

5. Плющев Е. В., Ушаков О. П., Шатов В. В., Беляев Г. М. Методика изучения гидротермально – метасоматических образований. – Л.: Недра, 1981. – 262 с.
6. Плющев Е. В., Шатов В. В., Беляев Г. М. Методические рекомендации по геолого-геохимическому изучению гидротермально-метасоматических образований при ГРС-50 с общими поисками. – СПб.: 1992. – 64 с.
7. Jurain G., Renard I. P. Geochimic de l'uranium dans les minéraux phylliteux et les roches du massif granitique de Montagne-sur-Seivres, (Vendee) France // Miner. Deposita, 1970. – № 4. – P. 354–364.

## УРАН И ТОРИЙ В ЛАМПРОФИРАХ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ СКЛАДЧАСТОЙ ОБЛАСТИ

Б. К. Кенесбаев

*Томский политехнический университет  
Томск, Россия, bkk2@tpu.ru*

## URANIUM AND THORIUM IN LAMPROPHYRES OF THE ALTAI-SAYAN FOLDED REGION

B. K. Kenesbayev

*Tomsk Polytechnic University  
Tomsk, Russia, bkk2@tpu.ru*

The work is devoted to the study of lamprophyres of the Altai-Sayan region. According to X-ray phase analysis, these rocks have a complex mineral composition. According to the TAS diagram, the petrochemical composition varies from alkaline picrites to trachytes. As the INAA shows, the studied samples are significantly enriched with thorium and uranium. Combining the method of electron microscopy and fission radiography (f-radiography), the occurrence forms of thorium and uranium were studied, therefore concentrating minerals were identified.

### Введение

Термин «лампрофир» (в переводе с греческого *lampros* = блестящий) был предложен Гумбелем в 1874 г, чтобы охарактеризовать некоторые слюдяные дайки в северо-восточной Баварии. Лампрофиры представляют собой сложную группу пород, которые имеют минералогическое сходство с некоторыми кимберлитами и лампроитами [11].

В классификации изверженных пород МСГН (Международный союз геологических наук) лампрофиры представляют собой особую группу пород, которая химически не может быть отделена от других магматических пород. Это сильно порфиоровые, с полевыми шпатами и/или фельдшпатоидами, при наличии, приуроченными к основной массе, с биотитом/флогопитом и/или амфиболом и иногда клинопероксеном в качестве основных минералов. Они обычно встречаются в виде даек или небольших интрузий и часто демонстрируют признаки гидротермальных изменений [9].

Работа строится на районах исследования: Горный Алтай – это лампрофиры Акташского, Юстыдского и Тархатинского ареалов, так называемый чуйский комплекс, а также Южно-Минусинская впадина, представленная Ербинским нечком. Лампрофиры Горного Алтая были изучены и описаны Л. А. Михале-

вой, Р. В. Оболенской, С. В. Мельгуновым, А. Д. Ножкиным, А. С. Митропольским, В. П. Ковалевым, В. И. Крупчатниковым, Е. А. Васюковой и др. Они представлены минеттами, камптонитами, вогезитами, мончикитами и керсантитами. Последние менее распространены, но, как правило, пространственно они разобщены [1, 3, 4, 8].

Ербинский нечок анкаратритов расположен в 2 км южнее станции Ербинской на левом склоне долины реки Бюря и образует небольшую высотку среди вмещающих гранодиоритов Уйбатского плутона. В плане тело имеет овалообразную форму сечением 190 × 320 м; юго-западный контакт падает под углом 35–50° к центру нечка [7].

### Материалы и методы

В 2018 г. были проведены полевые работы в Горном Алтае и Кузнецком Алатау, где автором отобран каменный материал, произведена гамма-спектрометрическая съемка при помощи прибора GS-512. В 2019 году состоялись дополнительные полевые работы в составе АО «Горно-Алтайская экспедиция». Также отобран каменный материал, произведена гаммаспектрометрическая съемка прибором GS-512. Автором были посещены Тархатинский массив, Жаньедыгуйский ареал, ареал реки Усай и Ер-

