

УДК 550.93

ИЗОТОПНЫЙ ОТКЛИК НА ЛАТЕНТНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В БЕЛОМОРСКОМ И СВЕКОФЕННСКОМ ПОДВИЖНЫХ ПОЯСАХ

Ш. К. Балтыбаев*, А. В. Юрченко, В. М. Саватенков,
Н. Г. Ризванова

*Институт геологии и геохронологии докембрия РАН (наб. Макарова, 2, Санкт-Петербург, Россия, 190034), *shauket@mail.ru*

Обобщены результаты геохронологических исследований некоторых породообразующих минералов, полученные с использованием U-Pb (Pb-Pb) и Sm-Nd изотопных систем минералов. Объектами изотопного исследования были пороодообразующие минералы из гнейсов и метаинтрузивных пород Беломорского и Свекофеннского подвижных поясов Фенноскандинавского щита. Для анализа выбраны изотопные данные только по пороодообразующим минералам, поскольку они чаще позволяют прямо связать полученное значение возраста с минерало- и пороодообразующим процессом. Делается вывод о высокой чувствительности изотопных систем алюмосиликатных минералов к наличию ксеноморфных фаз и изменению изотопно-геохимических параметров среды минералообразования. Причина дисперсии в распределении изотопов Pb может быть двоякой: из-за включений каких-то минеральных фаз, богатых радиогенным свинцом, или из-за неоднородного распределения изотопов свинца при перекристаллизации минерала. В первом случае возраст по полифазным составам будет иметь геологический смысл, если ксеногенная фаза(ы) и минерал-хозяин были когенетичны, а во втором – отражать изотопно-геохимические параметры среды минералообразования во время переуравновешивания изотопной системы, которая обычно связана с полной или неполной перекристаллизацией зерен минерала. Предлагается использовать изотопную гетерогенность пороодообразующих минералов в качестве индикатора наложенных событий и выявления латентных минералообразующих событий. Такой подход позволил выявить по кианитам чупинских гнейсов в Беломорском поясе пока неизвестное событие 1,1–1,3 млрд лет назад, в пределах российской части Свекофеннского пояса по датированию граната из гнейсов и мигматитов – метаморфическое событие около 1,75 млрд лет назад.

Ключевые слова: Pb-Pb; Sm-Nd; выщелачивание; алюмосиликаты; датирование

Для цитирования: Балтыбаев Ш. К., Юрченко А. В., Саватенков В. М., Ризванова Н. Г. Изотопный отклик на латентные геологические процессы в Беломорском и Свекофеннском подвижных поясах // Труды Карельского научного центра РАН. 2026. № 2. С. 101–105. doi: 10.17076/geo2173

Финансирование. Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 25-27-00117.

Sh. K. Baltybaev*, A. V. Yurchenko, V. M. Savatenkov, N. G. Rizvanova.
ISOTOPE RESPONSE TO LATENT GEOLOGICAL PROCESSES IN THE
BELOMORIAN AND SVECOFENNIAN MOBILE BELTS

Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences
*(2 Nab. Makarova, 199034 St. Petersburg, Russia), *shauket@mail.ru*

This paper summarizes the results of geochronological studies of selected rock-forming minerals obtained using U-Pb (Pb-Pb) and Sm-Nd isotope systems. The objects of the isotope study were rock-forming minerals from gneisses and metaintrusive rocks of the Belomorian and Svecofennian mobile belts of the Fennoscandian Shield. Only isotope data for rock-forming minerals were selected for the analysis, as these rocks more often allow linking the age estimate directly to the mineral- and rock-forming process. It is concluded that the isotope systems of the aluminosilicate minerals are highly sensitive to the presence of xenomorphic phases and changes in the isotope-geochemical parameters of the mineral-forming environment. There are two possible causes of variance in the Pb isotope distribution: the inclusion of certain mineral phases rich in radiogenic lead or the non-uniform distribution of lead isotopes during recrystallization of the mineral. In the first case, the age based on polyphase compositions will be geologically meaningful if the xenogenic phase(s) and the host mineral were cogenetic. In the second case, it will reflect the isotopic-geochemical parameters of the mineral-forming environment during isotopic re-equilibration, which is usually associated with complete or incomplete recrystallization of mineral grains. We suggest using the isotopic heterogeneity of rock-forming minerals as an indicator of superimposed events and to identify latent mineral-forming events. This approach has made it possible to identify a previously unknown event of 1.1–1.3 Ga BP based on kyanites from Chupa gneisses in the Belomorian Belt, and a metamorphic event of approximately 1.75 Ga BP based on dating of garnet from gneisses and migmatites within the Russian part of the Svecofennian Belt.

