

**COMPOSITIONAL FEATURES AND AGE OF ALKALINE GRANITES OF THE INGUR MASSIF,
WESTERN TRANS-BAIKAL AREA****M.V. Rampilova** ¹, **M.O. Rampilov** ¹✉, **I.A. Izbrodin** ²

¹ Dobretsov Geological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 6a Sakhyanova St, Ulan-Ude 670047, Republic of Buryatia, Russia

² Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 3 Academician Koptyug Ave, Novosibirsk 630090, Russia

ABSTRACT. The Ingur alkaline granite massif and the associated Zr-Nb occurrence make up part of the largest Mongolian-Trans-Baikal alkaline granitoid provinces. The massif is composed of arfvedsonite, biotite, and alaskite granites. High content of HREE determines the low La/Yb_n (2–7) value and a negative europium anomaly ($Eu/Eu^* \approx 0.17$). They are depleted in Ba, Sr and enriched in Nb, Ta, Zr, Hf and Y. According to their geochemical properties the rocks of the massif belong to the A-type granites. The rare-metal mineralization of the Ingur granites mainly involves zircon, bastnäsite, monazite, and xenotime. The U-Pb age determined by SHRIMP II with zircon from arfvedsonite granites (272 Ma) indicates the Late Permian formation.

KEYWORDS: alkaline granites; Western Trans-Baikal; rare metal granites; A-type granites; U-Pb geochronology

FUNDING: This work was supported by the State Contract of GIN SB RAS (AAAA-A21-121011390002-2), and Russian Science Foundation (project 22-17-00078).

SHORT COMMUNICATION

Correspondence: Mikhail O. Rampilov, rampilov@ginst.ru

Received: July 13, 2022

Revised: August 8, 2022

Accepted: August 24, 2022

FOR CITATION: Rampilova M.V., Rampilov M.O., Izbrodin I.A., 2022. Compositional Features and Age of Alkaline Granites of the Ingur Massif, Western Trans-Baikal Area. *Geodynamics & Tectonophysics* 13 (4), 0647. doi:10.5800/GT-2022-13-4-0647

ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И ВОЗРАСТ ЩЕЛОЧНЫХ ГРАНИТОВ ИНГУРСКОГО МАССИВА, ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ

М.В. Рампилова¹, М.О. Рампилов¹, И.А. Избродин²

¹Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, Республика Бурятия, Россия

²Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Новосибирск, пр-т Академика Коптюга, 3, Россия

АННОТАЦИЯ. Ингурский массив щелочных гранитов и связанное с ним Zr-Nb проявление входят в состав Монголо-Забайкальской щелочно-гранитоидной провинции. Массив сложен арфведсонитовыми, биотитовыми и аляскитовыми гранитами. Для них характерно высокое содержание тяжелых РЗЭ, что определяет низкую величину La/Yb_n (2–7), и отрицательная европиевая аномалия ($Eu/Eu^* \approx 0.17$). Они обеднены Ba, Sr и обогащены Nb, Ta, Zr, Hf, Y. По своим геохимическим характеристикам породы массива относятся к А-типу гранитов. Редкометалльная минерализация гранитов Ингурского массива представлена в основном цирконом, бастнезитом, монацитом, ксенотимом. U-Pb возраст (SHRIMP II), определенный по циркону из арфведсонитовых гранитов (272 млн лет), указывает на их раннепермский возраст.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: щелочные граниты; Западное Забайкалье; редкометалльные граниты; граниты А-типа; U-Pb геохронология

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований ГИН СО РАН (№ АААА-А21-121011390002-2) при поддержке РФФ (грант 22-17-00078).

1. ВВЕДЕНИЕ

Изучение щелочных гранитоидов имеет большое теоретическое и практическое значение. С одной стороны, такие породы играют важную роль при геодинамических реконструкциях, а также выяснении источника, способа выплавления и эволюции исходного расплава. С другой стороны, с щелочными гранитоидами связаны промышленные запасы редких элементов. В пределах Центрально-Азиатского складчатого пояса выделяется позднепалеозойская – раннемезозойская эпоха, характеризующаяся особо высокой редкометалльной продуктивностью [Yarmolyuk, Kuzmin, 2012]. Рудный потенциал зоны наиболее ярко представляют редкометалльно-редкоземельные месторождения Улуг-Танзек и Зашихинское, локализованные в Восточно-Саянской зоне и связанные с дифференцированными массивами щелочных гранитов [Yarmolyuk, Kuzmin, 2012; Vladykin et al., 2016].

