



УДК 552.33 +551.284 (571.5)

Циклические вариации калия в позднекайнозойских лавах Центральной Монголии

И. С. Чувашова (chuvashova@crust.irk.ru)

С. В. Рассказов (rassk@crust.irk.ru)

С. Б. Брандт (bra@crust.irk.ru)

Аннотация. Выполнено K–Ar-датирование 23 образцов щелочных базальтоидов позднекайнозойских вулканических полей Центральной Монголии. При анализе более 100 имеющихся K–Ar и Ar–Ar-датировок выявлена цикличность временных вариаций калия в излившихся лавах от 0,8 до 4,8 мас. %. Установлено чередование высоко- и умереннокалиевого магматизма в интервале 23,4–9,7 млн лет назад с квазипериодичностью 6–8 млн лет, в интервале 9,6–2,1 млн лет назад – с квазипериодичностью 2,5 млн лет, а в последние 1,9 млн лет – с квазипериодичностью 0,3–0,7 млн лет. Предполагается, что высококалиевый магматизм контролировался мантийными процессами нижней части Саяно-Монгольского низкоскоростного домена (на глубинах 120–180 км), а умереннокалиевый – процессами, развивавшимися в его верхней части (на глубинах 80–120 км).

Ключевые слова. Кайнозой, Центральная Монголия, вулканические породы, K–Ar-датирование.

Введение

Геологические процессы квазипериодичны [1]. Анализ частотного распределения 463 датировок позднекайнозойских вулканических пород Азии, полученных калий–аргоновым, аргон–аргоновым и ¹⁴C методами с учетом времени исторических извержений показал их максимумы на шкале времени с квазипериодами от 10 млн лет до сотен лет. В позднем кайнозое максимумы распределились в интервалах 21–19, 11–9 и < 2 млн лет назад, а минимумы – 24–22, 18–16 и 9–7 млн лет назад. Применение спектрально-временного анализа выявило ритмы 2,6, 0,4 и 0,1 млн лет [3, 19].

Центральная Монголия была охвачена щелочно-базальтоидным вулканизмом в позднем мезозое и раннем–среднем кайнозое в пределах Заалтайской и Средней Гоби, а в позднем кайнозое – в области Хангайской горной страны [6], которая в геоморфологическом отношении, разделяется на две части: северо-западную и юго-восточную. Первая представляет собой изометричное в плане с поперечником 200–250 км Хангайское нагорье, состоящее из четырех орографических провинций: 1) Западного и Центрального Хангая, 2) Северо-Западного Хангая, 3) хребта Тарбагатай и 4) хребта Болнай. Вторая протягивается к юго-востоку от Хангайского на-

горья на 200 км при ширине до 120 км в виде хребта Восточный Хангай. Позднекайнозойский вулканизм распространился также на территории Орхон-Селенгинского среднегорья (рис. 1).

