

УДК 552.331(571.54)

DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-4-566-573

## ОЦЕНКА КОМАГМАТИЧНОСТИ ГАББРОИДОВ И СИЕНИТОВ АРСЕНТЬЕВСКОГО МАССИВА (ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

© 2018 г. Е. И. Ласточкин, Г. С. Рипп, Д. А. Орсов,  
Р. А. Бадмацыренова, В. Б. Хубанов

Геологический институт СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а,  
e-mail: ripp@gin.bsnet.ru

Поступила в редакцию 13.10.2017 г., принята к печати 15.11.2017 г.

*Объект исследования.* В статье приведены результаты геохронологического и изотопно-геохимического изучения Арсентьевского титаноносного габбро-сиенитового массива Западного Забайкалья, ранее отнесенного к габбро-сиенитовой серии двухфазного строения. Породы массива содержат повышенную концентрацию титаномагнетита, ильменита, магнетита и в некоторых случаях апатита и рассматриваются как комплексные железотитановые руды. *Методы.* Исследования были выполнены методами силикатного анализа, РФА и ICP-MS; определение возраста по цирконам проведено методами LA-ICP-MS и SHRIMP-II, состав минералов изучался на рентгеновском микроанализаторе MAP-3 и электронном микроскопе LEO-1430. *Результаты.* Петролого-геохимическое изучение пород подтвердило, что в базитах фиксируется стандартный тренд эволюции составов от меланократовых к завершающим лейкократовым разностям с увеличением содержания кремнезема, глинозема, натрия и уменьшением содержания магния и кальция. Сиениты отличаются от анортозитов по содержанию примесных элементов, включая рубидий, ниобий, стронций и РЗЭ. Геохронологические исследования позволили установить значительный временной перерыв в образовании габброидов относительно сиенитов. U-Pb возраст габброидов составил  $279.5 \pm 2.0$  млн лет, щелочно-полевошпатовых сиенитов –  $229.4 \pm 2.8$  млн лет, а биотитовых сиенитов  $226 \pm 2.4$  млн лет. *Выводы.* Полученные результаты по возрасту и данные по геохимическим особенностям пород позволили сделать вывод об отсутствии генетической связи базитов и сиенитов. Петрохимические и геохимические особенности биотитовых и щелочно-полевошпатовых сиенитов оказались близки к таковым пород мезозойского Куналейского комплекса.

**Ключевые слова:** Арсентьевский массив, габбро, сиениты, возраст, амфибол, изотопия

## ASSESSMENT OF THE COMAGMATICITY OF GABBROIDS AND SYENITES OF THE ARSENTYEVSKY MASSIF (WESTERN TRANSBAIKALIA)

Evgeny I. Lastochkin, German S. Ripp, Dmitry A. Orsoev,  
Roza A. Badmatsyrenova, Valentin B. Hubanov

Geological Institute, Siberian Branch of RAS, 6a Sakhyanova st., Ulan-Ude, 670047, Russia,  
e-mail: ripp@gin.bsnet.ru

Received 13.10.2017, accepted 15.11.2017

*Object.* The results of geochronological and isotope-geochemical studies of the Arsenyevsky titaniferous gabbro-syenite massif of the Western Transbaikalia, which previously referred to the gabbro-syenite series of a two-phase structure are presented. The rocks of the massif contain an increased concentration of titanomagnetite, ilmenite, magnetite and in some cases apatite and are considered as complex iron-titanium ores. *Methods.* The studies were performed by silicate analysis methods, XRF and ICP-MS; age determination for zircons was carried out by LA-ICP-MS and SHRIMP-II methods. The composition of minerals on the X-ray microarray analyzer MAP-3 and electron microscope LEO-1430 was studied. *Results.* In the basites, a standard trend is observed for the evolution of compositions from melanocratic to terminal leucocratic differences with an increase in the content of silica, alumina, and sodium, and a decrease in magnesium and calcium. Syenites differ from anorthosites in the content of impurity elements including rubidium, niobium, strontium and REE. The geochronological studies of rocks of Arsenyevsky gabbro-syenite massif, showed a significant time gap in the formation of gabbroids relative to syenites. The U-Pb age of the gabbroids was  $279.5 \pm 2.0$  Ma, alkali feldspar syenites have age  $229.4 \pm 2.8$  Ma, and biotite syenites –  $226 \pm 2.4$  Ma. *Conclusion.* The obtained results by age and data on the geochemical

**Для цитирования:** Ласточкин Е.И., Рипп Г.С., Орсов Д.А., Бадмацыренова Р.А., Хубанов В.Б. (2018) Оценка комагматичности габброидов и сиенитов Арсентьевского массива (Западное Забайкалье). *Литосфера*, **18**(4), 566-573. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-4-566-573

**For citation:** Lastochkin E.I., Ripp G.S., Orsoev D.A., Badmatsyrenova R.A., Hubanov V.B. (2018) Assessment of the comagmaticity of gabbroids and syenites of the Arsenyevsky massif (Western Transbaikalia). *Litosfera*, **18**(4), 566-573. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-4-566-573

features of the rocks made it possible to conclude that there was no genetic relationship between basites and syenites. Petrochemical and geochemical features of biotite and alkali-feldspar syenites proved to be close to the rocks of the Mesozoic Kunaleisky complex.

**Keywords:** *Arsenyevsky massif, gabbro, syenites, age, amphibole, isotopy*

#### **Acknowledgements**

*The studies were carried out with the support of RFBR projects No. 17-05-00129, 18-45-030016 p\_a.*

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема происхождения габбро-сиенитовых комплексов неоднократно обсуждалась в геологической литературе [Богатиков, 1966; Довгаль, 1968; Кривенко, 1973; Глазунов, 1975; He et al., 2010; Бадмацыренова, Бадмацыренов, 2011; Бадмацыренова и др., 2011; Xie et al., 2011; Андреева, 2017]. Несмотря на многочисленные исследования в этой области, она все еще остается актуальной. Сонахождение контрастно различающихся по составу пород относится к числу активно дискутируемых в петрологии вопросов и имеет большое индикаторное значение для реконструкции геодинамических обстановок [Владимиров и др., 2013]. Подобные комплексы пространственно совмещенных основных и щелочных пород известны в составе каледонской магматической провинции Восточного Саяна и в Кузнецком Алатау. К этому типу могут быть отнесены массивы Кольского полуострова [Богатиков, 1966], Гренландии [Upton, Wright, 1961] и Южной Африки [Simpson, 1954].

