

ПЕТРОЛОГИЯ, ПЕТРО-ГЕОХИМИЯ И РУДОНОСНОСТЬ ТИМОФЕЕВСКОГО ШТОКА ГОРНОГО АЛТАЯ

А.И. Гусев¹, Н.И. Гусев²

¹Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В.М. Шукина, г. Бийск,

²ФГУП «Всероссийский геологический исследовательский институт им. А.П. Карпинского»,

Санкт-Петербург,

E-mail: anzerg@mail.ru, Nicolay_Gusev@mail.ru

В статье приведены новые данные по геологическому строению, оруденению, составу, петрологии, возрасту и петро-геохимии Тимофеевского штока Горного Алтая. Абсолютный возраст габброидов ранней фазы внедрения штока определён в 400 млн. лет, что соответствует раннему девону. Nd-модельный возраст протолита при плавлении габброидов составляет 893 млн. лет, что характерно для транзитной зоны от средне-палеозойской консолидации к Алтае-Монгольскому террейну. Вмещающие породы Тимофеевского штока предположительно имеют средне-ордовикский возраст по аналогии с вулканогенно-осадочным разрезом, инъецированным близ расположенным Владимировским силлом. По химизму породы Тимофеевского штока относятся к известково-щелочной и шононитовой сериям. Геодинамический аспект магмогенерации интерпретируется 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. Соотношение изотопов неодима с возрастом габбро указывают на то, что под Коргонским прогибом в раннем палеозое существовала изотопно отличающаяся земная кора, близкая к деплетированной мантии. Пространственно и парагенетически с Тимофеевским штоком связано формирование одноименного скарново-железрудного месторождения и вновь выявленных рудопроявлений скарново-железрудного Южного и порфирово-железрудного Водораздельного, характеризующихся повышенными концентрациями золота и скандия.

Ключевые слова: Горный Алтай; Коргонский прогиб; Тимофеевский шток; габбро; монцогаббро; сиенит; кварцевый сиенит; скарны; порфировые железные руды; золото; скандий.

DOI:

Дата поступления: 29.05.2023. Принята к печати: 14.06.2023

Информация по петрологии и геохимии вулканогенных разрезов и интрузивных пород имеет главнейшее значение в геологии складчатых регионов, петрогенезиса пород, геодинамических обстановок их формирования, а также поисков полезных ископаемых [Maa et al., 2018; Tiana et al. 2018; Gavryushkina et al., 2019]. 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 последние годы (2019–2022) в процессе проведения экспедиций РГО (Барнаульского и Бийского отделений) получены новые данные по геологии и полезным ископаемым Рудного и Горного Алтая [Гусев, Гусев, 2020а, б, 2021]. В этих же экспедициях проводились и отборы проб для определения абсолютного возраста, химического состава породных типов, в том числе и в породах Коргонского прогиба Алтая. Указанные работы сопровождались и поисками проявлений полезных ископаемых.

В северном обрамлении Коргонского прогиба при выполнении ГДП-200 [Уваров и др., 1999] выделено несколько штоков габброидов и диоритов, отнесённых к майорскому комплексу (Владимировский, Тимофеевский, Кириловский, Еловский и другие) с выделением Владимировского ареала [Шокальский и др., 2000]. С некоторыми из них связаны специфические типы оруденения: скарновые кобальтовое и железорудное, а также некоторые жильные гидротермальные проявления свинцово-цинкового, золотого, уран-молибденового

и редкометалльно-редкоземельного составов. К этой же полосе приурочен и Кумирский шток с одноименным скандий-уран-редкоземельным месторождением мирового класса по запасам стратегических металлов. Специфический магматизм и набор различных типов эндогенного оруденения указанной полосы являются аномальными для всего Коргонского прогиба, что требует пересмотра сложившихся представлений на металлогению не только указанного района, но и всего Горного Алтая, так как следует выделять ранне-палеозойскую металлогеническую эпоху, которая пока отсутствует в минерагенической схеме Алтая.

При проведении студенческих практик (2008–2014 годы) и экспедиций членов Русского географического общества «Коргон-2020», «Коргон-2021» и «Коргон-2022» в этом районе установлено, что визуально габброиды и диориты, а также ассоциации дифференциатов и дайковых образований и связанных с ними типов оруденения, не укладывались в понимание типоморфных разностей майорского комплекса в петротипе и его металлогении. Для района Владимировского силла установлено, 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 ± 5.7 Ma). С Владимировским силлом связано и впервые открытое скарновое флюорит-редкоземельное Сергеевское проявление [Гусев, 2020]. В этой связи стало весьма актуальным – более

детальное изучение вещественного состава близко расположенного Тимофеевского интрузивного массива и определение его возраста, геохимических и петрологических особенностей.

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

Аналитические методы исследования

ICP-MS анализ проведен в ЦЛ ФГУП «ВСЕГЕИ»; определения редких элементов в горных породах выполнены эмиссионной спектрометрией с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре «OPTIMA-4300», для Cu, Zn, Pb, Li – методом ICP-AES (г. Санкт-Петербург) и Лаборатории ИМГРЭ (г. Москва). При выборе в цирконах участков для анализа использовались оптические и катодолюминесцентные наблюдения. U-Pb отношения были нормированы на значение 0.0668 по соответствующему стандарту «Темог». 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 – в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург).