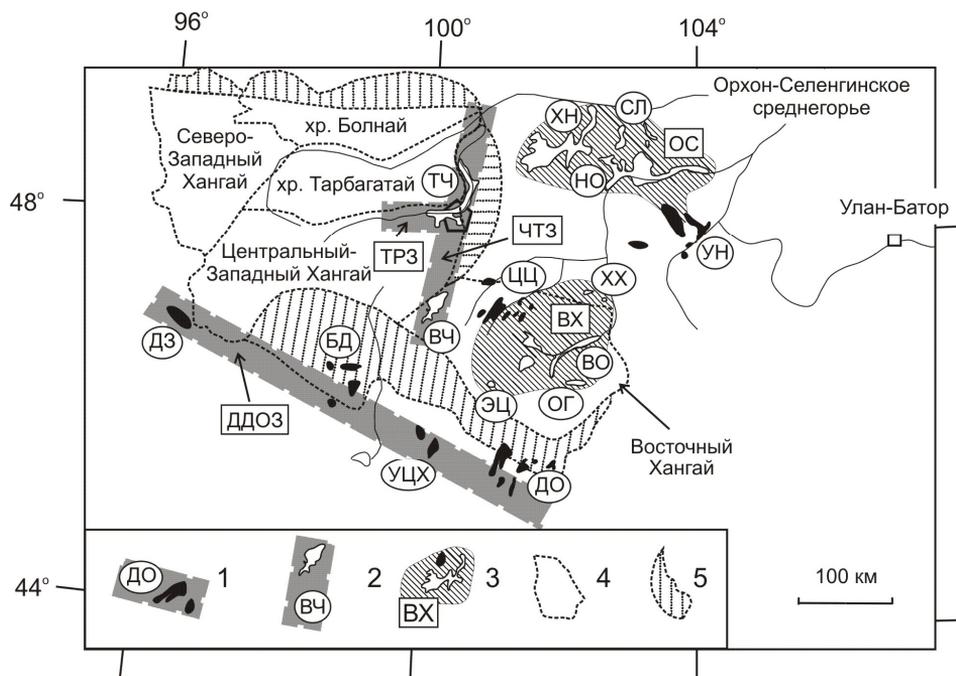


Рис. 1. Пространственные соотношения позднекайнозойских вулканических полей и ареалов с геоморфологическими провинциями Центральной Монголии:

1–2 – вулканические поля линейных зон (буквы в овалах): 1 – Дзабхан–Долино-Озёрской (ДДОЗ), активной в интервале 23,4–12,0 млн лет назад (ДЗ – Дзабханское, БД – Байдарикское, УЦХ – Улан-Цаб-Худукское, ДО – Долино-Озёрское), 2 – Чулутынской (ЧТЗ) и Тарятской (ТРЗ), активных в последние 9,6 млн лет назад (ВЧ – Верхне-Чулутынское, ТЧ – Тарят-Чулутынское); 3 – то же, *изометричных ареалов* (буквы в прямоугольниках): Восточно-Хангайского (ВХ) (начальный вулканизм 17,0–9,7 млн лет назад Цэцэрлэгского поля (ЦЦ), синхронный активности ДДОЗ, и более поздний вулканизм < 7,8 млн лет назад Хархоринского (ХХ), Верхне-Орхонского (ВО), Онгийн-Гольского (ОГ), Эрдэнэ-Цогтского (ЭЦ) полей) и Орхон–Селенгинского (ОС) (начальный вулканизм Угей-Нурского поля (УН) в интервале 15,5–11,5 млн лет назад, синхронный активности ДДОЗ, и более поздний вулканизм < 12,0 млн лет назад Нижне-Орхонского (НО), Хануйского (ХН) и Селенгинского (СЛ) полей); 4–5 – геоморфологические провинции [12]: 4 – горных хребтов, 5 – пограничные (северная и восточная) и Южно-Хангайское плоскогорье. В наименованиях вулканических территорий использованы названия, принятые в работах [2, 6] с дополнениями и изменениями, вытекающими из выделенных закономерностей циклических вариаций калия щелочных базальтоидов.

Позднекайнозойские вулканические поля выстраиваются в линейные зоны (Дзабхан–Долино-Озёрскую, Чулутынскую и Тарятскую) и образуют изометричные ареалы (Восточно-Хангайский и Орхон–Селенгинский). Дзабхан–Долино-Озёрская зона простирается на 500 км в западно–северо-

западном направлении вдоль южной границы Хангайской горной страны и Южно-Хангайского плоскогорья, а Чулутынская протягивается в субмеридиональном направлении (по азимуту около 10°) и совпадает с восточной границей Хангайского нагорья. Наконец, Тарятская зона прослеживается по выходам лав юго-западной части Тарят–Чулутынского вулканического поля на 40 км от Чулутынской зоны в западном направлении вдоль субширотной Тарятской впадины, расположенной между орографическими провинциями Центрального–Западного Хангая и хр. Тарбагатай. Восточно-Хангайский ареал находится в одноименной орографической провинции, а Орхон–Селенгинский ареал занимает одноименное среднегорье.

