

И. Г. БЕРЗИНА, С. М. КРАВЧЕНКО

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УРАНА
В БАЗАЛЬТАХ, ЩЕЛОЧНО-ТРАХИТОВЫХ ИГНИМБРИТАХ
И СИЕНИТАХ МЕТОДОМ f-РАДИОГРАФИИ**

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 20 VI 1969)

Изучение характера распределения следов от осколков ядер урана (f-радиография) ⁽¹⁾ позволяет определить кларковые и более высокие концентрации урана и его пространственное распределение в породах и минералах в широком диапазоне размеров минеральных выделений. К исследуемому аншлифу прикладывался специальный лавсановый детектор, затем аншлиф с детектором облучался потоком тепловых нейтронов в атомном реакторе. В процессе облучения в результате (n, f)-реакции детектор повреждался осколками ядер урана, вылетающими из приповерхностного слоя образца. После облучения на детекторе химическим травлением выявлялось отображение пространственного распределения урана на исследуемой поверхности образца.

Целью настоящего исследования явилось изучение характера распределения урана при природных процессах кристаллизации базальтовых и щелочно-трахитовых расплавов. Изучение эффузивных пород дает возможность исследовать магматические породы, закаленные на различных стадиях кристаллизации. Процесс образования зональных кристаллов во вкрапленниках эффузивов и в крупнозернистых гипабиссальных породах с достаточным приближением может быть описан как направленная кристаллизация, для которой характерно резкое возрастание концентраций ряда микрокомпонентов на поздних стадиях кристаллизации в твердой и жидкой фазе ^(10, 12). По мере увеличения количества вкрапленников в базальтах концентрация урана в их основной массе возрастает весьма существенно ⁽²⁾.

Нами изучены следующие породы: четвертичные базальты и андезитобазальты Курильских островов, представляющие две из трех различных по щелочности групп базальтов ^(3, 9) — высокоглиноземистые и щелочные; центральноалданские щелочные эпидейцит-ортоклазовые базальты; центральноалданские щелочно-трахитовые игнимбриты и их интрузивные аналоги — щелочные сиениты; центральноалданские порфириовидные сиенито-диориты, имеющие состав (вес. %) *:

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	P ₂ O ₅
1а	54,08	0,40	17,70	5,45	3,32	0,15	4,48	6,75	2,38	1,70	0,21	1,12	2,75
1б	48,85	0,58	19,25	3,98	6,64	0,17	5,75	10,39	2,84	1,11	0,17	0,46	0,47
2	50,62	0,85	12,43	5,06	5,92	0,15	6,60	7,88	1,73	7,76	0,68	0,18	0,88
3	56,91	0,51	19,48	2,24	2,69	0,15	0,89	3,58	4,85	7,36	0,20	0,28	0,94
4	59,10	0,42	19,01	3,60	1,08	0,16	0,60	3,90	4,00	7,36	—	—	1,13
5	64,73	0,31	16,73	2,26	2,08	0,10	0,62	2,77	5,41	4,53	0,19	0,14	0,18

Для этих пород (кроме базальтов) приведены наиболее характерные микрорентгенограммы шлифов и соответствующих им детекторов.

1а. Двухпироксеновые андезитобазальты вулкана Богдановича о. Парамушир (вкрапленники (вес. %): битовнит с лабрадоровой каймой 29,3, гиперстен и авгит 10,7, магнетит 1,6, основная масса (41,6) состоит из преобладающего стекла, лейст — андезина и зерен авгита и магнетита). Уран в основной массе распределен равномерно (рис. 1а), а его концентрация, по приближенным оценкам, по крайней мере на два порядка выше, чем во

* Аналитики Л. В. Карпова, А. А. Стрыгина, И. И. Бурксер.

вкрапленниках, независимо от их состава. Аналогичные соотношения наблюдались для вкрапленников амфибола, биотита, магнетита, сфена и апатита (2).

