

**COMPOSITION, AGE AND GEODYNAMIC POSITION OF ALKALINE ROCKS  
IN THE BORGROY AND BOTSY MASSIFS (DZHIDA ALKALINE PROVINCE)**I.A. Izbrodin <sup>1,3✉</sup>, A.G. Doroshkevich <sup>1,2</sup>, V.B. Khubanov <sup>2</sup>, E.A. Khromova <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 3 Academician Koptyug Ave, Novosibirsk 630090, Russia

<sup>2</sup> Dobretsov Geological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 6a Sakhyanova St, Ulan-Ude 670047, Republic of Buryatia, Russia

<sup>3</sup> Novosibirsk State University, 1 Pirogov St, Novosibirsk 630090, Russia

**ABSTRACT.** The Borgoy and Botsy massifs are a part of the Dzhida alkaline province of the Western Transbaikalia. It has been stated that the rocks of the Borgoy massif were formed during the period from 246 to 243 Ma, which coincides with the formation period of the Permian-Triassic alkaline magmatic rocks common in the Vitim province. The age obtained from the zircons in the Botsy massif ( $121\pm 1.0$  Ma) is typical of the final stage of the transformation of the rocks related to rifting and alkali basalt lava flow. The presence of negative Nb-Ta anomaly and a relative enrichment in Rb, Ba, Sr and U imply interaction between the material of the plume and the earlier accretionary complexes of the subduction zones.

**KEYWORDS:** Borgoy and Borsy massifs; nepheline and alkaline syenites; U-Pb dating; material sources

**FUNDING:** A geological study of the area was done as part of state assignments of IGM SB RAS (FWZN-2022-0024) and GIN SB RAS (AAAA-A21-121011390002-2), the study of material constitution and age of alkaline syenites – as part of the RSCF project 22-17-00078 (<https://rscf.ru/project/22-17-00078/>).

**RESEARCH ARTICLE**

**Correspondence:** Ivan A. Izbrodin, [izbrodin@igm.nsc.ru](mailto:izbrodin@igm.nsc.ru)

Received: May 18, 2022

Revised: June 24, 2022

Accepted: July 13, 2022

**FOR CITATION:** Izbrodin I.A., Doroshkevich A.G., Khubanov V.B., Khromova E.A., 2023. Composition, Age and Geodynamic Position of Alkaline Rocks in the Borgoy and Botsy Massifs (Dzhida Alkaline Province). *Geodynamics & Tectonophysics* 14 (1), 0686. doi:10.5800/GT-2023-14-1-0686

## СОСТАВ, ВОЗРАСТ И ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД БОРГОЙСКОГО И БОЦИНСКОГО МАССИВОВ (ДЖИДИНСКАЯ ЩЕЛОЧНАЯ ПРОВИНЦИЯ)

И.А. Избродин<sup>1,3</sup>, А.Г. Дорошкевич<sup>1,2</sup>, В.Б. Хубанов<sup>2</sup>, Е.А. Хромова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Новосибирск, пр-т Академика Коптюга, 3, Россия

<sup>2</sup> Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, Республика Бурятия, Россия

<sup>3</sup> Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 1, Россия

**АННОТАЦИЯ.** Боргойский и Боцинский массивы входят в состав Джидинской щелочной провинции Западного Забайкалья. Установлено, что породы Боргойского массива были сформированы в интервале 246–243 млн лет и совпадают с пермско-триасовым этапом формирования щелочных магматических пород, распространенных в Витимской провинции. Полученный возраст по цирконам Боцинского массива ( $121 \pm 1.0$  млн лет) характеризует заключительный этап преобразования пород, связанный с рифтогенезом и излиянием щелочных базальтов. Наличие отрицательной Nb-Ta-аномалии и относительное обогащение Rb, Ba, Sr и U свидетельствуют о вероятном взаимодействии вещества плюма с ранее сформированными аккреционными комплексами зон субдукции.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Боргойский и Боцинский массивы; нефелиновые и щелочные сиениты; U-Pb датирование; источники вещества

**ФИНАНСИРОВАНИЕ:** Изучение геологии района проводилось в рамках госзаданий ИГМ СО РАН (FWZN-2022-0024) и ГИН СО РАН (АААА-А21-121011390002-2), изучение вещественного состава и возраста щелочных сиенитов – за счет средств проекта РНФ 22-17-00078 (<https://rscf.ru/project/22-17-00078/>).

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В Забайкалье выделяется несколько региональных линейных (палеорифтовых) структур, в пределах которых распространены интрузивы нефелинсодержащих щелочных пород: Северобайкальская (5 массивов), Витимская (около 20 массивов), Восточноаянская (8 массивов) и Джидинская (10 небольших проявлений и массивов). Геохронологическое исследование щелочных массивов, распространенных на Витимском плоскогорье, позволило выявить неоднократное внедрение продуктов щелочного магматизма в период от палеозоя до раннего мезозоя [Doroshkevich et al., 2012a, 2012b, 2018; Izbrodin et al., 2017, 2020]. В противоположность, достоверный возраст пород других сегментов остается на настоящий момент не вполне определенным. Время формирования массивов Восточноаянского сегмента оценивается интервалом 720–470 млн лет [Konev, 1982; Nikiforov, Yarmolyuk, 2007]. Для Северобайкальского сегмента выделяется два возрастных интервала – 310–280 млн лет [Kostyuk et al., 1990; Zhidkov et al., 1963; Kotov et al., 2013] и 200–186 млн лет [Ripp et al., 2006]. Для Джидинского сегмента нефелинсодержащих пород до последнего времени отсутствовали достоверные определения возраста, а имеющиеся геохронологические K-Ar и Rb-Sr данные варьировались в интервале от 189 до 108 млн лет [Naletov, 1957; Andreev et al., 1969, 2003]. Исходя из вышесказанного, можно констатировать, что полученные возрастные данные для этого сегмента не позволяют достоверно установить последовательность формирования нефелинсодержащих комплексов; кроме того, для щелочных пород отсутствуют изотопные и геохимические характеристики, необходимые для

оценки условий генерации щелочных магм. В статье представлены новые результаты геохронологического (U-Pb LA ICP MS) изучения цирконов из Боргойского и Боцинского нефелин-сиенитовых интрузивов, которые в сочетании с петролого-геохимическими и изотопными данными позволили оценить вероятные источники магм и их геодинамическую природу.

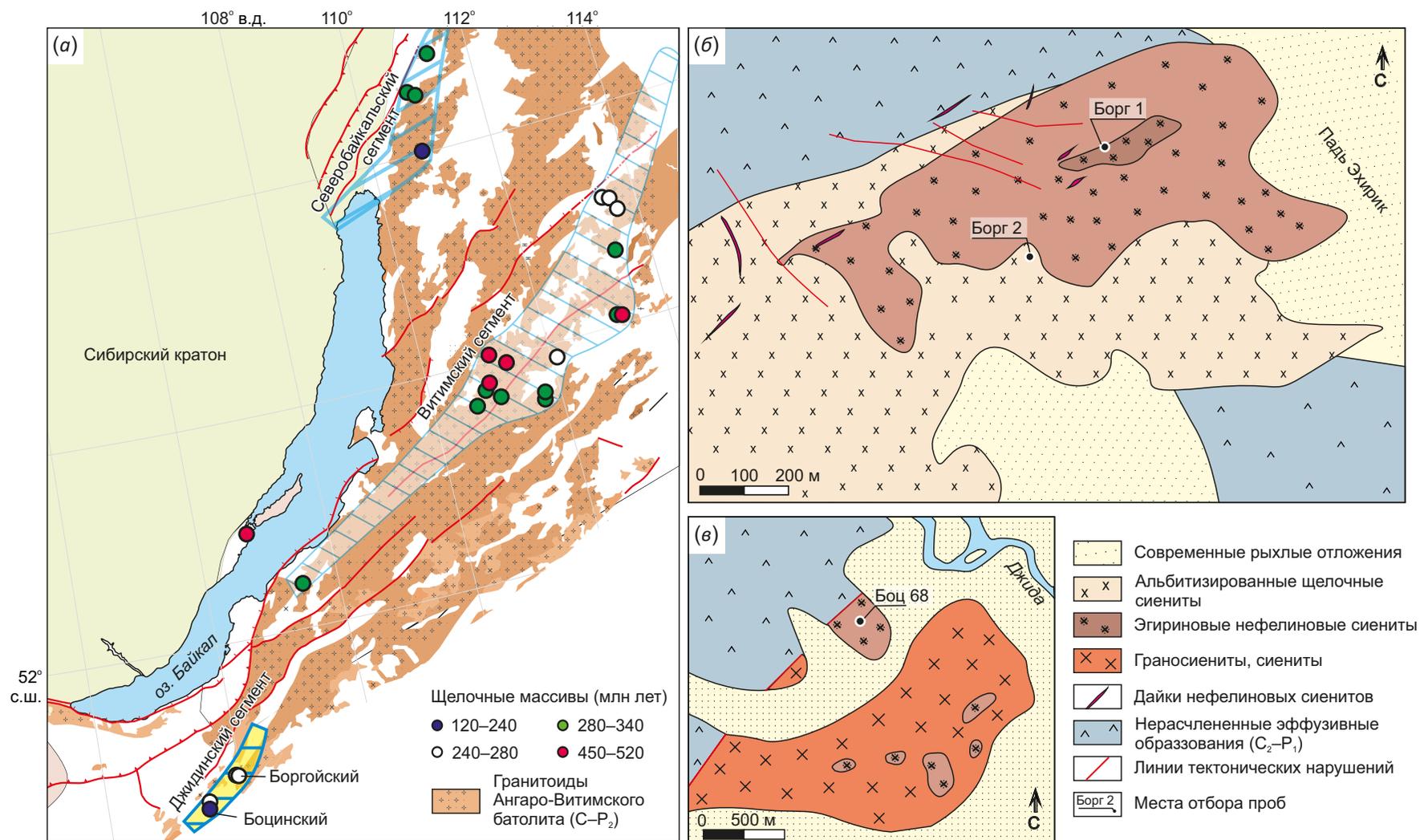
### 2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Большая часть аналитических данных получена с использованием оборудования ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ). Определение содержаний главных петрогенных окислов в породах выполнено методами классической «мокрой химии»; изучение химического состава минералов проведено на электронном сканирующем микроскопе LEO 1430 VP, оснащенный энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 350; U-Pb геохронологические исследования цирконов методом LA-SF-ICP-MS РАН (г. Улан-Удэ) выполнены по методике, описанной в работе [Khubanov et al., 2016]. Определение микроэлементного состава выполнено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) в ЦКП ИГХ СО РАН (г. Иркутск).

Изучение Sm-Nd и Rb-Sr систем проводилось в Институте геологии и геохронологии докембрия им. В.С. Соболева РАН (г. Санкт-Петербург) по методике, подробно описанной в работе [Savatenkov et al., 2004].

### 3. КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАССИВОВ

Боргойский массив нефелиновых сиенитов – самый крупный среди проявлений в Джидинском сегменте.

