

УДК 552.32

## ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ РУБЕЖИ СУБЩЕЛОЧНОГО МАГМАТИЗМА КЕТКАПСКО-ЮНСКОЙ МАГМАТИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ АЛДАНСКОГО ШИТА

© 2012 г. В. Ф. Полин, В. В. Мицук, академик А. И. Ханчук,  
член-корреспондент РАН В. А. Глебовицкий, С. Ю. Будницкий,  
Н. Г. Ризванова, А. Н. Соляник, А. С. Шишов

Поступило 03.08.2011 г.

В междуречье Учур–Мая (рис. 1) мезозойские многофазные вулканоплутонические сооружения центрального типа образуют протяженную (>300 км) дугообразную магматогенную структуру, включающую Кеткапско-Юнскую (ККЮМП) и Томптоканскую магматические провинции [1, 3 и др.].

Кеткапско-Юнская провинция в последние годы детально изучалась геолого-поисковым и петрологическим методами. Однако вопросы ее изотопной периодизации по-прежнему остаются открытыми, хотя и дебатированы на протяжении последнего десятилетия. До недавнего времени на основании К–Аг-датирования по валовому составу пород, реже по мономинеральным фракциям (например, [2, 4, 5]), считалось, что магматогенные комплексы ККЮМП формировались на протяжении юры–раннего мела. Для лучшего понимания тектонической и магматической эволюции ККЮМП ныне требуется уточненная схема ее изотопной периодизации, основанная на современных методах датирования, что имеет также немаловажное прикладное значение в связи с промышленной золотоносностью учурского комплекса.

Авторы этого сообщения придерживались двучиклической пятиэтапной схемы эволюции магматизма Кеткапско-Юнской провинции [6, 9]. Предложено подразделение мезозойских магматитов на четыре комплекса: трахиандезит-диорит-гранодиоритовый учурский, тефрит-фонолит-щелочнотрахитовый с сиенитами бокурский, фойдо-щелочносиенитовый дарьинский, монцонит-сиенитовый кеткапский. Их геологическая и петролого-геохи-

мическая характеристики приведены в работах [7–10].

В этой работе представлены результаты геохронологических исследований пород учурского и кеткапского комплексов ККЮМП с помощью усовершенствованного К–Аг-метода [13], а также U–Pb-изохронного датирования по сфенам и U–Pb-локального (SHRIMP-II) датирования по цирконам. Данные К–Аг-геохронологии приведены в табл. 1, результаты SHRIMP-анализа цирконов даны в табл. 2 и показаны на рис. 2; материалы уран-свинцового датирования по сфенам представлены в табл. 3 и на рис. 3.

Имеющиеся К–Аг-датировки для ККЮМП в целом изменяются от 188 до 98 млн лет [2, 4, 5 и материалы геолого-съёмочных работ] и соответствуют возрастному интервалу ранняя юра–поздний мел. Новые результаты изотопного датирования магматизма ККЮМП получены для массивов Улаханского, Юртового (Кеткапское поднятие), Юнско-Даньского, Дюсь-Макитского (Юнско-Даньское поднятие) и Усмуно-Дарьинского (одноименное поднятие) (рис. 1).

Калий-аргоновые датировки получены нами для 8 валовых и 9 мономинеральных проб интрузивных пород (табл. 1). Интервал возрастов по валовому составу субщелочных пород отвечает раннему мелу ( $142 \pm 3$ – $104 \pm 2.5$  млн лет), что значительно отличается от оценок, приводимых в опубликованных работах и материалах геолого-съёмочных работ. Время становления изученных комплексов, согласно данным мономинеральных калий-аргоновых определений, также раннемеловое, с еще более узким интервалом датировок (баррем-альб: 127.5–108.1 млн лет). Очевидно некоторое “занижение” величин К–Аг-минеральных датировок относительно валовых, равно как и относительно большинства данных цирконометрии (табл. 1, 2).

