

Нятыгранский интрузивный комплекс: петрография, геохимия, возраст (Буреинский массив)

В предлагаемой статье авторами привлечены, добавлены и уточнены сведения по геологии, петрографии, минералогии и химическому составу пород докембрийского нятыгранского интрузивного комплекса. Предложена геохимическая интерпретация их химического и микроэлементного составов. Представлены данные по их возрасту, полученные U-Pb методом по цирконам. Магматические образования нятыгранского габбро-гранодиорит-гранитного комплекса слагают небольшие интрузивные массивы габброидов и гранитоидов вблизи рудоносного Мельгинского прогиба и в его пределах, в бассейнах рек Верхний Мельгин, Чепкан, Талибджан, среднего течения р. Бурья и их притоков. Установлено, что в габброидах основными породообразующими минералами являются лабрадор и андезин, синевато-зеленая роговая обманка и биотит. В гнейсовидных гранитоидах преобладают катаклазированные кварц и полевые шпаты (андезин, олигоклаз, микроклин), много слюд (биотита, серицита). В субщелочных лейкогранитах доминируют олигоклаз, кварц, ортоклаз, микроклин, в значительных количествах присутствуют биотит, эгирин, изредка амфибол (роговая обманка). Выявлено также, что габбро и габбродиориты повышенной щёлочности относятся к высокоглинозёмистым породам магнезиального состава и представляют собой магматические породы I-типа. В то же время гнейсовидные гранитоиды нормальной и повышенной щёлочности относятся в основном к высокоглинозёмистым породам железисто-магнезиального состава и представлены S- и I-типами гранитоидов. Изотопный возраст образований нятыгранского комплекса установлен в трёх основных диапазонах: 933 ± 12 – $916,3 \pm 7,2$ Ма (1-я фаза магматизма – габбро, габбро-диориты, амфибол-биотитовые граниты); $909,0 \pm 6,6$ – $907,3 \pm 5,5$ Ма (2-я фаза – гранодиориты, граниты) и $806,8 \pm 6,6$ – $789 \pm 4,0$ Ма (3-я фаза – биотитовые граниты, дайки гранит-порфи́ров). Возраст нятыгранского интрузивного комплекса нами устанавливается как неопротерозойский и соответствует раннему неопротерозою или тонской системе (1000–720 Ма) по Международной хроностратиграфической шкале (2018 г.). На картах масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения он представлен как раннепротерозойский.

Ключевые слова: габброиды, гранитоиды, нятыгранский комплекс, фазы магматизма, Буреинский массив, химический состав пород, изотопный возраст.

НИГАЙ ЕЛЕНА ВАЛЕНТИНОВНА, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник¹, helenvn54@gmail.com

АМЕЛИН СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ, ведущий геолог²

¹ Институт тектоники и геофизики им. Ю. А. Косыгина ДВО РАН, г. Хабаровск

² ОАО «Дальневосточное ПГО», г. Хабаровск

Nyatygran intrusive suite, Bureya massif: Petrography, geochemistry, and age

E. V. NIGAY¹, S. A. AMELIN²

¹ Institute of Tectonics and Geophysics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk

² AO "Dal'nevostochnoe PGO", Khabarovsk

The proposed review and analytical article provides updated information on the geology, petrography, mineralogy, and chemical composition of rocks of the Precambrian Nyatygran intrusive suite. The article provides a geochemical interpretation of the chemical and trace element compositions and presents the most actual data on the uranium-lead isotopic age of the rocks. The igneous formations of the Nyatygran gabbro-granodiorite-granite complex make up small intrusive massifs of gabbroids and granitoids, located near the ore-bearing Mel'gin trough, in the basins of the Verkhny Mel'gin, Chepkan, and Bureya rivers and their tributaries. In the gabbroids, the main rock-forming minerals are labradorite, andesine, bluish-green hornblende, and biotite. The gneissic granitoids are dominated by cataclastic quartz and feldspars (andesine, oligoclase, microcline) and contain abundant micas (biotite, sericite). The subalkaline leucogranites are dominated by oligoclase, quartz, orthoclase, and microcline; they also contain sig-

nificant amounts of biotite and aegirine and rare amphibole (hornblende). The gabbro and gabbrodiorites of normal and elevated alkalinity are assigned to the high-aluminous high-magnesian rocks. The gabbroids represent I-type igneous rocks. The gneissic granitoids of normal and elevated alkalinity are predominantly high-aluminous, more ferroan than magnesian rocks, and are represented by S- and I-type granitoids. The determined isotopic ages of the Nyatygran suite formations are confined to the three main ranges: 933 ± 12 – $916,3 \pm 7,2$ Ma (1st magmatic phase: gabbro, gabbrodiorites, amphibole-biotite granites), $909,0 \pm 6,6$ – $907,3 \pm 5,5$ Ma (2nd phase: granodiorites and granites), and $806,8 \pm 6,6$ – $789 \pm 4,0$ Ma (3rd phase: biotite granites and granite-porphyry dikes). The Nyatygran suite age is established as Neoproterozoic and corresponds to the early Neoproterozoic, or Tonian (1000–720 Ma), according to the International Chronostratigraphic Scale, 2018. On the 3rd generation 1:1 000 000-scale State geological maps of the Russian Federation, it is presented as Early Proterozoic.

Key words: gabbroids, granitoids, Nyatygran suite, magmatic phases, Bureya massif, rock chemical composition, isotopic age.

Введение. Габбро-гранодиорит-гранитный нятыгранский интрузивный комплекс размещается в восточной части Буреинского массива. Представлен небольшими и мелкими интрузивными образованиями гнейсовидных гранитоидов, мелкими интрузиями и ксенолитами габброидов, дайками аплитовидных гранитов в среднем течении р. Бурея, бассейне р. Верхний Мельгин и их притоков.

В качестве важнейшего подразделения нятыгранский интрузивный комплекс был выделен Ю. П. Змиевским (1982 ф). Он высказал точку зрения о том, что формирование раннепротерозойских габбро-гранодиорит-гранитоидных интрузивов происходило предположительно в четыре этапа: 1) габбро, габбро-диориты, кортландиты; 2) гранодиориты, амфибол-биотитовые граниты; 3) биотитовые граниты; 4) аплитовидные двуслюдяные граниты и их дайки.

Важную роль в изучении нятыгранских магматитов сыграли геохронологические исследования ИГиП ДВО РАН, осуществлённые совместно с ГИ КНЦ РАН (г. Апатиты) и ИГГД РАН (г. Санкт-Петербург). В процессе их геологического, геохронологического и петрохимического изучения выделены два крупнейших этапа неопротерозойского нятыгранского магматизма в истории геологического развития Буреинского массива [6, 9]. При обобщении материалов по нятыгранским интрузивным образованиям были учтены геохронологические данные С. Ю. Рассказова (2018 ф), а также геологические материалы других исследователей, в разное время изучавших докембрийские образования Буреинского массива [2–4, 7–9].