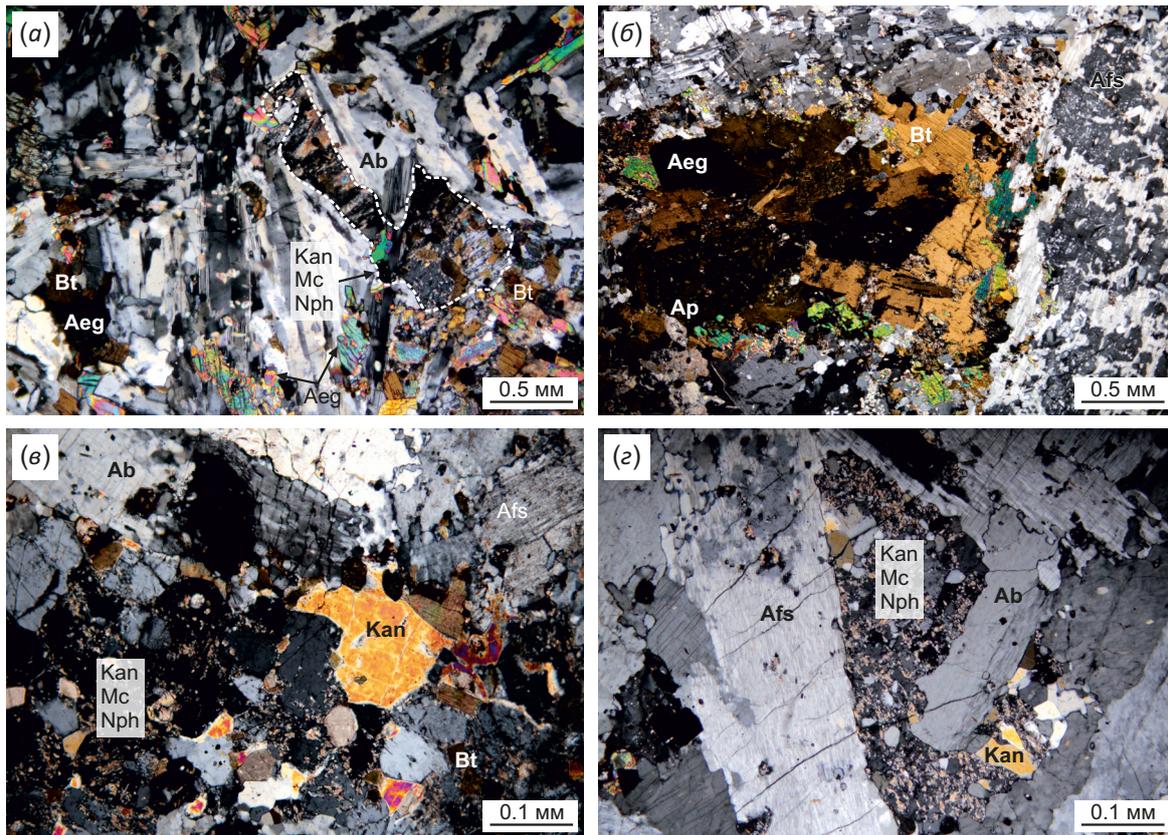


**Рис. 1.** Схема размещения массивов палеозойских – раннемезозойских щелочных пород Западного Забайкалья (а); схематическая геологическая карта Боргойского массива по [Andreev et al., 1969, с дополнениями авторов] (б) и схематическая геологическая карта Боцинского массива на основе государственной геологической карты СССР масштаба 1:200000 (фрагмент листа m-48-XVI) (в).

**Fig. 1.** Scheme of location of the Paleozoic – Early Mesozoic alkaline rocks of Western Transbaikalia (a); schematic geological map of the Borgoy intrusion after [Andreev et al., 1969, as modified by the authors] (б); schematic geological map of the Botsy intrusion, based on the Geological map of the USSR, scale 1:200000 (m-48-XVI) (в).

Прежде всего массив рассматривался как источник алюминиевого сырья и детально изучался при подсчетах запасов. Рудными являются тела порфировидных и пегматоидных нефелиновых сиенитов. Среднее содержание глинозема – 19.75 %, кремнезема – 56.2 %. Запасы категории С2 подсчитаны в количестве 42.8 млн т. Вмещающими породами массива являются метаморфизованные эффузивы кислого состава карбонового возраста. Вблизи массива эффузивы сильно изменены и представлены породами калишпат-альбитового состава, в которых нередко наблюдаются секущие прожилки, сложенные эгирином и гастингситом. Массив в плане представляет собой сравнительно небольшое (1.5×2.5 км) штокообразное интрузивное тело, вытянутое в северо-восточном направлении. По данным [Andreev et al., 1969], большая часть массива сложена альбитизированными биотитовыми сиенитами и мелко-, средне- и крупнозернистыми разновидностями нефелиновых сиенитов (рис. 1, а). Переходы между породами постепенные, при этом для всех разновидностей наблюдается четко выраженная трахитоидность и неравномерная альбитизация.

Структура нефелинсодержащих пород гипидиоморфно-зернистая, иногда переходящая в аллотриоморфно-зернистую. Породы сложены микроклин-пертитом (60–65 %), нефелином (до 25 %), альбитом (10–20 %), клинопироксеном и биотитом (рис. 2, а, б). В качестве акцессорных присутствуют кальцит, апатит, гранат, магнетит, циркон, пироклор, флюорит. Распределение нефелина неравномерное. В некоторых частях сиенитов он не сохранился и наблюдаются лишь его реликты, замещенные гидрослюдистым минералом, канкринитом, иногда – карбонатом. Среди нефелиновых сиенитов встречаются ксенолиты метаморфизованных эффузивов, биотитовых сланцев и сиенит-порфиров. Биотитовые сиениты сложены таблитчатыми и изометричными зернами альбита и калинатрового полевого шпата, в интерстициях которых расположен биотит (до 10–15 %). В качестве второстепенных минералов установлен апатит, циркон, карбонат, редко – гранат и эгирин. Структура пород гипидиоморфно-зернистая, переходящая в гранобластовую. Все породы секутся дайками нефелиновых сиенитов мощностью от 0.1 до 5.0 м.



**Рис. 2.** Характер взаимоотношений минералов в нефелиновых и щелочных сиенитах Боргойского (Борг-1 – (а), Борг-2 – (б)) и Боцинского (Боц-72 – (е), Боц-68 – (з)) массивов.

Ab – альбит, Afs – калиевый полевой шпат, Nph – нефелин, Aeg – эгирин, Ap – апатит, Kan – канкринит, Bt – биотит, Mc – слюдястый агрегат. Фотография шлифов, николи скрещены.

**Fig. 2.** Nature of the relationship of minerals in nepheline-bearing and alkaline syenites of the Borgoy (Borg-1 – (a), Borg-2 – (б)) and Botsy (Bots-72 – (е), Bots-68 – (з)) intrusions.

Ab – albite, Afs – potassium feldspar, Nph – nepheline, Aeg – aegirine, Ap – apatite, Kan – cancrinite, Bt – biotite, Mc – micaceous aggregate. A photograph of a thin-section (crossed nicols).

Нефелиновые сиениты Боцинского массива расположены в 4 км к северо-западу от села Боций. Массив на поверхности обнажается в виде небольшого тела размером 10×5 м. Скважинами оно прослежено на глубину 50–70 м [Kuznetsova, 1975], а по простиранию – на 800 м [Andreev et al., 1969], что указывает на его маломощный характер. Нефелиновые сиениты залегают среди биотитовых сиенитов. По данным бурения [Kuznetsova, 1975] сверху вниз наблюдается некоторая вертикальная зональность интрузива. До глубины 100 м прослеживаются слабоизмененные биотитовые сиениты, переходящие в интенсивно альбитизированные сиениты на глубине 100–150 м, а с интервала 150–180 м залегают эгириновые и роговообманковые сиениты, не содержащие нефелин. На проявлении широко распространены вторичные изменения, представленные альбитизацией и развитием мелкочешуйчатого слюдястого агрегата.

Структура нефелиновых сиенитов гипидиоморфно-зернистая, при альбитизации гранобластовая, замещения. По своему минеральному составу породы схожи с таковыми на Боргойском интрузиве. В составе пород преобладают таблитчатые и неправильно-таблитчатые зерна мезопертита (размер зерен до 2–3 мм), в интерстициях которых расположен альбит и эгирин. Нефелин присутствует в виде неправильных зерен (размером до 1.5 мм), неравномерно замещенных канкринитом (как правило, по периферии зерен) и мелкочешуйчатой слюдой (рис. 2, в, г). В качестве второстепенных и аксессуарных присутствует кальцит, биотит, апатит, циркон, титанит, магнетит, фергусонит, пироксид и торит. Биотитовые сиениты по своему составу аналогичны сиенитам, встреченным на Боргойском интрузиве.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ U-Pb ДАТИРОВАНИЯ ЦИРКОНОВ

Для определения времени становления Боргойского массива были проанализированы цирконы из мелкозернистых нефелиновых сиенитов (проба Борг-1) и крупнозернистых альбитизированных разностей (проба Борг-2). В мелкозернистых разновидностях присутствуют бесцветные зерна циркона размером до 200 мкм, тогда как во вторых их размер достигает 400–500 мкм, а зерна имеют коричневую окраску.

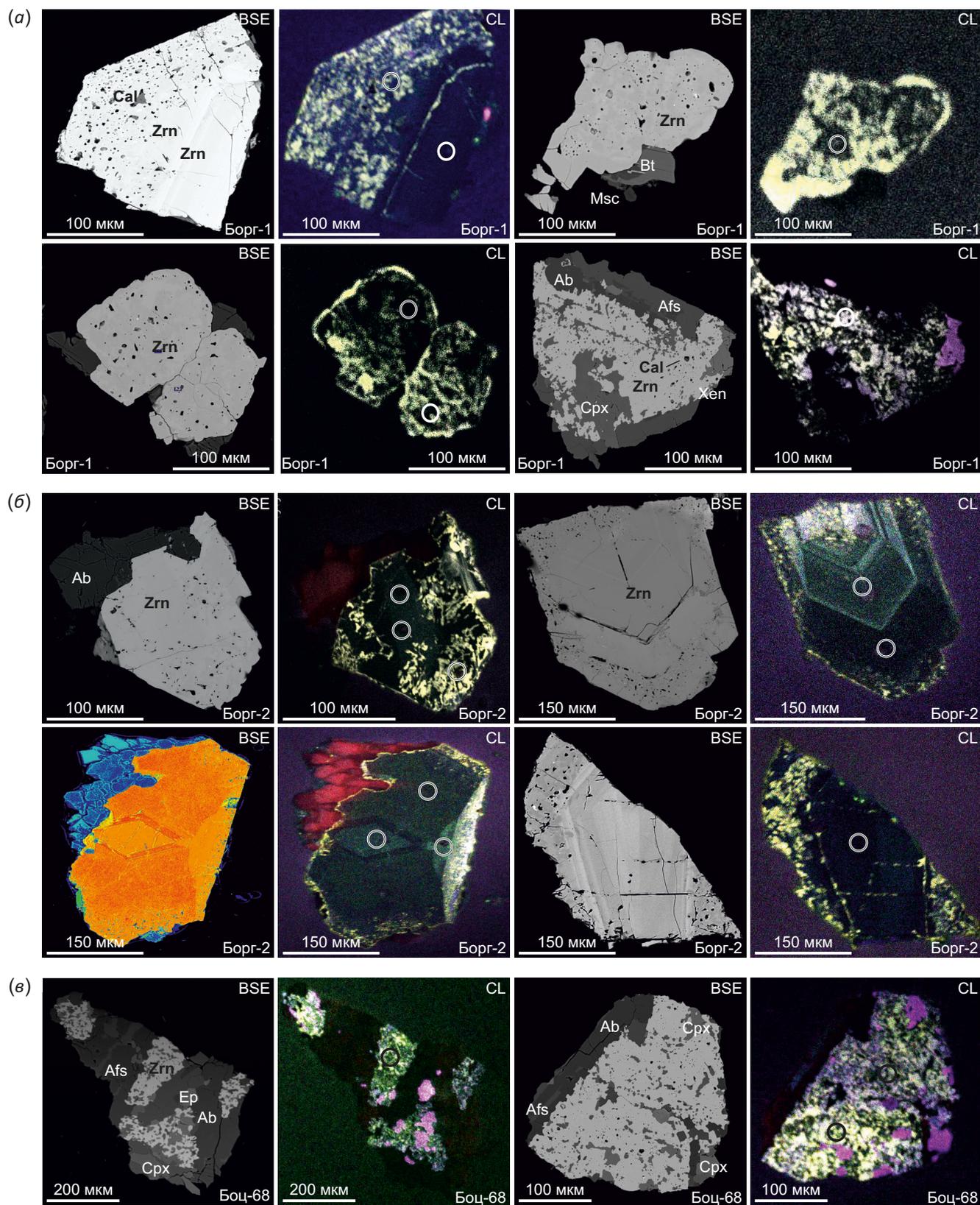
По морфологии и внутреннему строению циркон в нефелиновых и альбитизированных разностях имеет ряд близких черт. Цирконы характеризуются сложным внутренним строением в BSE и CL спектрах. В них наблюдается «пористая» оболочка и относительно однородная центральная часть, либо в пределах зерен циркона встречаются многочисленные твердые минеральные включения, представленные альбитом, кальцитом, нефелином, недиагностированными фазами алюмо-магний-марганцевых силикатов. Включения имеют неправильную, округлую форму, размером до 5–10, иногда более 50 мкм, они либо приурочены к краевым частям циркона, либо относительно равномерно распределены в границах минерала. Значительно реже

присутствуют единичные микровключения U-пироксидов и торита, которые приурочены к зонам перекристаллизованного циркона. Часть зерен не имеет четких кристаллографических очертаний, интенсивно трещиноваты.

