

УДК 552.32

ДВУЭТАПНОСТЬ СТАНОВЛЕНИЯ ЩЕЛОЧНОЙ ВУЛКАНОПЛУТОНИЧЕСКОЙ ФОРМАЦИИ В КЕТКАПСКО-ЮНСКОЙ МАГМАТИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ АЛДАНСКОГО ЩИТА: НОВЫЕ ДАННЫЕ ИЗОТОПНОЙ ПЕРИОДИЗАЦИИ

© 2014 г. В. Ф. Полин, член-корреспондент РАН В. А. Глебовицкий, В.В. Мицук,
В. И. Киселев, С. Ю. Будницкий, А. В. Травин, Н. Г. Ризванова,
Н. Н. Баринов, Н. И. Екимова, А. В. Пономарчук

Поступило 09.06.2014 г.

DOI: 10.7868/S086956521431020X

На основе данных прецизионных U/Pb-, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -методов датирования по мономинеральным фракциям в последнее 10-летие пересматриваются многие из устоявшихся представлений о временных границах становления большого ряда геологических объектов.

К одному из таких объектов относится Кеткапско-Юнская магматическая провинция (ККЮМП) – тектонотип зон мезозойской тектономагматической активизации (ТМА) Алданского щита (рис. 1; геолого-структурная схема ККЮМП приведена в [9]). ККЮМП – уникальная структура, характеризующаяся наличием серии полиформационных магматических комплексов, спорадически распределенных в ее пределах. В западном секторе (Бокурский вулканоплутон Улаханского массива) широко представлены щелочные породы, вулканические (бокурский комплекс), субвулканические (курунгский комплекс). Центральная, восточная части провинции характеризуются преобладанием гипабиссальных тел субщелочных диоритоидов, гранитоидов, в том числе золотоносных. Щелочные интрузивные породы (дарьинский комплекс) здесь встречаются

эпизодически, в виде “роев” даек, серий мелких силлов, небольших штоков.

Развитие щелочного вулканоплутонизма и интрузивного щелочного магматизма в зонах ТМА связывается со вторым этапом мезозойского магматизма Алданского щита, [1, 2] и др. Значения K/Ar-датировок щелочного магматизма, согласно литературным данным, распределены в весьма широком интервале: 168–70 млн лет (табл. 1; [1–8]).

До настоящего времени многие вопросы изотопной периодизации ККЮМП не решены, особенно в отношении точного возраста формирования щелочных вулканитов и гипабиссальных плутонитов. Старые K–Ar-датировки, полученные по “валовому” составу пород, значительно

Дальневосточный геологический институт
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук, Владивосток
Институт геологии и геохронологии докембрия
Российской Академии наук, Санкт-Петербург
Санкт-Петербургский государственный университет
ЗАО “Зональное”, Южно-Сахалинск
Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева
Сибирского отделения Российской Академии наук,
Новосибирск
Национальный исследовательский
Томский государственный университет

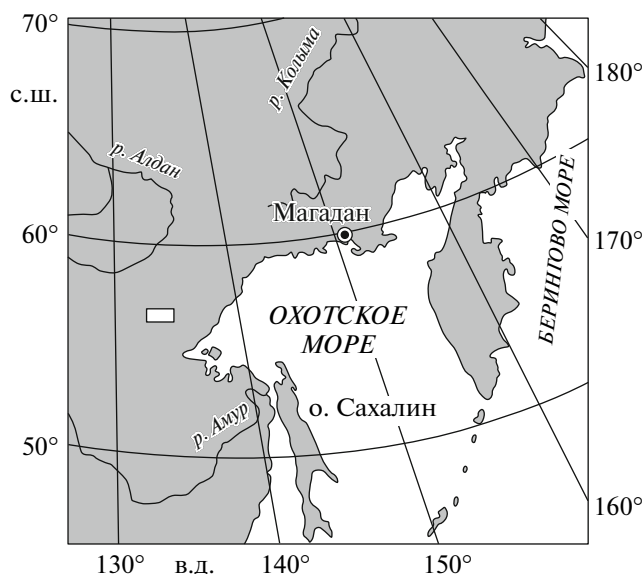


Рис. 1. Район работ.