При проведении ГДП-200 и составлении Государственной геологической карты РФ нами были получены также дополнительные радиологические данные по возрасту пород нятыгранского

комплекса (U-Pb метод по цирконам; исследования их были проведены в ЦИИ ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург).

Нятыгранские интрузивы прорывают раннепротерозойские метаморфические графито- и фосфорносные сланцы одноимённой нятыгранской свиты (PR₁?), в которой размещаются месторождения и проявления U, Th, Mo, Be, PЗЭ, Sn, W, Cu. В связи с этим можно утверждать, что они имеют с ними тесную пространственную и генетическую связь. Это обстоятельство явилось основанием для проведения более тщательного геохимического анализа проб из интрузивных образований нятыгранского комплекса.

Цель настоящих исследований – выяснение важнейших геолого-геохимических характеристик нятыгранского интрузивного комплекса, а также получение некоторых новых результатов на основе обработки геохимических данных.

Методы исследований заключались в обработке, анализе и обобщении геологических и геохимических данных, подборе и построении диаграмм, их интерпретации. Подсчитывались кларки концентраций благородных металлов, редких и редкоземельных элементов. Для построения геохимических диаграмм были привлечены как собственные данные по химическому и микроэлементному составу пород нятыгранского комплекса, так и другие опубликованные данные [6, 9].

Геологическая позиция, петрография и минералогия. Небольшие интрузивные образования нятыгранского комплекса размещаются как вблизи Мельгинского прогиба, так и в самом прогибе (Талибджанский массив) (рис. 1). Мельгинский прогиб, продуктивный на целый ряд месторождений полезных ископаемых (U, Th, PЗЭ, фосфориты, графит), прослеживается вдоль глубинного

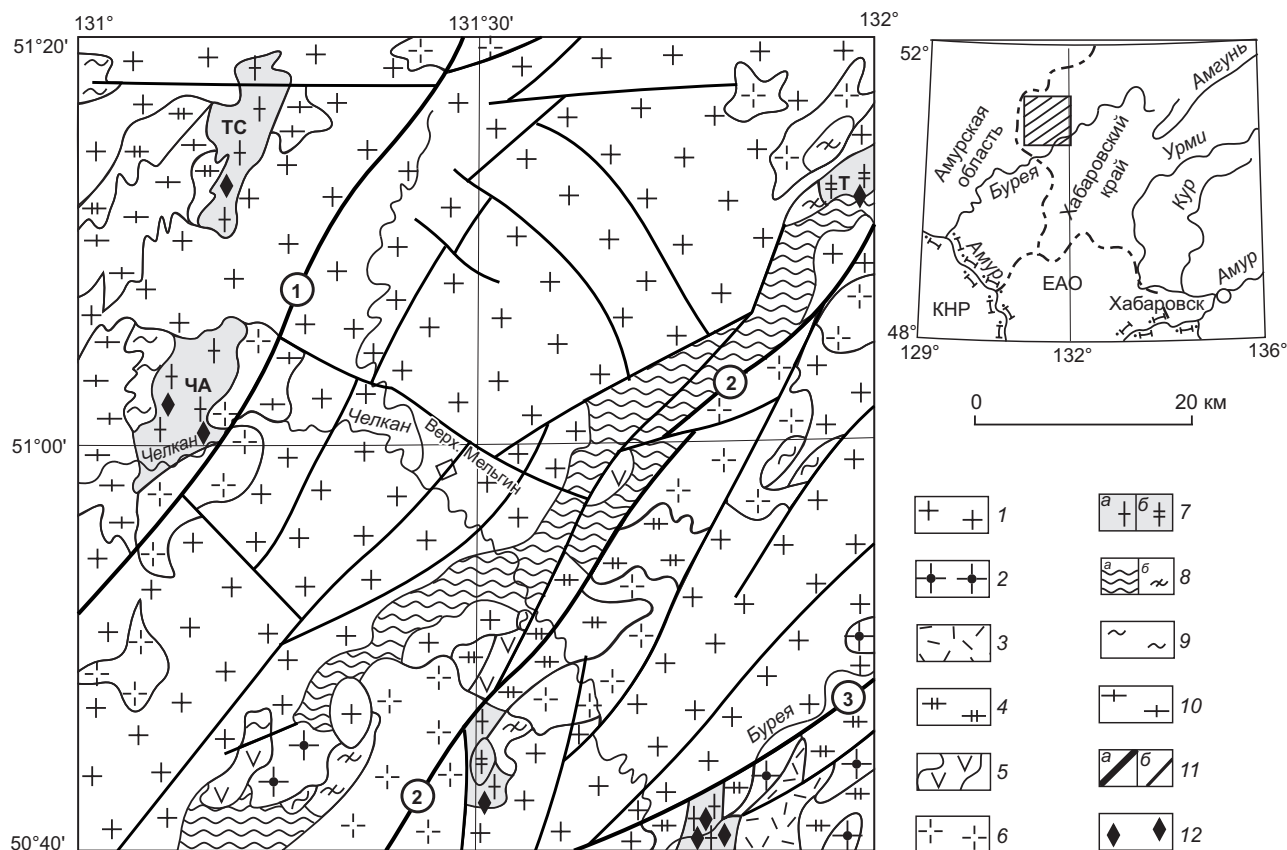


Рис. 1. Схематическая геологическая карта бассейна р. Верхний Мельгин. Составлена Е. В. Нугай, с использованием данных [1, 6–9]:

1 – триас-юрские граниты харинского комплекса; 2 – поздне триасовые сиениты алтахтинского комплекса; 3 – триасовые риолиты таловского комплекса; 4 – пермско-триасовые гранитоиды тырмо-буреинского комплекса; 5 – позднепалеозойские (D–P?) вулканогенно-осадочные образования амганского комплекса; б – кембрий-ордовикские гранитоиды кивилийского и суларинского комплексов; 7 – неопротерозойский нятыгранский комплекс: а – гранитоиды, б – габбро и габбро-диориты; 8 – нерасчленённые протерозойско-палеозойские комплексы пород Мельгинского прогиба (а), протерозойские слюдяные и графитовые сланцы нятыгранской свиты (б); 9 – позднеархейские (?) гнейсовидные плагиограниты древнебуреинского комплекса; 10 – позднеархейские (?) кристаллосланцы и гнейсы дягдаглейской толщи; 11 – разломы: а – основные, б – второстепенные: 1 – Чепканский, 2 – Мельгинский, 3 – Буреинский; 12 – места отбора проб; интрузивные массивы нятыгранского комплекса: ТС – Томь-Сербакский, Т – Талибджанский, ЧА – Чепкан-Алагирский; на врезке квадратом показан район исследований

Мельгинского разлома. Описание их петрографии и минералогии приведены по С. А. Амелину [1].

Наиболее крупными из нятыгранских интрузивных массивов являются Томь-Сербакский (17 × 6 км²), Чепкан-Алагирский (18 × 8 км²) и Талибджанский (6 × 3 км²), локализованные в бассейнах рек Верхний Мельгин, Чепкан и Талибджан. Более мелкие интрузивы вскрыты в устье р. Верхний Мельгин и по право- и левобережью долины р. Бурея (см. рис. 1).