В катодолюминесцентном изображении большая часть зерен имеют неоднородную структуру, обусловленную присутствием участков (3–7 микрон) со светлым свечением, а также секторами, для которых характерна четко выраженная пористость (рис. 3), свидетельствующая о более поздних эпизодах вторичного преобразования. Значительно реже встречаются кристаллы со слабовыраженной кристаллизационной зональностью или относительно гомогенной структурой, а следы замещения отмечаются только в краевых частях (рис. 3).

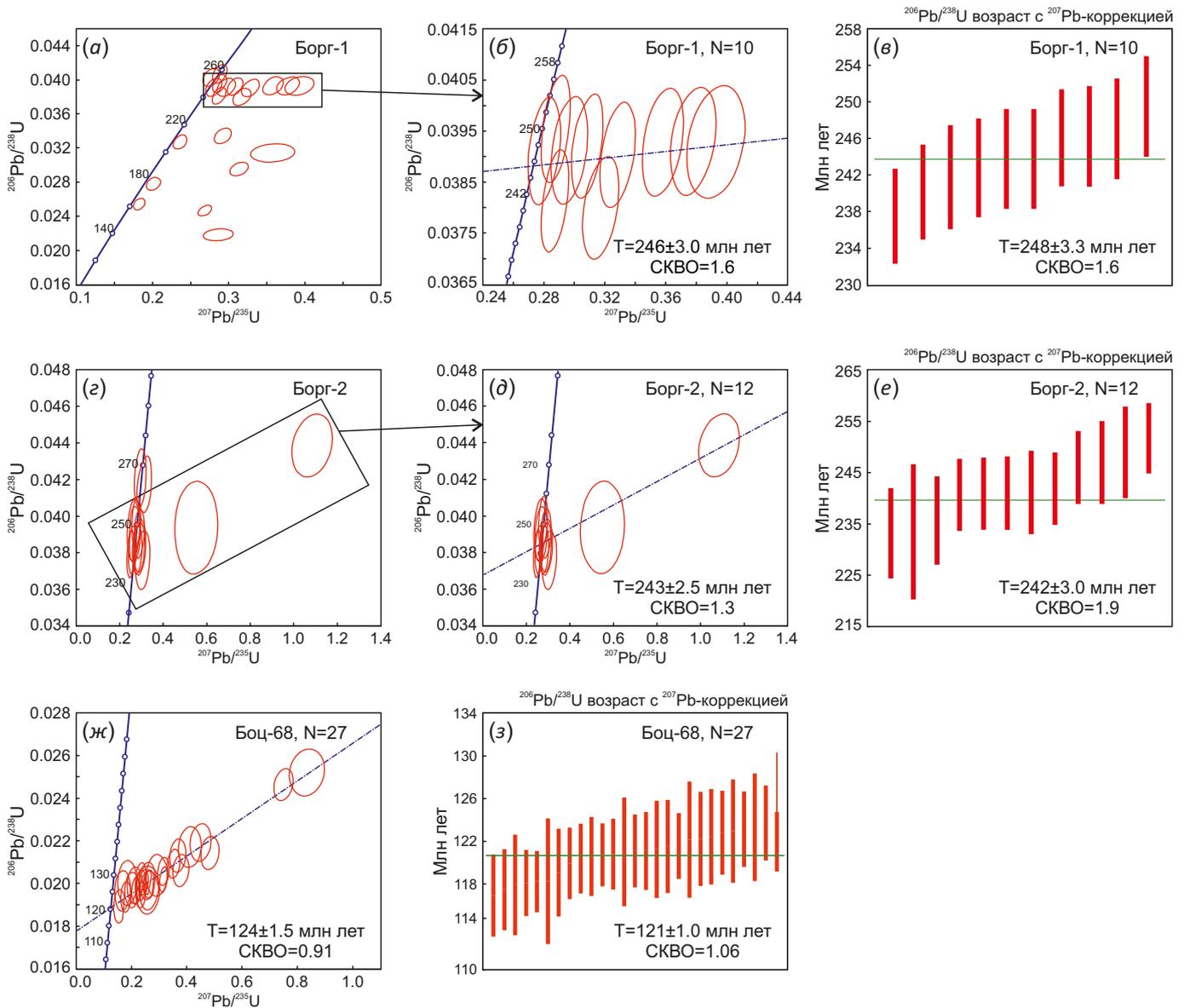
U-Pb геохронологические исследования цирконов из сиенитов Боргойского массива (Прил. 1, табл. 1.1) показали значительный разброс возрастов (рис. 4) в интервале 266–131 млн лет, а существенная часть значений имеют дискордантные величины. Для цирконов с однородной внутренней структурой (темные сектора в CL изображении) из проб Борг-1 (10 определений) и Борг-2 (12 определений), не содержащих включений других минералов, получены статистически достоверные линейные тренды с возрастом  $246 \pm 3$  и  $243 \pm 2.5$  млн лет соответственно (рис. 4, б, д). Расчет средневзвешенного возраста по отношению  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  при коррекции измеренного изотопного состава свинца на содержание обыкновенного по изотопу  $^{207}\text{Pb}$  составил  $248 \pm 3.3$  (проба Борг-1) и  $242 \pm 3.0$  (проба Борг-2) млн лет. Полученное значение возраста, с учетом их внутреннего строения, интерпретируется нами как время формирования сиенитов. Значения возрастов, зафиксированные моложе этого интервала, мы связываем с воздействием более позднего термального события и перекристаллизацией циркона, а разброс значений, вероятнее всего, связан с различной гидротермальной проработкой. Важным геохимическим индикатором такого процесса является увеличение концентраций U и Th (Прил. 1, табл. 1.1). Значения с высоким содержанием U и Th, связанные с возможной ториевой минерализацией, не учитывались при расчете конкордантных возрастов методом пересечения.

Для определения возраста пород Боцинского проявления был отобран циркон из нефелиновых сиенитов (проба Боц-68). Характерной особенностью циркона является отсутствие четких кристаллографических форм, а зерна встречаются в виде агрегатов с калиевым полевым шпатом, альбитом и клинопироксеном. В свою очередь, в цирконе отмечаются мелкие (первые микрометры) включения, среди которых диагностированы клинопироксен, торит, U- и PЗЭ-пироксид, эпидот. В катодолюминесцентном изображении исследованные зерна циркона имеют неоднородное строение, схожее с пористыми перекристаллизованными частями цирконов из щелочных пород Боргойского массива. Во всех зернах отсутствуют признаки первичной



**Рис. 3.** Изображения представительных зерен циркона из нефелиновых и щелочных сиенитов Боргойского (Борг-1 – (а), Борг-2 – (б)) и Ботинского (Боц-68 – (е)) массивов в обратноотраженных электронах (BSE) и в режиме катодоллюминесценции (CL). Ab – альбит, Afs – калиевый полевой шпат, Bt – биотит, Cpx – клинопироксен, Ep – эпидот, Cal – кальцит, Msc – мусковит, Xen – ксенотим, Zrn – циркон.

**Fig. 3.** Representative BSE and CL images of zircon grains from nepheline-bearing and alkaline syenites of the Borgoy (Borg-1 – (a), Borg-2 – (б)) and Botsy (Bots-68 – (е)) intrusions. BSE – backscattered electrons, CL – cathodoluminescence mode. Ab – albite, Afs – potassium feldspar, Bt – биотит, Cpx – clinopyroxene, Ep – epidote, Cal – calcite, Msc – мусковит, Xen – xenotime, Zrn – zircon.



**Рис. 4.** Диаграммы с конкордией и диаграммы средневзвешенных  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  возрастов ( $\nu$ ,  $\epsilon$ ,  $\zeta$ ), скорректированных на обыкновенный свинец  $^{207}\text{Pb}$ - для цирконов из нефелиновых (Борг-1 – ( $a$ - $\nu$ ), Ботц-68 – ( $\text{ж}$ - $\zeta$ )) и щелочных (Борг-2 – ( $z$ - $\epsilon$ )) сиенитов Боргойского и Ботцинского массивов.

**Fig. 4.** Diagrams with concordia and average weighted  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  ages, corrected for base lead by the  $\text{Pb}^{207}$  method for zircons from nepheline- (Borg-1 – ( $a$ - $\nu$ ), Bots-68 – ( $\text{ж}$ - $\zeta$ )) and alkaline (Borg-2 – ( $z$ - $\epsilon$ )) syenites of the Borgoy and Botsy intrusions.

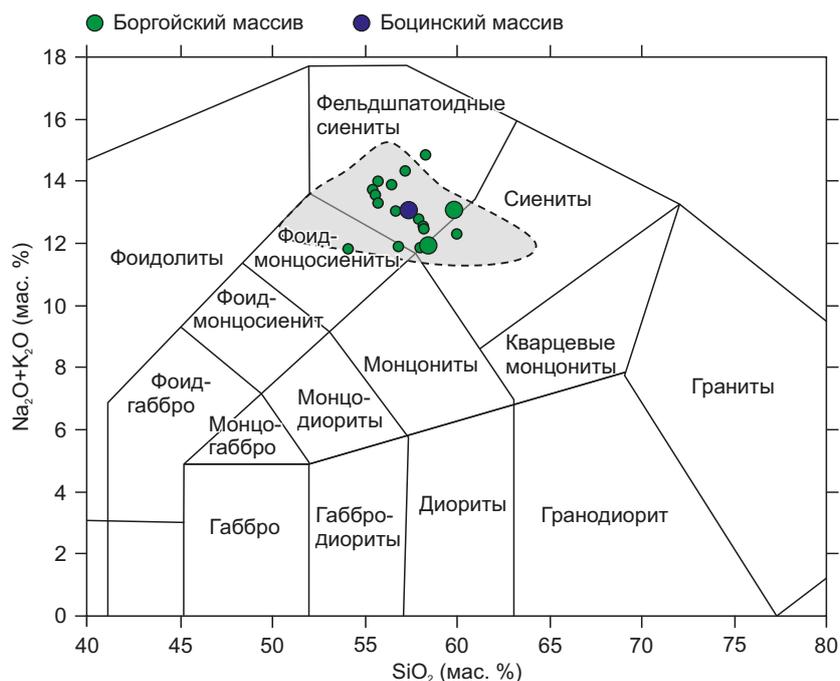
ростовой зональности и участки с однородным строением (см. рис. 3, в, обр. Ботц-68). Полученные значения возраста группируются в довольно узком диапазоне от 125 до 117 млн лет (рис. 4, ж). Скорректированный на нерадиоогенный свинец с  $^{207}\text{Pb}$ -поправкой средневзвешенный  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  возраст (рис. 4, з) составил  $121.0 \pm 1.0$  млн лет. Полученный возраст, вероятно, отражает поздний этап преобразования пород.