Keywords: Pb-Pb; Sm-Nd; leaching; aluminosilicates; dating

For citation: Baltybaev Sh. K., Yurchenko A. V., Savatenkov V. M., Rizvanova N. G. Isotope response to latent geological processes in the Belomorian and Svecofennian Mobile Belts. *Trudy Kareli'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2026. No. 2. P. 101–105. doi: 10.17076/geo2173

Funding. The research was funded by the Russian Science Foundation, project #25-27-00117.

В геохронологии эндогенных геологических событий ключевую роль играет $U^{235,238}$ - Th^{232} - $Pb^{206,207}$ изотопная система минералов (циркона, монацита, титанита и т. д.), поскольку оценки возраста, полученные на основе этих изотопов, чаще всего отвечают времени кристаллизации минералов. В ряде случаев, когда минералы не испытали заметных посткристаллизационных изменений, приемлемые результаты можно получить при оценке возраста с помощью Sm-Nd, Rb-Sr, K-Ar и ряда других изотопных систем. Критерием деления возрастных данных на «хорошие» и «плохие» обычно выступает соответствие изотопного возраста породы его относительному возрасту, который устанавливается по геологическим соотношениям и другим независимым данным (по общим представлениям о тектонических событиях в регионе, межрегиональным корреляциям и т. п.). Но такой во многом справедливый подход при отборе «хороших» геохронологических результатов

постепенно приводит к тому, что все больше и больше публикуются только легко интерпретируемые данные, без широкого обсуждения полученных значений «плохих» возрастов. А вместе с тем накапливающийся с годами геохронологический материал по определенным регионам позволяет увидеть некоторую повторяемость «плохих» значений возрастов, что повторно заставляет искать истинную причину их появления, вероятно, не связанную с какими-то инструментальными (аналитическими или методическими) погрешностями изотопного датирования.

Целью данного сообщения является обобщение и обсуждение некоторых «плохих» геохронологических данных, полученных авторским коллективом за последние годы при изучении архейских и протерозойских пород крупных структур Фенноскандии – Беломорского и Свектофеннского подвижных поясов, которые далее в тексте характеризуются по географической привязке к Беломорью и Северному

Приладожью соответственно. Основной акцент ставится на геохронологические данные, полученные с использованием U-Pb (Pb-Pb) и Sm-Nd изотопных систем минералов, поскольку основная задача – увязать особенности эволюции изотопных систем, вызванные кристаллизацией или перекристаллизацией минералов, а не переуравновешиванием изотопов при остывании пород. В работе использовался метод ступенчатого выщелачивания [Frei, Kamber, 1995] минералов для анализа изотопного состава свинца в серии выщелоков (LS-Pb-Pb). Для анализа выбраны изотопные данные только по породообразующим минералам, поскольку они чаще позволяют прямо связать полученное значение возраста с минерало- и породообразующим процессом. Иными словами, породообразующие минералы по петрологической информативности превосходят акцессорные

минералы, хотя могут сильно уступать последним по возможности аналитического измерения содержания изотопов из-за обычно низкой их концентрации. Методические вопросы проведения выщелачивания минералов рассмотрены в работе [Левченков и др., 2009].

Если обратиться к изотопным составам некоторых гранатов из метабазитов и метапелитов Беломорья (рис. 1), то бросается в глаза неоднородность распределения изотопов Pb в зернах граната, которая обнаруживается при селективном ступенчатом выщелачивании. Причина такой дисперсии в распределении изотопов Pb может иметь двоякую природу: а) из-за присутствия включений каких-то минеральных фаз, богатых радиогенным свинцом; б) из-за доменного строения зерен и, соответственно, неоднородного распределения изотопов свинца при перекристаллизации минерала.