Для целей U–Pb-датирования сфенов проанализированы 8 проб из субщелочных и щелочных пород. Незначительное количество накопивше-

Дальневосточный геологический институт  
Дальневосточного отделения  
Российской Академии наук, Владивосток  
ЗАО “Зональное”, Южно-Сахалинск  
Институт геологии и геохронологии докембрия  
Российской Академии наук, Санкт-Петербург



**Таблица 1.** Краткая геологическая характеристика и результаты определения К–Аг-возраста представительных проб пород ККЮМП

№ п/п	Фаза магматизма	Номер пробы и анализируемый материал	Порода	Калий, % ±σ	<sup>40</sup> Аг <sub>рад</sub> , (нг/г) ±σ	Возраст (млн лет), ±2σ	Период, эпоха, век
Учурский комплекс							
1	Первая	ПН-238-8642, валовая	Субщелочной кварцевый диорит	1.84 ± 0.02	18.86 ± 0.06	142.0 ± 3.0	К <sub>1</sub> , берриас
2		ПН-157-1711, биотит	То же	6.94 ± 0.17	57.6 ± 1.1	118.4 ± 4.6	К <sub>1</sub> , апт
3		ПН-70.2-8130, биотит	»	7.02 ± 0.17	57.7 ± 1.0	117.3 ± 3.6	К <sub>1</sub> , апт
4	Вторая	ПН-9260-6, валовая	Субщелочной гранодиорит	1.92 ± 0.02	17.36 ± 0.06	126 ± 2.5	К <sub>1</sub> , баррем
5	Третья	ПН-142-8126, валовая	Субщелочной кварцевый диорит	2.08 ± 0.03	16.17 ± 0.05	109 ± 3	К <sub>1</sub> , альб
6		ПН-174-8199, амфибол	Феррогаббро	0.74 ± 0.04	6.63 ± 0.11	127.5 ± 4.8	К <sub>1</sub> , баррем
7	Четвертая	ПН-238-8618, валовая	Субщелочной гранодиорит	1.72 ± 0.02	15.90 ± 0.05	129 ± 3	К <sub>1</sub> , баррем
Кеткапский комплекс							
8	Первая	ПН-111.594\2, валовая	Эссексит-шонкинит субщелочной	2.97 ± 0.03	27.26 ± 0.09	128 ± 2.5	К <sub>1</sub> , баррем
9		ПН-111.594\2, биотит	То же	7.12 ± 0.17	53.8 ± 0.8	108.1 ± 3.2	К <sub>1</sub> , альб
10		ПН-137-1580, валовая	Монзонит	4.13 ± 0.05	39.90 ± 0.13	134 ± 3	К <sub>1</sub> , валанжин
11		ПН-137-1580, биотит	То же	7.51 ± 0.18	62.5 ± 1.0	118.7 ± 3.6	К <sub>1</sub> , апт
12	Третья	ПН-137-1575, биотит	Сиенит-кварцевый монзонит	7.39 ± 0.18	59.7 ± 0.9	115.3 ± 3.6	К <sub>1</sub> , апт
13		ПН-160-1741А, биотит	То же	7.43 ± 0.18	62.9 ± 1.0	120.6 ± 3.6	К <sub>1</sub> , апт
14		ПН-131.588-598Д, валовая	Монцодиорит	3.94 ± 0.04	34.06 ± 0.11	121 ± 2.5	К <sub>1</sub> , апт
15		ПН-134-1528, биотит	То же	7.25 ± 0.17	57.9 ± 0.9	114.1 ± 3.5	К <sub>1</sub> , апт
16	Четвертая	ПН-131.574, валовая	Граносиенит	5.14 ± 0.06	38.08 ± 0.12	104 ± 2.5	К <sub>1</sub> , альб
17		ПН-138-1607Б, амфибол	То же	1.80 ± 0.04	15.69 ± 0.20	124.2 ± 3.7	К <sub>1</sub> , апт

Примечание. Определение К–Аг-абсолютного возраста валовых проб проведено в Лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН на масс-спектрометре МИ-1201 ИГ методом изотопного разбавления с применением в качестве трассера <sup>38</sup>Аг, определение калия осуществляли методом пламенной спектрофотометрии, аналитики М.М. Аракелянц и В.А. Лебедев. К–Аг-датирование мономинеральных проб произведено в Лаборатории стабильных изотопов АЦ ДВГИ ДВО РАН, аналитик С.Ю. Будницкий. Содержание радиогенного аргона в образцах измерено по оригинальной CF-GC-IRMS методике, разработанной сотрудниками лаборатории [13]. Содержание калия 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. Обозначения возрастных интервалов подразделений фитостратиграфической шкалы даны в соответствии с [12].