Результаты и их обсуждение

На основе исследований предшественников, проведения авторских полевых работ и анализа полученных

данных ниже приводится описание геологического строения участка и петро-геохимические особенности магматических пород Тимофеевского штока и новой интерпретации истории развития региона.

Геологическое строение участка

Тимофеевское месторождение расположено на границе Алтайского края и Республики Алтай, на водоразделе ручьев Тимофеева и Потапова, правых притоков р. Кума (система р. Чарыш). 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. на месторождении и в его районе проведены поиски масштаба 1:10000–1:25000 Тимофеевской партией Северо-Алтайской ГРЭ с оценкой рудных линз на поверхности (А.А. Мацулевич, Т.Н. Подкорытова, В.И. Кац, Ю.В. Робертус). В 1980–1983 гг. оценка месторождения выполнена на глубинную штольнями и скважинами подземного бурения: сечение выработок 6.4 кв.м, 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 и размещена среди пироксен-амфиболовых скарнов, развитых по

осадочно-вулканогенным образованиям, представленным базальтовыми и андезитовыми порфиритами, фельзитами, туфами, песчаниками и линзой доломитов протяженностью более 1 км при максимальной мощности до 200 м. Указанные породы участвуют в строении северного крыла Казихинской антиклинали. Установлено крутое ($72-75^\circ$) моноклиальное падение толщи на север и СВ. В экзоконтактной полосе Тимофеевского штока породы подверглись слабому ороговикованию, окварцеванию и интенсивному скарированию. Карбонатные породы, на поверхности слагающие линзы протяженностью 200–600 м и мощностью 30–140 м, на горизонте штольни объединяются в единую зону. Скарны развиваются, в основном, по диоритовым порфиритам, и в меньшей степени – по доломитам и известковистым песчаникам. По вулканитам образуются скарны пироксеновые и реже, гранат-пироксеновые; по карбонатным породам – гранат-пироксеновые с флогопитом и форстеритом.

Рудная зона месторождения находится в области развития глубинного Чарышско-Теректинского разлома. В наземном магнитном поле Тимофеевское месторождение четко фиксируется в виде узкой, линейно-вытянутой аномальной зоны длиной около 1000 м со значением до + 50000 гамм. Рудная зона имеет субширотное простирание и падение на С-СВ согласно рудовмещающей толще. На поверхности выделены Главное рудное тело и 10 мелких линз. Главное тело имеет протяженность 350 м (на горизонте штольни – 360 м) и мощность 20–45 м (2–10 м). Форма тел

линзовидная и линзовидно-пластовая. Установлена протяженность Главного рудного тела по падению в 250–275 м. Пологое (30°) тектоническое нарушение срезает рудное тело ниже горизонта штольни. Мелкие линзы прослеживаются по падению на 50–70 м.

Железные руды преобладают двух типов: амфибол-пироксен-магнетитовый (основной) и собственно магнетитовый. 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 (в %): валовое железо 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. Примеси (%): TiO_2 – 0.32; MnO – 0.2; Co – 0.008; Zn – 0.018; Pb – 0.001; Cr_2O_3 – 0.016. Сульфиды развиты широко и представлены пиритом, очень редко пирротинном, халькопиритом, сфалеритом, арсенопиритом. На руды наложены уранинит, сопутствующие ему сульфиды и алланит, образующие гнезда и линзы от 0.2 до 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. Запасы железной руды категории C_2 составляют 10616.3 тыс. тонн, а прогнозные ресурсы категории P_1 оценены в 2 млн. тонн.

В 2021 и 2022 годах по южной периферии Тимофеевского штока выявлены 2 проявления: скарново-железорудное Южное и порфирово-железорудное Водораздельное.

Южное скарново-железородное проявление расположено на водораздельном хребте между рекой Кумой и Тимофеевым ручьём. Оно локализовано на контакте монцо-габбро и андезибазальтов, сложено скарнами амфибол-пироксеновыми с редкой вкрапленностью граната и эпидота. Простирается зоны субширотное. На скарны наложены магнетит с редкими апатитом и гематитом в виде линз и гнезд размерами от 1,5 × 3 до 7 × 15 см, а также более поздние кварц-карбонат-сульфидные прожилки с пиритом, пирротинном, арсенопиритом в виде мелких выделений размерами – 1–3 мм. Ширина зоны оруденения более 20 м., протяжённость более 120 м. Содержания железа по штучным пробам варьируют от 15 до 36%. Кроме железа в рудах присутствуют (г/т): Sc (от 15 до 44), Au (от 0.1 до 3.5).

Водораздельное порфирово-железородное проявление расположено на водоразделе реки Кумы и ручья Потапова. Рудопроявление представлено прожилково-вкрапленными рудами гематита и магнетита среди окварцованных монцогаббро. Прожилки кварца с сидеритом содержат вкрапленность магнетита, пирита, пирротина, апатита. Видимая мощность зоны более 30 м и протяжённость до 60 м. Концентрации элементов по штучным пробам варьируют: железа – от 12 до 28%, фосфора – от 1 до 3%. Присутствуют также (г/т): Sc (от 13 до 40), Au (от 0.1 до 2.3).

Тимофеевский шток сложен породами 3 фаз внедрения: 1 – габбро, 2 – монцогаббро, габбро-монцонитами и 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 [Vigneressse, 1998].

Петрография пород Тимофеевского штока

Ниже приведена петрографическая характеристика пород.