Территория Западного Забайкалья входит в состав крупной Монголо-Забайкальской щелочно-гранитоидной провинции [Zanvilevich et al., 1985; Jahn et al., 2009], связанной с развитием Селенгино-Витимского вулканоплутонического пояса [Gordienko, 1987, 2020]. Ранее здесь было выделено три стадии щелочно-гранитной активности: ранняя пермь (280–274 млн лет), поздний триас (230–219 млн лет) и поздняя юра (~152 млн лет) [Reichow et al., 2010]. Лучше всего изучены в основном крупные многофазные массивы, представленные позднепалеозойским (Брянский, Хоринский, Шербактинский и др.) и раннемезозойским (Харитоновский) этапами щелочно-гранитоидного магматизма в регионе. Установлено, что независимо от возраста в каждом

из этих плутонов участвуют две сиенит-гранитные серии. Ингурский массив щелочных и субщелочных гранитов и связанное с ними одноименное редкометалльное проявление расположены в среднем течении р. Витим и являются менее изученными. В настоящей работе представлена краткая минералого-геохимическая характеристика пород массива и оценка его возраста на основе современных аналитических данных.

2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

В пределах Монголо-Забайкальского региона Центрально-Азиатского складчатого пояса, протяженностью более 2000 км и шириной 150–250 км, известно около 350 массивов, сложенных щелочными гранитами, щелочными и щелочно-полевошпатовыми сиенитами, формировавшимися с ранней перми до средней юры включительно [Zanvilevich et al., 1985; Gordienko, 1987, 1992, 2021; Jahn et al., 2009; Reichow et al., 2010].

Размеры плутонов, сложенных щелочными гранитоидами, варьируются от первых до сотен и даже тысяч квадратных километров. Небольшие тела, как правило, сложены одним типом пород, тогда как крупные плутоны, такие как Брянский (1600 км²) и Хоринский (2000 км²), образовались в результате нескольких последовательных внедрений щелочно-сиенитовых (нордмаркитовых) и щелочно-гранитных магм [Litvinovsky et al., 2002, 2011]. По Шербактинскому массиву (220 км²), пространственно сближенному с Ингурским, сложенным биотитовыми сиенитами и щелочными гранитами, сделан вывод о принадлежности сиенитов и гранитов к разным интрузивным фазам [Tsygankov et al., 2021].

Ингурский массив щелочных гранитов и связанное с ним Zr-Nb проявление расположены на левобережье р. Витим на водоразделе с р. Большой Амалат. Схема его геологического строения представлена на рис. 1. Массив обнажается среди покровов четвертичных базальтов, породы интрузии протягиваются неширокой

полосой (5 км) в северо-восточном направлении на расстояние около 25 км (~100 км²). С севера массив ограничен разломом, по которому контактирует с позднепалеозойскими гранитоидами баргузинского комплекса, на юге перекрыт неогеновыми базальтами. Массив имеет зональное строение, внешнее обрамление