Габбро-сиенитовые массивы встречаются в структурах Центрально-Азиатского складчатого пояса. Сведения о них, распространенных в обрамлении юга и юго-запада Сибирской платформы, приведены в публикациях О.А. Богатикова [1966], В.Н. Довгалья [1968], А.П. Кривенко [1973], О.М. Глазунова [1975]. В этих работах дается характеристика геологического положения габбро-сиенитовых массивов Кузнецкого Алатау, западной части Восточного Саяна, Южного Прибайкалья, их возраст и петрографические сведения. Эти комплексы в Юго-Восточном и Западном Прибайкалье, по М.И. Груднину с соавторами [2001], образуют единый пояс, представленный однотипными габбро-сиенитовыми массивами, протягивающимися вдоль Главного Саянского разлома в юго-восточном направлении в Алтае-Саянскую складчатую область. Считается, что формирование таких массивов произошло в процессе кристаллизационной дифференциации с образованием единой габбро-сиенитовой серии [Богатиков, 1966].

Существует несколько моделей генераций сиенитовых магм [Litvinovsky et al., 2002]. Одна из них предполагает плавление корового субстрата в открытой системе с привнесом летучих [Litvinovsky et al., 2002]. Вторую модель связывают с парциаль-

ным плавлением пород мантии либо с продуктами дифференциации базальтовых магм повышенной щелочности. Описываются случаи бимодальных ассоциаций, возникших в результате плавления лейкократовой составляющей коры под действием более высокотемпературного базитового расплава [Рипп и др., 2013]. К третьей группе относятся модели смешения основных и кислых магм с последующей дифференциацией гибридных расплавов [Litvinovsky et al., 2002]. Еще один вариант предусматривает пространственное совмещение участков внедрения расплавов разных источников [He et al., 2010].

Одним из примеров формирования габбро-сиенит-гранитной серии является площадь Ошурковского габброидного апатитоносного массива. В его пределах происходили процессы фракционной кристаллизации, определившие возникновение сиенитовых пород [Литвиновский и др., 1998]. Родство пород фиксируется закономерным изменением минерального и химического состава от щелочных габбро к сиенитам. Кроме того, геохронологические данные свидетельствуют о присутствии более ранних по отношению к габброидам щелочно-полевошпатовых сиенитов [Рипп и др., 2013]. По данным U/Pb и Ar/Ar датировок, возраст базитов варьирует в интервале 125–118 млн лет, а щелочно-полевошпатовых сиенитов составляет 130–126 млн лет. В связи с этим модель фракционной кристаллизации базитового расплава до сиенитов не может быть принята.

При фракционировании габброидов бердяушского и мионьского комплексов рапакиви на первом этапе их кристаллизации фракционируются сиенитовые парагенезисы [Бородин и др., 1992]. Сиениты в данном случае выступают как связующее звено между гранитами рапакиви и габброидами, что позволяет принять вариант эволюционного тренда исходных магм. Еще один пример бимодальности формирования пород показан для вулкана Чанбайшань Тяньчи, где предполагается кристаллизационная дифференциация родоначальной базальтовой магмы с образованием кислых пород [Андреева, 2017].

Генетическая связь базальтов и кислых пород декларируется нередко лишь на основании пространственной близости массивов, а дочерне-родительская связь обосновывается подобием гео-

химических признаков. Однако во всех подобных случаях необходимым условием объединения пород в единую магматическую серию является близость их возрастов, что далеко не всегда определено. К такому формационному типу, не обеспеченному геохронологическими исследованиями, относится группа массивов, входящая в состав монотойского интрузивного комплекса в Западном Забайкалье. Он включает Арсентьевский титаносиенит-габбровый массив. Ранее последний считался если не эталонным, то, по крайней мере, показательным для габбро-сиенитовой формации [Богатиков, 1966]. В его пределах одна из фаз сиенитов отнесена к дифференциатам базальтоидной магмы [Бадмацыренова, Бадмацыренов, 2011].

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Состав пород определен классическим силикатным анализом и РФА. Методом ICP-MS (ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск) в них установлено содержание примесных элементов, в том числе редких и редкоземельных.

Минералы анализировались на модернизированном рентгеновском микроанализаторе MAP-3 (С.В. Канакин). Съёмки проводились при 15–20 кВ, ускоряющем напряжении тока зонда от 20 до 40 нА, времени измерения 20 с и диаметре зонда 2–3 мкм. Микроструктурные особенности, взаимоотношения и однородность минералов изучались на электронном микроскопе LEO-1430 с энергодисперсионным спектрометром Inca Energy-300 (Е.А. Хромова).