Габбро 1 фазы внедрения (шлифы Т-2, Т-7). Окраска пород от тёмно-зелёной до зеленовато-серой. Структура офитовая (рис. 1), текстура массивная. Порода средне-крупнокристаллическая. Состав (%): плагиоклаз – 62–70, ортопироксен – 12, клинопироксен – 3, оливин – 2, роговая обманка – 8, эпидот – 5, актинолит – 2. Акцессории включают магнетит, титаномagnetит, апатит, лейкоксен. Ортопироксен (гиперстен) наблюдается в виде неправильных зёрен и замещается роговой обманкой и эпидотом. Клинопироксен представлен авгитом, слегка окрашен в буроватый цвет, нередко замещается актинолитом и эпидотом. Оливин образует овально-округлые выделения в виде мелких агрегатов. Некоторые такие агрегаты дают срастания с рудными минералами (титаномagnetитом и магнетитом). Плагиоклаз представлен 2 генерациями. Плагиоклаз 1 – битовнит (№ 72–75) выделяется в виде крупных кристаллов таблитчатой формы, иногда сильно сосюритизирован.

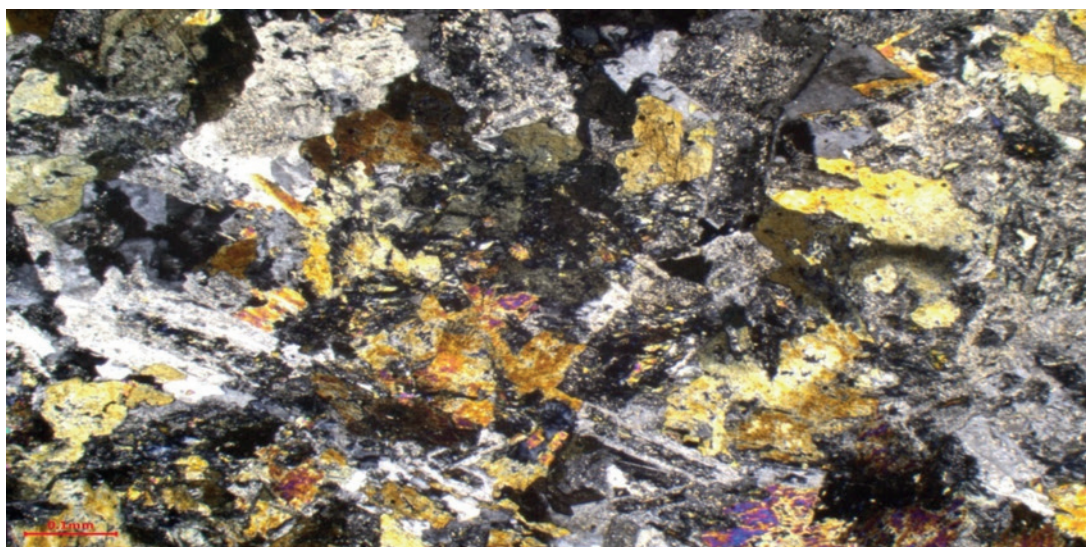


Рис. 1. Микро-фото габбро первой фазы внедрения. Николи ×
Fig. 1. Micro-photo of gabbro first phase of in'ection. Nicols ×

Плагиоклаз 2 генерации (лабрадор № 56–59) таблитчатой и призматической форм, местами нацело сосюритизирован и замещён хлоритом.

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

Структура гипидиморфно-зернистая, местами монцонитовая (рис. 2), текстура массивная. Состав (%): плагиоклаз (50),

роговая обманка (30), биотит (6), эпидот (5), актинолит (3), калиевый полевой шпат (2), хлорит (2). Акцессории представлены: сфеном (1), магнетитом (1), пиритом (1), апатитом (0.5). Плагиоклаз образует 2 генерации. Плагиоклаз 1 генерации встречается в виде призматических вrostков в роговой обманке и определён как (лабрадор 66-битовнит 72). Ранняя генерация более идиоморфна по отношению к роговой обманке.



Рис. 2. Микро-фото монцогаббро. Николи ×
Fig. 2. Micro-photo of monzogabbro. Nicols ×

Плагиоклаз второй генерации распространён в основной ткани породы и представлен призматическими выделениями лабрадора с варьирующим составом: с колебаниями анортитовой молекулы от 62 до 68. Поздний плагиоклаз нередко зональный с ядром, представленным лабрадором, а по периферии сложен альбитом в виде тонкой каёмки. Роговая обманка по оптическим показателям близка к обыкновенной роговой обманке и распространена в породе неравномерно: то в виде отдельных кристаллов, то формирует гломеро-порфировые скопления размерами до 0.5–1 см в поперечнике. Биотит встречается в виде мелких чешуек в сростании с роговой обманкой по периферии зёрен последней. Калиевый полевой шпат представлен ортоклазом, выделяющимся в интерстициях плагиоклаза в виде мелких ксеноморфных образований.

Местами порода интенсивно изменена с образованием двух групп типов изменений. В первом случае роговая обманка замещается актинолитом и эпидотом, а во втором – хлоритом и эпидотом.