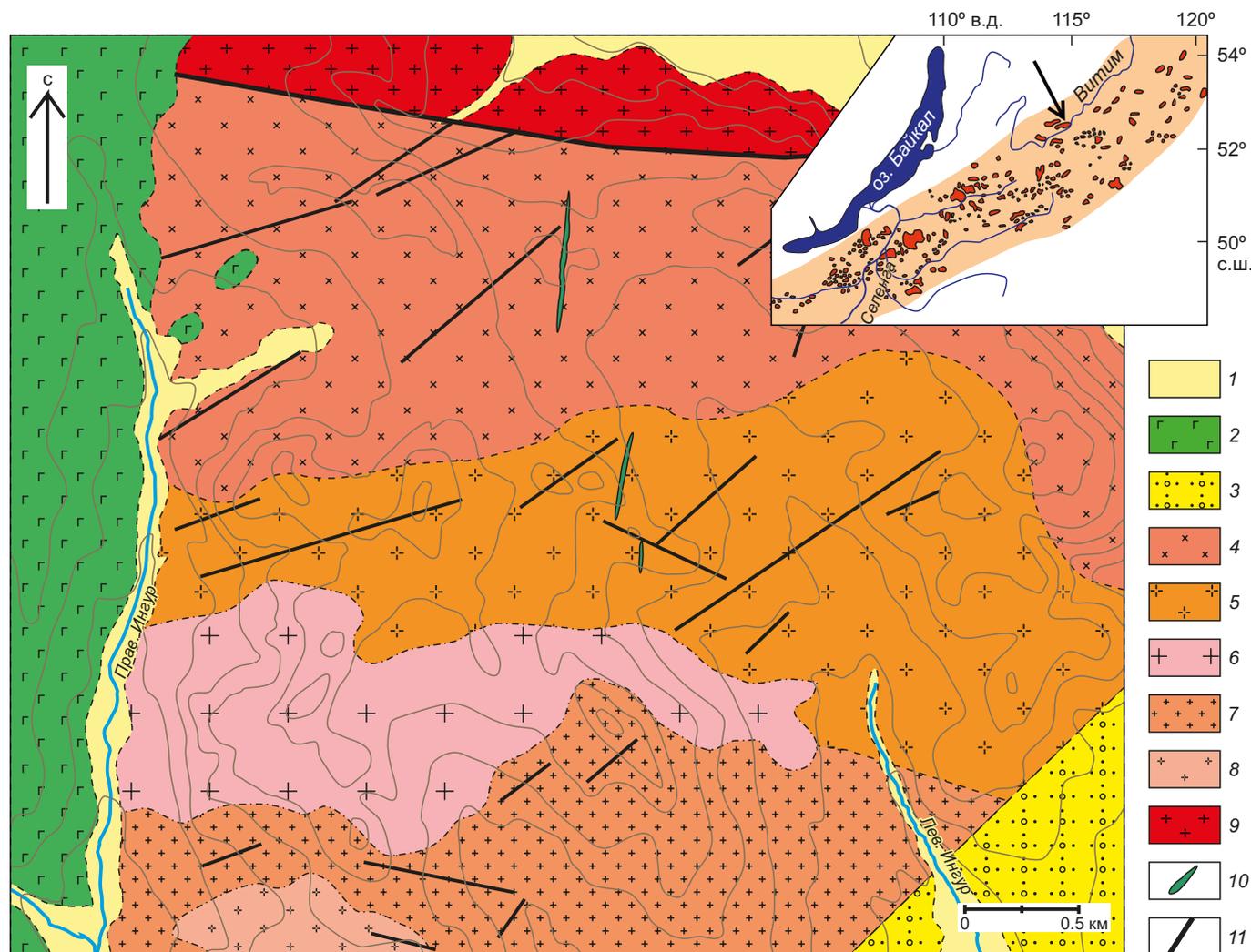


Рис. 1. Схема геологического строения Ингурского массива щелочных гранитов (составлена на основе материалов поисково-разведочных работ [Galanin, Vasilchenko, 1962], с дополнениями авторов).

1 – современные аллювиальные отложения; 2 – кайнозойские базальты; 3 – мезозойские аркозовые среднезернистые песчаники; 4–8 – граниты Ингурского массива: 4 – крупнозернистые щелочные биотит-арфведсонитовые и арфведсонитовые граниты, 5 – крупнозернистые субщелочные биотитовые и аляскитовые граниты, 6 – среднезернистые порфировидные субщелочные биотитовые граниты с темным кварцем, 7 – среднезернистые порфировидные биотитовые граниты с темным кварцем, 8 – мелкозернистые порфировидные биотитовые граниты; 9 – позднепалеозойские крупнозернистые биотитовые, биотит-роговообманковые граниты баргузинского комплекса; 10 – дайки диабазов, габбро-диоритов; 11 – тектонические нарушения. На врезке показаны субщелочные и щелочные гранитоиды Монголо-Забайкальской провинции [Jahn et al., 2009], стрелка указывает на Ингурский массив.

Fig. 1. Geological structure of the Ingur alkaline granite massif (borrowed from [Galanin, Vasilchenko, 1962], with additions by the authors).

1 – Quaternary; 2 – Cenozoic basalts; 3 – Mesozoic arkose medium-grained sandstones; 4–8 – the Ingur granites: 4 – coarse-grained alkaline biotite-arfvedsonite and arfvedsonite granites, 5 – coarse-grained subalkaline biotite and alaskite granites, 6 – medium-grained porphyritic subalkaline biotite granites with dark quartz, 7 – medium-grained porphyritic biotite granites with dark quartz, 8 – fine-grained porphyritic biotite granites; 9 – Late Paleozoic coarse-grained biotite, biotite-hornblende granites and plagiogranites; 10 – dikes of diabase and gabbro-diorite; 11 – faults. The inset shows subalkaline and alkaline granitoids of the Mongolian – Trans-Baikal province [Jahn et al., 2009]; the arrow points to the Ingur massif.