Гнейсовидные габброиды (габбро и габбродиориты) имеют незначительное распространение, слагают ксенолиты (площадью до 1,0 км²) внутри указанных массивов, а также разрозненные небольшие малые интрузии в притоках рек Верхний Мельгин и Бурея площадью менее 2,0 км² [1]. Талибджанский массив представляет собой небольшое тело в северо-восточной части Мельгинского прогиба, вытянутое в северо-восточном направлении и сложенное преимущественно

полосчато-сланцеватыми массивными габбро и габбро-диоритами. В состав тёмно-серых до чёрных с зеленоватым оттенком габбро входят лабрадор (45–60%), амфибол (до 20–30%), андезин (до 15–30%), биотит (5–10%), кварц (до 5%). Акцессорные минералы – апатит, сфен, магнетит, титаномагнетит; вторичные – хлорит, актинолит.

Габбро-диориты – серые и тёмно-серые среднезернистые гнейсовидные, гнейсовидно-полосчатые породы, сложенные лабрадором (30–40%), андезином (до 25–40%), биотитом (15–20%), роговой обманкой (до 10%), кварцем (5–8%), калиевым полевым шпатом (до 2–5%). Акцессорные минералы – апатит, сфен, монацит, магнетит, титаномагнетит, циркон. Вторичные гидротермально изменённые минералы – хлорит, серицит, альбит, эпидот. Структура бластомилонитовая, лепидогранобластовая, катакластическая с элементами очковой и свилеватой текстур. Габброиды отнесены к самому раннему этапу внедрения нятыгранских магматитов.

Гнейсовидными гранодиоритами и гранитами нятыгранского комплекса сложены Томь-Сербакский, Чепкан-Алагирский массивы и периферийные части Талибджанского массива. Гнейсовидные мелкозернистые гранодиориты с биотитом, амфиболом и пироксеном ближе к центральным частям массивов постепенно теряют черты гнейсовидности и становятся более светлыми и крупнозернистыми. Для периферийных гнейсовидных гранитоидов характерно чередование тёмных и светлых полос шириной от 0,5 до 10,0 см. Аналогичную форму и строение имеют более мелкие интрузивы, вскрывающиеся в устье р. Верхний Мельгин и в верховье р. Ушканда.

Гранодиориты светло-серые и серые, с гнейсовидной полосчатой и очковой текстурой, катаклазированные, сланцеватые, порфирикластические, линзовидно-очковые. Для них характерно сочетание катакластической, зернистой и лепидогранобластовой структур. Состав: плагиоклазы (в основном олигоклаз и андезин – 20–35%), ортоклаз и микроклин (10–40%), кварц (12–30%), биотит (до 15%), роговая обманка (3–10%). Акцессорные минералы (менее 1%) – гранат, пироксен, апатит, циркон, монацит, магнетит. В зонах трещиноватости, сульфидизации и гидротермального изменения пород встречаются хлорит, серицит, эпидот, альбит, актинолит. Переходы от гранодиоритов к гранитам постепенные. Гранодиорит-гранитные интрузивы отнесены ко второму круп-

ному этапу внедрения магматических тел комплекса.

Биотитовые граниты и дайки гранит-порфиров комплекса слагают краевые части Чепкан-Алагирского и Томь-Сербакского массивов. Это однообразные по составу, текстуре и окраске гнейсовидные светло-серые с буроватым оттенком и тёмно-серые средне- и мелкозернистые, гнейсовидно-сланцеватые породы; пятнистость их обусловлена белыми прямоугольными зёрнами кислого плагиоклаза – олигоклаза. Основные породообразующие минералы – олигоклаз (30–50%), кварц (20–40%), микроклин (10–25%), биотит (5–15%), редко – тёмно-зелёная с синеватым оттенком роговая обманка. Апатит, циркон, сфен, монацит, эгирин, рибекит представляют сообщество акцессорных и щелочных минералов. Вторичные гидротермально изменённые минералы – серицит, хлорит, альбит, эпидот. Ассоциация биотитовых гранитов и даек гранит-порфиров отнесена к третьему, наиболее позднему, этапу внедрения нятыгранских магматитов.

Геохимическая интерпретация. Химический состав проб нятыгранского комплекса и состав микроэлементов представлен в таблицах 1–3. На их основе построены геохимические диаграммы и спайдер-диаграммы, демонстрирующие петрологические особенности изучаемых образований и принадлежность к различным типам магматитов, рассчитаны показатели агпаитности.

Агпаитность ($(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$) габброидов очень низкая и составляет по нашим подсчётам 0,11–0,33. Гранодиориты имеют более высокие показатели агпаитности, составляющие 0,38–0,5. У гнейсогранитов агпаитность самая высокая и составляет 0,45–0,75 (плюмазитовые значения). По показателям агпаитности и габброиды, и гранитоиды относятся в большей мере к известково-щелочным магматическим породам.

По содержанию K_2O габброиды относятся как к умеренно- (2,1%), так и низкокалиевым (0,2%) породам, гранодиориты – низкокалиевым (1,1–1,2%), а граниты – к высококалиевым (3,0–7,4%) (см. табл. 1).

Большую часть проанализированных проб, как видно из табл. 1, составляют гранитоиды (SiO_2 63,9–74,5%, сумма щелочей 6,2–10,5%). Пробы габбро (SiO_2 46,2–49,3%, сумма щелочей 1,6–3,9%) и габбро-диоритов (SiO_2 54,5%, сумма щелочей 5,0%) составляют небольшое количество. Геохимические диаграммы, построенные

1. Химический состав представительных проб пород нятыгранского комплекса [1]

Оксиды	Пробы															
	335901	K-1041	339101	5634-а	2196	2310	588	K-1001	K-1038	5620	K-832	8168	3314	3278	129604	5054
SiO ₂	48,13	54,55	46,2	49,31	69,1	70,04	68,9	72,66	74,51	71,45	63,95	64,03	73,05	72,1	72,27	71,89
TiO ₂	1,58	0,62	3,57	1,36	0,37	0,31	0,22	0,23	0,24	0,28	0,55	0,54	0,28	0,3	0,35	0,13
Al ₂ O ₃	17,89	13,96	14,07	19,26	14,94	14,78	16,11	13,36	12,06	13,75	15,78	16,48	13,4	14,24	14,24	15,03
Fe ₂ O ₃	2,21	3,04	3,06	2,85	0,48	0,48	0,36	0,15	0,24	1,4	1,11	1,48	0,3	0,49	1,0	0,18
FeO	7,44	4,93	8,31	5,67	3,46	3,2	1,53	2,01	1,65	1,99	4,47	4,55	2,06	2,05	1,67	1,04
MnO	0,16	0,06	0,08	0,16	0,04	0,07	0,05	0,03	0,01	0,07	0,2	0,13	0,03	0,05	0,04	0,03
MgO	5,97	8,27	9,29	5,19	1,1	0,81	0,42	0,26	0,39	1,08	1,5	2,12	0,67	0,16	0,5	0,42
CaO	10,16	8,4	11,97	9,54	3,43	3,25	1,41	0,93	1,38	2,11	5,28	3,57	1,95	1,59	2,03	1,87
Na ₂ O	2,31	2,9	1,36	3,4	3,34	3,34	3,17	3,64	2,45	3,75	3,48	3,72	3,38	3,46	3,21	3,74
K ₂ O	1,64	2,17	0,26	0,96	3,0	2,85	7,37	5,96	6,03	3,11	1,09	1,25	4,35	4,35	4,02	4,81
P ₂ O ₅	0,19	0,1	0,05	0,46	0,07	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,13	0,13	0,08	0,05	0,1	0,02
П.п.п.	0,11	0,0	0,31	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,12	0,0
Сумма	99,5	99,6	99,8	99,8	100	99,5	100	99,7	99,5	99,8	99,5	99,9	100	99,6	100	99,6