гося <sup>207</sup>Pb не позволило использовать традиционное построение в координатах <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U–<sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U, поэтому по шести точкам, для щелочных и субщелочных пород в совокупности, была рассчитана изохрона в координатах <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb–<sup>238</sup>U/<sup>204</sup>Pb (табл. 3, рис. 3). Возраст, полученный таким образом, равен 124.3 ± 2.0 млн лет. Датировка по сфену субщелочных пород в рамках погрешности измерения та же: 125 ± 20 млн лет. Высокие значения СКВО могут быть обусловлены различными причинами. Во-первых, можно предположить, что уран-свинцовая система сфенов

была нарушена какими-то наложенными событиями. В этом случае нельзя говорить об изохронной зависимости и полученные графики являются эрохронами, дающими лишь приблизительный возраст. Второй причиной может быть то, что в анализированных пробах присутствовал различный первичный свинец, на который надо было вводить поправку, проанализировав когенетичные минералы. Это представляется задачей будущего. В целом полученные результаты могут свидетельствовать о близком к синхронному (рубеж бар-

**Таблица 2.** Возраст пород субщелочных магматических комплексов ККЮМП по результатам U–Pb-датирования цирконов

№ п/п	Образец	Координаты		Фаза магматизма	Порода	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U-возраст, млн лет	±2σ	СКВО	p	N		
		с.ш.	в.д.									
Учурский комплекс												
1	ПН-239-8572	57°75'05"	133°43'37"	Четвертая	Субщелочной гранодиорит	102	23	1.8	<0.01	7		
						2020	13					
						*388	11					
						*117.8						
2	ПН-238-8642	57°35'37"	133°43'25"	Третья	Субщелочной кварцевый диорит	*123.0		0.01	0.92	2		
						120.1	5.5				0.35	0.55
						259.2	9.3				2.1	0.14
3	ПН-142-8126	57°32'27"	133°33'37"	Третья	Субщелочной кварцевый диорит	2012	23	0.03	0.86	11		
						124.4	1.6					
4	ПН-133-1501	57°44'42"	132°20'05"	Первая	Субщелочной диоритовый порфирит	122	1	0.04	0.84	10		
Кеткапский комплекс												
5	ПН-045-6105	57°22'21"	133°24'55"	Четвертая	Аляскит	125.8	2.5	0.01	0.91	7		
						351	17				0.26	0.61
						516	26				0.23	0.63
						2063	66				0.42	0.52
6	ПН-131.588-598Д	57°39'44"	132°13'29"	Третья	Монцодиорит	123.6	1.6	0.15	0.70	11		

Примечание. Положение проб в таблице согласуется с возрастным положением фаз магматитов в каждом комплексе, снизу вверх от более древних к молодым. \* – 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.

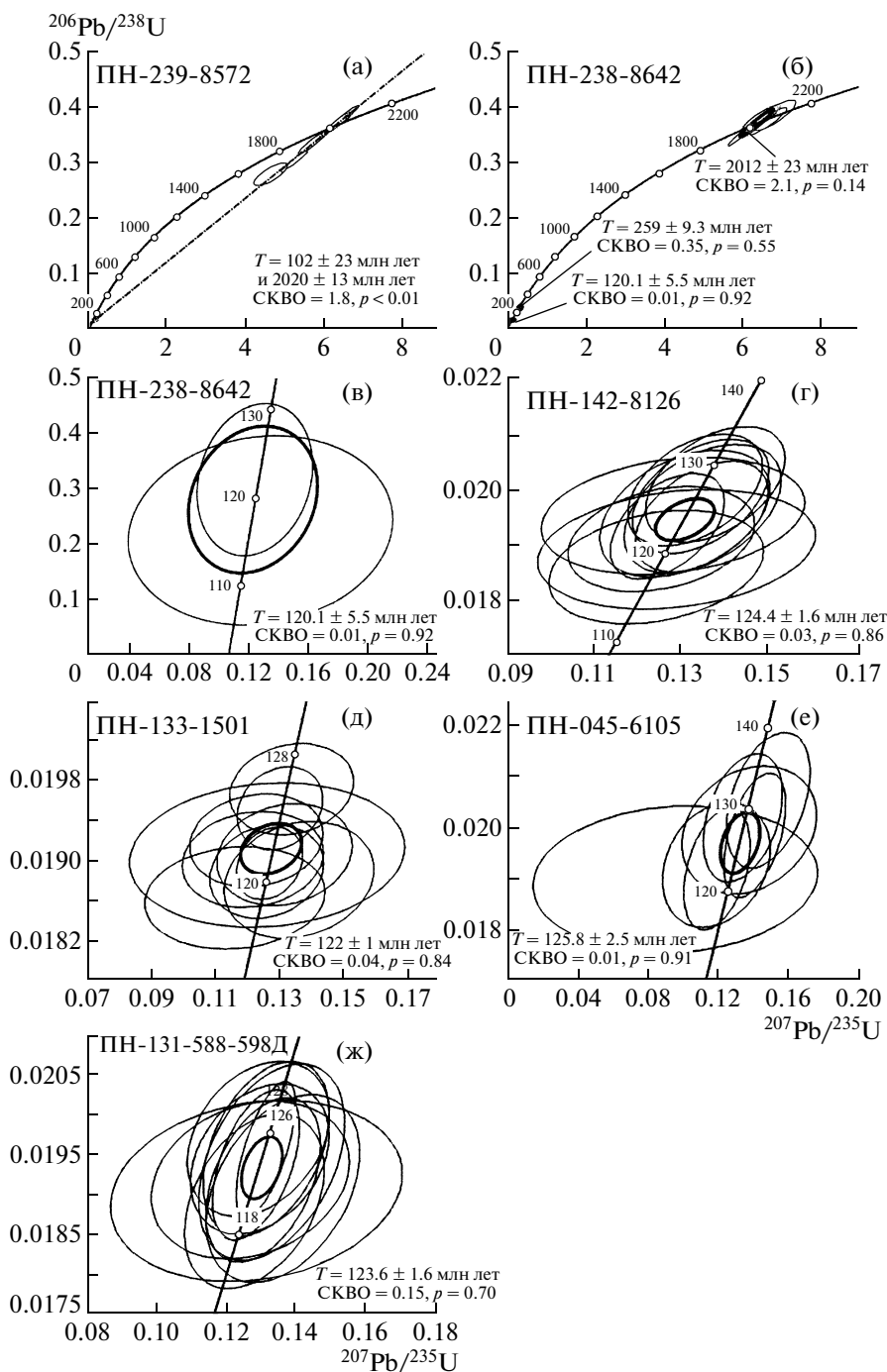
рем–апт) становлению комплексов субщелочных и щелочных пород ККЮМП.