представлено щелочными биотит-арфведсонитовыми гранитами, тогда как центральная часть (~40 км²) сложена разномасштабными субщелочными биотитовыми и аляскистыми гранитами. Переход от биотитовых к арфведсонитовым гранитам постепенный. Биотитовые граниты представляют собой неравномерно-зернистые породы, в которых наряду с участками крупнозернистого сложения встречаются среднезернистые выделения. Сложены они калишпатом с пертитами альбита (60–80 %), кварцем (20–30 %), биотитом (до 1–5 %), флюоритом. Среди акцессорных встречены циркон, титанит, магнетит, рутил, ксенотим, бастнезит. Арфведсонитовые граниты представлены крупно- и равномерно-зернистыми разновидностями с массивной текстурой. Сложены калишпатом с пертитами альбита (65–70 %), кварцем (25–30 %), арфведсонитом (5–7 %) и биотитом (2–3 %). Акцессорные представлены цирконом, рутилом, магнетитом, ильменитом, монацитом, флюоритом; как правило, они ассоциируют с темноцветными минералами. Анализ Ar-Ar системы арфведсонита показал возраст 266 млн лет [Lykhin, 2015].

После открытия Ингурского массива щелочных гранитов и связанного с ним Zr-Nb оруденения, которое приурочено к телам шлировых пегматитов, он неоднократно упоминался в различных публикациях [Bulnaev, Karmanov, 2005; Lykhin, 2015; Gordienko, 2020; Tsygankov et al., 2021].

3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Микроструктурные особенности, взаимоотношения и однородность минералов изучались на электронном микроскопе LEO-1430 с энергодисперсионным спектрометром Inca Energy-350 (ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН, Улан-Удэ).

Микроэлементный состав пород определен методом ICP-MS (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск). В них установлено содержание примесных, в том числе редких и редкоземельных, элементов.

U-Pb (SHRIMP-II) датирование цирконов проводилось в Центре изотопных исследований ФГУП ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского (г. Санкт-Петербург). Кристаллы циркона были имплантированы в эпоксидную смолу вместе с зернами геохронологического стандарта циркона TEMORA и 91500.

Измерения изотопного состава неодима, стронция и их концентраций проводились в Институте геологии и геохронологии докембрия РАН (г. Санкт-Петербург) на многоколлекторном твердофазном масс-спектрометре Triton. Воспроизводимость определения концентраций Rb, Sr, Sm и Nd, вычисленная на основании многократных анализов стандарта BCR-1, соответствует ± 0.5 %.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Химический состав субщелочных биотитовых и арфведсонитовых гранитов Ингурского массива в целом одинаков и приведен в табл. 1. Содержание кремнезема

в среднем 75.5 мас. % при средней сумме щелочей 8.5 мас. %, причем щелочность увеличивается с уменьшением кремнекислотности. Следует отметить, что калий преобладает над натрием. Индекс железистости (Fe*) изменяется в узком диапазоне (от 0.90 до 0.97). Для этих пород характерно высокое содержание тяжелых РЗЭ, что определяет низкую величину La/Yb_n (2–7), и отрицательная европиевая аномалия (Eu/Eu* \approx 0.17), что указывает на фракционированный характер рассматриваемых пород. Граниты обеднены Ba, Sr и обогащены Nb, Ta, Zr, Hf, Y относительно примитивной мантии. По своим геохимическим характеристикам породы массива подобны гранитам А-типа, сформированным во внутриплитных условиях, и схожи с щелочными гранитоидами раннекуналейского комплекса, возраст которых оценен в пределах 280–273 млн лет [Reichow et al., 2010; Tsygankov et al., 2010].

Значения $\epsilon(\text{Nd})$ в арфведсонитовых, субщелочных гранитах и пегматитах варьируются от –1.99 до –1.49, что указывает на преобладание корового источника в образовании пород. Nd модельный возраст, рассчитанный по двухстадийному варианту, составляет около 1.3 млрд лет, что согласуется с Nd изотопной систематикой коровых магматических протолитов Западного Забайкалья мезоэопротерозойского возраста [Yarmolyuk et al., 1999; Litvinovsky et al., 2011; Gordienko, 2021].