Примечание. Выделены содержания Al₂O₃ > 15,0 % и TiO₂ > 3,0 %.

с использованием данных табл. 1, представлены на рис. 2 (А–В, Е).

Фигуративные точки нятыгранских габброидов на TAS-диаграмме SiO₂–Na₂O + K₂O, по [12], находятся в поле пород нормальной и повышенной щёлочности (см. рис. 2, А).

На диаграмме разделения пород по степени глинозёмистости Al₂O₃/(CaO + Na₂O + K₂O)–Al₂O₃/(Na₂O + K₂O) [13] точки габброидов разместились в поле метглинозёмистых пород, содержания глинозёма выше суммы щелочных оксидов натрия и калия в 1,8–3,4 раза (см. рис. 2, Б). Это видно и в представленных таблицах – содержания Al₂O₃ в пробах габбро достигают 17,9–20,3%. Все фигуративные точки, характеризующие габброиды комплекса, на диаграмме «железистость – магнезиальность», построенной по соотношениям FeO*/(FeO* + MgO) [11], находятся в поле магнезиальных пород (см. рис. 2, В).

На диаграмме Al₂O₃/(CaO + Na₂O + K₂O)–(Na₂O + K₂O)/Al₂O₃ по разделению пород на А-, I- и S-типы [13] (рис. 2, Е) фигуративные точки габброидов разместились в поле магматических пород I-типа (igneous), насыщенных темноцветными минералами, кристаллизация которых произошла на самых ранних стадиях внедрения магмы

основного состава. Габбро нятыгранского комплекса, таким образом, представляют собой высокоглинозёмистые и высокомагнезиальные магматические породы I-типа. Гнейсовидные гранитоиды, согласно диаграмме SiO₂–Na₂O + K₂O [12], являются породами повышенной и нормальной щёлочности (см. рис. 2, А). На диаграмме Al₂O₃/(CaO + Na₂O + K₂O)–Al₂O₃/(Na₂O + K₂O) [13] они разделились на перглинозёмистые, метглинозёмистые и нормальной глинозёмистости граниты (см. рис. 2, Б). Соотношения глинозёма и суммы щелочных оксидов рассчитаны в молекулярных количествах. На диаграмме FeO*/(FeO* + MgO) [11] гранитоиды разделились на железистые (большая часть) и магнезиальные (меньшая часть) (см. рис. 2, В).

На диаграмме Al₂O₃/(CaO + Na₂O + K₂O)–(Na₂O + K₂O)/Al₂O₃ по разделению пород на А-, I- и S-типы [13] (см. рис. 2, Е) большая часть фигуративных точек попала в поле магматитов S-типа (sedimentary), а меньшая – в поле гранитоидов I-типа. Гранитоиды S-типа – это кварц-полевошпатовые амфибол-биотитовые и биотитовые граниты и лейкограниты с преобладающей долей переплавленных при высоких температурах (>400–600 °С [5]) пород осадочного слоя коры. Гранитоиды I-типа были выплавлены в гранитном