## 5. ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД

Химический состав пород представлен на рис. 5 и в табл. 1. Породы характеризуются варьирующимся количеством кремнезема (55–63 мас. %  $\text{SiO}_2$ ), повышенной

глиноземистостью (до 21 мас. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и щелочностью ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  – 9–13 мас. %) и преобладанием натрия над калием ( $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  – 1.0–1.8). В сиенитах коэффициент агпаитности ( $\text{Ka}=(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ , молекулярные количества) варьируется от 0.91 до 1.05. Для всех разновидностей сиенитов характерна низкая магнезиальность ( $\text{Mg}\#=0.4$ –2.1). В них отмечается низкое содержание титана и фосфора (табл. 1).

Графики содержаний РЗЭ для пород Боргойского и Ботцинского массивов, нормированные к хондриту, характеризуются близкой конфигурацией (рис. 6, а). Отмечается преобладание легких лантаноидов над тяжелыми.  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{cn}}$  отношения колеблются в пределах 8–11,  $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{cn}}=1.03$ –1.08. Породы характеризуются



**Рис. 5.** Положение точек составов пород Боргойского и Ботцинского массивов на классификационной диаграмме в координатах  $SiO_2 - (Na_2O+K_2O)$  [Middlemost, 1994].

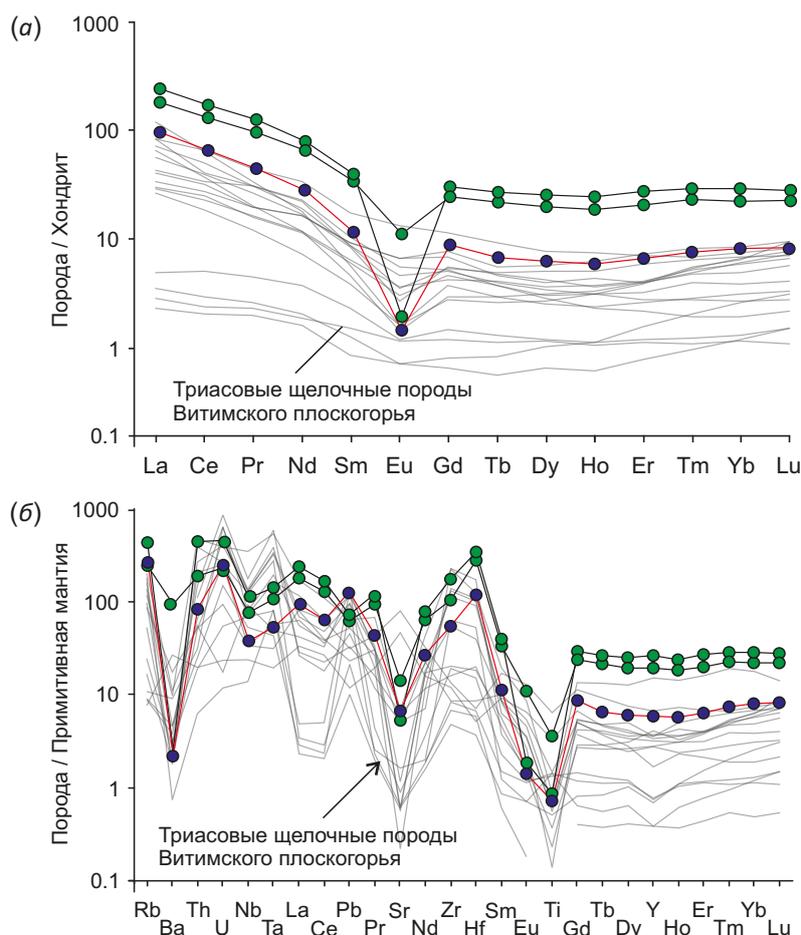
При построении диаграммы использованы данные из [Kuznetsova, 1975; Andreev et al., 2003]. Поле выделены триасовые щелочные породы Витимского сегмента, Западное Забайкалье (авторские данные).

**Fig. 5.** Composition of the rocks from the Borgoy and Botsy intrusions in classification diagram  $SiO_2 - (Na_2O+K_2O)$  [Middlemost, 1994]. Diagram plotted using the data from [Kuznetsova, 1975; Andreev et al., 2003]. The highlighted area stands for the alkaline rocks of the Vitim segment, Western Transbaikalia (author's data).

**Таблица 1.** Химический состав представительных образцов щелочных пород исследуемых массивов  
**Table 1.** Chemical composition of representative samples of alkaline rocks in the massifs studied

Компонент	Борг-1	Борг-2	Боц-68	Элемент	Борг-1	Борг-2	Боц-68	Элемент	Борг-1	Борг-2	Боц-68
$SiO_2$	59.90	58.50	57.40	Be	20.00	6.40	2.00	Sm	17.80	15.30	5.20
$TiO_2$	0.15	0.70	0.12	Ti	1178	4918	988	Eu	0.33	1.91	0.25
$Al_2O_3$	17.50	16.70	20.40	Mn	1742	1861	916	Gd	18.30	14.80	5.30
$Fe_2O_3$	5.55	4.27	4.34	Cu	9.70	5.50	9.00	Tb	2.90	2.40	0.74
FeO	0.25	2.58	1.64	Zn	238	181	208	Dy	19.00	15.00	4.60
MnO	0.22	0.22	0.11	Rb	288	163	187	Ho	4.10	3.10	0.99
MgO	0.14	0.67	0.32	Sr	116	312	145	Er	13.50	10.00	3.20
CaO	0.99	2.51	1.25	Y	126	92.00	28.00	Tm	2.20	1.73	0.57
$Na_2O$	7.78	7.12	8.00	Zr	2015	1203	629	Yb	14.60	11.20	4.10
$K_2O$	5.21	4.74	5.02	Nb	81.0	56.00	28.00	Lu	2.10	1.70	0.63
$P_2O_5$	<0.1	0.20	<0.1	Mo	0.30	0.43	0.72	Hf	45.00	26.00	12.90
п.п.п.	1.53	2.03	1.64	Cs	2.80	3.70	2.50	Ta	6.10	4.60	2.20
Сумма	99.22	100.24	100.24	Ba	18.5	679	16.57	W	1.01	0.51	0.64
$CO_2$	<0.22	<0.22	<0.22	La	169	127	67.00	Pb	13.80	11.90	25.00
S	<0.1	<0.1	<0.1	Ce	305	236	117	Th	37.00	15.80	7.00
F	0.36	0.17	0.02	Pr	35.00	27.00	12.60	U	9.90	5.00	5.50
$Fe_2O_{3\text{tot}}$	5.83	7.13	6.16	Nd	110	90.00	38.00				

Примечание. Основные компоненты в мас. %, элементы – в г/т.  
 Note. Basic components are in mass percent, elements – in g/t.



**Рис. 6.** Спектры распределения редкоземельных элементов, нормированных к хондриту [McDonough, Sun, 1995], и редких элементов, нормированных к примитивной мантии [Sun, McDonough, 1989], в щелочных породах Боргойского и Боцинского массивов. Серыми линиями показаны триасовые щелочные породы Витимского сегмента, Западное Забайкалье [Doroshkevich et al., 2018].

**Fig. 6.** Spectral distribution of rare earth elements normalized to chondrite [McDonough, Sun, 1995] and trace elements normalized to primitive mantle [Sun, McDonough, 1989] in alkaline rocks of the Borgoy and Botsy intrusions. The gray lines show the Triassic alkaline rocks of the Vitim segment, Western Transbaikalia [Doroshkevich et al., 2018].

**Таблица 2.** Результаты исследования Sm-Nd изотопной системы для щелочных пород Боргойского и Боцинского массивов  
**Table 2.** Sm-Nd isotope compositions of alkaline rocks of the Borgoy and Botsy intrusions

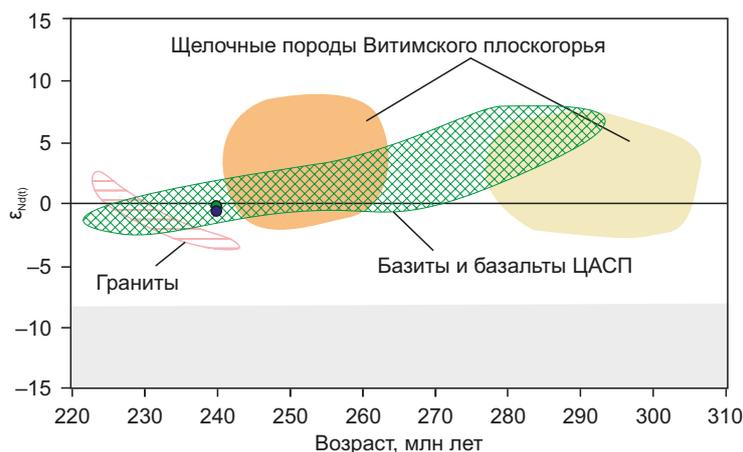
Порода	Sm, ppm	Nd, ppm	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	+/-2σ	εNd(T)
Борг-2	15.86	86.95	0.110294	0.512475	2	-0.53
Боц-68	6.23	46.70	0.080691	0.512450	3	-0.11

присутствием европиевой отрицательной аномалии ( $\text{Eu}/\text{Eu}^*=0.05\text{--}0.38$ ) (рис. 6, а). Породам свойственны более высокие суммарные концентрации REE (556–713 ppm) относительно триасовых щелочных пород Витимского сегмента (рис. 6). В значительной степени это может быть связано с широким развитием процессов альбитизации, которая сопровождается привнесением редкоземельных элементов.

На графиках, нормированных на состав примитивной мантии, отмечается общий характер поведения элементов для пород Боргойского и Боцинского массивов.

Для них характерны Ba, Nb, Ta, Sr и Ti отрицательные аномалии относительно соседних элементов, обогащение большинством редких элементов относительно примитивной мантии (рис. 6, б). В сравнении с позднепалеозойскими и раннемезозойскими щелочными породами Витимского сегмента в целом конфигурация кривых близка к последним с единственным отличием в более высоких содержаниях РЗЭ.

Значения изотопного состава неодима пород исследуемых массивов приведены в табл. 2 и на рис. 7. Величины εNd (240) в щелочных сиенитах Боргойского



**Рис. 7.** Диаграмма зависимости  $\epsilon_{Nd}(t)$  от возраста для щелочных пород Боргойского и Боцинского массивов. Приведены поля составов гранитов по [Lykhin, Yarmolyuk, 2015], базитов и базальтов – по [Yarmolyuk et al., 1997, 2000; Lykhin, Yarmolyuk, 2015], щелочных пород Витимского плоскогорья – по [Doroshkevich et al., 2018].

**Fig. 7.** Diagram of  $\epsilon_{Nd}(t)$  vs age of alkaline rocks of the Borgoy and Botsy intrusions. There are given the fields of compositions for granites [Lykhin, Yarmolyuk, 2015], mafic rocks and basalts [Yarmolyuk et al., 1997, 2000; Lykhin, Yarmolyuk, 2015], and alkaline rocks of the Vitim Plateau [Doroshkevich et al., 2018].

и Боцинского массивов имеют отрицательные значения  $-0.53$  и  $-0.11$  соответственно.