16. Базальты лавово-шлакового конуса вулкана Ветрового о. Парамушир (вкрапленники (вес. %): анортит с лабрадоровой каймой 32,4; оливин 10,4; авгит 7,8; магнетит 1,4; основная масса (52,0) интерсертальная, состоит из мелких зерен андезина, авгита и стекла). Распределение урана аналогично наблюдавшемуся в андезито-базальтах. По отношению плотностей треков во вкрапленниках и основной массе были определены комбинированные коэффициенты распределения урана (2) в андезито-базальтах и базальтах. Значения коэффициентов находятся в хорошем соответствии с данными (11, 13), полученными другим методом.

2. Эпилейцит-ортоклазовые базальты (вкрапленники (вес. %): псевдоморфозы по лейциту (альбит, канкринит) 11,3; диоксид 17,8; магнетит 0,5; вторичный зеленый биотит 1,0; основная масса (69,3) сложена лейстами ортоклаза, скелетными кристаллами рудного минерала, зернами авгита и магнетита). Уран в основной массе калиевых щелочных базальтов распределен равномерно (рис. 16), аналогично распределению в основной массе значительно менее щелочных курильских базальтов и андезито-базальтов. Концентрация урана в основной массе также по крайней мере на два порядка выше, чем во вкрапленниках. Судя по геологическим данным (3), появление вторичного зеленого биотита (отчасти в виде псевдоморфоз по первичному биртиту) связано со вторичными процессами, вызванными внедрением интрузивных тел. Характерно, что вокруг выделений магнетита, включенных в светло-зеленый вторичный биотит, наблюдается кайма повышенных содержаний урана, совпадающая с каймой темно-зеленого биотита. В то же время крупному вкрапленнику магнетита, расположенному вне выделений зеленого биотита, не соответствует повышенное содержание урана. Содержание урана в апатите, включенном в зеленый биотит, также относительно низкое.

4. Изучение пространственного распределения урана в базальтах существенно различной щелочности показало, что уран при кристаллизации базальтовой магмы в значительно меньшей степени входит в состав породообразующих и аксессуарных (магнетит) минералов вкрапленников, чем в состав основной массы, равномерно распределяется в основной массе (расплаве) и при кристаллизации более щелочной магмы фракционируется более интенсивно (6). Последнее находится в согласии с выводом о влиянии на процессы фракционирования базальтовых магм явлений кислотно-основного взаимодействия компонентов, значение которых для природных процессов впервые было показано Д. С. Коржинским (5).

Предполагаемое контактное воздействие интрузивных тел сиенитов отчасти нарушает первичное распределение урана и вызывает в некоторых случаях перераспределение его концентраций.

3. Щелочно-трахитовые игнимбриты. Состоят из мелких и раздавленных обломков стекловатых, реже трахитоидных щелочных трахитов и обломков кристаллов калиевого полевого шпата и пироксена. Уран в них распределен равномерно (рис. 16). Это подчеркивается очень малым содержанием его на участках, соответствующих обломкам кристаллов калиевого полевого шпата, иногда оплавленным, или на участках, соответствующих скоплениям поздних вторичных карбоната и эпидота, вокруг которых наблюдается кайма повышенной плотности треков, соответствующая увеличению содержания урана.

4. Среднекристаллические щелочные сиениты (состав (вес. %): ортоклаз с зональным погасанием 76,3, псевдоморфозы по нефелину (серицит, натролит, карбонат) 9,8, тарамит 5,8, меланит 6,2, апатит и сфен 0,2, магнетит 0,7). Как следует из рис. 1а, содержание урана в породообразующих минералах чрезвычайно мало, чем они напоминают вкрапленники эффузивов. В то же время, по приближенным оценкам, содержание урана в