Таблица 1. К–Аг–возраст щелочных пород Кондерского массива ККЮМП (дарьинский комплекс) и Центрально-Алданской магматической провинции, по литературным данным

Литературный источник	Порода, материал пробы	Возраст, млн лет
[5]	Пегматит щелочного сиенита, ортоклаз	90
То же	Пегматит щелочного сиенита, микроклин	155
То же	Щелочной пегматит, ортоклаз–пертит	90
[6]	Пегматит фельдшпатоидного сиенита, “вал”	83; 93
То же	Пегматит фельдшпатоидного сиенита, ортоклаз	110
То же	Пегматит фельдшпатоидного сиенита, “вал”	100; 130
То же	Пегматит фельдшпатоидного сиенита, эгирин	130
[7]	Щелочной пегматит, арфведсонит	167.6
То же	Магнетит-флогопитовый пироксенит, флогопит	112.6; 127.6; 139.6; 140.9
То же	Магнетит-флогопитовый пироксенит, амфибол	85.7
[8]	Габбро щелочное, “вал”, калишпат, биотит, амфибол	120–83
То же	Нефелин-сиенитовый пегматит, “вал”, калишпат, биотит, амфибол	130–110

реже – по мономинеральным фракциям, показывают нереально большой разброс значений возраста, не всегда соответствующий геологическим наблюдениям. Для лучшего понимания роли и места щелочного вулканоплутонизма в тектонической и магматической эволюции ККЮМП требуется уточненная периодизация, базирующаяся на современных методах анализа. Первые результаты изотопно-геохронологических исследований субщелочных комплексов приведены в [9]. В нашей работе представлены новые данные изотопного датирования пород фонотэфрит-щелочнотрахитового бокурского и фойдолит-щелочно-сиенитового дарьинского комплексов ККЮМП, полученные с помощью усовершенствованного метода К/Аг-датирования, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования методом ступенчатого прогрева, изохронного U/Pb-датирования по сфенам, U/Pb (SHRIMP-II, LA ICP-MS)-датирования щелочно-салических пород по цирконам. Имеющиеся фондовые и литературные материалы по изотопной геохронологии щелочных пород ККЮМП, как и наши новые К/Аг-, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датировки, сведены в табл. 1, 2 и отображены на рис. 2; U/Pb-изохрона по сфенам приведена на рис. 3; U/Pb-датировки цирконов

методами SHRIMP-II, LA ICP-MS даны в табл. 3 и показаны на рис. 4.

Образцы для исследований отобраны в пределах массивов Улаханского (Кеткапское магматогенное поднятие, Бокурская, Улаханская вулканические кальдеры; бокурский, курунгский комплексы) и Усмуно-Дарьинского (одноименное поднятие, бассейн р. Правая Дарья; дарьинский комплекс).

Для целей U–Pb-датирования сфенов были проанализированы 8 проб из субщелочных и щелочных пород. Для трех щелочных и трех субщелочных пород в совокупности была рассчитана изохрона в координатах $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ (рис. 3). Возраст, полученный таким образом, 124.3 ± 2.0 млн лет, СКВО 4.5. Рассчитанные отношения $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ – $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ соответствуют возрасту 123.3 ± 3.5 млн лет, СКВО 3.5. По пробам сфена из субщелочных пород изохронная датировка равна 125 ± 20 млн лет [9], т.е. результаты в пределах ошибки совпали между собой. В целом эти результаты свидетельствуют в пользу представления о близости времени становления субщелочных и щелочных пород ККЮМП [9].

Таблица 2. Краткая геологическая характеристика и результаты определения К–Аг-возраста представительных проб щелочных пород ККЮМП