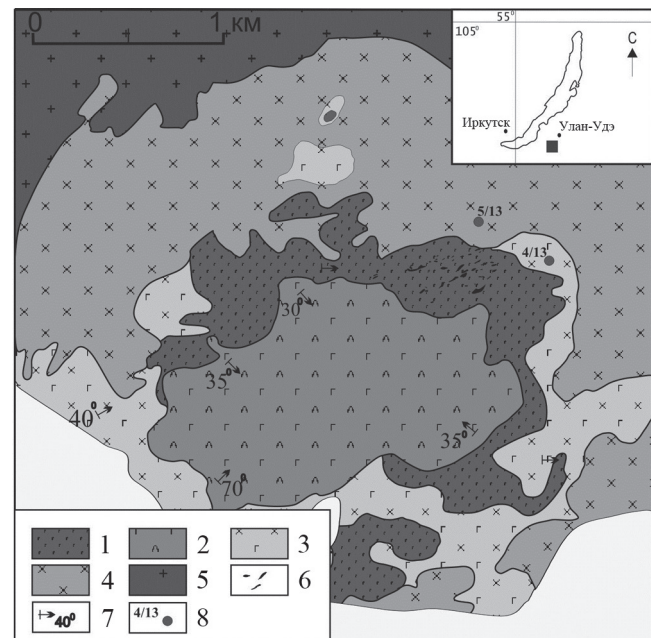
По циркону (SHRIMP-II) в ЦИИ ВСЕГЕИ установлен U-Pb возраст габброидов и сиенитов. Зерна последнего вместе с Geostandartszircon 91500 с принятым возрастом 1065 млн лет были имплантированы в эпоксидную смолу и затем отполированы. Для выбора участков датирования на поверхности зерен использовали оптические и катодолюминесцентные изображения, отражающие внутреннюю структуру минералов. Технология измерения U-Pb отношений и расчеты возраста описаны в статье Ю.Л. Ронкина с соавторами [2005].

Уран-свинцовый возраст методом лазерной абляции определен на приборе LA-ICP-MS [Хубанов и др., 2016] на масс-спектрометре высокого разрешения Element XR (Thermo Fisher Scientific) с системой пробоотбора UP-213 (New Wave Research) в ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ). Датирование выполнено по единичным зернам цирконов, имплантированным в эпоксидную смолу вместе с зернами цирконовых стандартов TEMORA-II [Black et al., 2004] и Plesovice [Slama et al., 2008]. Возраст оценен методом построения  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ – $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  диаграммы с конкордией и вычисления средневзвешенных значений с помощью макроса ISOPLOT-3 [Ludwig, 2003].

Изотопные составы кислорода в силикатах определены в Геологическом институте СО РАН В.Ф. Посоховым. Измерения проведены на масс-спектрометре Finigan MAT 253 в режиме постоянного потока гелия.

### ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Массив, состоящий из базитовых и сиенитовых пород, имеет овальную форму, слегка удлинённую в меридиональном направлении, занимает площадь около 20 км<sup>2</sup>. Габброиды слагают южную часть плутона, а сиениты – северную. Базитовые породы представлены расслоенной серией, состоящей из габбро, оливковых и керсутитовых габбро, анортозитов, пироксенитов (рис. 1). Их контакты с вме-



**Рис. 1.** Схематическая карта Арсентьевского габбро-сиенитового массива [Богатиков, 1966], с дополнениями [Бадмацыренова и др., 2011].

1 – оливковое габбро, пироксениты, габбро, габбро-нориты; 2 – лейкогаббро и анортозиты; 3 – биотитовые сиениты; 4 – щелочно-полевошпатовые сиениты; 5 – гранитогнейсы; 6 – титаномagnetитовые рудные тела; 7 – элементы залегания трахитоидности; 8 – места отбора проб на геохронологические и геохимические исследования.

**Fig. 1.** Schematic map of the Arsenteyevsky gabbro-syenite massif [Bogatikov, 1966], with additions [Badmatsyrenova et al., 2011].

1 – olivine gabbro, pyroxenites, gabbro, gabbro-norites; 2 – leukogabbros and anorthosites; 3 – biotite syenites; 4 – alkali-feldspar syenites; 5 – granite-gneiss; 6 – titanium-magnetite ore bodies; 7 – elements of occurrence of trachytoidity; 8 – place sampling for geochronological and geochemical research.



щающими породами и прорывающими щелочно-полевошпатовыми сиенитами неровные, с многочисленными бухтообразными затеками и выступами сиенитов в габбро. Главными породообразующими минералами габброидов являются оливин, плагиоклаз ( $An_{32-55}$ ), клино- и ортопироксен, второстепенными – амфибол, биотит, калиевый полевой шпат. *Оливиновое габбро* представляет собой меланократовые породы с высоким содержанием (6–8%) титаномагнетита. Они сложены плагиоклазом ( $An_{51-52}$ ), авгитом, оливином, керсутитом, биотитом, гиперстеном, в числе акцессорных присутствуют апатит, шпинель, ильменит, магнетит и гематит. *Пироксениты* встречаются в габброидах северной и южной частей массива. Пироксен в них представлен авгитом, в небольших количествах присутствует керсутит (3–5%). *Керсутитовое габбро* образует отдельные прослои с преобладающей венцовой микроструктурой. В лейкогаббро в виде прослоев наблюдаются *анортозиты*. Содержание плагиоклаза ( $An_{45}$ ) в них 75–85%. В подчиненных количествах присутствуют авгит, амфибол тремолит-актинолитового ряда. *Биотитовые сиениты* сложены калиевым полевым шпатом и плагиоклазом ( $An_{16-25}$ ), включают амфибол и биотит. *Щелочно-полевошпатовые сиениты* состоят из щелочных полевых шпатов, представлены в основном микропертитами, альбитом ( $An_{5-10}$ ) и акцессорными магнетитом, апатитом.