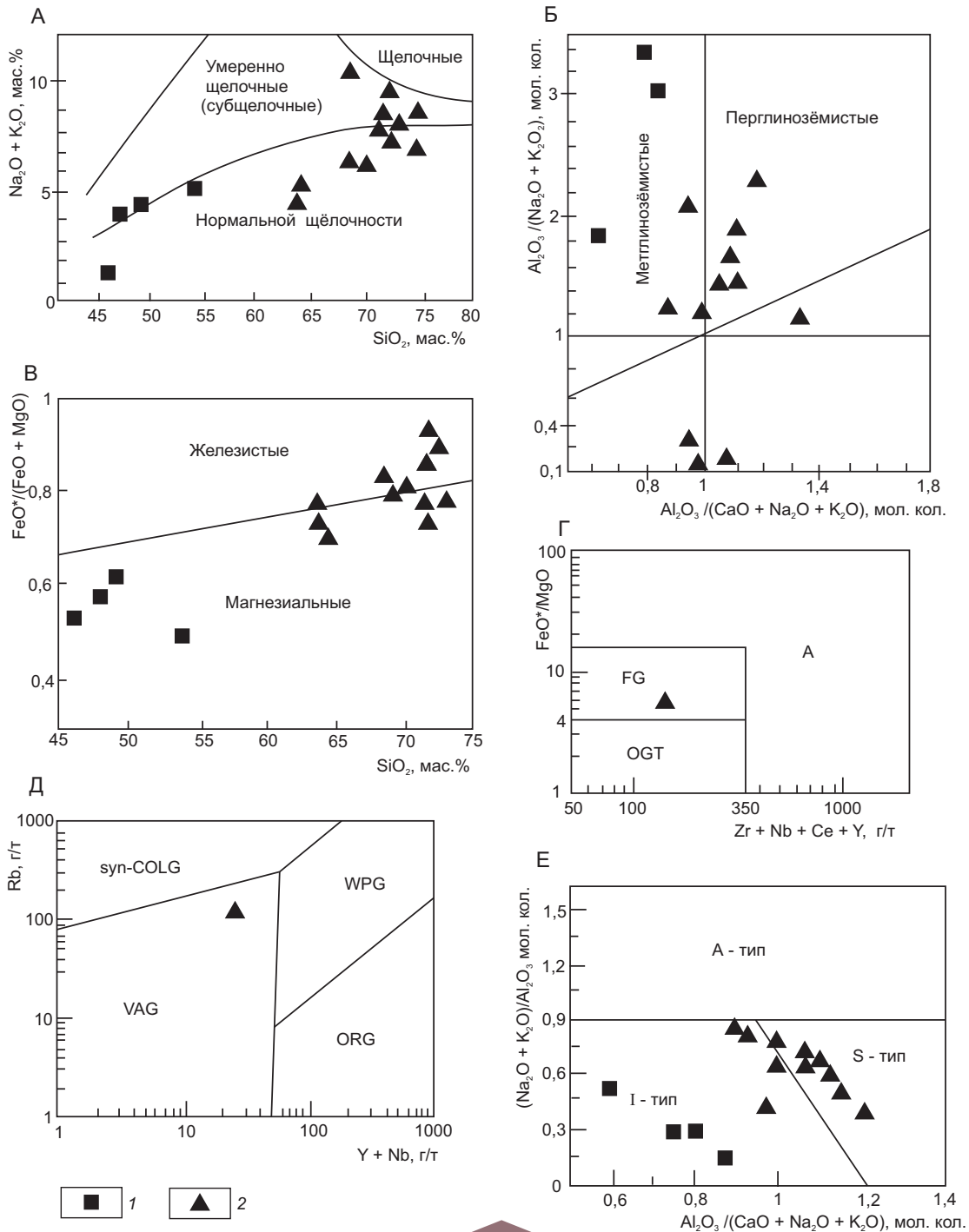


Рис. 2. Классификационные геохимические диаграммы для магматических пород нятыгранского комплекса. Составлены Е. В. Нигай:

А – диаграмма разделения магматических пород по степени щёлочности SiO_2 – $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, границы полей, по [12]; Б – диаграмма разделения пород по степени глинозёмистости $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ – $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, по [13]; В – диаграмма «железистость–магнезиальность»: $\text{FeO}^*/(\text{FeO}^* + \text{MgO})$, границы полей, по [11]; Г – диаграмма FeO^*/MgO – $\text{Zr} + \text{Nb} + \text{Ce} + \text{Y}$: поля гранитоидов: FG – фракционированных гранитоидов, OGT – нефракционированных M-, I-, S-типов, А – анорогенных гранитов А-типа, границы, по [17]; Д – диаграмма $\text{Y} + \text{Nb}$ – Rb ; гранитоиды: syn-COLG – синколлизонные, WPG – внутриплитные, VAG – вулканических дуг, ORG – океанических хребтов, границы полей, по [14]; Е – диаграмма $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ – $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$: разделение на А-тип (анорогенные граниты), I-тип (магматогенные граниты), S-тип (седиментационные граниты), границы полей, по [13]; 1 – габброиды; 2 – гнейсограниты

2. Микроэлементный состав нятыгранского гнейсогранита, образец 129604 (PR₃n)

Элементы	г/т / К _к	Элементы	г/т / К _к	Элементы	г/т / К _к	Элемент	г/т / К _к
Li	29,16/0,36	Ge	1,43/0,95	La	37,36/1,06	Hf	1,28/0,18
Be	1,99/0,58	As	0,47/0,29	Ce	76,24/1,05	Ta	0,98/0,39
B	1,32/0,088	Rb	129,9/0,61	Pr	8,61/0,95	W	57,33/28,66
P	398,16/0,45	Sr	288,8/1,06	Nd	30,36/0,97	Y	13,26/0,33
Sc	5,55/138,75	Zr	45,11/0,22	Sm	5,67/0,63	Hg	2,60/37,14
Ti	1925,9/0,96	Nb	12,51/0,62	Eu	1,14/0,87	Tl	0,87/0,46
V	10,69/0,15	Mo	0,76/0,5	Gd	5,73/0,76	Pb	20,91/1,04
Cr	3,37/0,24	Ag	0,001/0,025	Tb	0,69/0,62	Bi	0,06/0,09
Mn	301,86/0,55	Cd	0,04/0,23	Dy	3,19/0,78	Th	14,18/0,67
Co	2,42/0,242	Sn	1,76/0,35	Ho	0,53/0,37	U	1,75/0,38
Ni	2,36/0,295	Sb	0,04/0,13	Er	1,40/0,41	Au	0,018/9,26
Cu	3,26/0,13	Te	0,001/1,01	Tm	0,18/0,25	Pt	0,002/0,68
Zn	83,26/1,4	Cs	2,54/0,5	Yb	1,03/0,26	Pd	0,0056/5,65
Ga	18,20/0,96	Ba	1133,7/1,6	Lu	0,13/0,12	Ir	0,0015/250

Примечание. Проба проанализирована в ЦКП ХИАНЦ при ИТиГ ДВО РАН им. Ю. А. Косыгина (г. Хабаровск). Аналитики А. В. Штарева, А. И. Лушникова, Г. М. Золотухина. В числителе – содержание, в знаменателе – К_к; выделены К_к > 1,0. К_к элементов (рассчитаны Е. В. Нигай) по отношению к средним содержаниям их в породах кислого состава, по [10].

слое в условиях ещё более высоких температур и представлены гранодиоритами. По химическому составу они близки к габбро-диоритам.

В табл. 2 охарактеризован микроэлементный состав единственной пробы (обр.129604) нятыгранского гнейсогранита, отобранной С.А. Амелиным в 2017 г. и проанализированной на редкие, редкоземельные, радиоактивные и благородные металлы. Полученные сведения использовались при построении диаграмм, приведённых на рис. 2, Г, Д, и спайдер-диаграммы на рис. 4. Калиевый гнейсогранит (SiO₂ 72,2%, сумма щелочей 7,2%, K₂O:Na₂O = 4:3) относится к фракционированным гранитам FG (см. рис. 2, Г), разделение границ по [17]. На диаграмме с разделением границ, по [13], фигуративная точка находится в поле VAG – гранитоидов вулканических дуг (см. рис. 2, Д). Данные диаграммы в полной мере согласуются с диаграммами, построенными с использованием достаточно большого количества проанализированных проб нятыгранских гнейсогранитов, на которых фигуративные точки гнейсогранитов также размещаются в поле фракционированных гранитоидов, в геодинамической обстановке вулканических дуг [9, 6].

В табл. 2 выделены химические элементы с К_к > 1,0. Первую группу представляют металлы с высокими концентрациями, значительно превышающими их средние содержания в породах кислого состава: *скандий* (К_к = 138,75), *вольфрам* (К_к = 28,66), *ртуть* (К_к = 37,14), *золото* (К_к = 9,26), *палладий* (К_к = 5,65) и *иридий* (К_к = 250). Вторую группу представляют элементы с кларковыми и повышенными содержаниями от 1,0 до 1,6: цинк, стронций, теллур, барий, лантан, церий и свинец. Кларк концентрации остальных элементов К_к < 1,0.

В табл. 3 представлены химический состав нятыгранских пород и содержания в них редкоземельных элементов. Обращает на себя внимание проба высокоглинозёмистого гнейсовидного габбро (обр. 10400) с содержанием Al₂O₃ **20,38 %**.