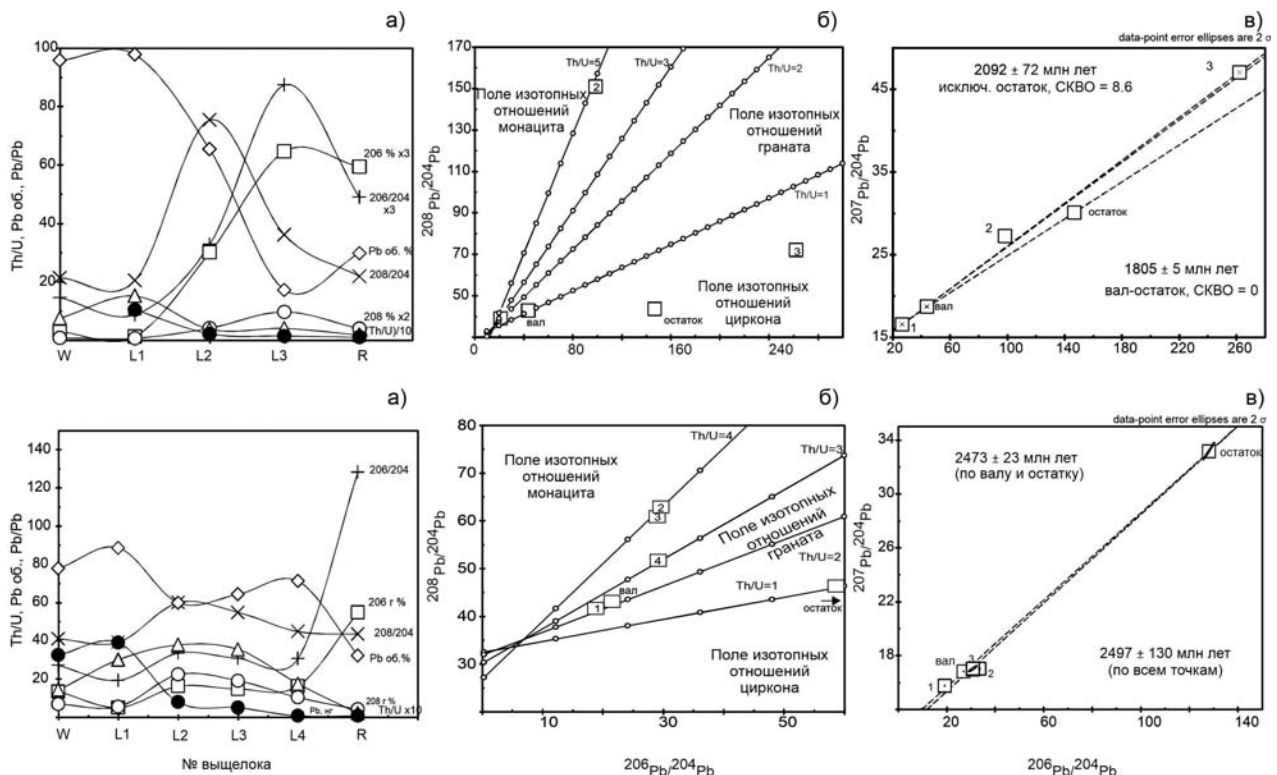


Рис. 1. Распределение изотопов Pb в зернах граната из метабазитов и гнейсов района пос. Чула Беломорья по данным селективного ступенчатого выщелачивания. В верхнем ряду: а) распределение свинца и его изотопов в разных анализируемых фракциях граната: в выщелоках, обозначенных на оси X буквой L, в вале зерен (W) и остатке (R) после растворения зерен, б) диаграмма $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ с полями изотопных отношений монацита и циркона, а также анализируемого минерала, в) двух- или многоточечные изохроны в координатах $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. В нижнем ряду – аналогичные диаграммы, но для граната из глиноземистого гнейса

Fig. 1. Distribution of Pb isotopes in garnet grains from metagabbro and gneisses in the Chupa settlement area of the White Sea region according to selective step leaching data. In the upper row: а) distribution of lead and its isotopes in different analyzed fractions of garnet: in leaches designated on the X-axis with the letter L, in the bulk of grains (W) and the residue (R) after dissolution of grains, б) diagram $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ with fields of isotope ratios of monazite and zircon, as well as the analyzed mineral, в) two- or multi-point isochrones in coordinates $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. In the lower row – similar diagrams, but for garnet from Al-rich gneiss

В первом случае изотопный возраст, полученный по полифазным составам, будет иметь «геологический смысл», если ксеногенная фаза(ы) и минерал-хозяин были когенетичны. Во втором случае изотопный возраст скорее будет характеризовать время перекристаллизации зерен и отражать изотопно-геохимические параметры среды минералообразования в момент переуравновешивания изотопной системы.

Изучение Pb-Pb-системы в алюмосиликатах (андалузита и силлиманита из гнейсов Северного Приладожья, кианита из чупинских гнейсов Беломорья) также выявляет неоднородное распределение изотопов свинца в зернах этих алюмосиликатов (рис. 2). К такому распределению изотопов в селективно растворенных зернах изученных минералов, вероятно, также применима интерпретация данных, приведенная выше для граната.