В настоящей работе приведены результаты 23 новых К–Аг определений времени вулканических извержений Центральной Монголии (таблица) и на основе анализа более 100 радиоизотопных датировок выявлен феномен циклических вариаций калия извергнутых лав. Концентрации калия рассматривались как важнейший геохимический параметр щелочных базальтоидов этой территории, которые были отнесены к калиевой серии по присутствию мегакристаллов санидина [11]. А. Я. Салтыковский и др. [20] отметили, однако, что большинство пород характеризуется отношением K_2O/Na_2O менее 1 и только лавы района оз. Угей-Нур (т. е. западной части Угей-Нурского вулканического поля) достигают классификационного пространства калиевых пород со значением K_2O/Na_2O более 1.

С позиций анализа циклических вариаций калия в пространственно–временной эволюции вулканизма Центральной Монголии, мы различаем линейные зоны и изометричные ареалы (см. рис. 1).

Датировки и концентрации калия щелочных базальтоидов вулканических зон

Дзабхан–Долино–Озёрская зона включает Дзабханское, Байдарикское, Улан-Цаб-Худукское и Долино-Озёрское поля.

На Дзабханском вулканическом поле получены датировки $16,0 \pm 0,5$ и $15,9 \pm 0,7$ млн лет [4, 6]. Вулканические породы характеризуются содержаниями калия от 0,7 до 2,3 мас. % [2, 11]. Для датированного образца ЦМ–1/4 приведено содержание калия 1,43 мас. %.

Лавы северной части Байдарикского вулканического поля показали датировки $23,4 \pm 0,7$ и $22,4 \pm 0,7$ млн лет при содержаниях калия в пробах, соответственно, 2,00 и 1,76 мас. % (обр. ЦМ–2/1 и ЦМ–2/3) [4]. Здесь установлен интервал концентраций калия от 1,7 до 3,7 мас. %.

На Долино–Озёрском вулканическом поле позднекайнозойские лавы датированы интервалом 15,6–12,2 млн лет при повышенных содержаниях калия 2,3–3,4 мас. %. Вулканический интервал 13,2–12,2 млн лет определен методом $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ [28]. Приведены представительные данные для датированных образцов с диапазоном калия 3,0–3,4 мас. %. Образцы с его более низкой концентрацией 2,37–2,67 мас. % охарактеризованы К–Аг-датировками, соответствующими в пределах погрешности измерений нижнему значению интервала $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датировок (обр. 9302, $K = 2,37$ мас. %, $t = 12,2$ млн лет).

датировки $13,4 \pm 0,5$ и $13,2 \pm 0,5$ млн лет) и верхнему (обр. 9304, К = 2,67 мас. %, датировка $12,0 \pm 0,5$ млн лет) [25]. Имеются и более древние К–Аг даты $14,6 \pm 0,3$ и $15,6 \pm 0,4$ млн лет с концентрациями калия в породах 2,79 и 2,70 мас. % (обр. ЮХ–8/7 и ЦМ–2/5) [4].