Повышенная сумма РЗЭ отмечается в пробе гнейсогранита обр. С-1257. Она равна **523,85 г/т** (*примечание Е.В. Нигай: промышленно интересная сумма содержания РЗЭ, по методическим справочникам, составляет 400 г/т и более*). При сравнении содержаний РЗЭ в габброидах и гранитоидах выявлены низкие содержания их в габбро и повышенные в гранитах – суммы РЗЭ в гранитах в 3–15 раз выше, чем в габбро. В гранитоидах

3. Химический и редкоземельный составы пород нятыгранского комплекса [1, 9]

Компоненты	Пробы						
	10400	C-1226	C-1191	C-1154	129604	407101	C-1257
Петрогенные оксиды, %							
SiO ₂	47,69	73,06	72,89	71,31	72,27	72,85	72,88
TiO ₂	0,99	0,33	0,26	0,32	0,35	0,33	0,20
Al ₂ O ₃	20,38	13,59	13,26	14,17	14,24	13,73	13,20
Fe ₂ O ₃	3,85	2,64*	3,38*	3,95*	1,0	1,0	2,72*
FeO	4,38				1,67	1,64	
MnO	0,12	0,06	0,04	0,06	0,04	0,04	0,03
MgO	8,76	0,26	0,45	0,76	0,50	0,81	0,13
CaO	10,42	1,95	2,22	2,82	2,03	2,03	1,71
Na ₂ O	2,10	3,61	3,29	3,90	3,21	3,08	3,63
K ₂ O	0,55	3,87	3,09	2,37	4,02	3,84	4,18
P ₂ O ₅	0,04	0,10	0,04	0,06	0,12	0,08	0,03
П, п, п,	1,04	0,23	0,36	0,36	0,40	0,48	0,11
Сумма	100,32	99,7	99,28	100,21	99,45	99,16	99,26
РЗЭ, г/т							
La	5,37	34,22	48,19	34,29	37,36	35,18	99,51
Ce	11,9	61,19	109,84	61,91	76,24	79,92	204,34
Pr	1,52	7,75	10,33	6,54	8,61	7,03	23,02
Nd	7,55	29,94	38,36	26,84	30,36	23,73	87,84
Sm	1,64	7,05	8,32	5,34	5,67	3,83	19,71
Eu	0,87	1,11	1,17	0,86	1,14	0,63	1,91
Gd	1,52	8,15	9,48	6,48	5,73	4,31	23,79
Tb	0,23	1,25	1,32	0,88	0,69	0,52	3,70
Dy	1,29	7,47	7,58	5,84	3,19	2,54	22,95
Ho	0,31	1,56	1,12	1,17	0,53	0,49	5,14
Er	0,8	4,08	4,18	3,88	1,40	1,35	14,80
Tm	0,1	0,58	0,55	0,52	0,18	0,18	2,15
Yb	0,76	3,44	3,38	3,88	1,03	1,7	13,05
Lu	0,11	0,53	0,50	0,54	0,13	0,16	1,94
Σ РЗЭ	33,97	91,91	244,32	158,97	172,26	161,57	523,85

Примечание. * – суммарное железо в форме Fe₂O₃. Выделены высокое содержание глинозёма в габбро и высокие содержания РЗЭ в пробе гнейсогранита.

отношение LREE (лёгких РЗЭ) к HREE (тяжёлым РЗЭ) следующее: La/Yb = 7–10, Ce/Lu = 100–500. Данные по составу РЗЭ использованы для построения спайдер-диаграммы на рис. 3.

Спайдер-диаграммы. На рис. 3 представлен спектр распределения редкоземельных элементов для габбро и гнейсогранитов нятыгранского ком-

плекса, нормированных по составу хондрита. Как видно из графика, для гнейсогранитов характерна высокая дифференцированность значений «порода/хондрит», составляющая до 400-кратных превышений содержаний LREE в нятыгранских гнейсогранитах по сравнению с хондритом. Отчётливо выражен европиевый минимум.

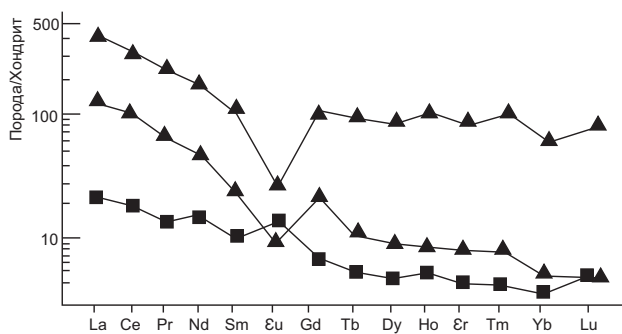


Рис. 3. Спайдер-диаграмма распределения РЗЭ для пород нятыгранского комплекса. Нормировано к составу хондрита, по [15], составлена Е. В. Нугай:

см. услов. обозн. к рис. 2

Тренд распределения РЗЭ относительно хондрита у габбро имеет сглаженный характер и небольшую дифференциацию с превышениями содержаний лёгких РЗЭ в габбро по сравнению с хондритом в 10–15 раз. При этом европиевый минимум отсутствует, что свойственно магматическим породам мантийного генезиса [16].

На рис. 4 представлена мультикомпонентная диаграмма (по данным табл. 2) для нятыгранского гнейсогранита, нормированного по составу к примитивной мантии по [15]. Из него видно, тренд распределения нормированных значений отличается резкой дифференцированностью. Отмечаются высокая насыщенность такими литофильными элементами, как Rb, Ba, Th, U, Pb, и деплетированность в отношении Ti, Yb, Lu, Zr, Yb, Lu – т. е. для гнейсогранита характерно доминирование подвижных литофильных крупноионных LILE над более инертными высокозарядными HFSE.

Возраст пород нятыгранского комплекса. Раннепротерозойский возраст нятыгранских интрузивных образований был установлен предшественниками геологически – метагабброиды и гнейсовидные гранитоиды нятыгранского комплекса прорывают позднеархейские метаморфические кристаллосланцы дягдагейской свиты и плагиограниты древнебуреинского комплекса, а сами прорываются раннепалеозойскими (кембрийскими, ордовикскими) и другими более молодыми интрузивами [2, 7, 8]. Возраст мезозойских и более древних пород определялся ранее и радиологическими методами, в основном калий-

аргоновым, который в настоящее время фактически не используется.

Возраст цирконов из пород метагаббро, слагающих малое интрузивное тело в левобережье среднего течения р. Бурея (табл. 4), составил 933 ± 12 млн лет (обр. С-1211), среднеквадратическое отклонение (СКВО) – 0,24. Возраст цирконов амфибол-биотитовых гнейсогранитов (обр. С-1154) по левобережью среднего течения р. Бурея равен 933 ± 8 млн лет [9], при этом СКВО составляет всего 0,035 (см. табл. 4).

Конкордантные значения возраста цирконов из гранитоидов нятыгранского комплекса, слагающих Чепкан-Алагирский и Томь-Сербакский массивы, составляют $907,3 \pm 5,5$, $909,0 \pm 6,6$, $916,3 \pm 7,2$ млн лет, по С. Ю. Рассказову (см. табл. 4). Исследование этих цирконов и определение их радиологического возраста уран-свинцовым методом (SHRIMP-II) были проведены в ЦИИ ВСЕГЕИ (С. Ю. Рассказов, 2018 ф).