## 6. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

### 6.1. Время формирования щелочных массивов

Согласно геодинамическим реконструкциям, на рассматриваемой территории происходило неоднократное проявление внутриплитного магматизма, в результате которого сформировались крупные батолиты и обрамляющие рифтовые зоны [Kovalenko et al., 2003; Vorontsov et al., 1997, 2007; и др.]. В Джидинском сегменте наиболее широко проявлена позднемезозойская эндогенная активность в интервале 165–100 млн лет, которая сопровождалась формированием магматических и вулканоплутонических ассоциаций пород повышенной щелочности [Vorontsov, Yarmolyuk, 2004]. Следует отметить, что некоторыми исследователями щелочные породы Джидинского сегмента (Нижнеичетуйское, Зорменикское, Верхнебулыкское, Сухо-Хобольское, Белоозерское, Харасунское, Дабхорское, Орцеское, Боцинское и Боргойское) относились к разным интрузивным комплексам (Джидинскому, Боргойскому, Малокуналейскому), при этом Боргойский массив соответствовал мезозойскому возрасту, остальные – палеозойскому [Panina, 1972]. По мере поступления геохронологических данных время становления массивов значительно варьировалось – от 188–172 [Nalotov, 1957] до 115–108 млн лет [Andreev et al., 1969, 2003]. При этом было высказано предположение о генетической связи их с триасовыми щелочными гранитами [Panina, 1972] или с меловыми щелочными базальтоидами [Kuznetsova, 1975]. Выполненные геохронологические исследования в рамках ГДП-200 листов М-48-Х, XVI позволили установить, что Боргойский и Боцинский массивы имеют позднепалеозойский возраст (U-Pb метод, циркон,  $278 \pm 3.5$  млн лет) [Makariev et

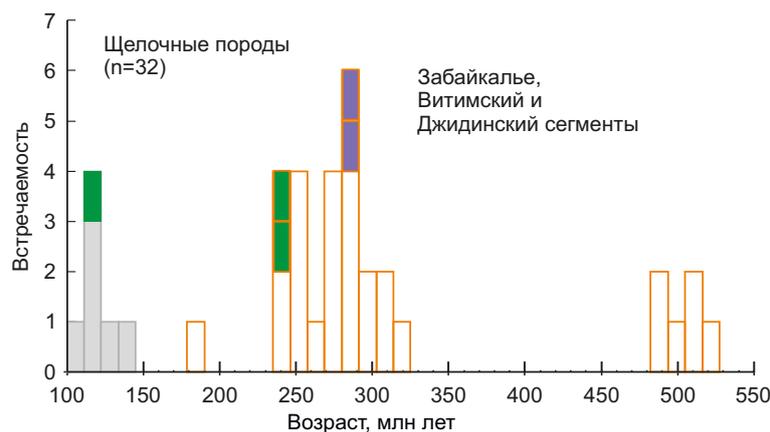
al., 2018]. Полученные в настоящей работе U-Pb изотопно-геохронологические данные по однородным частям цирконов, не содержащих включений других минералов, из нефелинсодержащих (проба Борг-1) и безнефелиновых (проба Борг-2) щелочных сиенитов имеют значения  $246 \pm 3.0$  и  $243 \pm 2.5$  млн лет соответственно. Они отличаются от опубликованных данных для нефелиновых сиенитов Боргойского массива [Makariev et al., 2018] и требуют пояснения. В работе [Makariev et al., 2018] приведены данные по циркону, не содержащему следов перекристаллизации и включений, а в катодолюминесцентном изображении зерна характеризуются ярким свечением с тонкой и секториальной зональностью, обычно характерной для магматических цирконов. Можно предположить, что такие цирконы могут отражать время кристаллизации нефелиновых сиенитов. Но геологические данные показывают, что нефелиновые сиениты Боргойского массива и дайки щелочных пород прорывают карбон-раннепермские вулканогенные образования (U-Pb метод, циркон,  $266 \pm 7$  млн лет) [State Geological Map..., 2009]. Имеющаяся разница в значениях возраста, полученных в данном исследовании и в работе [Makariev et al., 2018], а также различие во внутреннем строении позволяют предполагать наличие нескольких генераций циркона. Наиболее древние из них могут представлять собой ксенокристаллы, захваченные из вмещающих пород, и в этом случае их возраст не отражает время образования сиенитов. Стоит отметить, что для единичных цирконов получены значения возраста  $216 \pm 4.6$  млн лет [Makariev et al., 2018]. Подобную картину мы наблюдали для нефелиновых сиенитов Комского массива [Izbrodin et al., 2020], где в пределах одной пробы зафиксировано четыре возрастные группы цирконов с отсутствием ядер или вторичных изменений с наличием для древних популяций цирконов тонкой

секторальной зональности, наблюдаемой в катодолюминесцентном изображении. При этом наиболее «молодая» группа цирконов, отвечающая стадии образования нефелиновых сиенитов с возрастом  $314.1 \pm 6.6$  млн лет, характеризуется в катодолюминесцентном изображении темным однородным внутренним строением [Izbrodin et al., 2020], схожим с неизменными частями цирконов, выявленных нами на Боргойском массиве.

На гистограмме распределения геохронологических данных (рис. 8), построенных для щелочных пород Забайкалья, видно, что образование Боргойского массива по времени совпадает с триасовым этапом становления щелочных пород Витимского сегмента (Амалатский, Сириктинский, Ципинский, Право- и Верхнеулиглинский массивы) [Doroshkevich et al., 2018]. Полученный возраст Боргойского массива хорошо коррелируется со временем образования щелочных гранитов Забайкалья [Litvinovsky et al., 2011], некоторых интрузий кислого и основного состава в районе Селенги на севере Монголии [Li S. et al., 2013] и пород сиенит-щелочно-гранитного состава, распространенных в пределах Западно-Забайкальской бериллиевой провинции [Lykhin, Yarmolyuk, 2015]. В этот этап происходило формирование пород Катаевской вулканоплутонической ассоциации Западного Забайкалья [Donskaya et al., 2012]. Стоит отметить, что в этот период в пределах Сибирского кратона образовались крупные Хангайская и Сибирская изверженные провинции. При этом с учетом новых возрастных данных по щелочным породам и пространственному положению Джидинский сегмент принадлежит к Хангайской магматической провинции (возраст ее оценивается в интервале 269–243 млн лет [Yarmolyuk, Kuzmin, 2012]), которая

характеризуется редкометалльной минерализацией (Zr, Nb, PЗЭ) и связывается с деятельностью Хангайского мантийного плюма [Kuzmin, Yarmolyuk, 2014].

Учитывая общность петрохимического состава и геохимической специфики пород исследуемых массивов, можно полагать единым время их образования. Однако изучение цирконов из нефелиновых сиенитов Боцинского интрузива не позволило обнаружить неизменный магматический циркон, а присутствующий в породе минерал представлен исключительно «пористой» разновидностью с многочисленными минеральными включениями в виде эгирина, калиевого полевого шпата, альбита, эпидота, флюорита, пироклора, торита и других минералов. Время кристаллизации «пористого» циркона и, соответственно, наиболее позднего преобразования пород составило  $121 \pm 1.0$  млн лет (см. рис. 4, ж, з). Пока оценить геологическую значимость полученной даты не представляется возможным. С одной стороны, возраст пересечения, который был получен при построении дискордии, имеет незначительную погрешность и согласуется с определениями возраста, полученными Rb-Sr методом [Andreev et al., 1969]. С другой стороны, отсутствие реликтов циркона с зональностью магматического типа и собственных форм циркона, наличие многочисленных твердых включений, химическая неоднородность минерала – все это могло повлиять на результат локального датирования и не позволяет дать однозначную интерпретацию. Попытка геохронологического изучения наложенных процессов при исследовании пористых зон циркона на Боргойском интрузиве (проба Борг-1) выявила широкий разброс значений возрастов в интервале 159–121 млн лет, что не позволяет достоверно охарактеризовать этап преобразования циркона, хотя и



**Рис. 8.** Гистограмма распределения геохронологических данных для щелочных массивов Забайкалья. Возрастные (Ar-Ar и U-Pb методы) данные из работ [Doroshkevich et al., 2012a, 2012b, 2018; Izbrodin et al., 2017, 2020; неопубликованные данные авторов статьи]. Цветом показаны датировки для нефелиновых сиенитов Джидинского сегмента: серым – (K-Ar и Rb-Sr методы) из работ [Andreev et al., 1969, 2003; Kuznetsova, 1975; Konev, 1982]; фиолетовым – (U-Pb метод) из [Makariev et al., 2018], зеленым – данные этой статьи.

**Fig. 8.** Histogram of the distribution of geochronological data for the alkaline intrusions of Transbaikalia. The Ar-Ar and U-Pb ages are presented after [Doroshkevich et al., 2012a, 2012b, 2018; Izbrodin et al., 2017, 2020; unpublished authors's data]. The color shows the dates for the nepheline syenites of the Dzhida segment: gray – K-Ar and Rb-Sr from [Andreev et al., 1969, 2003; Kuznetsova, 1975; Konev, 1982]; purple – U-Pb from [Makariev et al., 2018]; green – from the present paper.

фиксирует воздействие более позднего термального события. Пористые структуры цирконов обычно связывают с щелочным метасоматозом и участием растворов, богатых фтором, натрием и тяжелыми РЗЭ [Sarangua et al., 2018]. Вполне вероятно, что постмагматические процессы (альбитизация, калишпатизация, нефелинизация), отмеченные на данных массивах [Smirnov, 1961; Panina, 1972; Andreev et al., 1969; и др.], могли привести к преобразованию циркона. Однако на изученных объектах возраст постмагматических событий, как правило, не превышает первые миллионы лет, как, например, было выявлено для щелочных пород Ципинского, Право- и Верхнеулигинского массивов Западного Забайкалья [Doroshkevich et al., 2018] и Рябинового массива Южной Якутии [Shatova et al., 2017]. На изученных объектах наблюдается существенный разрыв этих событий, и, вполне вероятно, что породы подверглись неоднократному преобразованию. Сходная картина эволюции циркона была описана для Ельтьозерского щелочного интрузивного комплекса [Sharikov et al., 2015] и рудоносных сиенитов Ястребецкого месторождения [Levashova et al., 2016], где магматический циркон частично замещался пористым цирконом со сложным внутренним строением, а рассчитанный U-Pb возраст такого циркона существенно отличался. Все вышесказанное позволяет сделать вывод, что рассматриваемые породы подверглись более позднему термальному воздействию, зафиксированному в позднем мезозое. Стоит отметить, что в период 130–120 млн лет происходили интенсивные процессы континентального рифтогенного магматизма (выделяемые как области локальной внутриплитной активности) с формированием позднемезозойско-кайнозойской Западно-Забайкальской рифтовой зоны [Andryushchenko et al., 2010].

## 6.2. Характеристика источника щелочных магм и геодинамические следствия

По величине  $\epsilon\text{Nd}(T)$  щелочные сиениты Боргойского и Бойчинского массивов имеют схожие слабоотрицательные величины, что также не противоречит мантийному протолисту щелочных магм. Первичное изотопное отношение  $\epsilon\text{Nd}(T)$ , полученное для щелочных пород Боргойского массива, схоже с таковыми для даек базитового состава и мезозойских гранитов Малокуналейского массива, распространенных в пределах F-Be месторождений Забайкалья [Lykhin, Yarmolyuk, 2015], что свидетельствует в пользу их генерации из мантийного источника.

Существуют две наиболее вероятные точки зрения на формирование магматических пород в пермско-триасовый интервал времени в данном регионе. Одна из них связывается с деятельностью Хангайского мантийного плюма (или горячей точки) [Yarmolyuk, Kuzmin, 2012], другая – с субдукционными процессами на активной континентальной окраине [Donskaya et al., 2013; Ernst, 2014]. Есть все основания предполагать, что исследуемые массивы, совместно с вышеупомянутыми

интрузивами Монголии и Витимского сегмента, локализованными в единой структуре ЦАСП, являются продуктами надсудуционного магматизма. В частности, палеомагнитные и геодинамические реконструкции Центрально-Азиатского складчатого пояса свидетельствуют о том, что в период перми – триаса имел место процесс закрытия Монголо-Охотского океана и слияния континентальных блоков: Сибири, Казахского, Таримского и Северокитайского [Xiao et al., 2018]. Параллельно с этим происходила финальная стадия коллажа террейнов на территории восточной части современной Монголии [Zorin, 1999] с окончательным закрытием Монголо-Охотского океана в конце юрско-раннемелового периода [Tomurtogoo et al., 2005]. В этот временной интервал вдоль Монголо-Охотского шва на активной окраине формировались многочисленные интрузии гранитоидов, габброидов и ультрамафит-мафитов, образующие магматический триасовый пояс ЦАСП [Izokh et al., 1998; Mao et al., 2014; Li Y. et al., 2017; Wang et al., 2021; Gordienko, 2021].