бинский нект, отобрано 15 образцов. Кроме того, в работе по Горному Алтаю используется каменный (13 шт) и порошковый (9 шт) материал, полученный от Васюковой Е.А., также 3 каменных образца с Юга Кош-Агачского района получено от В. И. Крупчатникова. По Ербинскому нектку от Л. П. Рихванова было получено 7 каменных и 3 порошковых образца. Таким образом в работе было задействовано 50 образцов. Из всех образцов было получено и изучено 125 проб. На базе образовательного центра «Урановая геология» были выполнены анализы: рентгенофазовый на приборе D2 PHASER компании Bruker и определен минеральный состав с содержанием в породе более 1 %; инструментальный нейтронно-активационный анализ и определены следующие элементы: La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb и Lu. Фирсовым А. П. был выполнен энергодисперсионный анализ, результаты которого дарены автору в пользование. Из каждого каменного образца были изготовлены шлифы, часть из них изучена на поляризационном и сканирующем электронном микроскопах. Несколько образцов были подвергнуты f-радиографии. В качестве детектора использовались слюда и лавсан.

Помимо представленных выше собственных данных в работе для сравнения используются данные по лампрофирам Рудных гор Германии, которые детально описаны Томасом Зейфертом.

Абсолютный возраст лампрофиров чуйского комплекса определен Васюковой Е. А. Ar–Ar и U–Pb геохронологическими методами. Ею уточнены и расширены границы времени проявления комплекса и выделены два этапа формирования: 251–242 и 236–234 млн лет. Возраст Ербинского некта был определен также предшественниками 250 млн лет. Возраст лампрофиров Рудных гор – карбон-пермь, от  $328 \pm 7$  до  $294 \pm 6$  млн лет.

## Результаты и их обсуждение

Минеральный состав анкаратритов Ербинского некта (образец № 4, X10E7) (%): группа пироксена до 50, две генерации флогопита до 14, фельдшпатоиды 11, пектолит 8, форстерит (оливин) 6, апатит, кальцит, пирит, магнетит, гранат 1–5. Минеральный состав минетт чуйского комплекса (%): калиевый полевой шпат 42–64, плагиоклаз 0,2–0,7, клинопироксен 7–20, биотит/флогопит 9–18,8, псевдоморфозы по оливину 1–6, апатита до 4,3, акцессорные минералы (ильменит, титаномагнетит, сфен, рутил, брукит, циркон и др.) до 6,6. Керсантиты состоят из (%): плагиоклаза 40–68, клинопироксена 14–25, биотита/флогопита 7–30, акцессорных (апатита, титаномагнетита, сфена) 1,5–4,5.

Петрохимический состав рассматриваемых пород представлен от щелочных пикритов до трахитов. Содержание кремнезема в породах меняется от 36 до 60 % [2]. Породы обладают довольно высоким суммарным содержанием щелочей – точки составов располагаются вдоль условной границы между умеренно-щелочными и щелочными породами. Они лежат в одной области со слюдяными минеттами Erzgebirge (LD2a) и близки к слюдяному порфиловому переходному типу керсантит/минетта (LD2c) [10] (рис. 1). По типу щелочности анкаратриты Ербинского некта относятся к калиево-натриевого типа, а лампрофиры чуйского комплекса к калиевым. Породы Ербинского некта отличаются от лампрофиров Горного Алтая и Германии более низкими содержаниями  $\text{SiO}_2$ .

Главной особенностью изучаемых лампрофиров являются повышенные содержания U и Th. По содержанию урана анкаратриты Ербинского некта и лампрофиры чуйского комплекса сопоставимы с слюдяными минеттами Рудных гор Германии и с слюдяным порфиловым переходным типом керсантит/минетта Рудных гор Германии (табл. 1). Из всех