Сиениты и кварцевые сиениты 3 фазы внедрения встречаются среди габброидов в центральной части Тимофеевского штока 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. Это зеленовато-тёмно-серые с розоватым оттенком породы среднекристаллические, гипидиоморфно-зернистой микроструктуры. Состав (%):

плагиоклаз (An) с номерами от 32 до 44–65, моноклинный пироксен (авгит) – 17, калиевый полевой шпат – 12–16, эпидот – 3–5. Спектр акцессорных минералов – апатит, магнетит, титаномagnetит, циркон, лейкоксен, пирит, пирротин. Пироксен изредка замещается эпидотом.

Петрохимические особенности интрузивных пород

Химический состав пород Тимофеевского штока и вмещающих ороговикованных туфов отражён в табл. 1.

Интрузивные породы штока по химизму принадлежат натровой серии. В них слабо отрицательная аномалия по европию (Eu/Eu* 0.42–0.96) и сравнительно умеренные показатели фракционирования РЗЭ ((LaYb)_N варьируют от 3.1 до 4.6). В кварцевых сиенитах проявлен тетрадный эффект фракционирования 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. 3).

На петрохимической диаграмме K₂O – Na₂O породные типы штока локализуются в известково-щелочной и шошонитовой сериях (рис. 4), что весьма схоже с положением пород на такой же диаграмме для Владимировского штока.

По соотношениям Zr/Y–Nb/Y породные типы локализуются вблизи линии смешения плюмовых (OIB) и N-MORB базальтов срединно-океанических хребтов (рис. 5).

Таблица 1

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

Table 1

Chemical composition of rock types of Timofeev stock (oxides in %, elements in ppm)

Компоненты	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

Компоненты	1	2	3	4	5	6*	7*	8*
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
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	--	-	-
Σ REE	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 [Mc Donough, Sun, 1995]. TE_{1,3} – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ как среднее между первой и третьей тетрадами по [Irber, 1999]. Породные типы Тимофеевского штока и вмещающих туфов: 1–2 – габбро, 3–4 – монцогаббро, 5 – ороговикованный туф среднего состава; 6 – сиенит, 7–8 – кварцевые сиениты. * - анализы выполнены в Лаборатории ИМГРЭ (г. Москва).

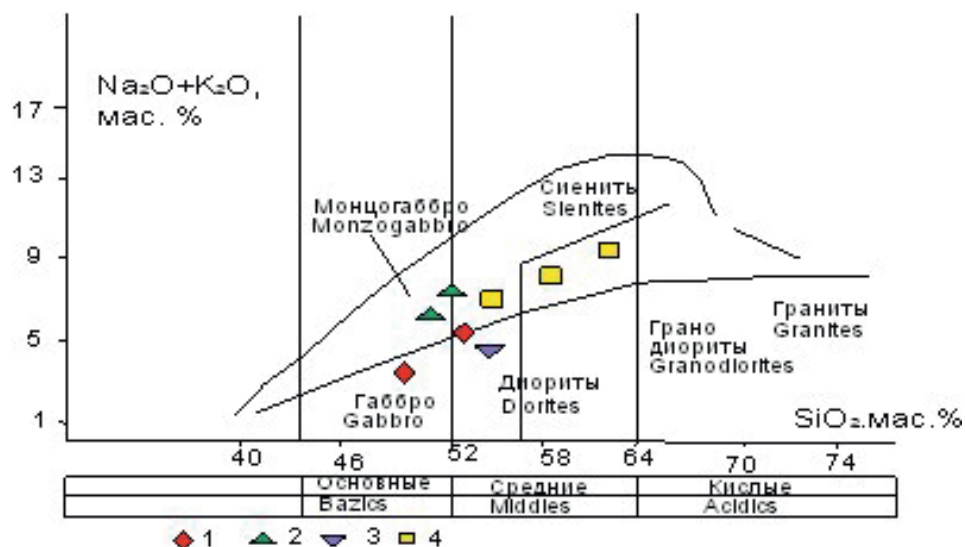


Рис. 3. Петрохимическая диаграмма диагностики горных пород в координатах SiO₂ – (Na₂O+K₂O) для пород Тимофеевского штока и вмещающих туфов.

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

Fig. 3. Petrochemical plot of diagnostic rocks in coordinates SiO₂ – (Na₂O+K₂O) for rocks of Timofeev stock and country tufts.