Конкордантный возраст цирконов из гранитоидов, отобранных в бассейне р. Чепкан из центральной части Чепкан-Алагирского массива и исследованных изотопным уран-свинцовым методом по цирконам (SHRIMP-II) в ЦИИ ВСЕГЕИ, составил $806,8 \pm 6,6$ млн лет (обр. 129604). Пробы отбирались в процессе проведения ГДП-200 [1]. Он близок к возрасту цирконов из гранито-гнейсов нятыгранского комплекса, слагающих юго-западный край Чепкан-Алагирского массива: $804,0 \pm 8,0$ млн лет (обр. С-1257–1), по [9]. Их исследования с определением возраста осуществлялись в ГИ КНЦ.

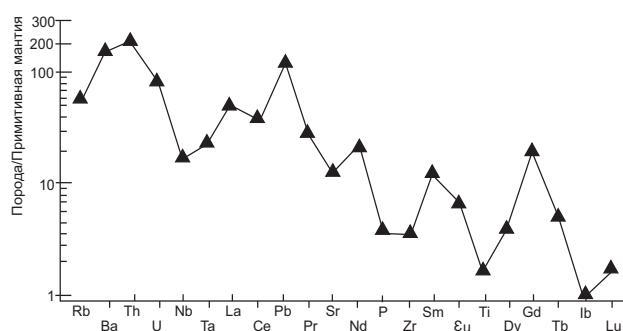


Рис. 4. Мультикомпонентная спайдер-диаграмма для нятыгранского гнейсогранита (обр. 129604). Нормировано к составу примитивной мантии, по [15]. Составлена Е. В. Нугай

4. Радиологический уран-свинцовый возраст цирконов из нятыгранских пород

Номер пробы	Название породы	Возраст, млн лет	Источник информации
129604	Гранит гнейсовидный	$806,8 \pm 6,6$	[1]
C-1226	Лейкогранит биотитовый	$789 \pm 4,0$ СКВО = 0,034	[9]
10502	Гранит амфибол-биотитовый интенсивно рассланцованный	$907,3 \pm 5,5$; $909,0 \pm 6,6$	[Рассказов, 2018ф]
11200	Гранит амфибол-биотитовый интенсивно рассланцованный	$916,3 \pm 7,2$	[Рассказов, 2018ф]
C-1191-1	Гнейсогранит амфибол-биотитовый	$933,0 \pm 8,0$ СКВО = 0,035	[9]
C-1211	Метагаббро	933 ± 12 СКВО = 0,24	[9]

Таким образом, установлены следующие основные значения конкордантного возраста нятыгранских магматитов: 1) 933 ± 12 – $916,3 \pm 7,2$ Ма (1-я фаза магматизма – габбро, габбро-диориты, амфибол-биотитовые гнейсограниты); 2) $909,0 \pm 6,6$ – $907,3 \pm 5,5$ Ма (2-я фаза – гранодиориты, граниты); 3) $806,8 \pm 6,6$ – $789 \pm 4,0$ Ма (3-я фаза – биотитовые граниты, лейкократовые граниты, дайки гранит-порфиры). Они укладываются в тонский период неопротерозоя (1000–720 Ма) в соответствии с Международной хроностратиграфической шкалой 2018 г.

Заключение. Химический и микроэлементный анализы отдельных проб из нятыгранских гнейсогранитов показали следующее. В образце гнейсогранита, отобранном С. А. Амелиным из центральной части Чепкан-Алагирского массива и проанализированном на микроэлементы в ЦКП ИТиГ ДВО РАН, выявлен ряд металлов с концентрациями, значительно превышающими их средние содержания в породах кислого состава – скандий (Кк = 138,75), вольфрам (Кк = 28,66), ртуть (Кк = 37,14), золото (Кк = 9,26), палладий (Кк = 5,65), иридий (Кк = 250). Установлена также промышленно интересная сумма содержаний редкоземельных элементов (> 528 г/т), которые были обнаружены в другом образце гнейсогранита – из западной части Чепкан-Алагирского массива.

Габбро и габбро-диориты гнейсовидного облика нятыгранского интрузивного комплекса нормальной и повышенной щёлочности относятся

к высокоглинозёмистым и высокомагнезиальным породам. Выявленные в пробах содержания Al_2O_3 колеблются от 14,0 до 19,3 %, достигая 20,38 %. Концентрации MgO в габбро и габбро-диоритах в основном достигают 9,3 %. Габброиды представляют собой типичные магматические породы I-типа. Гнейсовидные гранитоиды нормальной и повышенной щёлочности, в которых высока доля гранодиоритов, относятся преимущественно к высокоглинозёмистым породам железисто-магнезиального состава с небольшим преобладанием железистости над магнезиальностью. Они представлены S- и I-типами гранитоидов, сформированных в осадочном и гранитном слоях земной коры. Наиболее вероятно, что нятыгранские магматиты формировались в позднем докембрии в палеогеодинамической обстановке вулканических дуг активных континентальных окраин.

Изотопный уран-свинцовый возраст нятыгранского интрузивного комплекса указывает на три основных интервала длительного нятыгранского магматизма, проявившегося в восточной части Буреинского массива в начальный период неопротерозоя (тонская система). На Государственной геологической карте масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения возраст пород нятыгранского комплекса представлен как раннепротерозойский [7].