На ионном микрозонде SHRIMP-II (ЦИИ ВСЕГЕИ) в большинстве случаев получены датировки, статистически принадлежащие к единой совокупности. В двух случаях (пробы ПН-239-8572 и ПН-238-8642, табл. 2) для групп цирконов установлены существенные вариации средних взвешенных значений со среднеквадратичным отклонением (СКВО) 1.8 и 2.1, вероятностью ( $p$ ) <0.01 и 0.14 соответственно. Вариации субконкордантных U–Pb-индивидуальных дат для этих цирконов превысили 20 млн лет. Подобные случаи с резко полимодальным распределением дат объясняются нами присутствием ксеногенных, унаследованных кристаллов циркона, принадлежащих, вероятно, веществу протолита (табл. 2, рис. 2). Возраст образования анализируемой породы в этих случаях мы определяли как приближающийся к возрасту самых молодых кристаллов циркона (табл. 2, выделены полужирным). Датировки для ксеногенных цирконов (от 2 млрд до 200 млн лет) согласуются с известными

этапами магматизма и метаморфизма в пределах Алданского щита.

Полученные значения уран-свинцового (SHRIMP) возраста учурского комплекса изменяются от 124.4 до 120.1 млн лет; для кеткапских монцониоидов колебания имеющихся уран-свинцовых датировок попадают в еще более узкий интервал: 125.8–123.6 млн лет (табл. 2). Максимальные значения датировок хорошо согласуются с изохронными возрастными по сфенам (рис. 3).

Сопоставление результатов уран-свинцовых (SHRIMP) и валовых K–Ar-определений по одной и той же пробе (табл. 1 и 2) выявило необычную особенность: в ряде случаев превышение значений, полученных K–Ar-методом, над U–Pb-датировками. Подобное явление может объясняться либо присутствием избыточного радиогенного аргона, либо выносом из породы калия. Поскольку анализировались неизменные породы, предпочтение отдается первому варианту. Не исключено, что часть рассматриваемых пород ККЮМП имеет реоморфический генезис в связи с внедрением щелочно-базитовых расплавов и их



**Рис. 2.** Результаты SHRIMP-датирования цирконов из магматических пород ККЮМП. Диаграммы Везерилла для всех совокупностей анализов: а–д – учурский комплекс, е–ж – кеткапский комплекс. Размер эллипсов соответствует величине  $2\sigma$ . Средневзвешенные результаты показаны утолщенным эллипсом, тонкими эллипсами отображены данные индивидуальных определений.