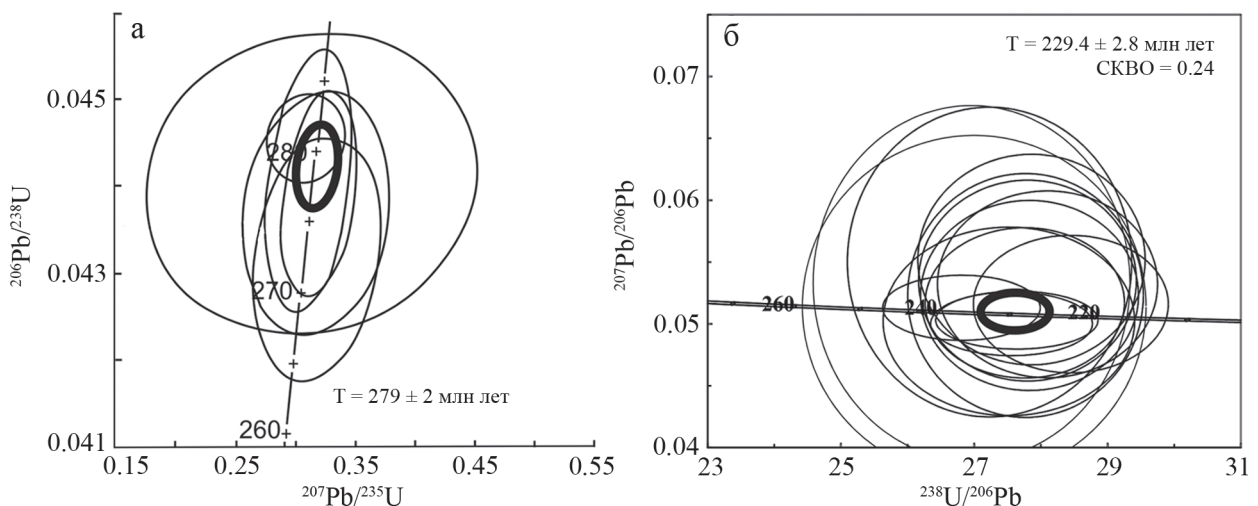
В массиве присутствуют син- и эпигенетические титаномагнетитовые руды. Сингенетический тип рассеянно-вкрапленных руд характерен для оливиновых габбро и габброидов с содержанием до 10% Fe-Ti минералов (магнетита, ильменита). В густо-

вкрапленных рудах количество рудных минералов достигает 40 об. %. К эпигенетическому типу относятся жиллообразные тела массивных руд, сложенные на 70–90% магнетитом, титаномагнетитом и ильменитом, содержащие небольшое количество сульфидов и шпинели.

## ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Впервые предположения о генетической близости сиенитов и основных пород хребта Моностой были высказаны С.М. Смирновым и А.И. Перелыгиной [1959], а О.А. Богатиковым сиениты отнесены к дифференциатам основной магмы. Возраст сиенитов массива, полученный K-Ar методом О.А. Богатиковым, [1966] составил  $168 \pm 7$ , для базитов –  $306 \pm 15$  млн лет. Омоложение сиенитов проинтерпретировано как следствие их метаморфизма под воздействием более молодых мезозойских гранитов. Позднее, на основании взаимоотношений Арсентьевского массива с раннепалеозойскими гранитами, габброиды были отнесены к образованиям, предшествующим раннепалеозойским гранитам, а сиениты – к интрузивам мезозойского возраста [Гордиенко и др., 1978].

U-Pb определение возраста габбро дало значение  $279.5 \pm 2.0$  млн лет (рис. 2а), а датирование рубидий стронциевым методом сиенитов II фазы –  $238 \pm 22$  млн лет [Бадмацыренова и др., 2011]. Несмотря на неоднозначность геохронологических данных, массив тем не менее был отнесен к единой магматической габбро-сиенитовой формации двухфазного строения [Богатиков, 1966; Бадмацыренова, Орсов, 2006]. К числу доказательств генети-



**Рис. 2.** U-Pb диаграмма (SHRIMP-II) с конкордией цирконов из габброидов (а) и щелочно-полевошпатовых сиенитов (б) Арсентьевского массива.

**Fig. 2.** U-Pb diagram (SHRIMP-II) with a concordium of zircons from gabbroids (а) and alkali-feldspar syenites (б) of Arsenyevsky massif.

ческой близости габбро и сиенитов, кроме их пространственной совмещенности, причислены субщелочной характер габброидов, а также повышенная основность сиенитов [Бадмацыренова, Бадмацыренов, 2011].

Для оценки характера связи базитов и сиенитов нами проведено дополнительное геохронологическое исследование. Изучены щелочно-полевошпатовые и биотитовые сиениты, находящиеся на периферии Арсентьевского массива (см. рис. 1). Из них выделен циркон, по которому методами SHRIMP-II (ВСЕГЕИ) и лазерной абляции (г. Улан-Удэ, ГИН СО РАН) определен уран-свинцовый возраст. Проанализированные биотитовые сиениты по минеральному и химическому составу соответствуют сиенитам первой фазы.

U-Pb возраст по циркону (SHRIMP-II) из щелочно-полевошпатовых сиенитов Арсентьевского массива дал значение  $229.4 \pm 2.8$  млн лет (рис. 2б). Для проверки полученного результата проведено изучение сиенитов методом лазерной абляции, которое для биотитовых сиенитов дало значение  $226.0 \pm 2.4$  млн лет (рис. 3а), щелочно-полевошпатовых –  $228.0 \pm 2.4$  млн лет (рис. 3б).

Столь существенная дистанцированность возраста сиенитов и габброидов не дает возможности предлагать вариант их генетической связи. По геохронологическим данным, сиениты массива совпадают с куналейским интрузивным комплексом, в котором щелочно-полевошпатовые сиениты имеют возраст  $230.1 \pm 0.7 - 229.1 \pm 0.6$  млн лет [Цыганков и др., 2010].