Однако в то время территория Западного Забайкалья находилась глубоко в тылу от Монголо-Охотского палеобассейна и представляла собой коллаж разновозрастных террейнов различной геодинамической природы [Bulgatov, Gordienko, 1999]. Конвергентные структуры Монголо-Охотского палеоокеана от Джидинской и Витимской провинций находились восточнее более чем на 500 км, т.е. развитие щелочного магматизма происходило во внутриконтинентальной (внутриплитной) обстановке. Высокая щелочность и мантийные изотопные метки не противоречат этим условиям. Следует отметить, что редкоэлементные характеристики щелочных пород Джидинской провинции не дают однозначного ответа на вопрос о геодинамической природе расплавов. Изученные щелочные комплексы обладают характеристиками (Nb, Ta и Ti отрицательные аномалии, обогащены Pb и LREE), которые обычно свойственны островодужным надсубдукционным комплексам. При этом, несмотря на некоторые различия, их геохимические и изотопные характеристики близки к таковым пермско-триасовых разновидностей щелочных пород Витимского сегмента [Doroshkevich et al., 2018].

Можно предположить два события, влияющих на геохимические особенности щелочных пород Джидинской провинции. Во-первых, во внутриконтинентальных условиях магмы мантийного происхождения во время своего подъема к поверхности могут подвергаться значительной коровой контаминации. Вторая точка зрения предполагает, что литосферная мантия, вовлеченная в процессы плавления, изначально имела примесь корового материала. В частности, близкими геохимическими характеристиками обладают предшествующие карбон-пермские базальтоиды и габброиды Западного Забайкалья, для которых реконструируется гидратированный флогопит-гранатовый мантийный источник с повышенным содержанием ряда несовместимых элементов [Tsygankov et al., 2016]. Производные

плавления подобной мантии будут обладать относительным дефицитом высоkozарядных и обогащением крупноионных и редкоземельных элементов. Считается, что «обогащение» литосферной мантии происходит в результате ее модификации (метасоматизации) при взаимодействии с субдцируемым веществом. В качестве примера предлагаемой геодинамической обстановки предлагается модель погружения Западно-Тихоокеанской плиты и продвижения ее блоков далеко на запад под Евразийской плитой [Zhao et al., 2010]. Аналогичным образом субдцируемый слэб мог проникнуть в тыл пермско-триасовой Монголо-Охотской активной окраины и повлиять на состав, включая повышение фертильности литосферной мантии Западного Забайкалья.

Для объяснения причин плавления подобной литосферной мантии во внутриплитных условиях наименее противоречива модель мантийного плюма. В частности, воздействием мантийного плюма на модифицированную литосферную мантию и нижнюю кору можно объяснить формирование крупных магматических провинций, в том числе гранитоидных ареал-плутонов (батолитов) с рифтовым базитовым и щелочным магматизмом в их периферийных областях [Kuzmin, Yarmolyuk, 2014; Khubanov et al., 2021].

## 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Время формирования щелочных и нефелиновых сиенитов Боргойского массива относится к раннемезозойскому этапу (246–243 млн лет), что позволяет считать его весьма близким ко времени щелочного магматизма Витимского плоскогорья и Хангайской крупной гранитоидной провинции. Возраст нефелиновых сиенитов Боцинского массива достоверно не установлен, а фиксируется преобразование пород в интервале 126–121 млн лет.

Возрастная корреляция процессов пермско-триасового магматизма и анализ геохимических и изотопных характеристик указывают на высокую вероятность взаимодействия мантийного плюма и надсубдукционной литосферы.

## 8. БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны А.В. Никифорову и анонимному рецензенту за критические замечания и участие в обсуждении полученных результатов.

## 9. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку рукописи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

All authors made an equivalent contribution to this article, read and approved the final manuscript.

## 10. РАСКРЫТИЕ ИНФОРМАЦИИ / DISCLOSURE

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанного с этой рукописью.

The authors declare that they have no conflicts of interest relevant to this manuscript.

## 11. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Andreev G.V., Khubanov V.B., Posokhov V.F., 2003. Origin and Composition of Minerals in Nepheline-Feldspar Metasomatites of Western Transbaikalia. Proceedings of the Russian Mineralogical Society 4, 58–66 (in Russian) [Андреев Г.В., Хубанов В.Б., Посохов В.Ф. Происхождение и состав минералов нефелин-полевошпатовых метасоматитов Западного Забайкалья // Записки Российского минералогического общества. 2003. № 4. С. 58–66].

Andreev G.V., Sharakhshinov A.O., Litvinovsky B.A., 1969. Intrusions of Nepheline Syenites, West Transbaikalia. Nauka, Moscow, 186 p. (in Russian) [Андреев Г.В., Шаракшинов А.О., Литвиновский Б.А. Интрузии нефелиновых сиенитов Западного Забайкалья. М.: Наука, 1969. 185 с.].

Andryushchenko S.V., Vorontsov A.A., Yarmolyuk V.V., Sandimirov I.V., 2010. Evolution of Jurassic – Cretaceous Magmatism in the Khambin Volcanotectonic Complex (Western Transbaikalia). Russian Geology and Geophysics 51 (7), 734–749. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2010.06.002>.

Bulgatov A.N., Gordienko I.V., 1999. Terrains of the Baikal Mountain Range and the Location of Gold Deposits. Ore Deposits 41 (3), 230–240.

Donskaya T.V., Gladkochub D.P., Mazukabzov A.M., De Waele B., Presnyakov S.L., 2012. The Late Triassic Kataev Volcanoplutonic Association in Western Transbaikalia, a Fragment of the Active Continental Margin of the Mongol-Okhotsk Ocean. Russian Geology and Geophysics 53 (1), 22–36. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2011.12.002>.

Donskaya T.V., Gladkochub D.P., Mazukabzov A.M., Ivanov A.V., 2013. Late Paleozoic – Mesozoic Subduction-Related Magmatism at the Southern Margin of the Siberian Continent and the 150 Million-Year History of the Mongol-Okhotsk Ocean. Journal of Asian Earth Sciences 62, 79–97. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2012.07.023>.

Doroshkevich A.G., Izbrodin I.A., Rampilov M.O., Ripp G.S., Lastochkin E.I., Khubanov V.B., 2018. Permo-Triassic Stage of Alkaline Magmatism in the Vitim Plateau (Western Transbaikalia). Russian Geology and Geophysics 59 (9), 1061–1077. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.08.001>.

Doroshkevich A.G., Ripp G.S., Izbrodin I.A., Savatenkov V.M., 2012a. Alkaline Magmatism of the Vitim Province, West Transbaikalia, Russia: Age, Mineralogical, Geochemical and Isotope (O, C, D, Sr and Nd) Data. Lithos 152, 157–172. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.05.002>.

Doroshkevich A.G., Ripp G.S., Sergeev S.A., Konopel'ko D.L., 2012b. The U-Pb Geochronology of the Mukhal Alkaline Intrusion (Western Transbaikalia). Russian Geology and Geophysics 53 (2), 169–174. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2011.12.013>.

Ernst R.E., 2014. Large Igneous Provinces. Cambridge University Press, London, 653 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139025300>.

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>.

Izbrodin I.A., Doroshkevich A.G., Rampilov M.O., Elbaev A.L., Ripp G.S., 2020. Late Paleozoic Alkaline Magmatism in Western Transbaikalia, Russia: Implications for Magma Sources and Tectonic Settings. *Geoscience Frontiers* 11 (4), 1289–1303. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2019.12.009>.

Izbrodin I.A., Doroshkevich A.G., Rampilov M.O., Ripp G.S., Lastochkin E.I., Khubanov V.B., Posokhov V.F., Vladykin N.V., 2017. Age and Mineralogical and Geochemical Parameters of Rocks of the China Alkaline Intrusion (Western Transbaikalia). *Russian Geology and Geophysics* 58 (8), 903–921. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2017.07.002>.

Izokh A.E., Polyakov G.V., Gibsher A.S., Balykin P.A., Zhuravlev D.Z., Parkhomenko V.A., 1998. High-Alumina Layered Gabbroids of the Central-Asian Fold Belt: Geochemical Composition, Sm-Nd Isotopic Age, and Geodynamic Conditions of Formation. *Russian Geology and Geophysics* 39 (11), 1565–1577.

Khubanov V.B., Buyantuev M.D., Tsygankov A.A., 2016. U-Pb Dating of Zircons from PZ3–MZ Igneous Complexes of Transbaikalia by Sector-Field Mass Spectrometry with Laser Sampling: Technique and Comparison with SHRIMP. *Russian Geology and Geophysics* 57 (1), 190–205. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2016.01.013>.

Khubanov V.B., Tsygankov A.A., Burmakina G.N., 2021. The Duration and Geodynamics of Formation of the Angara-Vitim Batholith: Results of U-Pb Isotope (LA-ICP-MS) Dating of Magmatic and Detrital Zircons. *Russian Geology and Geophysics* 62 (12), 1331–1349. <https://doi.org/10.2113/RGG20204223>.

Konev A.A., 1982. Nepheline Rocks of the Sayan-Baikal Mountainous Area. Nauka, Novosibirsk, 200 p. (in Russian) [Конев А.А. Нефелиновые породы Саяно-Байкальской горной области. Новосибирск: Наука, 1982. 200 с.].

Kostyuk V.P., Panina L.I., Zhidkov A.Ya., Orlova M.P., Bazarova T.Yu., 1990. Potassium Alkaline Magmatism in the Baikal-Stanovoi Rift System. Nauka, Novosibirsk, 234 p. (in Russian) [Костюк В.П., Панина Л.И., Жидков А.Я., Орлова М.П., Базарова Т.Ю. Калиевый щелочной магматизм Байкало-Становой рифтогенной системы. Новосибирск: Наука, 1990. 234 с.].

Kotov A.B., Vladykin N.V., Yarmolyuk V.V., Sal'nikova E.B., Sotnikova I.A., Yakovleva S.Z., 2013. Permian Age of Burpala Alkaline Pluton, Northern Transbaikalia: Geodynamic Implications. *Doklady Earth Sciences* 453, 1082–1085. <https://doi.org/10.1134/S1028334X13110160>.

Kovalenko V.I., Yarmolyuk V.V., Salnikova E.B., Budnikov S.V., Kovach V.P., Kotov A.B., Ponomarchuk V.A., Kozlov V.D., Vladykin N.V., 2003. Sources of Igneous Rocks and the Origin of the Early Mesozoic Tectonomagmatic Area of the

Mongol-Transbaikal Magmatic Region: 1. Geological Characteristics and Isotope Geochronology. *Petrology* 11 (2), 147–160.

Kuzmin M.I., Yarmolyuk V.V., 2014. Mantle Plumes of Central Asia (Northeast Asia) and Their Role in Forming Endogenous Deposits. *Russian Geology and Geophysics* 55 (2), 120–143. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2014.01.002>.

Kuznetsova F.V., 1975. Nepheline Syenites Framing the Borgoy Depression. Nauka, Novosibirsk, 93 p. (in Russian) [Кузнецова Ф.В. Нефелиновые сиениты обрамления Боргойской впадины. Новосибирск: Наука, 1975. 93 с.].

Levashova E.V., Skublov S.G., Li X.H., Krivdik S.G., Voznyak D.K., Kulchitskaya A.A., Alekseev V.I., 2016. Zircon Geochemistry and U-Pb Age at Rare Metal Deposits of Syenite in the Ukrainian Shield. *Geology of Ore Deposits* 3, 239–262. <https://doi.org/10.1134/S1075701516030065>.