1 – gabbro; 2 – monzogabbro; 3 – tuff of hornfelsic; 4 – sienites

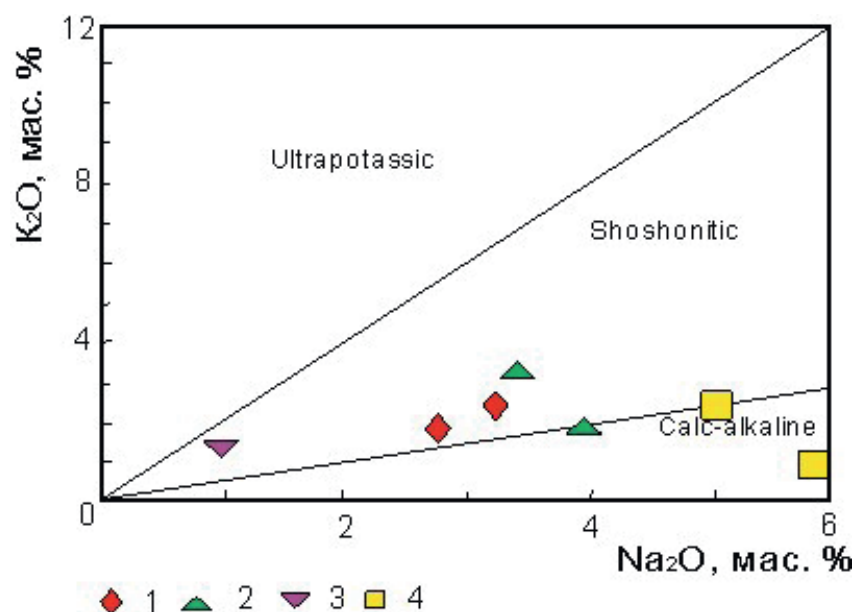


Рис. 4. Диаграмма K₂O – Na₂O по [Davidson et al., 2007] для интрузивных пород Тимофеевского штока. Серии пород: Calc-alkaline- известково-щелочная, Shoshonitic - шошонитовая, Ultrapotassic – ультрака- лиевая. Остальные условные на рис. 3.

Fig. 4. Plot K₂O – Na₂O after [Davidson et al., 2007] for intrusive rocks Timofeev stock. Rock series: Calc- alkaline- calcareous-alkaline, Shoshonitic- shoshonitic, Ultrapotassic- ultrapotassic. Legend on plot 3.

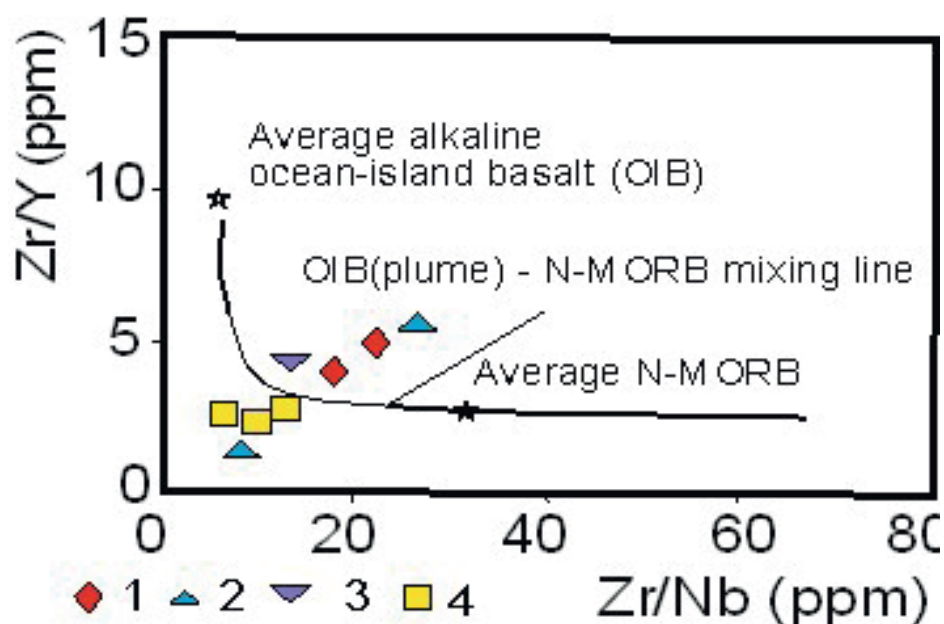


Рис. 5. Диаграмма Zr/Y – Zr/Nb по [Saccani et., 2013] для породных типов Тимофеевского штока. Звёздочками отмечены: Average alkaline ocean basalt (OIB) – средний состав щелочного океанического базальта (OIB); Average N-MORB – средний состав нормального океанического базальта (COX); OIB (plume) – N-MORB mixing line – линия смешения плюмовых (OIB) базальтов и нормальных базальтов COX. Условные обозначения как на рис. 3

Fig. 5. Plot Zr/Y – Zr/Nb after [Saccani et., 2013] for rock types of Timofeev stock. Asterisks indicate Average alkaline ocean basalt (OIB) - average composition of alkaline ocean basalt (OIB); Average N-MORB - average composition of normal ocean basalt (COB); OIB (plume) - N-MORB mixing line - mixing line of plume (OIB) basalts and normal COB basalts. Legend on plot 3

Таблица 2

Определения изотопов самария, неодима и модельного возраста протолита

Table 2

Definition of isotopes samarium, neodymus and model age of protolith

Образцы	T-7 вал
Порода	габбро 1 фазы внедрения
Возраст	400
Sm	3.658
Nd	15.290
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	0.1446
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	0.512747
+/-2s	7
eNd(0)	2.1
eNd(T)	4.8
TDM	893
TDM2	763

Для габбро 1 фазы внедрения Тимофеевского массива определены изотопы стронция и неодима, показанные в табл. 2.

Концентрации Sm и Nd в габброидах Тимофеевского массива составляют 3.658 г/т и 15.29 г/т, что в 24 и 36 раз больше содержаний этих элементов в хондрите C1 (0.15 Sm и 0.416 Nd). Так как возраст габбро определён в 400 млн. лет, то вмещающие Тимофеевский шток породы должны быть более древними. По аналогии с вмещающими породами Владимировского силла вмещающие породы вулканогенно-осадочного разреза Тимофеевского штока могут иметь средне-ордовикский возраст [Гусев, Гусев, 2021].