мощным тепловым воздействием на породы кристаллического основания, с чем, возможно, и связано удревание К–Аг-возраста. Резкое несовпадение некоторых взятых из отчетов и публикаций датировок ( $T_3$ – $J_1$ ) пород ранней фазы учурского комплекса с полученными нами ( $K_1$ ) может объясняться и еще одной причиной – веро-

ятным загрязнением материала валовых проб веществом ксенолитов (кристаллосланцы, амфиболиты), весьма характерных для диоритов первой фазы. В целом наши датировки, полученные разными методами, близки между собой и соответствуют раннему мелу; зачастую их вариации не выходят за пределы точности соответствующего метода.

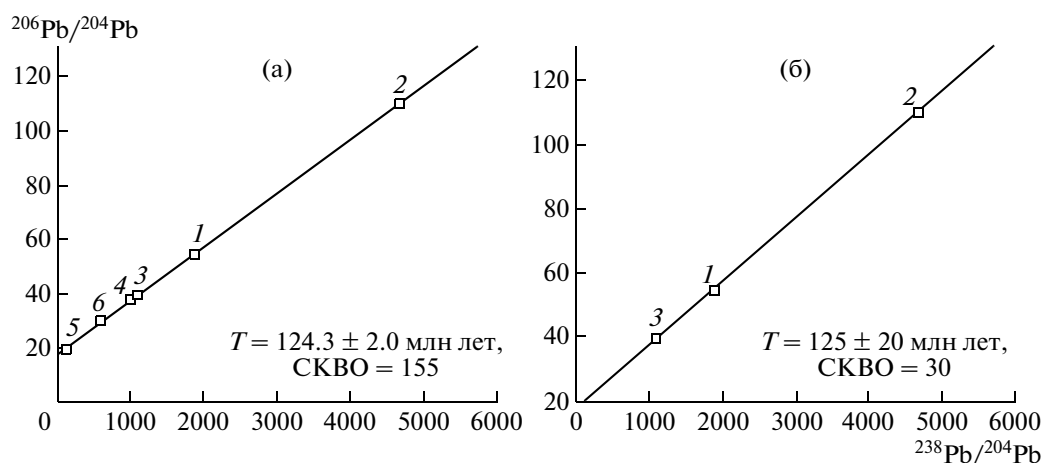


Рис. 3. Результаты U–Pb-изохронного датирования по сфенам из магматических пород ККЮМП. Изохроны: а – совокупность субщелочных и щелочных пород, б – субщелочные породы. Величина фигуративных точек на графиках превышает реальные ошибки измерений. Номера точек соответствуют порядковым номерам проб из табл. 3.

Разрыв во времени между внедрением расплавов, материнских для пород разных фаз учурского комплекса в пределах одного массива, установленный на ионном микрозонде (табл. 2, пр. ПН-238-8642 и ПН-239-8572, массив Павел), минимален и не превышает 2 млн лет. Нарушение возрастных соотношений между представителями третьей и четвертой фаз кеткапского комплекса (пр. ПН-131.588-598Д – третья фаза, 123.6 млн лет, и ПН-045-6105 – четвертая фаза, 125.8 млн лет) равно как между первой (пр. ПН-133-1501, 122 млн лет) и третьей (пр. ПН-142-8126, 124.4 млн

лет) фазами учурского объясняется нами принадлежностью проанализированных пород к разным массивам (соответственно Улаханскому на Кеткапском поднятии (рис. 1) и Усмуно-Дарьинскому на одноименном поднятии – в первом случае; Улаханскому и Недоступному (Юньско-Даньское поднятие) – во втором). Временные диапазоны становления одноименных фаз комплекса в разных массивах не вполне совпадают, вероятно, в силу того, что каждый из массивов является результатом деятельности относительно самостоя-

Таблица 3. U–Pb-изотопные данные для сфенов из субщелочных и щелочных магматических пород ККЮМП

№ п/п	Проба, комплекс, порода	Навеска, мг	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}^*$	$^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}^*$	<i>Rho</i>
			ppm				
1	ПН-111-594/2, кеткапский, эссексит-шонкинит субщелочной	3.16	11.06	159.8	$54 \pm 0.24$	$1880.5 \pm 9.97$	0.89
2	ПН-142-8126, учурский, субщелочной кварцевый диорит	2.20	3.25	67.36	$109.4 \pm 1.83$	$4682 \pm 93.6$	0.99
3	ПН-131-588.598Д, кеткапский, монцодиорит	3.34	3.92	40.1	$39.5 \pm 0.45$	$1096 \pm 20.1$	0.66
4	ПН-045-6100, дарьинский, шпреустейновый сиенит-порфир	2.83	1.79	16.6	$37.6 \pm 0.33$	$1009 \pm 14.1$	0.93
5	ПН-М62-038, дарьинский, апонифелиновый сиенит-пегматит	3.05	н.о.	н.о.	$19.9 \pm 0.016$	$99.7 \pm 0.36$	0.39
6	ПН-М62-430, дарьинский, пегматит нефелинового сиенита	2.36	32.02	217.6	$29.8 \pm 0.057$	$585 \pm 1.5$	0.76