Li S., Wang T., Wilde S.A., Tong Y., 2013. Evolution, Source and Tectonic Significance of Early Mesozoic Granitoid Magmatism in the Central Asian Orogenic Belt (Central Segment). *Earth-Science Reviews* 126, 206–234. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.06.001>.

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 Transbaikalia (Russia). *Lithos* 125 (3–4), 845–874. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2011.04.007>.

Li Y., Xu W.-L., Wang F., Pei F.-P., Tang J., Zhao S., 2017. Triassic Volcanism along the Eastern Margin of the Xing'an Intrusion, NE China: Constraints on the Spatial-Temporal Extent of the Mongol-Okhotsk Tectonic Regime. *Gondwana Research* 48, 205–223. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2017.05.002>.

Lykhin D.A., Yarmolyuk V.V., 2015. West Transbaikal Beryllium Province: Deposits, Ore-Bearing Magmatism, Sources of Matter. GEOS, Moscow, 254 p. (in Russian) [Лыхин Д.А., Ярмолюк В.В. Западно-Забайкальская бериллиевая провинция: месторождения, рудоносный магматизм, источники вещества. М.: ГЕОС, 2015. 254 с.].

Makariev L.B., Rassolov A.A., Morgun E.V., L'vov P.A., Sergeev S.A., Sharpenok L.N., 2018. New Data on the Age and Composition of the Borgoy Complex and the Alentui-Sogotinsky Volcano-Plutonic Association of the West Transbaikal Belt (Tashirskaya Area, Republic of Buryatia). *Regional Geology and Metallogeny* 73, 50–59 (in Russian) [Макарьев Л.Б., Рассолов А.А., Моргун Э.В., Львов П.А., Сергеев С.А., Шарпенюк Л.Н. Новые данные о возрасте и составе Боргойского комплекса и Алентуй-Соготинской вулканоплутонической ассоциации Западно-Забайкальского пояса (Таширская площадь, Республика Бурятия) // Региональная геология и металлогения. 2018. № 73. С. 50–59].

Mao Y.-J., Qin K.-Z., Li C., Xue S.-C., Ripley E.M., 2014. Petrogenesis and Ore Genesis of the Permian Huangshanxi Sulfide Ore-Bearing Mafic-Ultramafic Intrusion in the Central Asian Orogenic Belt, Western China. *Lithos* 200–201, 111–125. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.04.008>.

McDonough W.F., Sun S.-S., 1995. The Composition of the Earth. *Chemical Geology* 120 (3–4), 223–253. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4).

Middlemost E.A.K., 1994. Naming Materials in the Magma/Igneous Rock System. *Earth-Science Reviews* 37 (3–4), 215–224. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(94)90029-9).

Naletov P.I., 1957. Young Ore-Bearing Intrusions of Western Transbaikalia. In: *Proceedings of the Geology and Mineral Resources of Eastern Siberia. Iss. XXII. ISU, Irkutsk*, p. 91–109 (in Russian) [Налетов П.И. Молодые рудоносные интрузии Западного Забайкалья // Материалы по геологии и полезным ископаемым Восточной Сибири. Иркутск: ИГУ, 1957. Вып. XXII. С. 91–109].

Nikiforov A.V., Yarmolyuk V.V., 2007. Early Paleozoic Age and Geodynamic Setting of the Botogol and Khushagol Alkaline Intrusions in the Central Asian Fold Belt. *Doklady Earth Sciences* 412, 6–10. <https://doi.org/10.1134/S1028334X07010023>.

Panina L.I., 1972. Mineral-Genetic Characteristic Features of Some Alkaline Intrusions of the Baikal Area. *Nauka, Novosibirsk*, 127 p. (in Russian) [Панина Л.И. Минералогическая характеристика некоторых щелочных массивов Прибайкалья. Новосибирск: Наука, 1972. 127 с.].

Ripp G.S., Vladykin N.V., Doroshkevich A.G., Sotnikova I.A., 2006. The Akit Intrusion of Alkaline Rocks and Related Mineralization (North Baikal Region). In: N.V. Vladykin (Ed.), *Deep Seated Magmatism, Its Sources and Plumes. Proceedings of the VI International Seminar. Iss. 2. Publishing House of the Institute of Geography SB RAS, Irkutsk–Mirny*, 285–304 (in Russian) [Рипп Г.С., Владыкин Н.В., Дорошкевич А.Г., Сотникова И.А. Акитский массив щелочных пород и ассоциирующее с ним оруденение (Северное Прибайкалье) // Глубинный магматизм, его источники и плюмы: Труды VI Международного семинара / Ред. Н.В. Владыкин. Иркутск–Мирный: Изд-во ИГ СО РАН, 2006. Вып. 2. С. 285–304].

Sarangua N., Watanabe Y., Echigo T., Hoshino M., 2018. Chemical Characteristics of Zircon from Khaldzan Burgedei Peralkaline Complex, Western Mongolia. *Minerals* 9, 10. <https://doi.org/10.3390/min9010010>.

Savatenkov V.M., Morozova I.M., Levskii L.K., 2004. Behavior of the Sm-Nd, Rb-Sr, K-Ar, and U-Pb Isotopic Systems during Alkaline Metasomatism: Fenites in the Outer Contact Zone of an Ultramafic-Alkaline Intrusion. *Geochemistry International* 42 (10), 899–920.

Sharkov E.V., Belyatsky B.V., Bogina M.M., Chistyakov A.V., Shchiptsov V.V., Antonov A.V., Lepekhina E.N., 2015. Genesis and Age of Zircon from Alkali and Mafic Rocks of the Elet'ozero Complex, North Karelia. *Petrology* 23, 259–280. <https://doi.org/10.1134/S0869591115030066>.

Shatova N.V., Skublov S.G., Melnik A.E., Shatov V.V., Molchanov A.V., Terekhov A.V., Sergeev S.A., 2017. Geochronology of Alkaline Igneous Rocks and Metasomatites of the Ryabinovy Intrusion (South Yakutia) Based on Isotope-Geochemical (U-Pb, REE) Studies of the Zircon. *Regional Geology and Metallogeny* 69, 33–48 (in Russian) [Шатова Н.В.,

Скублов С.Г., Мельник А.Е., Шатов В.В., Молчанов А.В., Терехов А.В., Сергеев С.А. Геохронология щелочных магматических пород и метасоматитов Рябинового массива (Южная Якутия) на основе изотопно-геохимического (U-Pb, REE) исследования циркона // Региональная геология и металлогения. 2017. № 69. С. 33–48].

Smirnov G.V., 1961. Alkaline Rocks of the Enkhor Massif. In: *Materials on Geology and Mineral Deposits of Buryat ASSR. Iss. VII. Buryat Publishing House, Ulan-Ude*, p. 94–108 (in Russian) [Смирнов Г.В. Щелочные породы Энхорского массива // Материалы по геологии и полезным ископаемым Бурятской АССР. Улан-Удэ: Бурятское книжное изд-во, 1961. Вып. VII. С. 94–108].

State Geological Map of the Russian Federation, 2009. Aldan-Transbaikal Series. Scale 1: 1000000. Sheet M-48 (Ulan-Ude). Explanatory Note. VSEGEI Publishing House, Saint Petersburg, 271 p (in Russian) [Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия Алдано-Забайкальская. Масштаб 1:1000000. Лист М-48 (Улан-Удэ): Объяснительная записка. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 271 с.].

Sun S.-S., McDonough W.F., 1989. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes. *Geological Society of London Special Publications* 42 (1), 313–345. <http://dx.doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>.

Tomurtogoo O., Windley B.F., Kroner A., Badarch G., Liu D.Y., 2005. Zircon Age and Occurrence of the Adaatsag Ophiolite and Murov Shear Zone, Central Mongolia: Constraints on the Evolution of the Mongol-Okhotsk Ocean, Suture and Orogen. *Journal of the Geological Society* 162, 125–134. <https://doi.org/10.1144/0016-764903-146>.

Tsygankov A.A., Khubanov V.B., Travin A.V., Lepekhina E.N., Burmakina G.N., Antsiferova T.N., Udoratina O.V., 2016. Late Paleozoic Gabbroids of Western Transbaikalia: U-Pb and Ar-Ar Isotopic Ages, Composition, and Petrogenesis. *Russian Geology and Geophysics* 57 (5), 790–808. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2015.09.019>.

Vorontsov A.A., Yarmolyuk V.V., 2004. North Mongolian-Transbaikal Polychronous Rift System (Stages of Formation, Magmatism, Sources of Melts, Geodynamics). *Lithosphere* 3, 17–32 (in Russian) [Воронцов А.А., Ярмолук В.В. Северо-Монгольская-Забайкальская полихронная рифтовая система (этапы формирования, магматизм, источники расплавов, геодинамика) // Литосфера. 2004. № 3. С. 17–32].

Vorontsov A.A., Yarmolyuk V.V., Ivanov V.G., Smirnov V.N., 1997. Late Mesozoic Magmatism of the Borgoy Depression in Western Transbaikalia (Age and Material Characteristics). *Russian Geology and Geophysics* 38 (8), 1305–1314 (in Russian) [Воронцов А.А., Ярмолук В.В., Иванов В.Г., Смирнов В.Н. Позднемезозойский магматизм Боргойской впадины Западного Забайкалья (возрастная и вещественная характеристики) // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. № 8. С. 1305–1314].

Vorontsov A.A., Yarmolyuk V.V., Lykhin D.A., Dril S.I., Tatarnikov S.A., Sandimirova G.P., 2007. Magmatic Sources and Geodynamics of the Early Mesozoic Northern Mongolia – Western

Transbaikalia Rift Zone. *Petrology* 15, 35–57. <https://doi.org/10.1134/S0869591107010031>.

Wang T, Tong Y, Xiao W, Guo L, Windley B.F, Donskaya T, Li S, Narantsetseg T, Zhang J., 2021. Rollback, Scissor-Like Closure of the Mongol-Okhotsk Ocean and Formation of an Orocline: Magmatic Migration Based on a Large Archive of Age-Data. *National Science Review* 9 (5), nwab210. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwab210>.

Xiao W, Windley B.F, Han C., Liu W, Wan B., Zhang J., Ao S., Zhang Z., Song D., 2018. Late Paleozoic to Early Triassic Multiple Roll-Back and Oroclinal Bending of the Mongolia Collage in Central Asia. *Earth-Science Review* 186, 94–128. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.09.020>.

Yarmolyuk V.V., Kovalenko V.I., Kuz'min M.I., 2000. The North Asian Superplume in the Phanerozoic: Magmatism and Deep-Level Geodynamics. *Geotectonics* 5, 3–29.

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>.

Yarmolyuk V.V., Vorontsov A.A., Kovalenko V.I., Zhuravlev D.Z., 1997. Isotopic Inhomogeneity of Sources of Late Paleozoic Intraplate Magmatism in Central Asia (Based on Sr and Nd Isotope Data for Basalts of Bimodal Associations). *Russian Geology and Geophysics* 38 (6), 1178–1183.

Zhao D., Pirajno F., Dobretsov N.L., Liu L., 2010. Mantle Structure and Dynamics under East Russia and Adjacent Regions. *Russian Geology and Geophysics* 51 (9), 925–938. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2010.08.003>.

Zhidkov A.Ya., Mirkina S.L., Golubchina M.I., 1963. The Absolute Age of Alkaline and Nepheline Syenites of the North-Baikal Highlands. *Doklady of the USSR Academy of Sciences* 149 (1), 152–155 (in Russian) [Жидков А.Я., Миркина С.Л., Голубчина М.И., Об абсолютном возрасте щелочных и нефелиновых сиенитов Северобайкальского нагорья // Доклады АН СССР. 1963. Т. 149. № 1. С. 152–155].

Zorin Yu.A., 1999. Geodynamics of the Western Part of the Mongolia–Okhotsk Collisional Belt, Trans-Baikal Region (Russia) and Mongolia. *Tectonophysics* 306 (1), 33–56. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00042-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00042-6).