При Sm-Nd-изучении гранатов Северного Приладожья, предварительно подвергнутых выщелачиванию в серной кислоте для удаления возможных включений фосфатов, были получены изохронные возрасты, которые совпали с результатами LS-Pb-Pb-датирования этого минерала (рис. 3). Скорее всего, такое совпадение возрастов граната, полученных двумя независимыми методами датирования, не является случайным. Можно предполагать, что более молодой возраст граната (по сравнению с U-Pb-возрастом монацита из этих проб) отражает один из этапов перекристаллизации этого минерала.

Выводы

Рассмотренные примеры применения LS-Pb-Pb Sm-Nd изотопного анализа породообразующих минералов (граната, кианита, силлиманита, андалузита) показывают высокую

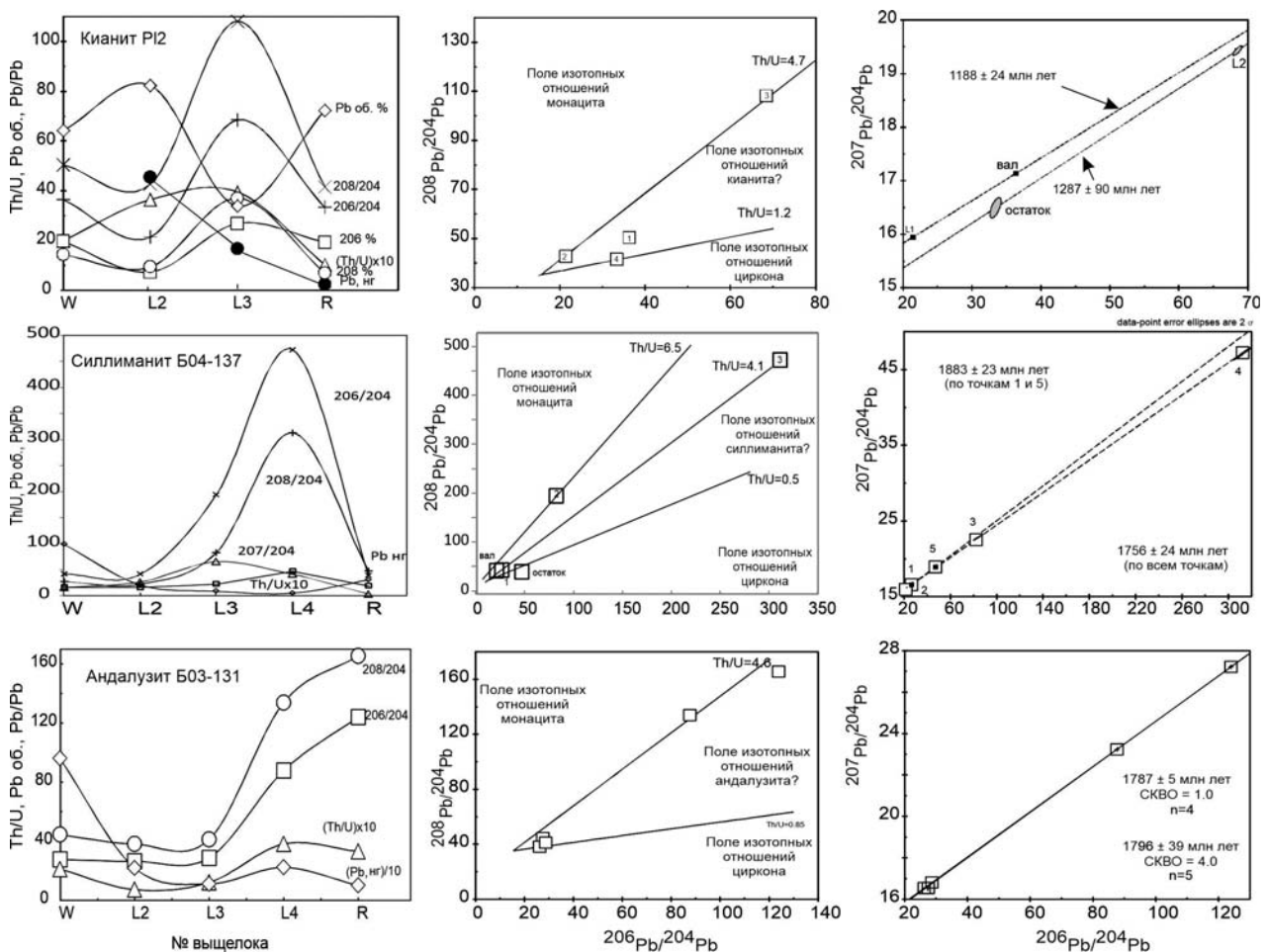


Рис. 2. Распределение изотопов Pb в зернах алюмосиликатов: кианита (верхний ряд), силлиманита (средний ряд), андалузита (нижний ряд). Показаны диаграммы с осями, аналогичными приведенным на рис. 1

Fig. 2. Distribution of Pb isotopes in aluminosilicate grains: kyanite (top row), sillimanite (middle row), andalusite (bottom row). The diagrams are shown with axes similar to those in Fig. 1

чувствительность изотопных систем этих минералов как к наличию ксеноморфных фаз, так и к изменению изотопно-геохимических параметров среды минералообразования.