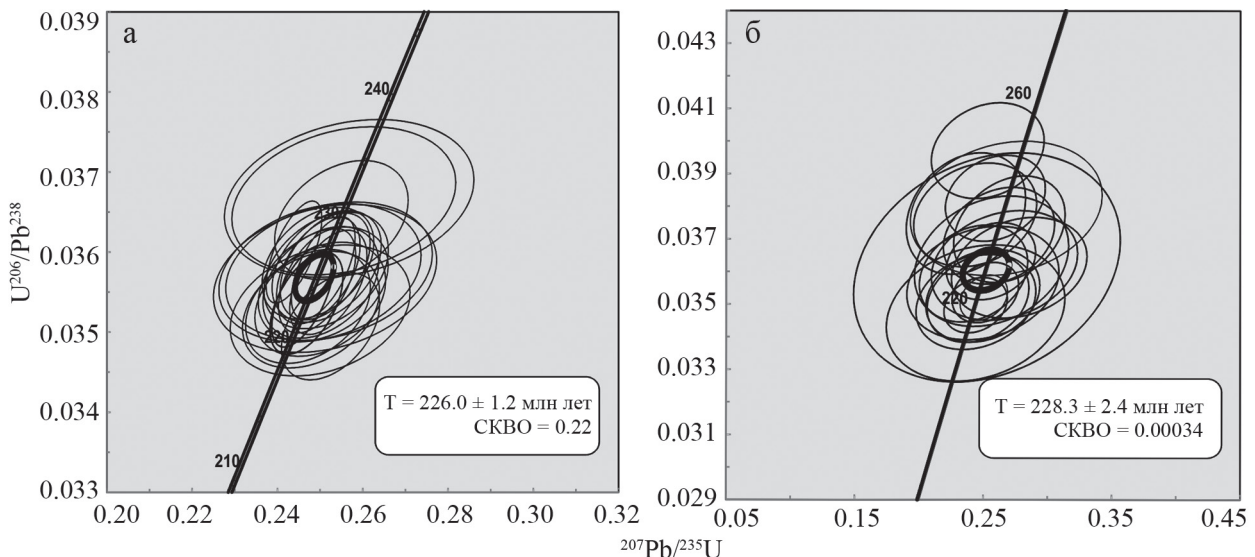
## ПЕТРО- И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД

Петро- и геохимические данные, включая изотопные, как и геохронологические, не поддерживают вариант генетической связи габброидов и сиенитов.

В породах базитовой серии фиксируется стандартный тренд эволюции составов от меланократовых разностей к завершающим лейкократовым (рис. 4). Формирование пород сопровождалось увеличением содержания кремнезема, глинозема, натрия и уменьшением – магния, кальция. Повышенные концентрации натрия определено формированием анортозитов на этапе, завершающем образование пород базитовой серии.

Сиениты существенно отличаются от анортозитов по содержанию примесных элементов, включая рубидий, ниобий, стронций. На графиках нормированного содержания РЗЭ в сиенитах в отличие от анортозитов фиксируется отчетливая отрицательная европиевая аномалия. Отношения  $Eu/Eu^*$  в анортозитах составило 1.84–5.00, сиенитах – 0.68–0.70.

Петро- и геохимические особенности сиенитов, как и в случае возраста, близки к таковым пород мезозойского Куналейского комплекса. Последние характеризуются высокой щелочностью ( $Na_2O - 3.50-4.80$ ,  $K_2O - 4.00-5.41$ ), железистостью ( $FeO - 3.0-4.5$ ), низким содержанием кальция ( $CaO - 0.5-0.8$ ), и титана ( $TiO_2 - 0.1-0.4$ ) (все в мас. %) [Занвилевич и др., 1985].



**Рис. 3.** U-Pb диаграмма лазерной абляции с конкордией для цирконов Арсентьевского массива.

а – биотитовые сиениты, б – щелочно-полевошпатовые сиениты.

**Fig. 3.** U-Pb diagram of laser ablation with a concordium for zircons of the Arsenevsky massif.

а – biotite syenites, б – alkali-feldspar syenites.

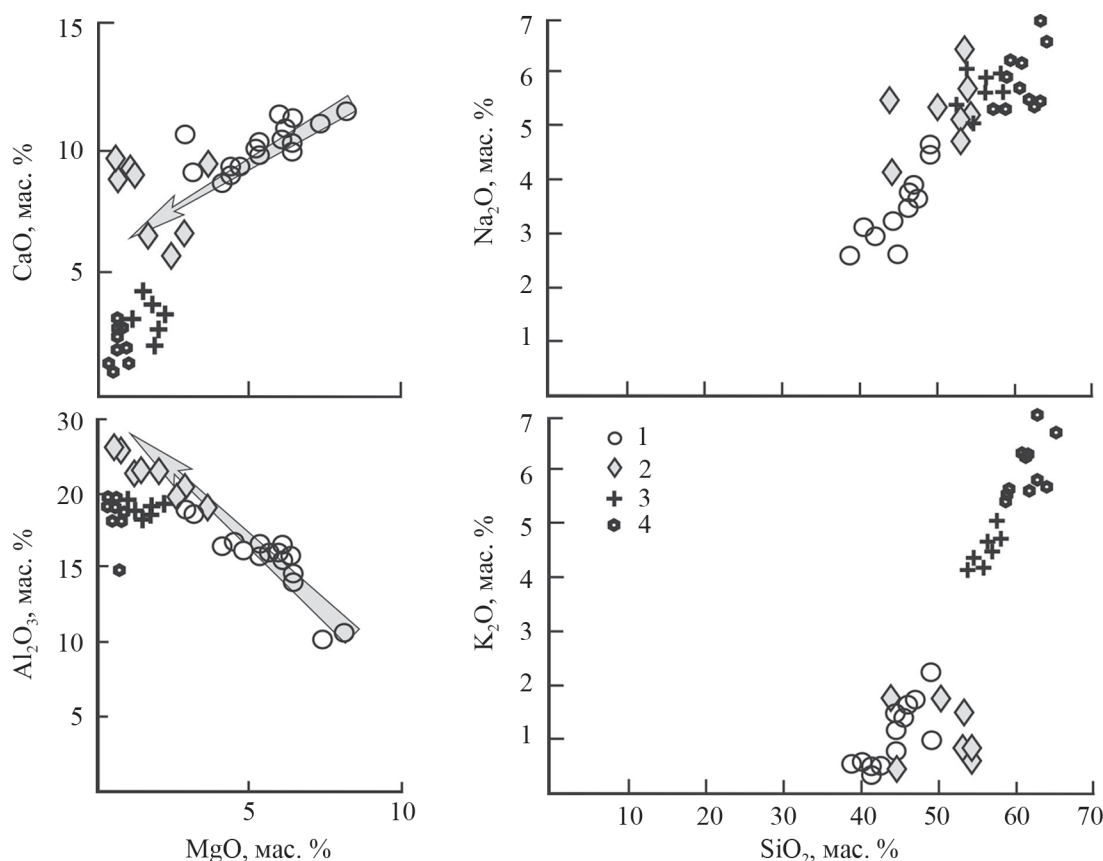


Рис. 4. Вариационные диаграммы пород Арсентьевского массива.