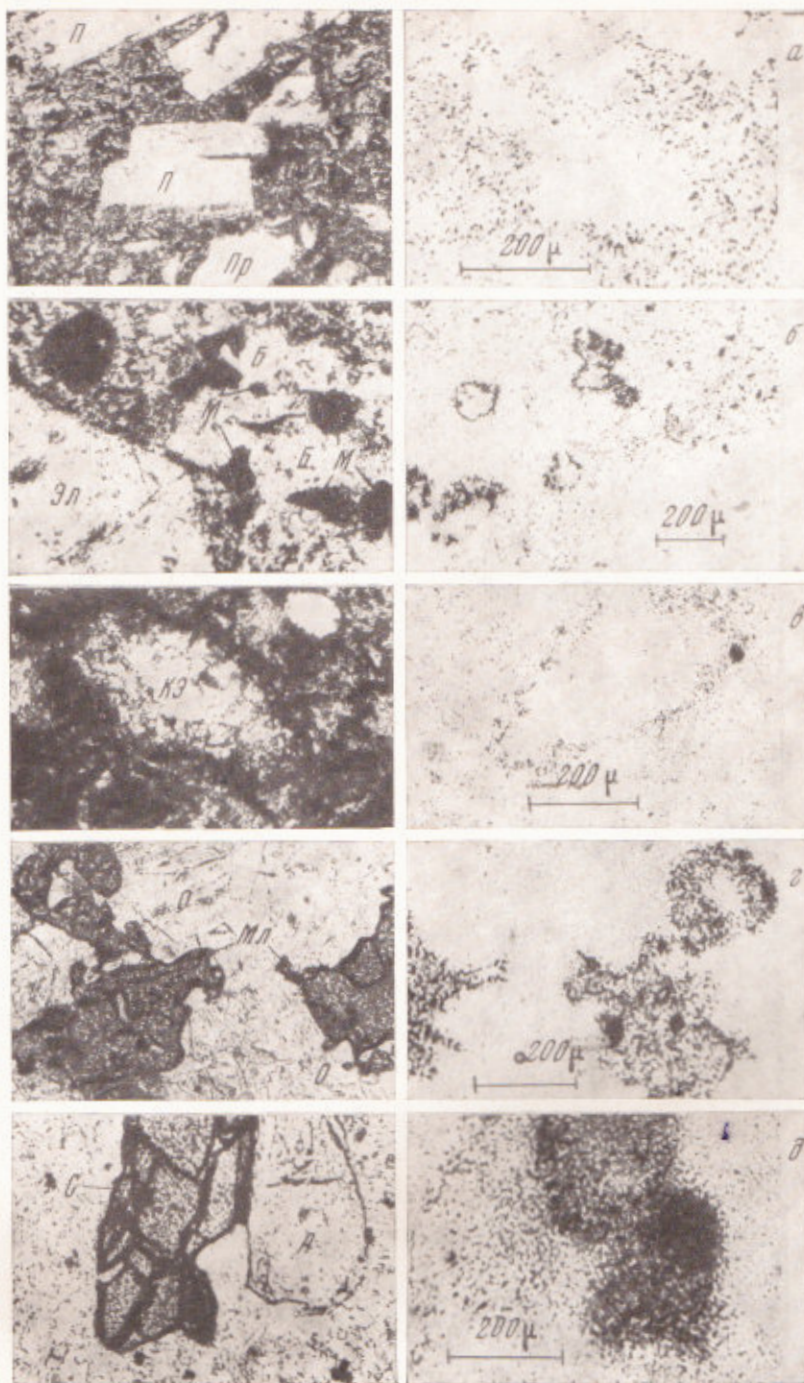


Рис. 1. Микрофотографии детекторов и соответствующих им шлифов после облучения в реакторе тепловыми нейтронами. Интегральный поток $1 \cdot 10^{16}$ нейтр/см². Соотношение зеркальное. а — высокоглиноземистый андезит-базальт, о. Парамушир, вулкан Богдановича; б — щелочной эпидейцит-ортоклазовый базальт, Томмотская кальдера проседания, Центральный Алдай; в — щелочно-трахитовый игнимбрит, там же; г — меланитовый щелочной сиенит, там же; д — порфировидный сиенито-диорит, там же. П — плагиоклаз, Пр — пироксен, Эл — эпидейцитовый агрегат, О — ортоклаз, Б — биотит, М — магнетит, Мл — меланит, А — апатит, КЭ — карбонат и эпидот, С — сфен