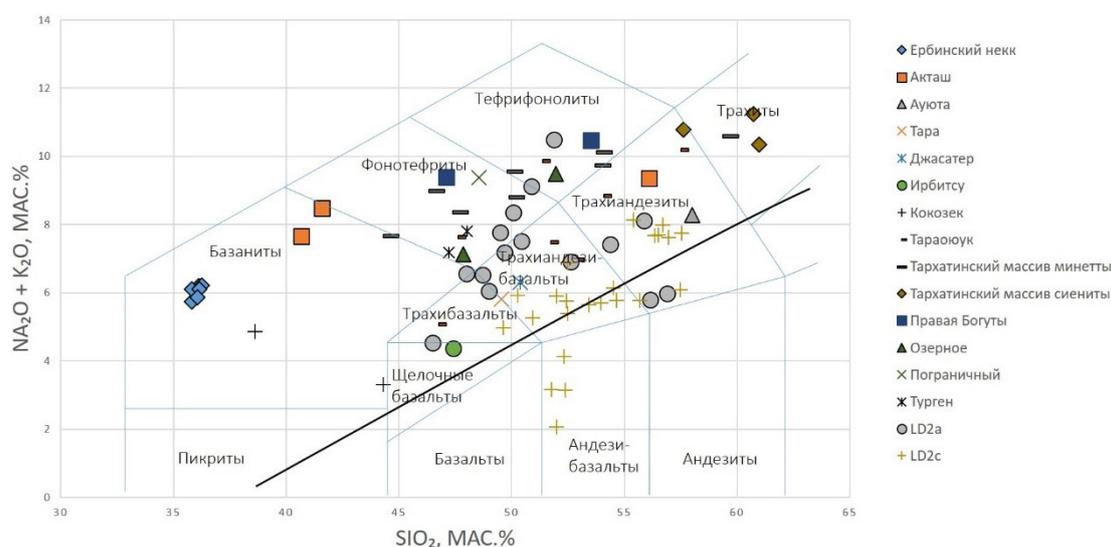
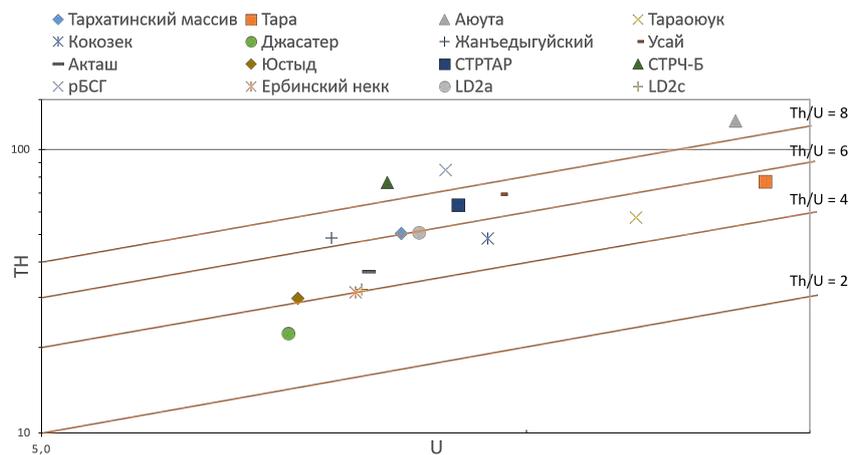


Рис. 1. TAS- диаграмма лампрофиров

**Таблица 1.** Содержания урана и тория в лампрофирах

Ареал	U, ppm	Th, ppm	Th/U
Ербинский нект	7,3 (2,8–10,9)	21,5 (10,6–41,9)	3 (1,6–6)
Горный Алтай	9,3 (4,2–16,1)	61,8 (18–136)	6,6 (3–17)
LD2a (Слюдяные минетты, Erzgebirge)	8,6 (1,6–14,6)	50,7 (8,9–94,3)	5,7 (4,1–6,5)
LD2c (Слюдяной порфиновый переходный тип кенсантит/минетта)	7,9 (3,5–14,5)	31,9 (13,1–58,1)	4,1 (1,5–5,3)



**Рис. 2.** Положение пород в полях U–Th

исследуемых пород лампрофиры Горного Алтая выделяются высокой ториеносностью, достигающей в некоторых образцах свыше 100 г/т. Данные по содержаниям элементов в породах получены посредством ИНАА. Следует также отметить, что по уровню накопления урана и тория породы Ербинского некта соответствуют щелочным сиенитам Енисейского кряжа [5]. А породы Горного Алтая близки к калиевым щелочно-ультраосновным дайковым породам массива Томтор [6]. Породы Ербинского некта также отличаются от пород Горного Алтая торий-урановым отношением, в первом оно колеблется от 1,6 до 6 и равно в среднем 3, когда в последнем при среднем 6,6 колеблется от 3 до 17, что свидетельствует о различных процессах рудообразования в данных комплексах (рис. 2).

Изучение радиографий шлифов показало, что для образцов Горного Алтая характерно равномерное распределение треков по всему шлифу. Иногда встречаются более плотные скопления треков, которые указывают на урансодержащие минералы. Также было найдено несколько «ежиков», в которых невозможно посчитать количество треков, автор предполагает, что это собственные наноминералы урана. Следует отметить, что треков не было замечено во флогопите (биотите). Для Ербинского некта характерно более равномерное распределение треков в неизменной части шлифа. В измененной же встречаются треки повышенной плотности, что, как и в Горном Алтае, свидетельствует о наличии урансодержащих минералов.