Редкометалльная минерализация гранитов Ингурского массива представлена в основном цирконом, бастнезитом, монацитом, ксенотимом. Как правило, они ассоциируют с биотитом и арфведсонитом и образуют мелкие (не более 0.1 мм) одиночные зерна. Бастнезит относится к цериевой разновидности с повышенным содержанием неодима (до 19 мас. % Nd₂O₃ при ~30 мас. % Ce₂O₃). Монацит характеризуется присутствием тория (до 13 мас. % ThO₂) и, как и бастнезит, повышенным содержанием неодима (до 20 мас. % Nd₂O₃). Особенностью рутила и ильменита является постоянное присутствие ниобия (до 3 мас. % Nb₂O₅), встречаются они в ассоциации с магнетитом, который характеризуется повышенной титанистостью (вплоть до титаномагнетита). Циркон в гранитах образует зерна и призматические кристаллы размером до 0.2 мм по длинной оси (рис. 2, а). В нем присутствуют редкие включения торита. Характерной особенностью минерала является присутствие ниобия (до 3 мас. % Nb₂O₅).

Для определения U-Pb изотопного возраста цирконов из арфведсонитовых гранитов Ингурского массива отобрана мономинеральная проба. Цирконы представлены прозрачными короткопризматическими и дипирамидальными кристаллами размером 150–300 мкм с выраженной магматической осцилляционной зональностью, наблюдаемой в катодолюминесцентном изображении (рис. 2, б). Отношение Th/U=0.33–0.97, что соответствует цирконам магматического происхождения. Средневзвешенный возраст, рассчитанный по отношению ²⁰⁶Pb/²³⁸U, составляет 272.0 \pm 3.9 млн лет, MSWD=0.57 (рис. 2, в).

Таблица 1. Химический состав представительных проб гранитов Ингурского массива (оксиды в мас. %, элементы в г/т)
Table 1. Chemical composition of representative granite samples from the Ingur massif (wt. %, ppm)

Проба	Ин-601	Ин-602	Ин-612	Ин-628	Ин-639
Порода	Арфведсонитовый гранит		Субщелочной гранит		Пегматит
SiO ₂	77.80	76.30	75.00	72.00	77.30
TiO ₂	0.12	0.18	0.39	0.36	0.14
Al ₂ O ₃	10.90	11.80	11.90	13.10	11.10
Fe ₂ O ₃	1.23	1.34	2.14	0.10	1.75
FeO	0.47	0.43	0.15	2.28	0.10
MnO	0.04	0.09	0.01	0.10	0.05
MgO	0.14	0.10	0.12	0.23	0.19
CaO	0.02	0.11	0.50	0.40	0.26
Na ₂ O	3.57	3.79	3.41	4.14	3.63
K ₂ O	4.29	4.54	4.33	5.00	3.66
P ₂ O ₅	0.24	0.25	0.29	0.10	0.10
п.п.п.	0.49	0.61	1.36	1.67	1.08
Сумма	99.31	99.54	99.60	99.28	99.16
CO ₂	0.22	0.22	0.22	0.66	<0.22
S	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
F	0.04	0.07	0.36	0.27	0.05
Rb	257.88	204.38	248.17	256.86	187.88
Sr	7.14	16.08	25.14	37.08	12.29
Y	32.46	66.38	211.17	93.39	106.04
Zr	367.02	700.31	1284.30	970.21	971.73
Nb	35.12	188.02	199.35	79.36	56.36
Mo	0.76	1.97	1.08	2.39	0.63
Sn	6.74	17.22	15.03	8.75	11.45
Cs	2.11	1.00	0.96	1.26	1.29
Ba	66.49	66.67	146.05	200.01	57.32
La	39.78	59.75	93.39	98.91	54.46
Ce	82.82	135.94	192.54	201.92	106.22
Pr	9.70	14.65	26.50	21.75	11.39
Nd	35.00	51.59	96.68	86.03	47.77
Sm	6.90	9.71	21.63	16.64	8.01
Eu	0.39	0.51	1.37	0.78	0.45
Gd	5.84	8.38	24.07	14.30	7.87
Tb	1.11	2.07	5.05	2.27	1.61
Dy	7.35	14.05	32.18	14.02	13.18
Ho	1.55	3.14	8.79	2.70	3.30
Er	5.02	10.43	24.72	8.82	14.11
Tm	0.90	1.80	3.65	1.40	2.68
Yb	6.15	12.37	21.75	8.76	19.00
Lu	0.81	1.68	3.00	1.40	2.71
Hf	14.23	28.00	37.73	25.33	29.02
Ta	4.31	24.02	15.84	4.77	2.91
Pb	14.71	105.17	40.03	22.90	41.81
Th	18.64	74.13	59.01	41.33	47.95
U	5.35	18.26	23.26	21.31	19.58