Таблица

Результаты К–Аг датирования вулканических пород Центральной Монголии

№	Образец	Порода	Координаты с. ш., в. д.		К, мас. %	$^{40}\text{Ar}_p^*$ 10^{-5} нмм ³ /г	Аг _в , %	Возраст, млн лет
			Широта	Долгота				
1	MN-594	ФБ	43° 13,035'	100° 25,837'	2,66	12,42	95	1,20±0,12
2	MN-570	ТБ	48° 18,870'	100° 28,380'	1,96	20,56	93	2,69±0,20
3	MN-599	Ф	48° 10,100'	100° 27,113'	3,37	50,08	85	3,83±0,20
4	MN-579	ТАБ	48° 18,554'	100° 28,120'	2,22	50,17	77	5,80±0,24
5	MN-684	ТБ	47° 34,545'	101° 7,374'	1,40	53,05	70	9,7±0,4
6	MN-667	ТБ	47° 13,252'	101° 02,353'	1,78	77,78	64	11,2±0,4
7	MN-693	ТАБ	47° 25,633'	101° 30,159'	1,94	118	66	15,6±0,6
8	MN-657	ТАБ	47° 07,505'	100° 56,886'	1,25	79,3	80	16,2±0,7
9	MN-655	ТАБ	47° 16,614'	101° 08,597'	1,48	88,23	63	15,3±2,2
10	MN-686	ТБ	47° 22,733'	101° 21,885'	1,51	100	59	17,0±0,6
11	MN-710	ТАБ	46° 48,013'	101° 44,638'	1,38	19,50	91	3,63±0,19
12	MN-699	ТБ	47° 19,505'	102° 40,284'	2,29	43,24	84	4,85±0,22
13	MN-732	ТАБ	46° 54,503'	102° 20,955'	2,55	55,04	69	5,55±0,21
14	MN-722	ФБ	46° 53,666'	102° 18,269'	2,98	62,50	66	5,38±0,24
15	MN-796	ФБ	48° 15,747'	103° 30,434'	3,14	91,02	56	7,4±0,2
16	MN-814	ФБ	48° 07,266'	103° 45,338'	3,84	223	83	15,0±1,0
17	MN-817	ТАБ	48° 06,728'	103° 45,958'	1,72	69,8	63	10,0±0,3
18	MN-788	ТАБ	48° 37,705'	103° 34,645'	1,88	21,06	87	2,88±0,15
19	MN-774	ТАБ	48° 38,310'	102° 52,278'	1,98	28,8	90	3,74±0,21
20	MN-761	ТАБ	48° 41,293'	102° 44,318'	2,06	34,5	80	4,30±0,19
21	MN-428	ТАБ	48° 50,430'	101° 23,460'	2,30	33,48	87	3,74±0,19
22	MN-425	ФТ	48° 51,180'	101° 22,580'	2,26	29,72	88	3,38±0,18
23	MN-433	ТБ	48° 45,140'	101° 23,290'	2,02	33,21	92	4,23±0,27

Примечания: Вулканические поля: 1–4 – Тарят–Чулутынское, 5–10 – Цэцэрлэгское, 11–14 – Верхне-Орхонское, 15–17 – Угей-Нурское, 18–20 – Нижне-Орхонское, 21–23 – Хануйское. Вулканические породы: ТБ – трахибазальт, ТАБ – трахиандезиобазальт, ФТ – фоновтефрит, ФБ – фанобазанит, Ф – фойдит. Концентрации калия измерялись фотометрией пламени М. М. Самойленко с погрешностью 1,5–2,0 % отн. (среднее измерений не менее трех аликвот). Концентрации радиогенного аргона определялись И. С. Брандтом и С. Б. Брандтом в лаборатории изотопии и геохронологии ИЗК СО РАН по методике [3]. Для расчета возраста использованы константы: $\lambda_K = 0,581 \times 10^{-10}$ год⁻¹; $\lambda_{\beta} = 4,962 \times 10^{-10}$ год⁻¹; $^{40}\text{K} = 0,01167$ ат. % К. Аг_р, Аг_в – радиогенный и воздушный аргон.

Чулутынская зона включает Верхне-Чулутынское и Тарят–Чулутынское вулканические поля.

Датировки пород Верхне-Чулутынского поля с содержанием калия 1,4–2,3 мас. % составляют интервал 9,6–2,1 млн лет [4, 18]. По результатам

нашего опробования, концентрации калия в лавах этой территории снижаются до 0,8 мас. %.

Тарят–Чулутынское вулканическое поле было объектом детальных исследований, результатом которых явилось выделение трех вулканогенно-осадочных комплексов: плиоценового, четвертичного и голоценового [9]. Схема стратиграфии уточнялась другими авторами датированием вулканических пород в К–Аг-изотопной системе. Часть датировок показала позднемиоценовое время извержений. Общий диапазон концентраций калия в базальтоидах этой территории составляет от 1,4 до 4,3 мас. %. С учетом установленных циклических вариаций калия мы различаем комплексы пород 1) верхнего миоцена, 2) плиоцена и 3) четвертичного периода.

Верхнемиоценовый комплекс возрастом 7,1–5,6 млн лет характеризуется высококалиевым составом лав в основании разреза (К = 2,5–3,2 мас. %, в единичных образцах – до 4,3 мас. %) и менее калиевым – в верхней части (К = 1,4–2,2 мас. %).