Фаза магматизма; (*возраст, млн лет)	Проба, материал	Порода	Калий, % ±σ	⁴⁰ Аг _{рад} , (нг/г), ±σ	**Возраст (млн лет), ±2σ	***Период, эпоха, век
Бокурский комплекс						
Вторая; J ₃ –K ₁ ?	ПН-145.568, “вал”	Туффизит щелочно- го трахиандезита	5.57 ± 0.06	53.64 ± 0.17	134 ± 3	K ₁ , валан- жин
Первая; J ₃ – K ₁ (147; 145)	ПН-145.588, “вал”	Туффизит фонотеф- рита–шошонита	3.66 ± 0.04	45.70 ± 0.15	172 ± 3.5	J ₂ , аален
	ПН-134-1522, биотит	Фонотефрит–шо- шонит	7.11 ± 0.07	61.4 ± 0.90	123.0 ± 3.7	K ₁ , апт
Курунгский (дайковий) комплекс						
Третья; K ₁ (112)	ПН-177.474, “вал”	Фонолит (тингуаит)	5.77 ± 0.06	51.94 ± 0.16	125 ± 2.5	K ₁ , баррем– апт
	ПН-177.557, “вал”	Щелочной кварце- вый сиенит	6.54 ± 0.07	56.50 ± 0.20	120 ± 2.5	K ₁ , апт
Дарьинский комплекс						
Третья; K ₂ (70; 120; 124)	ПН-2000-19, “вал”	Мельгейгит–мали- ннит	4.40 ± 0.05	41.91 ± 0.14	132 ± 3	K ₁ , готерив
Вторая; K ₁ – K ₂ (340?; 83; 90; 93; 130; 130; 110; 100)	ПН-М62-038, “вал”	Апонефелиновый сиенит–пегматит	3.96 ± 0.04	29.99 ± 0.10	106 ± 2	K ₁ , альб
	ПН-045-6220, биотит	Щелочной меласие- нит–порфир	7.55 ±	58.8 ± 1.1	111.3 ± 3.4	K ₁ , альб
Первая; J ₂ (460?, 155; 167.6)	ПН-9260-2, “вал”	Вишневитовый сиенит (шонкинит)	6.35 ± 0.07	58.52 ± 0.18	128 ± 3	K ₁ , баррем

Примечание. Возрастные К–Аг-датировки: * – по материалам геолого-съёмочных работ и [3, 5, 7, 8]; ** – по данным авторских К–Аг-определений. К–Аг-датирование мономинеральных проб произведено в Лаборатории стабильных изотопов АЦ ДВГИ ДВО РАН, аналитик С.Ю. Будницкий. Содержание радиогенного Аг в образцах измерено по оригинальной CF-GC-IRMS методике, разработанной сотрудниками Лаборатории. Содержание К определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре iCAP 6500Duo (“Thermo Scientific Corporation”, США), аналитики Г.А. Горбач, Е.А. Ткалина, Н.В. Хуркало. Определение абсолютного возраста К–Аг-методом по “валовому” составу пород проводили в Лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН на масс-спектрометре МИ-1201 ИГ методом изотопного разбавления с применением в качестве трассера ³⁸Аг; определение К осуществляли методом пламенной спектрофотометрии. Аналитики: М.М. Аракелянц, В.А. Лебедев. При расчете возраста использованы константы: λ_К = 0.581 · 10⁻¹⁰ год⁻¹, λ_β = 4.962 · 10⁻¹⁰ год⁻¹, ⁴⁰К = 0.01167 (ат. %). *** Обозначения возрастных интервалов подразделений флористратиграфической шкалы даны по [15].

Новые К–Аг-датировки по “валовому” составу пород бокурского комплекса (табл. 2) попадают в широкий интервал 172–120 млн лет – средняя юра–ранний мел по шкале [15], что согласуется с флористическими характеристиками вулканогенно-осадочной толщи из основания разреза щелочных пород Бокурской кальдеры, указывающими на юрский возраст вулканомиктовых песчаников (Г.Г. Забелин и др., 1966 г.). Для дарьинского комплекса “валовые” датировки варьируются в более узком, но также малореальном для становления единого комплекса интервале величин: 120–106 млн лет – апт–альб по шкале [15].