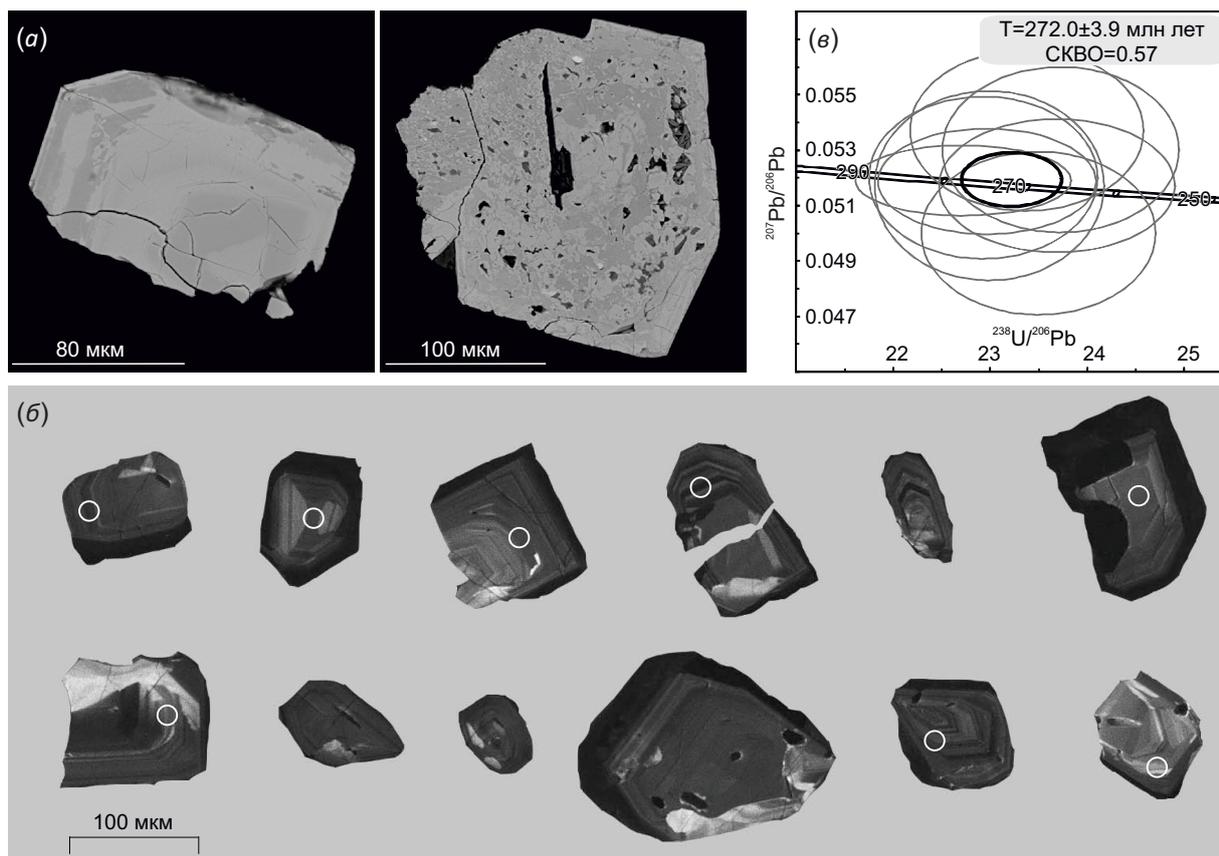


Рис. 2. Морфология зерен циркона из арфведсонитовых гранитов. (а) – изображения в обратнорассеянных электронах; (б) – катодоллюминесцентные изображения; (в) – диаграмма с конкордией в координатах $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ – $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$.

Fig. 2. Morphology of zircon grains from arfvedsonite granites. (a) – backscattered electron image; (b) – cathodoluminescent images; (c) – diagram with Concordia $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ – $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$.