1 – габбро, 2 – анортозиты, 3 – биотитовые сиениты, 4 – щелочно-полевошпатовые сиениты.

Fig. 4. Variational diagrams of rocks of the Arsenyevsky Massif.

1 – gabbro, 2 – anorthosite syenites, 3 – biotite syenites, 4 – alkali-feldspar syenites.

Таким образом, результаты исследования показывают, что по геохронологическим и геохимическим данным биотитовые и щелочно-полевошпатовые сиениты Арсентьевского массива не могут представлять собой единую габбро-сиенитовую магматическую серию, а являются самостоятельной фазой, близкой к сиенитам позднекуналейского комплекса.

Исследования выполнены при поддержке проектов РФФИ № 17-05-00129, 18-45-030016 p\_a.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреева О.А. (2017) Магматическая эволюция вулкана Чанбайшань Тяньчи (Северо-Восточный Китай) по данным изучения включений минералообразующих сред. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: ИГЕМ РАН, 26 с.
- Бадмацыренова Р.А., Бадмацыренов М.В. (2011) Источники базитового магматизма Западного Забайкалья в позднем палеозое по геохимическим и изотопным данным. *Геология и геофизика*, **52**(6), 807-818.

Бадмацыренова Р.А., Ларионов А.Н., Бадмацыренов М.В. (2011) Титаноносный Арсентьевский массив (Западное Забайкалье): новые Sm-Nd геохронологические данные. *Изв. СО Секции наук о Земле РАН*, **38**(1), 132-138.

Бадмацыренова Р.А., Орсов Д.А. (2006) Титаноносный расслоенный Арсентьевский массив (Западное Забайкалье): новые U-Pb изохроны и изотопно-геохимические данные. "Изотопное датирование процессов рудообразования, магматизма, осадконакопления и метаморфизма". Мат-лы III Рос. конф. по изотопной геохронологии. Т. 1. М.: ГЕОС, 2006. С. 65-70.

Богатиков О.А. (1966) Петрология и металлогения габбро-сиенитовых комплексов Алтае-Саянской области. М.: Наука, 365 с.

Бородин Л.С., Дзянхуа Ю., Сянлин Ц. (1992) Петрохимия и вопросы генезиса рапакиви-сиенитовых комплексов (Бердяуш, Южный Урал и Миунь, северная часть Северо-Китайской платформы). *Геохимия*, (8), 1160-1171.

Владимиров А.Г., Изох А.Э., Поляков Г.В., Бабин Г.А., Мехоношин А.С., Крук Н.Н., Хлестов В.В., Хромых С.В., Травин А.В., Юдин Д.С., Шелепаев Р.А.,