В возрастном ⁴⁰Аг/³⁹Аг-спектре калишпата из фонотефрита бокурского комплекса (рис. 2) после низкотемпературных ступеней с повышенными значениями выделяется надежное плато из 5 ступеней, характеризующееся значением 125.7 ± ± 1.7 млн лет, которое, по всей видимости, соответствует времени формирования вулканита близ рубежа баррем–апт. С этими данными согласуется в пределах точности методов К–Аг-датировка по биотиту (123.0 ± 3.7 млн лет) аналогичной породы из Бокурской же вулканической кальдеры (табл. 2). Значение изохронного U/Pb-возраста, полученное для сфенов из субщелочных и щелочных пород ККЮМП (124.3 ± 2.0 млн лет), согла-

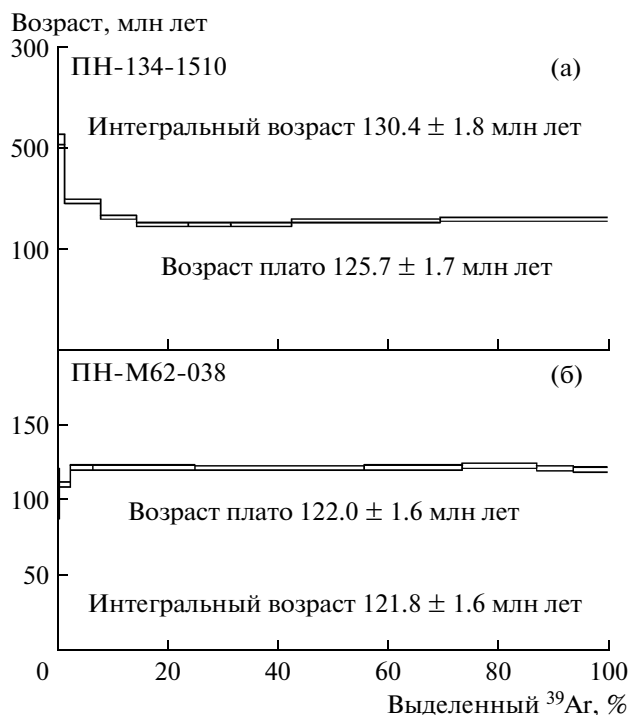


Рис. 2. Спектры ^{40}Ar – ^{39}Ar -возрастов, полученные при ступенчатом нагреве мономинеральных фракций калишпатов из щелочных пород ККЮМП.

а – Спектр калишпата из фонотефрита бокурского комплекса; б – спектр калишпата из апонифелиново-го сиенит-пегматита дарьинского комплекса.

суется с данными, полученными $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -, K/Ar -методами для фонотефритов бокурского комплекса, что подтверждает достоверность полученных датировок.

В возрастном $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -спектре калишпата из апонифелиново-го сиенит-пегматита дарьинского комплекса выделяется надежное плато из 7 ступеней (рис. 2), характеризующееся значением 122.0 ± 1.6 млн лет, что свидетельствует о ранне-аптском времени его формирования. Эта величина, как и в предыдущем случае, удовлетворительно согласуется с параметрами изохроны для сфенов (рис. 3). K/Ar -определение возраста биотита (111.3 ± 3.4 млн лет) из щелочного меланосиенит-порфира этого же комплекса значительно разнится от датировок, полученных $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -, U/Pb -методами, что связано, вероятно, с частичной потерей радиоактивного Ar в биотите.

Недостаток аналитических данных не позволяет пока квалифицированно судить о точных возрастных соотношениях пространственно разобщенных бокурского и дарьинского комплексов, но в первом приближении можно предполагать близость времени их становления к периоду формирования субщелочных комплексов ККЮМП [9].

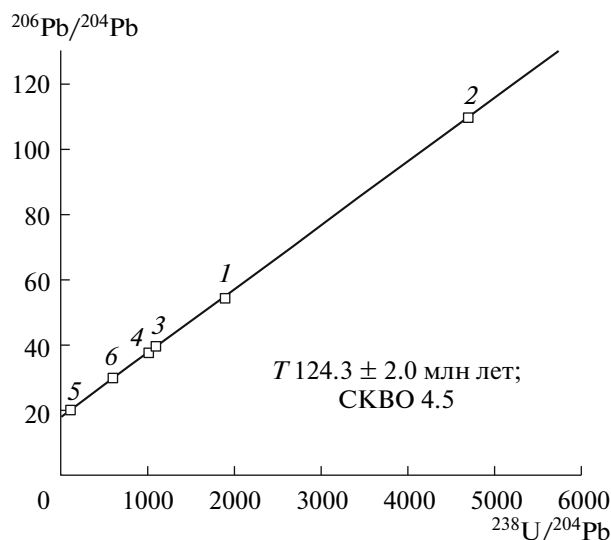


Рис. 3. Результаты изохронного U – Pb -датирования по сфенам из магматических пород ККЮМП. Изохрона для совокупности трех субщелочных и трех щелочных пород. Размер точек на графике превышает реальные ошибки измерений.