Полученный возраст соответствует завершающему позднепалеозойскому этапу длительного внутриплитного гранитного магматизма [Tsygankov et al., 2010; Litvinovsky et al., 2011].

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлен раннепермский U-Pb изотопный возраст щелочных гранитов Ингурского массива (272 млн лет), который характеризует завершающий этап масштабного позднепалеозойского гранитообразования на территории Забайкалья. По своим петрохимическим данным породы Ингурского массива соответствуют гранитам А-типа. Они образованы во внутриплитных условиях в результате плавления докембрийской континентальной коры и последующей дифференциации гранитной магмы с участием мантийной компоненты.

Редкометалльная минерализация щелочных гранитов Ингурского массива представлена в основном цирконом, бастнезитом, монацитом, ксенотимом.

6. БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы глубоко признательны безвременно ушедшему известному ученому-геологу Н.В. Владыкину за совместные полевые работы и длительные дискуссии.

Особую благодарность авторы выражают И.В. Гордиенко и А.С. Мехоношину за рецензирование статьи и конструктивные замечания, которые были учтены и способствовали опубликованию данной работы.

7. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

The authors contributed equally to this article.

8. КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTERESTS

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Все авторы прочитали рукопись и согласны с опубликованной версией.

The authors have no conflicts of interest to declare. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

9. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Bulnaev K.B., Karmanov N.S., 2005. Rare Metal Mineralization in Schlieric Pegmatites of Ingursky Alkaline Granite Massif (Western Part of Baikal Region). Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration 2,

24–28 (in Russian) [Булнаев К.Б., Карманов Н.С. Редко-металльное оруденение в шлировых пегматитах Ингурского массива щелочных гранитов (Западное Забайкалье) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2005. № 2. С. 24–28].

Galanin E.N., Vasilchenko V.V., 1962. Report on the Survey of the Ingur Prospecting and Exploration Expedition for 1961 (Bagdarin). 171 p. (in Russian) [Галанин Е.Н., Васильченко В.В. Отчет о результатах работ Ингурской поисково-разведочной партии за 1961 г. (пос. Багдарин). 1962. 171 с.].

Gordienko I.V., 1987. Paleozoic Magmatism and Geodynamics of the Central Asian Folded Belt. Nauka, Moscow, 240 p. (in Russian) [Гордиенко И.В. Палеозойский магматизм и геодинамика Центрально-Азиатского складчатого пояса. М.: Наука, 1987. 240 с.].

Gordienko I.V., 1992. Evolution of Paleozoic Magmatism and Endogenic Mineralization of South Siberian Platform Folded Framing and Geodynamic Environment of Its Formation. *Pacific Geology* 11 (4), 101–109 (in Russian) [Гордиенко И.В. Эволюция палеозойского магматизма и эндогенного оруденения складчатого обрамления юга Сибирской платформы и геодинамические обстановки его формирования // Тихоокеанская геология. 1992. Т. 11. № 4. С. 101–109].

Gordienko I.V., 2020. Strategic Minerals Resources of the Republic of Buryatia: Current State and Development Prospects. *Earth Sciences and Subsoil Use* 43 (1), 8–35 (in Russian) [Гордиенко И.В. Ресурсы стратегического минерального сырья Республики Бурятия: состояние и перспективы развития // Науки о Земле и недропользование. 2020. Т. 43. № 1. С. 8–35]. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-1-8-35>.

Gordienko I.V., 2021. The Role of Island-Arc Oceanic, Collisional and Intraplate Magmatism in the Formation of Continental Crust in the Mongolia–Transbaikalia Region: Geostructural, Geochronological and Sm-Nd Isotope Data. *Geodynamics & Tectonophysics* 12 (1), 1–47 (in Russian) [Гордиенко И.В. Роль островодужно-океанического, коллизионного и внутриплитного магматизма в формировании континентальной коры Монголо-Забайкальского региона: по структурно-геологическим, геохронологическим и Sm-Nd изотопным данным // Геодинамика и тектонофизика. 2021. Т. 12. № 1. С. 1–47]. <https://doi.org/10.5800/GT-2021-12-1-0510>.

Jahn B.M., Litvinovsky B.A., Zanzvilevich A.N., Reichow M.K., 2009. Peralkaline Granitoid Magmatism in the Mongolian-Transbaikalian Belt: Evolution, Petrogenesis and Tectonic Significance. *Lithos* 113 (3–4), 521–539. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2009.06.015>.