Для долеритов верхнего пакета опорного разреза р. Алтатын-Гол получена К–Аг датировка $5,8 \pm 0,2$ млн лет (обр. MN–579, К = 2,22 мас. %, таблица). Она сопоставима с датировками $5,6 \pm 0,2$ млн лет и $5,8 \pm 0,2$ млн лет, приведенными для района исследований по образцам 784 и 781 с концентрациями калия 2,22 и 2,12 мас. % [15]. Интервал концентраций калия составляет в порфириковых базальтах пакета от 2,16 до 2,25 мас. % и снижается в нижележащем лавовом пакете до 1,48 мас. %. В датированных образцах с возрастом $6,0 \pm 0,2$ млн лет и $6,27 \pm 0,16$ млн лет концентрации калия повышаются, соответственно, до 2,48 и 2,44 мас. % (обр. ЮХ–7/5 и ЮХ–14/2) [4]. Они сопоставляются с породами нижней части опорного разреза. Наиболее высокое содержание калия 4,24 мас. % определено в образце ЮХ–7/3 с максимальным возрастом $7,1 \pm 0,2$ млн лет [4]. Датировка $7,6 \pm 0,2$ млн лет по мегакристаллу санидина из последней работы может быть завышенной в связи с присутствием избыточного аргона в мегакристалле из-за его неполной дегазации [3], поэтому датировка санидина исключается из рассмотрения. При использовании метода $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ значение возраста $5,91 \pm 0,02$ млн лет рассчитано для плато и изохроны образца MN–11.2.2 трахиандезибазальта с содержанием калия 2,48 мас. % [29]. Эта датировка в пределах погрешности измерений сопоставима с К–Аг датировкой $6,0 \pm 0,2$ млн лет образца ЮХ–7/5 с таким же содержанием калия.

Плиоценовый комплекс датирован интервалом 4,55–2,70 млн лет при относительном снижении концентраций калия во времени от 3,53 до 1,94 мас. %. Для потока, венчающего «вершинный» пакет на правом берегу р. Чулутын-Гол, получена К–Аг-датировка $3,8 \pm 0,2$ млн лет, а для потока верхней части «долинного» обнажения напротив устья р. Алтатын-Гол – датировка $2,7 \pm 0,2$ млн лет (соответственно, обр. MN–599 и MN–570, см. таблицу). «Вершинные» лавы характеризуются высоким содержанием калия в интервале 2,98–3,53 мас. %, лавы северной части «долинного» обнажения напротив устья р. Алтатын-Гол – промежуточным, 2,52 мас. %, а его юго-западной части – более низким, 1,94–1,99 мас. %. По высокому содер-

жанию калия 3,26 мас. % с первой толщей сопоставляется нефелинит с датировкой $4,55 \pm 0,15$ млн лет (обр. ЮХ-7/14) [4].

К *Тарятской зоне* относятся лавовые потоки и вулканические постройки четвертичного комплекса Тарят-Чулутынского поля с общими вариациями калия от 1,66 до 4,34 мас. %. В основании комплекса находятся лавы с датировками $1,9 \pm 0,1$ млн лет и $1,90 \pm 0,07$ млн лет, полученными для пород с относительно высокими концентрациями калия 3,26 и 2,92 мас. % [15, 26].

Возрастом $1,20 \pm 0,12$ млн лет датирован верхний поток лавовой толщи правого борта р. Чулутын-Гол в 1,5 км выше по течению от ее слияния с р. Сумэин-Гол (обр. MN-594, таблица). В породах из этого обнажения определен интервал концентраций калия 2,52–2,67 мас. %. Образцы с его высокими содержаниями, соответственно, 3,40 и 4,11 мас. %, охарактеризованы датировками $0,9 \pm 0,2$ и $0,4 \pm 0,1$ млн лет (обр. 734 и 752) [15]. Имеется ссылка на $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датировку 0,42 млн лет по санидину этого вулкана [13]. Интерпретация исходных данных измерения не приведена, поэтому возрастная оценка по качеству не отличается от результатов, полученных традиционным К–Аг методом. Возраст вулкана Шаварын-Царам 0,4 млн лет может быть уточнен прецизионным Аг–Аг-датированием, поскольку малые концентрации ^{40}Ar в стекловатых породах могут быть искажены присутствием его избыточного унаследованного компонента в газовых пузырьках.

