the Russian Federation on a scale of 1:200,000. Second edition. Altai series. Sheet M-45-7. Explanatory note]. Moscow, Saint Petersburg, 1999. 205 p. (In Russ.).

2. Gusev A.I., Gusev N.I. [New data on absolute age, petrology and potential of ore mineralization within Murzinsky intrusive massif (northwestern Altai)]. *Otechestvennaya geologiya*, 2020, no. 6, pp. 30–41. (In Russ.).

3. Gusev A.I., Gusev N.I. Absolute age and petrogeochemistry of the Vladimirovsky massif of Gorny Altai]. *Prirodnye resursy Gornogo Altaya: geologiya, geofizika, ekologiya, mineralnye, vodnye i lesnye resursy Altaya*. Gorno-Altaysk, 2021, no. 1–2, pp. 5–18. (In Russ.).

4. Gusev A.I., Gusev N.I. [Petrology and geochemistry of intrusive rocks of the Sinyukhinskoye deposit (Gorny Altai)]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2020, no. 3, pp. 100–109. (In Russ.).

5. Shokalsky S.P., Babin G.A., Vladimirov A.G., Borisov S.M. *Korrelyatsiya magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov zapadnoy chasti Altae-Sayanskoy skladchatoy oblasti* [Correlation of magmatic and metamorphic complexes of the western part of the Altai-Sayan folded region]. Novosibirsk, SB RAS Publ., Geo Branch, 2000. 187 p. (In Russ.).

6. Davidson J., Turner S., Handley H., et al. Amphibole “sponge” in arc crust? *Geology*, 2007, vol. 35, pp. 787–790.

7. Chen B., Jahn B.-M. Geochemical and isotopic studies of the sedimentary and granitic rocks of the Altai orogen of northwest China and their tectonic implications. *Geological Magazine*, 2002, no. 139, pp. 1–13.

8. Maa X., Caib K., Zhaoa T., et al. Devonian volcanic rocks of the southern Chinese Altai, NW China: Petrogenesis and implication for a propagating slab-window magmatism induced by ridge subduction during accretionary orogenesis. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2018, vol. 160, pp. 78–94.

9. Saccani E., Arimzadeh Z., Dilek Y., Jahaniri A. Geochronology and petrology of the Early Carboniferous Misho Mafic Complex (NW Iran), and implications for the melt evolution of Paleo-Tethyan rifting in Western Cimmeria. *Lithos*, 2013, vol. 175–176, pp. 264–278.

10. Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1999, vol. 63, no. 3/4, pp. 489–508.

11. Mc Donough W.F., Sun S. The composition of the Earth. *Chem. Geol.*, 1995, vol. 120, pp. 223–253.

12. Tian D., Yanga H., Gea W., et al. Petrogenesis and tectonic implications of Late Carboniferous continental arc high-K granites in the Dongwuqi area, central Inner Mongolia, North China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2018, vol. 167, pp. 82–102.

13. Gavryushkina O.A., Kruk N.N., Semenov I.V., et al. Petrogenesis of Permian-Triassic intraplate gabbro-granitic rocks in the Russian Altai. *Lithos*, 2019, vol. 326–327, pp. 71–89.

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

15. Kruk N.N., Rudnev S.N., Vystavnoi S.A., Paleeskiy S.V. Sr-Nd isotopic systematics of granitoids and evolution of continental crust of the western part of Altai-Sajan fold region. *Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from Central Asia*. Novosibirsk, Publishing House of SB RAS, Department “GEO”, 2001, pp. 68–72.

16. Vigneress J.L. The role of discontinuous magma inputs in felsic magma and ore generation. *Ore geology reviews*, 2007, vol. 30, pp. 181–216.

© А. И. Гусев, Н. И. Гусев, 2023