Litvinovsky B.A., Jahn B.M., Zanzvilevich A.N., Saunders A., Poulain S., Kuzmin D.V., Reichow M.K., Titov A.V., 2002. Petrogenesis of Syenite-Granite Suites from the Bryansky Complex (Transbaikalia, Russia): Implications for the Origin of A-Type Granitoid Magmas. *Chemical Geology* 189 (1–2), 105–133. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)00142-0](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00142-0).

Litvinovsky B.A., Tsygankov A.A., Jahn B.M., Katzir Y., Be'eri-Shlevin Y., 2011. Origin and Evolution of Overlapping

Calc-Alkaline and Alkaline Magmas: The Late Paleozoic Post-Collisional Igneous Province of Transbaikalia (Russia). *Lithos* 125 (3–4), 845–874. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2011.04.007>.

Lykhin D.A., 2015. Results of Ar-Ar Geochronological Studies of the Ingur Massif, Transbaikalia. In: *Isotopic Dating of Geological Processes: New Results, Approaches and Prospects*. Proceedings of the VI Russian Conference on Isotope Geochronology (June 2–5, 2015). Springer, Saint Petersburg, p. 169–171 (in Russian) [Лыхин Д.А. Результаты Ar-Ar геохронологических исследований Ингурского массива, Забайкалье // Изотопное датирование геологических процессов: новые результаты, подходы и перспективы: Материалы VI российской конференции по изотопной геохронологии (2–5 июня 2015 г.). СПб.: Springer, 2015. С. 169–171].

Reichow M.K., Litvinovsky B.A., Parrish R.R., Saunders A.D., 2010. Multi-Stage Emplacement of Alkaline and Peralkaline Syenite-Granite Suites in the Mongolian–Transbaikalian Belt, Russia: Evidence from U-Pb Geochronology and Whole Rock Geochemistry. *Chemical Geology* 273 (1–2), 120–135. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2010.02.017>.

Tsygankov A.A., Khubanov V.B., Udoratina O.V., Coble M.A., Burmakina G.N., 2021. Western Transbaikalia: Petrogenetic and Geodynamic Implications from U-Pb Isotopic–Geochronological Data. *Lithos* 390–391, 106098. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2021.106098>.

Tsygankov A.A., Litvinovsky B.A., Jahn B.M., Reichow M.K., Liu D.Y., Larionov A.N., Presnykov S.L., Lepekhina Ye.N., Sergeev S.A., 2010. Sequence of Magmatic Events in the Late Paleozoic of Transbaikalia, Russia (U-Pb Isotope Data). *Russian Geology and Geophysics* 51 (9), 972–994. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2010.08.007>.

Vladykin N.V., Alymova N.V., Perfil'ev V.V., 2016. Geochemical Features of Rare-Metal Granites of the Zashikhinsky Massif, East Sayan. *Petrology* 24, 512–525. <https://doi.org/10.1134/S0869591116050052>.

Yarmolyuk V.V., Kovalenko V.I., Kovach V.P., Budnikov S.V., Kozakov I.K., Kotov A.B., Sal'nikova E.B., 1999. Nd-Isotope Systematics of Crustal Magmatic Protoliths in Western Transbaikalia and the Problem of Riphean Crust Formation in Central Asia. *Geotectonics* 4, 3–20 (in Russian) [Ярмольюк В.В., Коваленко В.И., Ковач В.П., Будников С.В., Козаков И.К., Котов А.Б., Сальникова Е.Б. Nd-изотопная систематика коровых магматических протолитов Западного Забайкалья и проблема рифейского корообразования в Центральной Азии // Геотектоника. 1999. № 4. С. 3–20].

Yarmolyuk V.V., Kuzmin M.I., 2012. Late Paleozoic and Early Mesozoic Rare-Metal Magmatism of Central Asia: Stages, Provinces, and Formation Settings. *Geology of Ore Deposits* 54, 313–333. <https://doi.org/10.1134/S1075701512050054>.

Zanzvilevich A.N., Litvinovsky B.A., Andreev G.N., 1985. Mongolian–Transbaikalian Alkaline-Granitoid Province. Nauka, Moscow, 232 p. (in Russian) [Занвилевич А.Н., Литвиновский Б.А., Андреев Г.Н. Монголо-Забайкальская щелочно-гранитоидная провинция. М.: Наука, 1985. 232 с.].