Опубликованы многочисленные К–Аг-датировки в интервале 0,74–0,36 млн лет [4] и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датировка плато $0,55 \pm 0,02$ млн лет [29]. Образцы с относительно низкой концентрацией калия 1,54–1,60 мас. % попадают в узкий возрастной диапазон 0,49–0,57 млн лет (обр. 762, Та-72201 и ЦМ-4/10) [4, 15, 26]. Самые молодые породы вулкана Хорго и других голоценовых вулканических построек и лавовых потоков перекрывают весь диапазон концентраций калия в породах четвертичного вулканического комплекса [5].

Датировки и концентрации калия щелочных базальтоидов вулканических ареалов

Восточно-Хангайский ареал состоит из пространственно сближенных между собой разновозрастных вулканических полей: Цэцэрлэгского, Хархоринского, Верхне-Орхонского, Онгийн-Гольского и Эрдэнэ-Цогтского. Раннее Цэцэрлэгское поле ареала находится в центральной части хр. Восточный Хангай, а более поздние поля распределяются к востоку – в районе аймака Хархорин, к юго-востоку – в верховья рек Орхон-Гол и Онгийн-Гол, и к югу – в среднем течении р. Туйн-Гол. Лавы этих территорий датируются интервалом последних 7,8 млн лет при диапазоне концентраций калия от 1,2 до 3,0 мас. %.

На Цэцэрлэгском поле диапазон К–Аг-датировок составляет 17,0–9,7 млн лет при вариациях калия 1,0–2,3 мас. %. Наиболее ранний магматизм представлен «вершинной» лавовой толщей на водоразделе рек Урд-Тамир

и Увэр-Талийн-Гол (отметки 2450–2500 м), а также субвулканическим телом в береговом обнажении долины р. Урд-Тамир. Для «вершинной» толщи получена К–Аг-датировка $16,2 \pm 0,7$ млн лет, а для субвулканического тела – $17,0 \pm 0,6$ млн лет с концентрациями калия, соответственно, 1,25 и 1,51 мас. % (обр. MN–657 и MN–686, таблица). Датировки сопоставимы между собой в пределах погрешности измерений. Для пород р. Урд-Тамир приведен также возраст $16,8 \pm 0,5$ млн лет с концентрацией калия 1,42 мас. % (обр. ЮХ–5/2) [4].

В эрозионном врезе в «вершинную» толщу р. Урд-Тамир глубиной около 200 м установлена более молодая вулканическая толща. В ее основании встречены гиалокластиты и крупновалунный аллювий. Для потока из средней части «долинной» толщи измерен возраст $11,2 \pm 0,4$ млн лет при содержании калия 1,78 мас. % (обр. MN–667, таблица). Для лав р. Хойт-Тамир имеется также датировка $12,9 \pm 0,3$ млн лет с концентрацией калия 1,94 мас. % (обр. ЮХ–5/10) [4].

Юго-восточнее аймака Цэцэрлэг базальты обнажены на тальвеге долины р. Урд-Тамир с отметкой 1670 м. На вулкане Сангийн-Толгой разрез представлен гиалокластитам и подушечными лавами, перекрытыми базальтовыми потоками. Поток из нижней части лавового пакета показал К–Аг возраст $15,6 \pm 0,7$ млн лет (обр. MN–693, таблица). По концентрациям калия 1,4–2,0 мас. % породы вулкана Сангийн-Толгой сопоставимы с породами верхнего течения р. Урд-Тамир. В долине р. Хойт-Тамир, западнее самона Их-Тамир, подошва лав также находится на низком гипсометрическом уровне с отметками до 1700 м. Здесь получена самая молодая К–Аг-датировка Цэцэрлэгского вулканического поля $9,7 \pm 0,4$ млн лет при низкой концентрации калия 1,40 мас. % (обр. MN–693, таблица).