Неожиданными оказались результаты U/Pb (SHRIMP-II и LA ICP-MS) определений возраста цирконов из щелочно-салических пород дайкового комплекса Бокурской кальдеры, прежде относимых к завершающей фазе бокурского комплекса. Было выявлено наличие в породах “молодых” цирконов, свидетельствующих о времени становления породы (87.4 ± 2.0 , 86.6 ± 0.7 млн лет – коньяк–сантон; табл. 3; рис. 4), и реликтовых, зачастую очень древних (мезо-, палеопротерозой и даже неогархей). Такая картина с полимодальным распределением дат объясняется присутствием ксеногенных, возможно, детритовых кристаллов циркона, принадлежащих, очевидно, веществу протолита. Возраст образования анализируемой породы в этом случае определяется как приближающийся к возрасту самых молодых кристаллов циркона. Датировки для ксеногенных цирконов (2746–1060 млн лет) отвечают главным этапам магматизма в пределах Алданского щита. Таким образом, результаты прецизионного U/Pb -, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования однозначно свидетельствуют о том, что бокурский комплекс в прежнем его объеме полихронный. Основной объем вулканитов сформировался в баррем–аптское время. Внедрение даек щелочно-салических пород произошло после весьма значительного перерыва – в коньякском веке позднего мела.

Резюмируя полученные результаты, можно заключить следующее.

Наиболее ранние в ККЮМП проявления щелочных пород (125–126 млн лет) достоверно установлены в вулканической фации в пределах Бокурской и Улаханской кальдер (Улаханский массив).