Эпсилон Nd в габбро ранней фазы составляет 4.8 и близок к таковым интрузий

региона Алтая средне-палеозойской консолидации. Nd-модельный возраст протолита габброидов составляет 893 млн. лет, характерный для транзитной зоны от средне-палеозойской консолидации к Алтае-Монгольскому террейну [Kruk et al., 2001].

На диаграмме соотношений $\epsilon\text{Nd}(T) - ^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ габбро 1 фазы внедрения Тимофеевского массива располагаются выше состава хондритовых метеоритов по самарию и ниже – по неодиму вблизи поля синорогенных гранитоидов (рис.6).

На диаграмме $\epsilon\text{Nd}(T) - \text{Deposinal or intrusive ages}$ габбро ранней фазы Тимофеевского массива локализуется выше хондритовой линии и тяготеет к области палеозойской ювенильной коры и линии деплетированной мантии (рис. 7).

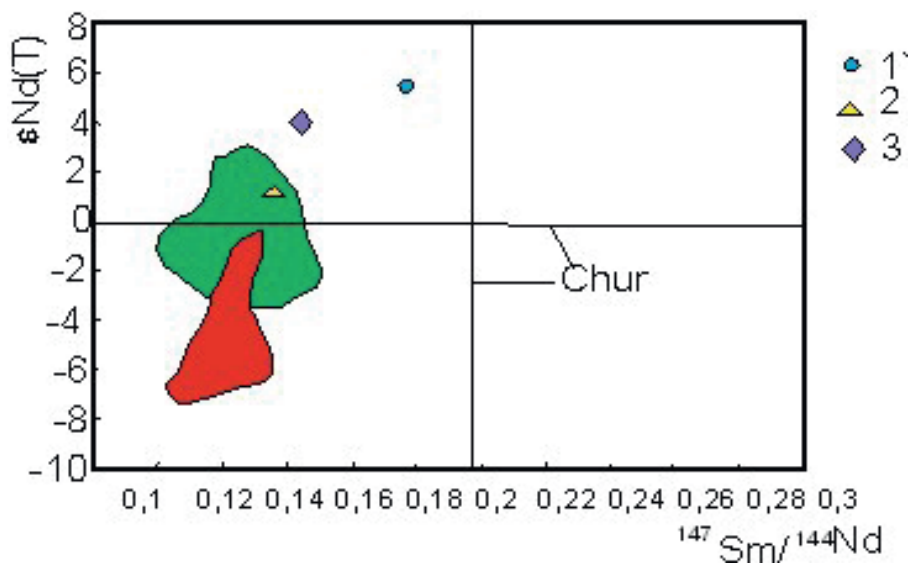


Рис. 6. Диаграмма $\epsilon Nd(T) - {}^{147}Sm/{}^{144}Nd$ для магматических пород Владимирского ареала. Линии CHUR – составы хондритовых метеоритов; зелёное поле – синорогенные гранитоиды и красное поле – ранне-среднепалеозойские метасадочные породы по [Zhao et al., 1993; Chen, Jahn, 2001]. Владимирский массив: 1–монцогаббро; 2– вмещающие туфы риолитов; 3– габбро Тимофеевского массива

Fig. 6. Plot $\epsilon Nd(T) - {}^{147}Sm/{}^{144}Nd$ for magmatic rocks of Vladimir areal.

Chur – chondritiv meteorite; green field – sinorogenic granitoids and red field – early-middle Paleozoic metasedimentary rocks after [Zhao et al., 1993; Chen, Jahn, 2001]. Vladimirov massif: 1– monzogabbro; 2 – country tuffs of rhyolites, 3 – gabbro Timofeev massif

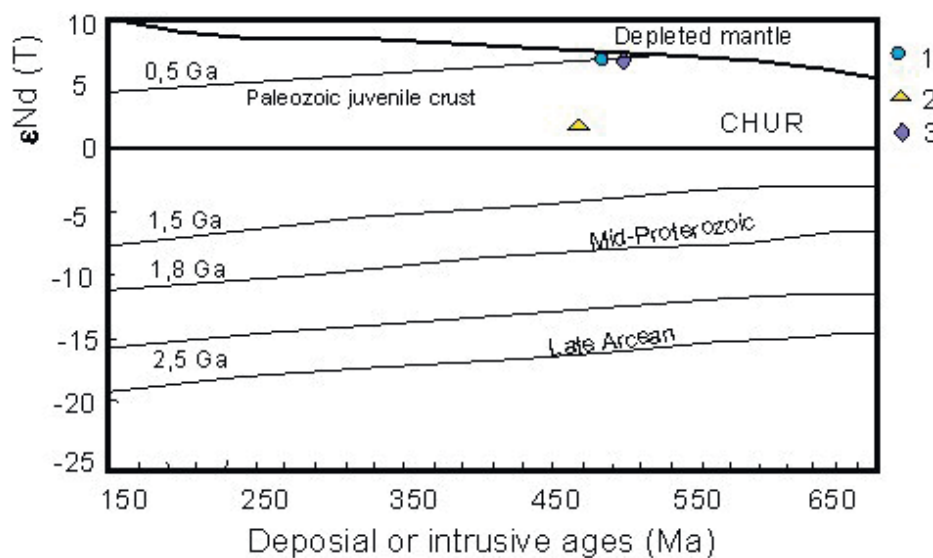


Рис. 7. Диаграмма $\epsilon Nd(T) -$ Deposital or intrusive ages по [Chen, Jahn, 2001] для магматических пород Владимирского ареала.