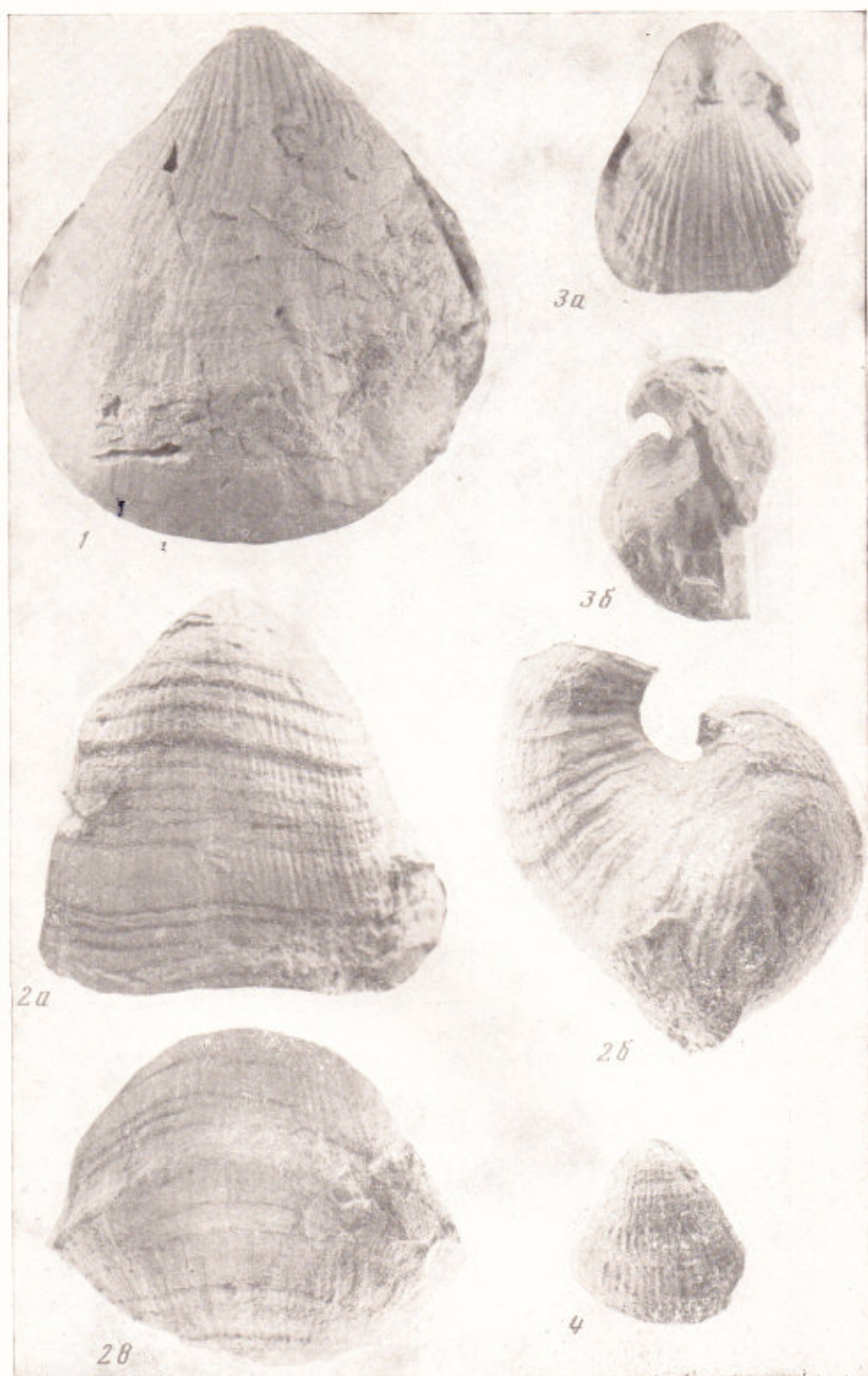


Рис. 1. *Eokirkidium jachteljaensis* sp. n. 1 — брюшная створка, экз. 197/145; 2 — голотип № 197/146 (а — брюшная створка, б — вид сбоку, в — передний край); 3 — экз. № 197/147 (а — вид со стороны спинной створки, б — вид сбоку); 4 — брюшная створка, экз. № 197/148. Все экземпляры происходят из известняков восточного склона Северного Урала — зона *Brooksina striata*

меланите не менее чем на два порядка выше, чем в породообразующих минералах. Соответственно и подавляющий вклад в общее содержание урана в породе приходится на меланит. Заметим, что по периферии кристаллов меланита местами наблюдается кайма относительно повышенных содержаний урана, что, по-видимому, отражает динамику роста кристаллов. Из характера распределения урана следует, что в процессе кристаллизации расплава происходило его фракционирование, которое привело к появлению в меланите высоких концентраций изоморфно вошедшего урана.