Юго-западнее селения Булган лавы опускаются почти до уровня тальвега р. Урд-Тамир. Для верхнего потока толщи здесь получена датировка $15,3 \pm 2,2$ млн лет (обр. MN–655, см. таблицу). В пределах погрешности измерений толща в общем сопоставляется с лавами первой половины временного интервала вулканической деятельности на Цэцэрлэгском поле.

На Хархоринском вулканическом поле получены две К–Аг-датировки: $7,8 \pm 0,3$ млн лет при содержании калия 1,77 мас. % (обр. ЦМ–4/1) [4] и $4,8 \pm 0,2$ млн лет при более высокой концентрации калия 2,29 мас. % (обр. MN–699, таблица). В верховьях р. Орхон-Гол, на субширотном отрезке речной долины, обнажена корневая часть эродированного вулкана. В 4–5 км ниже по течению находится останец лавового потока. Для пород вулканической постройки и лав получены сходные К–Аг-датировки $5,4 \pm 0,2$ млн лет и $5,5 \pm 0,3$ млн лет при содержаниях калия, соответственно, 2,99 и 2,55 мас. % (обр. MN–722 и MN–732, таблица). В 25 км выше по течению р. Орхон-Гол, у устья р. Улястайн-Гол, верхний поток «долинного» базальтового останца показал возраст $3,6 \pm 0,2$ млн лет при более низкой концентрации калия 1,38 мас. % (обр. MN–710, таблица). Концентрации калия в андезибазальтовом потоке основания разреза составляет 0,78 мас. %, а в других потоках не превышает 1,8 мас. %. Для лавовых потоков с хорошо

сохранившейся поверхностью, заполнивших верховья долины р. Орхон-Гол, получена оценка возраста по неравновесному урану 65 тыс. лет с интервалом устойчивости решения от 51 до 78 тыс. лет [17]. В лавовых потоках определен интервал концентраций калия 1,51–2,07 мас. %.

Для лав долины р. Онгийн-Гол опубликована К–Аг-датировка $0,25 \pm 0,05$ млн лет при содержании калия 2,39 мас. % [4]. По результатам нашего опробования, диапазон вариаций калия в лавах этой долины составляет 1,55–1,77 мас. %.

Для лав Эрдэнэ-Цогтского вулканического поля приведена К–Аг-датировка $1,25 \pm 0,1$ млн лет при содержании калия 1,81 мас. % (обр. ЦМ–2/4) [4]. Она характеризует вулканический конус и пространственно связанные с ним лавовые потоки, заполнившие долину левого притока р. Туйн-Гол рядом с буддийским монастырем Эрдэнэ-Цогт. Проведенное нами опробование показало концентрации калия в вулканических породах конуса и лавовых потоков в узком интервале 1,8–2,2 мас. %, а в потоке, начинающем разрез, – более высокую концентрацию 2,82 мас. %.

Орхон–Селенгинский ареал, подобно Восточно-Хангайскому, объединяет разновозрастные поля: Угей-Нурское, Нижне-Орхонское, Хануйское и Селенгинское. Ранее Угей-Нурское поле находится в юго-восточной части ареала. Относительное северо-западное смещение более поздних полей Орхон–Селенгинского ареала прямо противоположно временному смещению вулканических полей Восточно-Хангайского ареала (см. рис. 1).

В породах Угей-Нурского вулканического поля с К–Аг-датировками 15,5–14,3 млн лет [6, 20] определены высокие концентрации калия в интервале 3,5–4,8 мас. %. Нами получена датировка $15,0 \pm 1,0$ млн лет для дайки слабо эродированной вулканической постройки высококалиевых лав (аз. простирания ССЗ 320 градусов, обр. MN–814, таблица). В датированном образце содержится 3,84 мас. % калия. К западу от постройки обнаружен фрагмент эродированного потока с концентрацией калия 1,72 мас. % (обр. MN–817, таблица). Измерение возраста потока дало значение $10,0 \pm 0,3$ млн лет. Другой поток с концентрацией калия 3,14 мас. % показал сравнительно молодой возраст $7,4 \pm 0,2$ млн лет (обр. MN–796, таблица). Таким образом, после высококалиевых лав Угей-Нурского поля интервала 15,5–14,3 млн лет назад $\sim 10,0$ млн лет назад изливались менее калиевые лавы, а $\sim 7,4$ млн лет назад – опять более калиевые.