Работа выполнена в рамках государственного задания НИИ ИТиГ ДВО РАН при поддержке Федерального агентства по недропользованию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арапов В. Н., Амелин С. А.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Лист М-52-ХІІ. Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2018. – 324 с.
2. *Васильева В. В.* Государственная геологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000. Серия Хингано-Буреинская. Лист М-52-ХVІІІ. Объяснительная записка. – М. : Госгеолтехиздат, 1962. – 60 с.
3. *Васькин А. Ф., Дымович В. А., Атращенко А. Ф.* и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (3-е поколение). Дальневосточная серия. Лист М-53 Хабаровск. Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2009. – 376 с.
4. *Гурьянов В. А., Нигай Е. В., Юрченко Ю. Ю.* и др. Хронология гранитоидного магматизма восточной части Буреинского массива Центрально-Азиатского складчатого пояса // Методы и геологические результаты изучения изотопных геохронометрических систем минералов и пород : материалы VII Российской конференции по изотопной геохронологии. – М. : ИГЕМ РАН, 2018. – С. 105–108.
5. *Кузьмин М. И., Корольков А. Т., Дриль С. И., Коваленко С. Н.* Историческая геология с основами тектоники плит и металлогении. – Иркутск : Изд-во Иркут. ун-та, – 2000. – 288 с.
6. *Овчинников Р. О.* Древнейшие комплексы Буреинского континентального массива: возраст, источники, геодинамические условия формирования : специальность 25.00.01 «Общая и региональная геология»; 25.00.04 «Петрология, вулканология» : автореф. дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Роман Олегович Овчинников. – Благовещенск, 2021. – 137 с.
7. *Петрук Н. Н., Волкова Ю. Р., Шилова М. Н.* и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (3-е поколение). Серия Дальневосточная. Лист М-52 (Благовещенск). Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. – 496 с.
8. *Расказов Ю. П.* Государственная геологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000 (р. Верх. Мельгин). Серия Хингано-Буреинская. Лист М-52-ХІІ. – М. : Госгеолтехиздат, 1959. – 74 с.
9. *Сорокин А. А., Овчинников Р. О., Кудряшов Н. М.* и др. Два этапа неопротерозойского магматизма в истории формирования Буреинского континентального массива Центрально-Азиатского складчатого пояса // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58, № 10. – С. 1479–1499.
10. *Требования к геохимической основе Государственной геологической карты РФ.* – М., 2001. – 29 с.
11. *Frost B. R., Barnes C. G., Collins W. J., Arculus R. J., Ellis D. J., Frost C. D.* A geochemical classification for granitic rocks // *Journal of Petrology.* – 2001. – V. 42, № 11. – P. 2033–2048.
12. *Le Maitre R. W.* Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. – Oxford : Blackwell, 1989. – 193 p.
13. *Maniar P. D., Piccoli P. M.* Tectonic discrimination of granitoids // *Geological Society of America Bulletin.* – 1989. – V. 101, No. 5. – P. 635–643.
14. *Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindle A. G.* Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rock // *Journal of Petrology.* – 1984. – V. 25, No. 4. – P. 956–983.
15. *Sun S., McDonough W. F.* Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: implication for mantle composition and processes / Eds. A. D. Saunders, M. J. Narry. *Magmatism in the ocean basins* // *Geological Society Special Publication.* – 1989. – No. 42. – P. 313–345.
16. *Taylor S. R., McLennan S. M.* The continental crust: 1st evolution and composition. – London : Blackwell, 1985. – 312 p.
17. *Whalen J. B., Currie K. L., Chappell B. W.* A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis // *Contributions to Mineralogy and Petrology.* – 1987. – V. 95, No. 4. – P. 407–419.

REFERENCES

1. *Arapov V. N., Amelin S. A.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:200 000. List M-52-XII. Ob»yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation on a scale of 1 : 200,000. Sheet M-52-XII. Explanatory note], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI publ., 2018, 324 p. (In Russ.)
2. *Vasil'yeva V. V.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200 000. Seriya Khingano-Bureinskaya. List M-52-XVIII. Ob»yasnitel'naya zapiska [State geological map of the USSR, scale 1 : 200,000. Khingan-Bureinskaya series. Sheet M-52-XVIII. Explanatory note], Moscow, Gosgeoltekhizdat, 1962, 60 p. (In Russ.)
3. *Vas'kin A. F., Dymovich V. A., Atrashenko A. F.* et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1 : 1 000 000 (3-ye pokoleniye).

- Dal'nevostochnaya seriya. List M-53 Khabarovsk. Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation on a scale of 1:1,000,000 (3rd generation). Far Eastern series. Sheet M-53 Khabarovsk. Explanatory note], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2009, 376 p. (In Russ.)
4. Gur'yanov V. A., Nigay Ye. V., Yurchenko Yu. Yu. et al. Khronologiya granitoidnogo magmatizma vostochnoy chasti Bureinskogo massiva Tsentral'no-Aziatskogo skladchatogo poyasa [Chronology of granitoid magmatism in the eastern part of the Bureinsky massif of the Central Asian fold belt], Materialy VII Rossiyskoy konferentsii po izotopnoy geokhronologii, Moscow, IGEM RAN publ., 2018, pp. 105–108. (In Russ.)
 5. Kuz'min M. I., Korol'kov A. T., Dril' S. I., Kovalenko S. N. Istoricheskaya geologiya s osnovami tektoniki plit i metallogenii [Historical geology with the fundamentals of plate tectonics and metallogeny], Irkutsk, Izd-vo Irkut. un-ta publ., 2000, 288 p. (In Russ.)
 6. Ovchinnikov R. O. Drevneyshiye komplekсы Bureinskogo kontinental'nogo massiva: vozrast, istochniki, geodinamicheskiye usloviya formirovaniya [e oldest complexes of the Bureinsky continental massif: age, sources, geodynamic conditions of formation], Blagoveshchensk, 2021, 137 p. (In Russ.)
 7. Petruk N. N., Volkova Yu. R., Shilova M. N. et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1 : 1 000 000 (3-ye pokoleniye). Seriya Dal'nevostochnaya. List M-52 (Blagoveshchensk). Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation on a scale of 1:1,000,000 (3rd generation). Far Eastern series. Sheet M-52 (Blagoveshchensk). Explanatory note], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI publ., 2012, 496 p. (In Russ.)
 8. Rasskazov Yu. P. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1 : 200 000 (r. Verkh. Mel'gin). Seriya Khingano-Bureinskaya. List M-52-XII [State geological map of the USSR, scale 1:200,000 (Verkh. Melgin River). Khingan-Bureinskaya series. Sheet M-52-XII], Moscow, Gosgeoltekhizdat publ., 1959, 74 p. (In Russ.)
 9. Sorokin A. A., Ovchinnikov R. O., Kudryashov N. M. et al. Dva etapa neoproterozoyskogo magmatizma v istorii formirovaniya Bureinskogo kontinental'nogo massiva Tsentral'no-Aziatskogo skladchatogo poyasa [Two stages of Neoproterozoic magmatism in the history of the formation of the Bureya continental massif of the Central Asian fold belt]. *Geologiya i geofizika*, 2017, V. 58, No. 10, pp. 1479–1499. (In Russ.)
 10. *Trebovaniya k geokhimicheskoy osnove Gosudarstvennoy geologicheskoy karty RF* [Requirements for the geochemical basis of the State Geological Map of the Russian Federation], Moscow, 2001, 29 p. (In Russ.)
 11. Frost B. R., Barnes C. G., Collins W. J., Arculus R. J., Ellis D. J., Frost C. D. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, 2001, V. 42, No. 11, pp. 2033–2048.
 12. *Le Maitre R. W. Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks*, Oxford, Blackwell publ., 1989, 193 p.
 13. Maniar P. D., Piccoli P. M. Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, 1989, V. 101, No. 5, pp. 635–643.
 14. Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindle A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rock. *Journal of Petrology*, 1984, V. 25, No. 4, pp. 956–983.
 15. Sun S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: implication for mantle composition and processes. Eds. A. D. Saunders, M. J. Narry. *Magmatism in the ocean basins*. Geological Society Special Publication, 1989, No. 42, pp. 313–345.
 16. Taylor S. R., McLennan S. M. *The continental crust: Its evolution and composition*, London, Blackwell, 1985, 312 p.
 17. Whalen J. B., Currie K. L., Chappell B. W. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1987, V. 95, No. 4, pp. 407–419.

Статья поступила в редакцию 20.08.23; одобрена после рецензирования 02.10.23; принята к публикации 12.10.23.
The article was submitted 20.08.23; approved after reviewing 02.10.23; accepted for publication 12.10.23.