- Кармышева И.В., Михеев Е.И. (2013) Габбро-гранитные интрузивные серии и их индикаторное значение для геодинамических реконструкций. *Петрология*, **21**(2), 177-201.
- Глазунов О.М. (1975) Геохимия и петрология габбро-пироксенитовой формации Восточного Саяна. Новосибирск: Наука, 205 с.
- Гордиенко И.В., Андреев Г.В., Кузнецов А.Н. (1978) Магматические формации палеозоя Саяно-Байкальской горной области. М.: Наука, 220 с.
- Грудинин М.И., Гилев А.Ю., Коваленко С.Н. (2001) Габбро-сиенитовый комплекс Левого Безымянной (Южное прибайкалье). "Геодинамические режимы формирования Центрально-Азиатского складчатого пояса". Сб. науч. тр. ИГУ. М.: Интернет Инжиниринг, 20-29.
- Довгаль В.Н. (1968) Раннепалеозойские габбро-сиенитовые формации центральной части Алтае-Саянской складчатой области. М.: Наука, 208 с.
- Занвилевич А.Н., Литвиновский Б.А., Андреев Г.В. (1985) Монголо-Забайкальская щелочно-гранитоидная провинция. М.: Наука, 232 с.
- Кривенко А.П. (1973) Сиенит-габбровый pluton Б. Таскыл в Кузнецком Алатау. Новосибирск: Наука, 106 с.
- Литвиновский Б.А., Занвилевич А.Н., Бурдуков И.В., Карманов Н.С. (1998) Сиениты как продукт фракционной кристаллизации щелочно-базальтовой магмы Ошурковского массива, Забайкалье. *Петрология*, **6**(1), 30-53.
- Рипп Г.С., Изброев И.А., Дорошкевич А.Г., Ласточкин Е.И., Рампилов М.О., Бурцева М.В. (2013) Ошурковский базитовый pluton: хронология, изотопно-геохимические и минералогические особенности, условия образования. М.: ГЕО СО РАН, 172 с.
- Ронкин Ю.Л., Матуков Д.И., Пресняков С.Л., Лепихина Е.И., Лепихина О.П., Попова О.Ю. (2005) "In situ" U-Pb SHRIMP датирование цирконов нефелиновых сиенитов Бердяшского массива (Южный Урал). *Литосфера*, (1), 132-142.
- Смирнов С.М., Перелыгина А.И. (1959) О некоторых основных чертах строения и рудоносности массивов основных и средних пород в хребте Моностой (Бурятская АССР). *Изв. вузов. Геология и разведка*, (6), 3-12.
- Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д., Цыганков А.А. (2016) U-Pb Изотопное датирование цирконов из PZ<sub>3</sub>-MZ магматических комплексов Забайкалья методом магнитно-секторной масс-спектрометрии с лазерным пробоотбором: процедура определения и сопоставление с SHRIMP данными. *Геология и геофизика*, **57**(1), 241-258.
- Цыганков А.А., Литвиновский Б.А., Джань Б.М., Рейков М., Лю Д.И., Ларионов А.Н., Пресняков С.Л., Лепехина Е.Н., Сергеев С.А. (2010) Последовательность магматических событий на позднепалеозойском этапе магматизма Забайкалья (результаты U-Pb изотопного датирования). *Геология и геофизика*, **51**(9), 1249-1276.
- Black L.P., Kamo S.L., Allen C.M., Davis D.W., Aleinikoff J.N., Valley J.W., Mundil R., Campbell I.H., Korsch R.J., Williams I.S., Foudoulis C. (2004) Improved <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U microprobe geochronology by the 258 monitoring of a trace-element-related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards. *Chem. Geol.*, **205**, 115-140.
- He Zh-Y., Xu X-Sh., Niu Y. (2010) Petrogenesis and tectonic significance of a Mesozoic granite-syenite-gabbro association from inland South China. *Lithos*, **119**, 621-641.
- Litvinovsky B.A., Jahn B., Zanzvilevich A.N., Shadaev M.G. (2002) Crystal fractionation in the petrogenesis of an alkali monzodiorite-syenite series: the Oshurkovo plutonic sheeted complex, Transbaikalia, Russia. *Lithos*, **64**, 97-130.
- Ludwig K.R. (2003) User's Manual for ISOPLOT/Ex 3.00. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochron. Center. Spec. Publ.*, **4**, 70 p.
- Simpson E.S. (1954) The Okonjeje igneous complex, S.W. Africa. *South African J. Geol.*, **57**(1), 125-175.
- Sláma J., Košler J., Condon D.J., Crowley J.L., Gerdes A., Hanchar J.M., Horstwood M.S.A., Morris G.A., Nasdala L., Norberg N., Schaltegger U., Schoene B., Tubrett M.N., Whitehouse M.J. (2008) Plesovice zircon – A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chem. Geol.*, **249**, 1-35.
- Upton B., Wright I. (1961) Intrusion of gabbro and granophyre in the Snaefellsnaes. *Western Iceland. Geol. Mag.*, **98**(6), 89-97.
- Xie G., Mao J., Xiongwei L., Duan Ch., Yao L. (2011) Late Mesozoic bimodal volcanic rocks in the Jinniu basin, Middle-Lower Yangtze River Belt (YRB), East China: Age, petrogenesis and tectonic implications. *Lithos*, **127**(1), 144-164.

## REFERENCES

- Andreeva O.A. (2017) *Magmaticeskaya evolyutsiya vulkana Chanbaishan' Tyan'chi (Severo-Vostochnyi Kitai) po dannym izucheniya vlyucheniya mineraloobrazuyushchikh sred.* Avtoref. Dis. ... kand. geol.-min. nauk [Magmatic evolution of the Changbai Mountain of Tianchi (Northeast China) according to the study of inclusions of mineral-forming media. Cand. geol. and min. sci. diss.]. Moscow, IGEM RAS, 26 p. (In Russian)
- Badmatsyrenova R.A., Badmatsyrenov M.V. (2011) Sources of basic magmatism of the Western Transbaikalia in the Late Paleozoic by geochemical and isotopic data. *Geol. Geofiz.*, **52**(6), 807-818. (In Russian)
- Badmatsyrenova R.A., Larionov A.N., Badmatsyrenov M.V. (2011) Titanium-bearing Arsen'evsky Massif (Western Transbaikalia): new SIMS U-Pb geochronological data. *Izv. SO Sektzii nauk o Zemle RAEN*, **38**(1), 132-138. (In Russian)
- Badmatsyrenova R.A., Orsoev D.A. (2006) Titanium-bearing stratified Arsenevsky massif (Western Transbaikalia): new U-Pb isochrones and isotope-geochemical data. "Izotopnoe datirovanie protsessov rudoobrazovaniya, magmatizma, osadkonakopleniya i metamorfizma". Materialy III Ros. konf. po izotopnoi geokhronologii. T. 1 [Isotope dating of the processes of ore formation, magmatism, sedimentation and metamorphism. Proc. III Russian Conf. on isotope geochronology]. Moscow, GEOS Publ., 65-70. (In Russian)
- Black L.P., Kamo S.L., Allen C.M., Davis D.W., Aleinikoff J.N., Valley J.W., Mundil R., Campbell I.H., Korsch R.J., Williams I.S., Foudoulis C. (2004)