При помощи сканирующей электронной микроскопии в Ербинском некте были совершены находки галенита, (предположительно) пирохлора с торием (0,8–13,2 %) и ураном (0,7–10,6 %). В образцах лампрофиров Горного Алтая найден циркон с торием (1,1–12,6 %) и ураном (0,9–1,4), оксид свинца.

### Заключение

Установлено, что уран в породе находится в следующих формах: в форме молекулярного рассеяния, образуя редкие, равномерно расположенные треки от осколков вынужденного деления  $U^{235}$ ; изоморфное нахождение в апатите, где уран образует плотную, равномерно распределённую сеть и в собственно урансодержащих аксессуарных минералах из группы пирохлора-бетафита. Выявлено 3 минерала, концентрирующих в себе уран и торий: пирохлор в Ербинском некте, циркон и минерал из семейства монацита в лампрофирах чуйского комплекса.

Механизм образования радиогеохимически высокоспециализированных пород может быть связан с процессом трансвапоризации базитовых расплавов, либо образование щелочно-базитовых расплавов связано с декомпрессионным плавлением метасоматизированной мантии.

Проявление лампрофиров с такими геохимическими особенностями в различных районах мира свидетельствует об идентичности их образования в геологических процессах, формировании данных

пород на завершающих стадиях геотектонического развития горно-складчатой области и особенностях металлогении.

### Литература

1. Васюкова Е. А. Петрология и флюидный режим формирования лампрофиров чуйского комплекса (Юго-Восточный Алтай – Северо-Западная Монголия) / Е. А. Васюкова, отв. ред. А. С. Борисенко; Ин-т геологии и минералогии им В. С. Соболева СО РАН. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2017. – 158 с.
2. Кенесбаев Б. К., Васюкова Е. А., К вопросу о высоких концентрациях урана и тория в лампрофирах Алтае-Саянского региона, в книге: Новое в познании процессов рудообразования Сборник материалов. – Москва, 2018. – С. 179–181.
3. Ковалев В. П., Мельгунов С. В., Ножкин А. Д., Митропольский А. С. и др. Уран и торий в магматическом и метаморфическом петрогенезисе. – Новосибирск: Наука, 1983. – 184 с.
4. Мельгунов С. В. Радиогеохимия и генезис слюдяных лампрофиров. // Геология и радиохимия Средней Сибири. – Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1985. – С. 141–157.
5. Ножкин А. Д., Кренделев Ф. П., Миронов А. Г., Бобров В. А., Радиоактивные элементы в гранитоидах и сиенитах Енисейского кряжа / Радиоактивные элементы в горных породах, часть 1. – Новосибирск, 1972. – С. 142–143.
6. Панина Л. И., Росокова Е. Ю., Исакова А. Т., Толстов А. В., Элементы-примеси в щелочных лампрофирах, клинопироксенах и амфиболах Томторского массива и рудоносность формировавшихся их расплавов / Геохимия, 2018. – № 7. – С. 641–660.
7. Рихванов Л. П., Ершов В. В., Сарнаев С. И., Геохимические особенности щелочных базитов и ультрабазитов Минусинского прогиба / Геохимические ассоциации редких и радиоактивных элементов в рудных и магматических комплексах. – Новосибирск: Наука, 1991. – С. 97–109.
8. Оболенская Р. В. Чуйский комплекс щелочных базальтоидов Горного Алтая // Новосибирск: Наука, 1971. – 141 с.
9. Le Maitre R. W., Streckeisen A., Zanettin B., Le Bas M. J., Bonin B., Bateman P., Bellieni G., Dudek A., Efremova S., Keller J., Lameyre J., Sabine P. A., Schid R., Sørensen H., Woolley A. R. Igneous rocks - a classification and glossary of terms. Cambridge University Press, 2nd edition. – Cambridge, 2002. – 236 p.
10. Thomas Seifert, Metallogeny and petrogenesis of lamprophyres in the Mid-European Variscides. – IOS Press, 2008. – 305 p.
11. Woolley A. R., Bergman S., Edgar A. D., Le Bas M. J., Mitchell R. H., Rock N. M. S., Scott Smith B. H. Classification of lamprophyres, lamproites, kimberlites, and the kalsilitic, melilitic, and leucitic rocks. The Canadian Mineralogist 34, 1996. – P. 175–186.