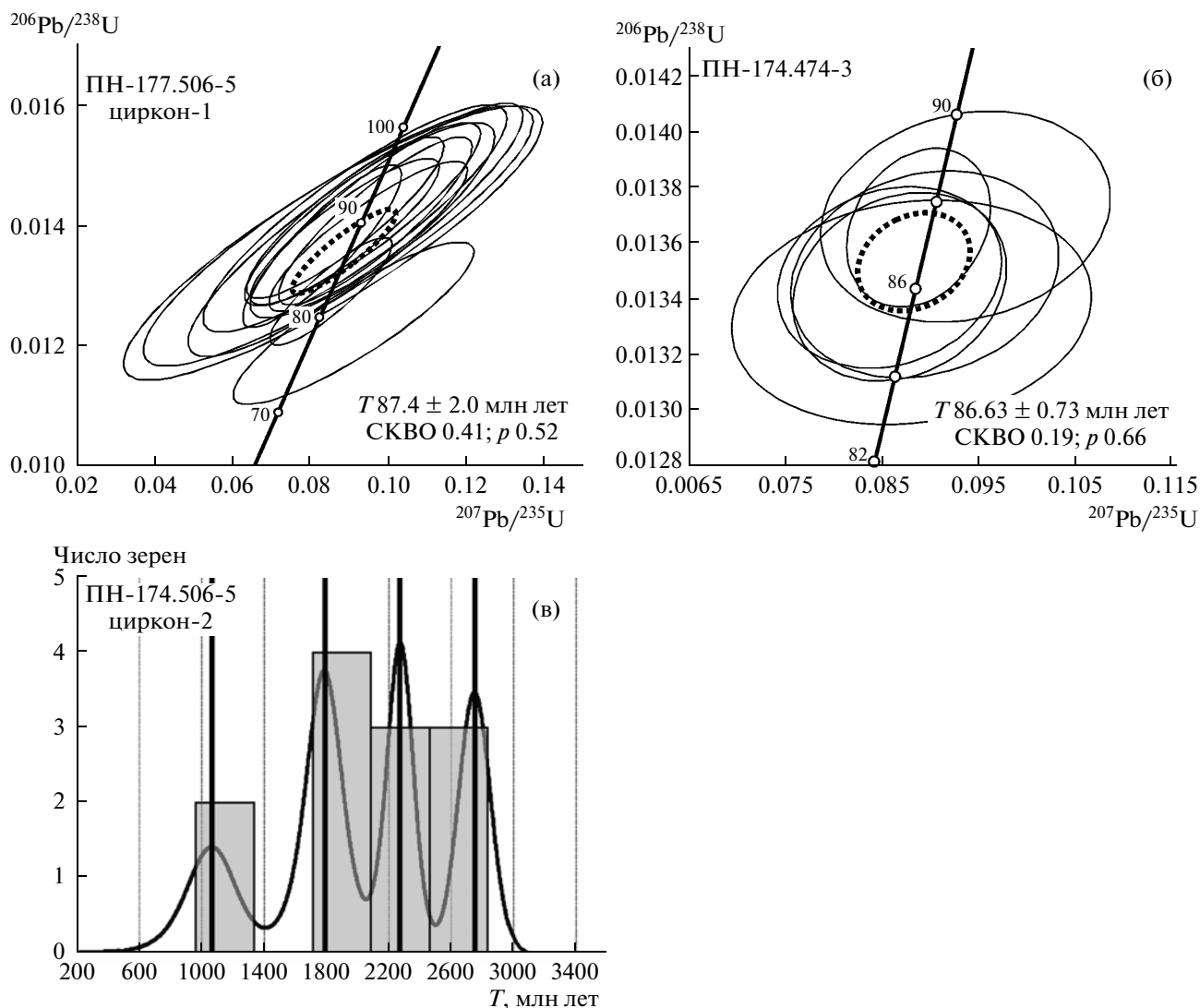


Рис. 4. Результаты локального датирования (SHRIMP-II, ICP-MS с лазерной абляцией) цирконов из пород дайкового щелочного комплекса Бокурской кальдеры. а, б – Диаграммы Везерила для совокупностей анализов. Размер эллипсов соответствует величине 2σ . Средневзвешенный возраст – утолщенный пунктирный эллипс, тонкие эллипсы – данные индивидуальных определений. в – Гистограмма распределения возраста ксеногенных цирконов из нефелинового сиенит-порфира. Номера проб соответствуют таковым из табл. 3.

Внедрение маломощных силлов, “роев” даек щелочных пород пестрого, но в целом щелочно-базитового состава, в том числе меланитсодержащих, произошло в пределах Усмуно-Дарьинского массива близко во времени с вулканитами, возможно, с небольшой задержкой. Аналогичные “рои” даек и силлов щелочно-базитовых пород были образованы в это время и северо-восточнее, в пределах Муктантинского магматогенного поднятия.

Дайки и мелкие штоковидные тела щелочно-салических пород из Бокурской, Улаханской кальдер: тингуаитов (фонолитов), нефелиновых и щелочных кварцевых сиенит-порфиров, прежде относимых к бокурскому комплексу, внедрились после весьма значительного перерыва, спустя почти

40 млн лет после прекращения масштабной магматической деятельности в пределах ККЮМП. Все эти породы – представители нового, не выделяемого здесь ранее магматического этапа, связанного с финальными для мезозойской ТМА тектоническими движениями на юго-востоке Алданского щита. Образованный в это время комплекс пород назван нами “курунгским”. Присутствие реликтовых цирконов в составе кристаллических фаз щелочно-салических пород свидетельствует об участии вещества древней коры в формировании источников курунгского комплекса.

Полученные нами возрастные характеристики бокурского, дарьинского комплексов близки к имеющимся литературным данным по щелочно-

Таблица 3. Возраст дайкового комплекса щелочных пород Бокурской кальдеры по результатам U–Pb-датирования цирконов

Образец (вид анализа)	Координаты		Порода	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - возраст, млн лет	$\pm 2\sigma$	СКВО	p	N
	с.ш.	в.д.						
ПН-177.474-3 (SHRIMP-II)	57°39'34"	132°13'31"	Тингуаит (фонолит)	86.63	0.73	0.19	0.66	6
				102.0	2.0	0.19	0.67	1
ПН-174.506-5, циркон-1 (LA ICP-MS)	57°39'34.14"	132°13'40"	Нефелиновый сиенит-порфир	87.4	2.0	0.41	0.52	13
ПН-174.506-5, циркон-2 (LA ICP-MS)	57°39'34.14"	132°13'40"	То же	1060*	230	—	—	2
				1781*	120	—	—	4
				2268*	99	—	—	3
				2746*	120	—	—	3