- Improved  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  microprobe geochronology by the 258 monitoring of a trace-element-related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards. *Chem. Geol.*, **205**, 115-140.
- Bogatikov O.A. (1966) *Petrologiya i metallogeniya gabbro-syenitovykh kompleksov Altae-Sayanskoi oblasti* [Petrology and metallogeny of gabbro-syenite complexes of the Altai-Sayan region]. Moscow, Nauka Publ., 365 p. (In Russian)
- Borodin L.S., Dzyankhua Yu., Syanlin Ts. (1992) Petrochemistry and the genesis of the rapakivi-syenite complexes (Berdyush, South Ural and Miyun, northern part of the North China Platform). *Geokhimiya*, (8), 1160-1171. (In Russian)
- Dovgal' V.N. (1968) *Rannepaleozoiskie gabbro-syenitovye formatsii tsentral'noi chasti Altae-Sayanskoi skladchatoi oblasti* [Early Paleozoic gabbro-syenite formations of the central part of the Altai-Sayan folded region]. Moscow, Nauka Publ., 208 p. (In Russian)
- Glazunov O.M. (1975) *Geohimiya i petrologiya gabbro-piroksenitovoi formatsii Vostochnogo Sayana* [Geochemistry and petrology of the gabbro-pyroxenite formation of the Eastern Sayan]. Novosibirsk, Nauka Publ., 205 p. (In Russian)
- Gordienko I.V., Andreev G.V., Kuznetsov A.N. (1978) *Magmaticheskie formatsii paleozoya Sayano-Baikal'skoi gornoi oblasti* [Magmatic formations of the Paleozoic of the Sayano-Baikal mountain region]. Moscow, Nauka Publ., 220 p. (In Russian)
- Grudin M.I., Gilev A.Yu., Kovalenko S.N. (2001) Gabbro-syenite complex of Levaya Bezymyannaya (Southern Baikal region). "Geodinamicheskie rezhimy formirovaniya Tsentral'no-Aziatskogo skladchatogo poyasa". Sbornik nauchnykh trudov [Geodynamic regimes of the formation of the Central Asian fold belt. Collection sci. works IGU]. Moscow, Internet Inzhiniring Publ., 20-29. (In Russian)
- He Zh-Y., Xu X-Sh., Niu Y. (2010) Petrogenesis and tectonic significance of a Mesozoic granite-syenite-gabbro association from inland South China. *Lithos*, **119**, 621-641.
- Hubanov V.B., Buyantuev M.D., Tsygankov A.A. (2016) U-Pb Isotope dating of zircons from PZ3-MZ magmatic complexes of Transbaikalia using magnetic-sector mass spectrometry with laser sampling: the procedure for determining and comparing with SHRIMP data. *Geol. Geofiz.*, **57**(1), 241-258. (In Russian)
- Krivenko A.P. (1973) *Sienit-gabbrovyyi pluton B. Tuskyl v Kuznetskom Alatau* [The syenite-gabbro pluton B. Tuskyl in the Kuznetsk Alatau]. Novosibirsk, Nauka Publ., 106 p. (In Russian)
- Litvinovskii B.A., Zanzilevich A.N., Burdukov I.V., Karmanov N.S. (1998) Syenites as a product of fractional crystallization of alkaline-basalt magma of the Oshurkovsky massif, Transbaikalia. *Petrologiya*, **6**(1), 30-53. (In Russian)
- Litvinovskiy B.A., Jahn B., Zanzilevich A.N., Shadaev M.G. (2002) Cristal fractionation in the petrogenesis of an alkali monzodiorite-syenite series: the Oshurkovo plutonic sheeted complex, Transbaikalia, Russia. *Lithos*, **64**, 97-130.
- Ludwig K.R. (2003) User's Manual for ISOPLOT/Ex 3.00. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochron. Center. Spec. Publ., **4**, 70 p.
- Ripp G.S., Izbrodin I.A., Doroshkevich A.G., Lastochkin E.I., Rampilov M.O., Burtseva M.V. (2013) *Oshurkovskii bazitovyyi pluton: khronologiya, izotopno-geokhimicheskie i mineralogicheskie osobennosti, usloviya obrazovaniya* [Oshurkovsky basite pluton: chronology, isotope-geochemical and mineralogical features, conditions of formation]. Moscow, GEO SB RAS Publ., 172 p. (In Russian)
- Ronkin Yu.L., Matukov D.I., Presnyakov S.L., Lepikhina E.I., Lepikhina O.P., Popova O.Yu. (2005) "In situ" U-Pb SHRIMP dating of zircons from nepheline syenite of the Berdyushsky Massif (Southern Urals). *Litosfera*, (1), 132-142. (In Russian)
- Simpson E.S. (1954) The Okonjeje igneous complex, S.W. Africa. *South African J. Geol.*, **57**(1), 125-175.
- Sláma J., Košler J., Condon D.J., Crowley J.L., Gerdes A., Hanchar J.M., Horstwood M.S.A., Morris G.A., Nasdala L., Norberg N., Schaltegger U., Schoene B., Tubrett M.N., Whitehouse M.J. (2008) Plesovice zircon – A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chem. Geol.*, **249**, 1-35.
- Smirnov S.M., Perelygina A.I. (1959) On some basic features of the structure and ore content of the massifs of the basite and medium rocks in the Monostoi ridge (Buryat ASSR). *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Geologiya i razvedka*, (6), 3-12. (In Russian)
- Tsygankov A.A., Litvinovskii B.A., Dzhan' B.M., Reikov M., Lyu D.I., Larionov A.N., Presnyakov S.L., Lepikhina E.N., Sergeev S.A. (2010) Sequence of magmatic events in the Late Paleozoic stage of Transbaikalia magmatism (results of U-Pb isotope dating). *Geol. Geofiz.*, **51**(9), 1249-1276. (In Russian)
- Upton B., Wright I. (1961) Intrusion of gabbro and granophyre in the Snaefellsnaes. *Western Iceland. Geol. Mag.*, **98**(6), 89-97.
- Vladimirov A.G., Izokh A.E., Polyakov G.V., Babin G.A., Mekhonoshin A.S., Kruk N.N., Khlestov V.V., Khromykh S.V., Travin A.V., Yudin D.S., Shelepaev R.A., Karmysheva I.V., Mikheev E.I. (2013) Gabbro-granite intrusion series and their indicated significance for geodynamics reconstructions. *Petrologiya*, **21**(2), 177-201. (In Russian)
- Xie G., Mao J., Xiongwei L., Duan Ch., Yao L. (2011) Late Mesozoic bimodal volcanic rocks in the Jinniu basin, Middle-Lower Yangtze River Belt (YRB), East China: Age, petrogenesis and tectonic implications. *Lithos*, **127**(1), 144-164.
- Zanzilevich A.N., Litvinovskii B.A., Andreev G.V. (1985) *Mongolo-Zabaikal'skaya shchelochno-granitoidnaya provintsiya* [Mongolo-Transbaikalian Alkaline-Granitoid Province]. Moscow, Nauka Publ., 232 p. (In Russian)