Владимировский массив: 1–монцогаббро; 2 – вмещающие туфы риолитов; 3 – габбро Тимофеевского массива. Условные обозначения как на рис. 6

Fig. 7. Plot $\epsilon Nd(T) -$ Deposital or intrusive ages after [Chen, Jahn, 2001] for magmatic rocks of Vladimir areal.

Vladimirovsky Massif: 1– montsogabbro; 2 - host rhyolite tuffs; 3 - Timofeevsky Massif gabbro.

Legend on fig. 6

Таким образом, положение изотопных спектров самария и неодима на диаграммах и отношения $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, ранжирующиеся от 0.51253 в туфах риолитов и 0.512872 в монцогаббро Владимировского массива и 0.512747 в габбро 1 фазы внедрения Тимофеевского интрузива дают отчётливые свидетельства в пользу того, что под Коргонским прогибом в раннем палеозое существовала изотопно отличающаяся земная кора, близкая к деплетированной мантии.

Заключение

Породы Тимофеевского штока относятся к шошонитовой серии. Габброиды ранней фазы имеют возраст 400 млн. лет (ранний девон) и не могут рассматриваться майорским комплексом. Неодим-модельный возраст протолита, за счёт которого формировался расплав, генерировавший дериваты штока, составляет 893 млн. лет, характерный для транзитной

зоны Алтайского орогена. Самарий-неодимовые соотношения в габбро близки к хондритовым значениям, указывающим на синорогенную природу. Эпсилон-неодимовые и возрастные отношения габбро свидетельствуют о том, что под Коргонским прогибом во время формирования Тимофеевского 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. Помимо известного Тимофеевского скарно-железорудного месторождения, штоки сопровождаются также проявлениями железно-скарнового и железо-порфирового типов с повышенными концентрациями золота и скандия.

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., Гусев Н.И. Петрология и геохимия интрузивных пород Синюхинского месторождения (Горный Алтай) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2020а. № 3 (43). С. 100–109.

Гусев А.И., Гусев Н.И. Новые данные по абсолютному возрасту, петрологии и потенциальной рудоносности Мурзинского интрузивного массива (северо-западный Алтай) // Отечественная геология. 2020б. № 6. С. 30–41.

Гусев А.И. Сергеевское скарновое флюорит-редкоземельное рудопроявление Чарышского района Алтая // Краеведение и туризм: Материалы Международной конференции посвященной 90-летию историка и краеведа Алексея Дмитриевича Сергеева (11 ноября 2020 г., Россия). Барнаул. 2020. С. 181–188.

Гусев А.И., Гусев Н.И. Абсолютный возраст и петрогеохимия Владимировского массива Горного Алтая // Природные ресурсы Горного Алтая: геология, геофизика,

экология, минеральные, водные и лесные ресурсы Алтай. Горно-Алтайск. 2021. № 1–2. С. 5–18.

Уваров А.Н., Кузнецов С.А., Гладких Л.А., Родченко С.А., Юрьев А.И. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Алтайская. Лист М – 45–VII. Объяснительная записка. Москва – Санкт-Петербург, 1999. 205 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.

Davidson J., Turner S., Handley H., Macpherson C., Dosseto A. Amphibol “sponge” in arc crust? // *Geology*. 2007. Vol. 35. P. 787–790.

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

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 Cosmochim Acta*. 1999. Vol. 63. No. 3/4. P. 489–508.

Maa X., Caib K., Zhaoa T., Baoc Z., Wang X., Chene M., Buslov M.M. 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. P. 78–94.

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

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. P. 264–278.

Tiana D., Yanga H., Gea W., Zhanga Y., Chen J., Chen H., Yun X. 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. P. 82–102.

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

Kruk N.N., Rudnev S.N., Vystavnoi S.A., Palrsskiy 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. P. 68–72.

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.

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 Pha-*

nerozoic: Evidence from Central Asia. Novosibirsk: Publishing House of SB RAS. Department "GEO", 2001. P. 14–17.

References

Gusev A.I., Gusev N.I. Petrologiya i geokhimiya intrusivnykh porod Sinyukhinskogo mestorozhdeniya (Gornyy Altay // Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri [Geology and mineral resources of Siberia]. 2020. No. 3 (43). P. 100–109. (In Russian).

Gusev A.I., Gusev N.I. Novye dannye po absolutnomu vozrastu, petrologii i potentsial'noy rudonosnosti Murzinskogo intruzivnogo massiva (severo-zapadny Altay) [New data on the absolute age, petrology and potential ore content of the Murzinsky intrusive massif (north-western Altai)] // Otechestvennaya geologiya [Domestic geology], 2020. No. 6. P. 30–41. (In Russian).

Gusev A.I. Sergeevskoe skarnovoe flyuorit-rekozemel'noe rudoproyavlenie Charyshskogo rayona Altaya [Sergeyevskoe skarn fluorite-medium-earth ore occurrence in the Charyshsky district of Altai region] // Kraevedenie i turizm: Materialy Mezhdunarodnoj konferencii posvyashchennoj 90-letiyu istorika i kraevedy Aleksey Dmitrievicha Sergeeva (11 noyabrya 2020 g., Rossiya) [Local lore and tourism: Proceedings of the International Conference dedicated to the 90th anniversary of the historian and local historian Alexey Dmitrievich Sergeev (11 November 2020, Russia)]. Barnaul. 2020. P. 181–188. (In Russian).