Примечание. Выделение Pb из сфенов проведено по методике [15]. Содержание элементов определено методом изотопного разбавления. Измерения изотопного состава Pb и U проводили в ИГГД РАН на масс-спектрометре Finnigan MAT-261, аналитик Н.Г. Ризванова. Все погрешности отвечают уровню  $2\sigma$ . Расчеты изотопных отношений и возраста минералов проводили по программам [14 и др.]. \* Изотопные отношения, скорректированные на фракционирование (0.13%) на единицу массы и лабораторное загрязнение (0.05 нг для Pb и 0.01 нг для U). *Rho* – значения коэффициента корреляции между величинами  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  и  $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ .

тельного магматического очага, имеющего собственную историю развития.

Главный вывод при анализе результатов нового изотопного датирования состоит в том, что длительность проявлений субщелочного магматизма в ККЮМП имеет лишь несколько миллионов лет и укладывается в рамки раннемеловой эпохи (рубеж баррем—апт по SHRIMP-датированию цирконов и уран-свинцовому датированию сфенов). Этот временной отрезок фиксирует, вероятно, главный этап (фазу относительного покоя при сильном сжатии) существования обстановки взаимного скольжения Сибирского кратона и Амурского мегаблока, согласно геодинамическим построениям [11].

Геохронологические исследования подтвердили высказанную ранее [10] точку зрения, что кеткапский комплекс представляет по сути петрологический аналог учурского, но более щелочной за счет дополнительного привноса в материнские расплавы глубинных флюидов калия и связанных с ним микроэлементов. Присутствие реликтовых цирконов в составе кристаллических фаз монцонитоидов и субщелочных диоритоидов свидетельствует об участии вещества древней коры в формировании источника этих пород.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ельянов А.А., Андреев Г.В. Магматизм и металлогения платформенных областей многоэтапной активизации. Новосибирск: Наука, 1991. 168 с.
2. Кичигин Л.Н. В кн.: Магматизм Северо-Востока СССР. М.: Наука, 1973. С. 147–153.
3. Максимов Е.П. // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1972. № 3. С. 33–44.
4. Некрасов И.Я., Ленников А.М., Октябрьский Р.А. и др. Петрология и платиноносность кольцевых щелочно-ультраосновных комплексов. М.: Наука, 1994. 381 с.
5. Орлова М.П., Авдеева О.И., Федорова И.В., Яковлева Л.В. // ДАН. 1978. Т. 240. № 3. С. 677–680.
6. Полин В.Ф., Петраченко Е.Д. В сб.: Материалы XI сессии Северо-восточного отделения ВМО. Магадан, 2001. Т. 1. С. 185–191.
7. Полин В.Ф., Сахно В.Г., Соляник А.Н. // ДАН. 2004. Т. 398. № 3. С. 384–389.
8. Полин В.Ф., Ханчук А.И., Дриль С.И. и др. // ДАН. 2006. Т. 409. № 2. С. 241–247.
9. Полин В.Ф. В кн.: Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. С. 464–475.
10. Полин В.Ф., Сахно В.Г., Сандиминова Г.П., Цурикова Л.С. // ДАН. 2008. Т. 418. № 1. С. 74–80.
11. Ханчук А.И., Голозубов В.В., Мартынов Ю.А., Симаненко В.П. В сб.: Тектоника Азии. Материалы XXX Тектонического совещания. М., 1997. С. 240–243.
12. Gradstein F.M., Ogg J.C., Smith A.G. A Geological Time Scale. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2004. 589 p.
13. Ignat'ev A.V., Velivetskaya T.A., Budnitskiy S.Yu. // J. Anal. Chem. 2010. V. 65. № 13. P. 1347–1355.
14. Ludwig K.R. // Berkeley Geochronol. Center Spec. Publ. 1999. № 1a. 49 p.
15. Manhés G., Minster J.E., Allegre C.J. // Earth and Planet. Sci. Lett. 1978. V. 39. № 1. P. 14–24.