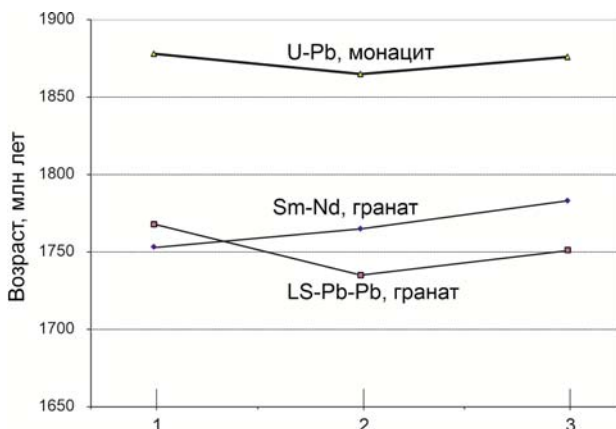


Рис. 3. Сравнение результатов датирования граната с U-Pb-датированием монацита из пород Северного Приладожья:

1 – образец B02-79, гранатсодержащий метагранит, 2 – обр. B00-29, гранатсодержащий метагранодиорит, 3 – обр. B00-31, гранат-кордиерит-силлиманитовый гнейс

Fig. 3. Comparison of garnet dating results with U-Pb dating of monazite from the rocks of the Northern Ladoga area:

1 – sample B02-79, garnet-bearing metagranite, 2 – sample B00-29, garnet-bearing metagranodiorite, 3 – sample B00-31, garnet-cordierite-sillimanite gneiss

Изотопная гетерогенность породообразующих минералов, вызванная перекристаллизацией зерен при наложенных тектоно-термальных и флюидных процессах, может быть использована в качестве индикатора наложенных событий.

Совпадение Sm-Nd, Pb-Pb изотопного возраста граната из пород гранулитового комплекса Северного Приладожья, возможно, свидетельствует о пока еще не освещенном в литературе пост- или поздне Svecofennic этапе метаморфизма пород.

Литература

Frei R., Kamber B. S. Single mineral Pb-Pb dating // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1995. Vol. 129, iss. 1–4. P. 261–268.

Левченков О. А., Ризванова Н. Г., Макеев А. Ф., Балтыбаев Ш. К., Левский Л. К. Возможности и ограничения Pb-Pb датирования метаморфогенных минералов с применением метода ступенчатого растворения // *Геохимия*. 2009. № 11. С. 1123–1137.

References

Frei R., Kamber B. S. Single mineral Pb-Pb dating. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1995;129(1–4):261–268.

Levchenkov O. A., Rizvanova N. G., Makeev A. F., Baltybaev Sh. K., Levskii L. K. Capabilities and constraints of the Pb-Pb dating of metamorphogenic minerals using the step-leaching method. *Geochemistry International*. 2009;47(11):1053–1066. doi: 10.1134/S0016702909110019

Поступила в редакцию / received: 30.07.2025; принята к публикации / accepted: 23.12.2025.
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Балтыбаев Шаукет Каимович

д-р геол.-мин. наук, заведующий лабораторией петро- и рудогенеза, главный научный сотрудник
 e-mail: shauket@mail.ru

Юрченко Анастасия Владимировна

канд. геол.-мин. наук, научный сотрудник лаборатории петро- и рудогенеза
 e-mail: yurchenko-nastya@yandex.ru

Саватенков Валерий Михайлович

канд. геол.-мин. наук, заведующий лабораторией геохронологии и геохимии изотопов, старший научный сотрудник
 e-mail: savatenkov@mail.ru

Ризванова Наиля Гапдрахмановна

канд. геол.-мин. наук, старший научный сотрудник лаборатории геохронологии и геохимии изотопов
 e-mail: rizng@mail.ru

CONTRIBUTORS:

Baltybaev, Shauket

Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Head of Laboratory, Chief Researcher

Yurchenko, Anastasiya

Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Researcher

Savatenkov, Valery

Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Head of Laboratory, Senior Researcher

Rizvanova, Nailya

Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Researcher