Gusev A.I., Gusev N.I. Absolutnyy vozrast i petrogeokhimiya Vladimirovskogo massiva Gornogo Altaya [Absolute age and petrogeochemistry of the Vladimirovsky massif of the Altai Mountains] // Prirodnye resursy Gornogo Altaya: geologiya, geofizika, ekologiya, mineral'nye, vodnye i lesnye resursy Altaya [Natural resources of the Altai Mountains: geology, geophysics, ecology, mineral, water and forest resources of the Altai Mountains]. Gorno-Altaysk. 2021. No. 1–2. P. 5–18. (In Russian).

Uvarov A.N., Kuznetsov S.A., Gladkikh L.A., Rodchenko S.A., Yur'ev A.I. Gosudarstvennaya karta Rossiyskoy Federatsii mashchtaba 1:200 000 [State geological map of the Russian Federation at a scale of 1:200,000.]. Izdanie vtoroe, Seriya Altayskaya. List M – 45–VII. Ob'yasnitel'naya zapiska. Moskva-Cankt-Petrburg. 1999. 205 p. (In Russian).

Shokal'skiy S.P., Babin G.A., Vladimirov A.G., Borisov S.M. Korrelyatsiya magmaticsikh 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: Izd-vo SO RAN, filial «Geo», 2000. 187 p. (In Russian).

Davidson J., Turner S., Handley H., Macpherson C., Dosseto A. Amphibol "sponge" in arc crust? // Geology. 2007. Vol. 35. P. 787–790.

Gavryushkina O.A., Kruk N.N., Semenov I.V., Vladimirov A.G., Kuibida Ya. V., Serov P.A. Petrogenesis of Permian-Triassic intraplate gabbro-granitic rocks in the Russian Altai // Lithos. 2019. Vol. 326–327. P. 71–89.

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 Comochim Acta. 1999. Vol. 63.

No. 3/4. P. 489–508.

Maa X., Caib K., Zhaoa T., Baoc Z., Wang X., Chene M., Buslov M.M. 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. P. 78–94.

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

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. P. 264–278.

Tiana D., Yanga H., Gea W., Zhanga Y., Chen J., Chen H., Yun X. 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. P. 82–102.

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

Kruk N.N., Rudnev S.N., Vystavnoi S.A., Palrsskiy 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. P. 68–72.

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.

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.

PETROLOGY, PETRO-GEOCHEMISTRY AND ORE MINERALIZATION OF TIMOFEEV STOCK OF GORNY ALTAI

A.I. Gusev¹, N.I. Gusev²

¹*The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk,*

²*A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, Saint-Petersburg,*

E-mail: anzerg@mail.ru, Nicolay_Gusev@mail.ru

The new data on the geological building, ore mineralization, composition, petrology, absolute age and petro-geochemistry of Timofeev stock of Gornyy Altai lead in paper. The absolute age of gabbroids of lower phase intrusion of stock determined 400 mln years, that it is correspond of Lower Devonian. Nd-model age of protolith at melting of gabbroids compose 893 mln years, that it characterize for transit zone from Middle Paleozoic consolidation to Altai – Mongolian terrain. The wall rocks of Timofeev stock has presumably Middle Ordovician age on analogy with volcanogenic-sedimentary section, injecting near arranging Vladimir

sill. Rocks of Timofeev stock carry to calc-alkali and shoshonitic series. Geodynamic aspect of magma-generating interpreted by missing of alkali ocean basalts of plum settings and normal of ocean basalts middle-ocean ridges, had in evolution of Paleo-Asian ocean in Lower Paleozoic. Sm-Nd isotope marks of gabbroids point out on nearness of it values to chondrite meteorites. Ratio of isotopes neodimium with age of gabbro point out on that under Korgon trough in Lower Paleozoic existed isotope distinctive earth crust, close to depletion mantle. Forming Timofeev skarn iron deposit related with of the same name intrusive stock of space and paragenetic. New discover prospects skarn iron Juzhnoe and porphyry iron manifestation Vodorazdelnoe characterized high concentrations of gold and scandium.

Key words: Gornyy Altai; Korgon trough; Timofeev stock; gabbro; monzogabbro; syenites; quartz syenites; skarns; porphyry iron ores; gold; scandium.

Received May 29, 2023. Accepted: June 14, 2023

Сведения об авторе

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

Гусев Николай Иванович – доктор геолого-минералогических наук, заведующий отдела геологии Восточной Сибири ФГУП Всероссийского геологического исследовательского института им. А.П. Карпинского. Россия, 199106, Санкт-Петербург, Средний проспект, д. 74. ORCID: 0000-0002-3461-0961. E-mail: Nicolay_Gusev@mail.ru.

Information about the author

Gusev Anatolij Ivanovich – Doctor geology-mineralogical sciences, professor of Shukshin Altai State University for Humanities and Pedagogy. 5, Sovetskaya St., 659300 Biisk, Russia. ORCID: 0000-0001-7840-0272. E-mail: anzerg@mail.ru.

Gusev Nikolay Ivanovich – Doctor geology-mineralogical sciences, chief of department geology Eastern Siberian A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute. 74, Sredny Av., 199106 Saint-Petersburg, Russia. ORCID: 0000-0002-3461-0961. E-mail: Nicolay_Gusev@mail.ru.