5. Порфиroidные характерные среднекристаллические диорито-сиениты (состав (вес. %): зональный андезин 43,0, амфибол 10,0, кварц 3,0, сфен 1,5, апатит 0,2, магнетит 1,5; мелкозернистая цементирующая масса (40,8) состоит из кварца, плагиоклаза и ортоклаза). Концентрация урана в сфене и апатите (рис. 1*б*), образующих порфиroidные кристаллы, намного выше, чем в остальных минералах породы. Повышение концентрации урана в некоторых участках основной массы связано с наличием в ней мелких кристаллов сфена. В крупных порфиroidных кристаллах сфена наблюдается тенденция к повышению содержания урана в кайме кристаллов. Различия концентраций урана в сфене и апатите и в остальных минералах породы, по приблизительным оценкам, превышает три порядка. Соответственно, на долю сфена и апатита приходится подавляющая часть вклада в общее содержание урана в породе. Наши данные о распределении урана между породообразующими и акцессорными минералами сиенитов находятся в хорошем соответствии с результатами изучения баланса урана в сиенитах иными методами (7, 8).

Метод f -радиографии в ряде случаев позволяет установить связь различных видов концентрации урана в породах с определенными процессами: в меланите меланитовых сиенитов — с поздние- или эпимагматическими процессами, в апатите и сфене сиенито-диоритов — с относительно поздними стадиями магматической кристаллизации, в стекловатой основной массе эффузивных пород — с процессами фракционирования в ходе направленной кристаллизации и последующей закалки. В некоторых случаях характер пространственного распределения урана свидетельствует об изоморфной форме вхождения урана (меланит, сфен, апатит), в других случаях удается наблюдать иные формы нахождения урана.

Применение метода f -радиографии при изучении акцессорных минералов гипабиссальных пород, очевидно, даст возможность выделять различные их генерации. По-видимому, уран акцессорных минералов гипабиссальных пород представляет собой лишь часть урана, содержащегося в жидкой фазе на поздних стадиях кристаллизации. При сравнительном изучении изохимичных и комагматических эффузивных и гипабиссальных пород и проведении количественных определений содержаний урана представляется возможным определить ту часть урана, которая переходит в постмагматические растворы и флюиды.

Всесоюзный научно-исследовательский институт
ядерной геохимии и геофизики

Институт минералогии, геохимии
и кристаллохимии редких элементов
Москва

Поступило
19 VI 1969

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. Г. Берзина, И. Б. Берман и др., Атомная энергия, 23, в. 9 (1967).
² И. Г. Берзина, С. М. Кравченко и др., Изв. АН СССР, сер. геол., № 8, (1969).
³ Ю. А. Билибин, Избр. тр., 1, Изд. АН СССР, 1960. ⁴ Г. С. Горшков, Вулканизм Курильской островной дуги, «Наука», 1966. ⁵ Д. С. Коржинский, ДАН, 128, № 2 (1959). ⁶ С. М. Кравченко, ДАН, 134, № 9 (1969). ⁷ И. Г. Минеева, Геохимия, № 7 (1966). ⁸ Т. В. Сапюкина, В кн. Геохимия Ловозерского щелочного массива, «Наука», 1966. ⁹ H. Kuno, Bull. volcan., 29, 5 (1966). ¹⁰ W. J. McIntire, Geochim. et cosmochim. acta, № 12 (1963). ¹¹ H. Nagasawa, H. Wakita, ibid., № 8 (1968). ¹² H. Neumann, J. Mead, C. J. Vitaliano, ibid., № 1, 90 (1954). ¹³ N. Onuma, H. Higuchi et al., Earth and Planetari Science Letters, 5, 47 (1968).