Примечание. U–Pb-датирование на ионном микрозонде осуществлено в ЦИИ ВСЕГЕИ по стандартной методике; U–Pb-датирование цирконов методом LA ICP-MS выполнено на плазменном масс-спектрометре Agilent 7500a (“Agilent Technologies”), совмещенном с лазерно-абляционной системой NWR213 (“New Wave/Merchantek”) в ДВГИ ДВО РАН, аналитик В.И. Киселёв. * – Усредненные абсолютные датировки по отдельным точкам без расчета статистических характеристик; прочие значения абсолютного возраста – конкордантные величины датировок. В пробах с полимодальным распределением датировок выделены значения, принятые за возраст породы. Циркон-1: “молодой” циркон, характеризующий возраст породы; циркон-2: древние, реликтовые зерна циркона. N – число проанализированных зерен. Прочерк – не определено. p – вероятность конкордантности.

му гипабиссальному плутонизму хребта Кондёр (крайний восточный фрагмент ККЮМП) и щелочному вулканоплутонизму Центрально-Алданского района (табл. 1). Это служит свидетельством одновременности становления Кеткапско-Юнсковой, Центрально-Алданской зон мезозойской ТМА Алдана. Синхронность проявлений главных фаз магматизма субщелочного [9] и щелочного типов, установленная в пределах рубежа баррем–апт, и отрыв во времени становления дайкового щелочно-салического комплекса согласуются с геологическими наблюдениями и особенностями петрогеохимических, изотопно-геохимических параметров полиформационных магматитов в пределах ККЮМП, [9–14] и др.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (интеграционный проект № 12-II-CY-08-012 и проект № 14-05-00712), а также в рамках Программы повышения конкурентоспособности ТГУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Максимов Е.П., Угрюмов А.Н. // Сов. геология. 1971. № 7. С. 107–119.
- Полин В.Ф., Петраченко Е.Д. В сб.: Материалы XI сессии Северо-Восточного отделения ВМО. Магадан, 2001. Т. 1. С. 185–191.
- Кичигин Л.Н. В кн.: Магматизм Северо-Востока СССР. М.: Наука, 1973. С. 147–153.
- Билибина Т.В., Даикова А.Д., Донаков В.И. и др. Петрология щелочного вулканогенно-интрузивного комплекса Алданского щита (мезозой). Л.: Недра, 1967. 264 с.
- Ельянов А.А., Моралёв В.М. // Изв. вузов. Геология и разведка. 1973. № 10. С. 15–23.
- Орлова М.П., Авдеева О.И., Федорова И.В., Яковлева Л.В. // ДАН. 1978. Т. 240. № 3. С. 677–680.
- Некрасов И.Я., Ленников А.М., Октябрьский Р.А. и др. Петрология и платиноносность кольцевых щелочно-ультраосновных комплексов. М.: Наука, 1994. 381 с.
- Кононова В.А., Первов В.А., Богатиков О.А., Мюс-Шумахер У., Келлер Й. // Геотектоника. 1995. № 3. С. 35–45.
- Полин В.Ф., Мицук В.В., Ханчук А.И. и др. // ДАН. 2012. Т. 442. № 1. С. 83–89.
- Полин В.Ф., Сахно В.Г. // ДАН. 2004. Т. 394. № 3. С. 364–367.
- Полин В.Ф., Сахно В.Г., Соляник А.Н. // ДАН. 2004. Т. 398. № 3. С. 384–389.
- Полин В.Ф., Сахно В.Г., Сандимирова Г.П., Цурикова Л.С. // ДАН. 2008. Т. 418. № 1. С. 74–80.
- Полин В.Ф., Ханчук А.И., Дриль С.И. и др. // ДАН. 2006. Т. 409. № 2. С. 241–247.
- Полин В.Ф., Ханчук А.И., Мицук В.В. и др. // ДАН. 2013. Т. 448. № 2. С. 181–187.
- Gradstein F.M., Ogg J.C., Smith A.G. A Geological Time Scale. 2004. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2004. 589 p.