**Таблица 1.1.** Результаты U-Pb LA-SF-ICP-MS изотопных данных для цирконов из щелочных сиенитов Боргойского и Ботцинского массивов

**Table 1.1.** Results of LA-SF-ICP-MS isotope dating of zircons from alkaline syenites of the Borgoy and Botsy intrusions

	Pb, ppm	Th, ppm	U, ppm	Th/U	Изотопное отношение						RHO	Изотопный возраст							
					$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}\pm 1\sigma$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}\pm 1\sigma$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}\pm 1\sigma$			$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}\pm 1\sigma$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}\pm 1\sigma$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}\pm 1\sigma$		$^{207}\text{Pb}\text{Corr}\pm 1\sigma$	
Борг-1 нефелиновые сиениты																			
1	28	1599	698	2.11	0.0662	0.0010	0.0393	0.0004	0.3581	0.0056	0.36	812	32	248	3	311	4	244	3
2	3	149	150	0.92	0.0953	0.0028	0.0218	0.0003	0.2864	0.0080	0.17	1533	53	139	2	256	6	131	2
3	6	222	182	1.12	0.0827	0.0028	0.0314	0.0004	0.3580	0.0119	0.15	1262	65	200	3	311	9	191	3
4	44	355	1263	0.25	0.0525	0.0008	0.0327	0.0004	0.2363	0.0036	0.37	306	33	207	2	215	3	207	2
5	103	1957	2474	0.71	0.0529	0.0007	0.0395	0.0004	0.2880	0.0039	0.42	323	30	250	3	257	3	249	3
6	29	288	1076	0.24	0.0522	0.0009	0.0254	0.0003	0.1829	0.0031	0.33	296	38	162	2	171	3	161	2
7	29	263	985	0.24	0.0526	0.0010	0.0278	0.0003	0.2015	0.0038	0.30	312	42	177	2	186	3	176	2
8	42	412	1010	0.37	0.0520	0.0008	0.0391	0.0004	0.2803	0.0044	0.37	287	35	247	3	251	3	247	3
9	32	391	777	0.46	0.0698	0.0011	0.0393	0.0004	0.3782	0.0061	0.34	924	33	249	3	326	5	243	3
10	42	571	1637	0.32	0.0791	0.0010	0.0247	0.0003	0.2688	0.0036	0.43	1176	26	157	2	242	3	151	2
11	81	10908	1972	5.08	0.0551	0.0009	0.0391	0.0004	0.2969	0.0049	0.33	416	36	247	3	264	4	246	3
12	98	1395	2467	0.52	0.0547	0.0007	0.0381	0.0004	0.2874	0.0037	0.45	400	28	241	3	257	3	240	3
13	23	527	763	0.64	0.0771	0.0012	0.0295	0.0003	0.3137	0.0049	0.37	1124	31	188	2	277	4	181	2
14	22	322	525	0.56	0.0726	0.0015	0.0393	0.0005	0.3929	0.0078	0.27	1003	40	248	3	337	6	242	3
15	58	911	1414	0.59	0.0571	0.0008	0.0392	0.0004	0.3084	0.0042	0.41	495	30	248	3	273	3	246	3
16	50	983	1226	0.73	0.0611	0.0009	0.0390	0.0004	0.3286	0.0048	0.39	643	31	247	3	289	4	244	3
17	167	1840	3915	0.43	0.0514	0.0007	0.0407	0.0004	0.2884	0.0039	0.43	261	30	257	3	257	3	257	3
18	46	1117	1324	0.78	0.0635	0.0010	0.0334	0.0004	0.2926	0.0046	0.37	726	32	212	2	261	4	209	2
19	65	554	1530	0.33	0.0499	0.0008	0.0403	0.0004	0.2772	0.0045	0.36	192	37	255	3	248	4	255	3
20	32	747	810	0.85	0.0606	0.0009	0.0380	0.0004	0.3173	0.0049	0.37	626	32	240	3	280	4	238	3
Борг-2 альбитизированные щелочные сиениты																			
1	38	136	125	7.85	0.1015	0.0080	0.0394	0.0010	0.5500	0.0416	0.06	1651	139	249	6	445	27	233	7
2	357	809	1393	1.58	0.0553	0.0021	0.0418	0.0006	0.3178	0.0118	0.20	422	81	264	4	280	9	263	4
3	75	643	640	1.19	0.0499	0.0021	0.0390	0.0006	0.2677	0.0115	0.18	188	97	247	4	241	9	247	4

Таблица 1.1 (продолжение)

Table 1.1 (continued)

	Pb, ppm	Th, ppm	U, ppm	Th/U	Изотопное отношение						RHO	Изотопный возраст							
					$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}\pm 1\sigma$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}\pm 1\sigma$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}\pm 1\sigma$			$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}\pm 1\sigma$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}\pm 1\sigma$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}\pm 1\sigma$		$^{207}\text{Pb}\text{Corr}\pm 1\sigma$	
4	44	3091	963	2.80	0.1797	0.0063	0.0439	0.0007	1.0855	0.0381	0.23	2650	57	277	4	746	19	233	4
5	108	4933	2457	1.75	0.0510	0.0019	0.0421	0.0007	0.2954	0.0110	0.22	240	83	266	4	263	9	266	4
6	34	1537	829	1.74	0.0541	0.0018	0.0390	0.0006	0.2903	0.0096	0.20	373	73	247	3	259	8	246	3
7	38	1494	937	1.39	0.0550	0.0023	0.0383	0.0006	0.2900	0.0122	0.19	411	91	242	4	259	10	241	4
8	16	1161	270	2.48	0.0589	0.0027	0.0376	0.0007	0.3053	0.0141	0.20	565	97	238	4	271	11	236	4
9	126	6954	2576	2.10	0.0487	0.0021	0.0392	0.0007	0.2634	0.0117	0.24	134	99	248	4	237	9	249	4
10	30	1422	748	1.79	0.0552	0.0019	0.0383	0.0006	0.2906	0.0099	0.19	419	74	242	3	259	8	241	3
11	580	1169	2798	0.93	0.0538	0.0016	0.0381	0.0005	0.2825	0.0086	0.23	363	67	241	3	253	7	240	3
12	808	573	3285	0.51	0.0508	0.0016	0.0397	0.0006	0.2776	0.0085	0.22	232	69	251	3	249	7	251	4
13	1657	2204	6398	1.32	0.0492	0.0014	0.0382	0.0005	0.2586	0.0076	0.25	159	67	241	3	234	6	242	3
14	2484	1853	9014	1.06	0.0480	0.0014	0.0379	0.0005	0.2505	0.0073	0.26	97	68	240	3	227	6	241	3
Боц-68 нефелиновый сиенит																			
1	7	122	122	0.92	0.0956	0.0069	0.0197	0.0005	0.2592	0.0180	0.04	1540	130	126	3	234	15	118	3
2	2	50	56	0.83	0.1041	0.0059	0.0204	0.0004	0.2921	0.0160	0.06	1698	101	130	3	260	13	121	3
3	4	147	186	0.72	0.1254	0.0043	0.0213	0.0003	0.3679	0.0120	0.13	2034	59	136	2	318	9	123	2
4	3	79	147	0.49	0.0775	0.0042	0.0199	0.0004	0.2127	0.0113	0.07	1135	105	127	2	196	9	122	2
5	6	256	256	0.91	0.1226	0.0033	0.0209	0.0003	0.3534	0.0093	0.18	1995	48	133	2	307	7	121	2
6	4	156	188	0.76	0.1492	0.0055	0.0219	0.0004	0.4504	0.0156	0.12	2337	61	140	2	378	11	122	2
7	3	120	125	0.88	0.0971	0.0052	0.0197	0.0004	0.2630	0.0137	0.07	1569	98	126	2	237	11	118	2
8	10	210	497	0.39	0.1140	0.0022	0.0202	0.0002	0.3169	0.0059	0.29	1864	34	129	1	280	5	118	1
9	9	218	408	0.49	0.0940	0.0021	0.0201	0.0002	0.2596	0.0056	0.25	1507	41	128	2	234	4	121	1
10	11	100	164	0.60	0.0601	0.0033	0.0189	0.0003	0.1567	0.0085	0.08	607	116	121	2	148	7	119	2
11	3	38	129	0.27	0.0749	0.0040	0.0197	0.0003	0.2030	0.0106	0.08	1065	104	126	2	188	9	121	2
12	6	137	277	0.46	0.0955	0.0030	0.0200	0.0003	0.2629	0.0081	0.15	1539	59	127	2	237	6	120	2
13	6	138	208	0.61	0.2406	0.0082	0.0252	0.0005	0.8355	0.0263	0.12	3124	53	160	3	617	15	122	3

Таблица 1.1 (продолжение)

Table 1.1 (continued)

	Pb, ppm	Th, ppm	U, ppm	Th/U	Изотопное отношение						RHO	Изотопный возраст							
					$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}\pm 1\sigma$					$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}\text{Corr}\pm 1\sigma$				
14	4	162	172	0.87	0.0843	0.0029	0.0203	0.0003	0.2356	0.0078	0.14	1298	65	130	2	215	6	124	2
15	10	193	387	0.46	0.2213	0.0044	0.0246	0.0003	0.7507	0.0144	0.25	2990	32	157	2	569	8	123	2
16	3	121	128	0.87	0.0856	0.0033	0.0199	0.0003	0.2345	0.0087	0.12	1328	72	127	2	214	7	121	2
17	4	279	186	1.39	0.1640	0.0049	0.0214	0.0003	0.4838	0.0138	0.16	2497	50	137	2	401	9	117	2
18	5	168	226	0.69	0.0805	0.0026	0.0196	0.0003	0.2180	0.0067	0.15	1210	61	125	2	200	6	120	2
19	7	272	333	0.76	0.1335	0.0044	0.0206	0.0003	0.3787	0.0119	0.14	2144	56	131	2	326	9	117	2
20	4	194	183	0.98	0.0888	0.0023	0.0201	0.0003	0.2453	0.0062	0.19	1399	49	128	2	223	5	122	2
21	19	287	211	1.44	0.0677	0.0030	0.0194	0.0003	0.1806	0.0079	0.10	861	90	124	2	169	7	121	2
22	8	240	349	0.64	0.1378	0.0059	0.0217	0.0004	0.4118	0.0168	0.09	2200	73	138	2	350	12	123	2
23	29	148	253	0.68	0.0878	0.0025	0.0195	0.0003	0.2352	0.0065	0.17	1377	54	124	2	215	5	118	2
24	12	57	85	0.90	0.0622	0.0044	0.0197	0.0004	0.1683	0.0116	0.05	679	145	126	2	158	10	123	3
25	2	80	36	2.35	0.0673	0.0053	0.0200	0.0004	0.1855	0.0142	0.05	846	156	128	3	173	12	125	3
26	11	137	210	0.66	0.0929	0.0047	0.0201	0.0004	0.2575	0.0127	0.08	1486	94	128	2	233	10	121	2
27	11	143	260	0.53	0.1118	0.0031	0.0206	0.0003	0.3166	0.0085	0.18	1829	49	131	2	279	7	121	2

Примечание. RHO – коэффициент корреляции погрешностей изотопных отношений;  $^{207}\text{Pb}_{\text{Corr}} - ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  – возраст (млн лет) с  $^{207}\text{Pb}$ -коррекцией на нерадиоогенный свинец. Курсивом выделены данные, которые не учитывались при расчете конкордантных возрастов методом пересечения.

Note. RHO is a correlation coefficient in presence of errors of the determination of isotope ratios;  $^{207}\text{Pb}_{\text{Corr}} - ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  is an age (Ma) with  $^{207}\text{Pb}$ -correction for nonradiogenic lead. Italics indicate the data which were not taken into account for calculation of the concordant ages by intersection method.