Нижне-Орхонское вулканическое поле сложено лавами с датировками интервала 7,1–2,8 млн лет [6, 14]. Содержания калия в них находятся в интервале 1,3–2,6 мас. %. Для лавового потока, подошва которого опущена ниже тальвега р. Орхон в 3 км южнее селения Орхон, измерен возраст $2,88 \pm 0,15$ млн лет при содержании калия 1,88 мас. % (обр. MN–788, таблица). Значение возраста в пределах погрешности измерения согласуется с самой молодой датировкой лав долины р. Орхон-Гол 2,76 млн лет [14]. Для потока вулканической постройки, расположенной в 8 км восточнее селения Сайхан, измерен возраст $4,30 \pm 0,19$ млн лет при концентрации калия 2,06 мас. % (обр. MN–761, таблица), а для потока из середины 120-метровой

лавовой толщии долины р. Орхон-Гол – датировка $3,74 \pm 0,21$ млн лет при концентрации калия 1,98 мас. % (обр. MN-774, таблица). Последняя попадает в интервал значений возраста 3,94, 3,35, $3,41 \pm 0,18$ млн лет, приведенных для этой же толщии [14, 16]. Датировки 4,30 и 3,74 млн лет Нижне-Орхонского поля соответствуют началу и окончанию интервала 4,2–3,7 млн лет основной фазы трахиадезибазальтовых извержений Хануйского поля [7]. В последних определен интервал содержания калия 2,2–2,3 мас. % (обр. MN-433 и MN-428, таблица). Заключительные извержения Хануйского поля представлены лавами базанит–фонотефритового состава с датировкой $3,4 \pm 0,2$ млн лет при сопоставимом содержании калия 2,26 мас. % (обр. MN-425, таблица).

Сравнительно древняя датировка $11,5 \pm 0,2$ млн лет получена для лав долины ручья Тэгин-Гол – правого притока р. Орхон (обр. 11688) [16]. По концентрации калия (3,03 мас. %) этот поток сопоставляется с лавами сопредельной части Угей-Нурского вулканического поля. Лавы ручья Тэгин-Гол находятся на территории между калиевыми лавами Угей-Нурского поля возрастного интервала 15,5–14,3 млн лет и менее калиевыми лавами Нижне-Орхонского поля возрастного интервала 7,1–2,8 млн лет.

Для лав Орхон–Селенгинского ареала имеются также К–Аг-датировки $12,5 \pm 1$ млн лет (нижнее течение р. Хануй-Гол), $5,4 \pm 0,3$ млн лет (верховья р. Тулдура-Гол) [6] и $5,3 \pm 0,2$ млн лет (левобережье р. Хануй-Гол южнее г. Хо-Улан-Ула) [16]. Особенность лав возрастом 5,3 млн лет – низкая концентрация калия (до 1,29 мас. %).

Селенгинское поле сложено четвертичными вулканическими постройками и лавами [6]. В качестве ориентировочного возраста базанитовой вулканической постройки принимается значение $0,17 \pm 0,04$ млн лет [14]. В лавах этого поля определен диапазон концентраций калия 2,3–3,1 мас. %.

Обсуждение результатов

Умеренно- и высококалиевые серии как производные разноглубинных мантийных источников

На диаграммах рис. 2 показаны диапазоны составов представительных вулканических полей для определения серий с умеренными и высокими концентрациями калия. В координатах К – K_2O/Na_2O лавы Цэцэрлэгского поля образуют тренд возрастания калия от 1,0 до 2,0 мас. % с повышением K_2O/Na_2O от 0,37 до 0,80. Тренд лав западной части Угей-Нурского поля отличается более высокой концентрацией калия (3,0–4,2 мас. %) с интервалом K_2O/Na_2O 0,9–1,7. Эти группы пород характеризуют умеренно- и высококалиевые серии Центральной Монголии, разделяющиеся между собой по граничному значению $K = 2,3$ мас. % ($K_2O = 2,77$ мас. %) (рис. 2, В).

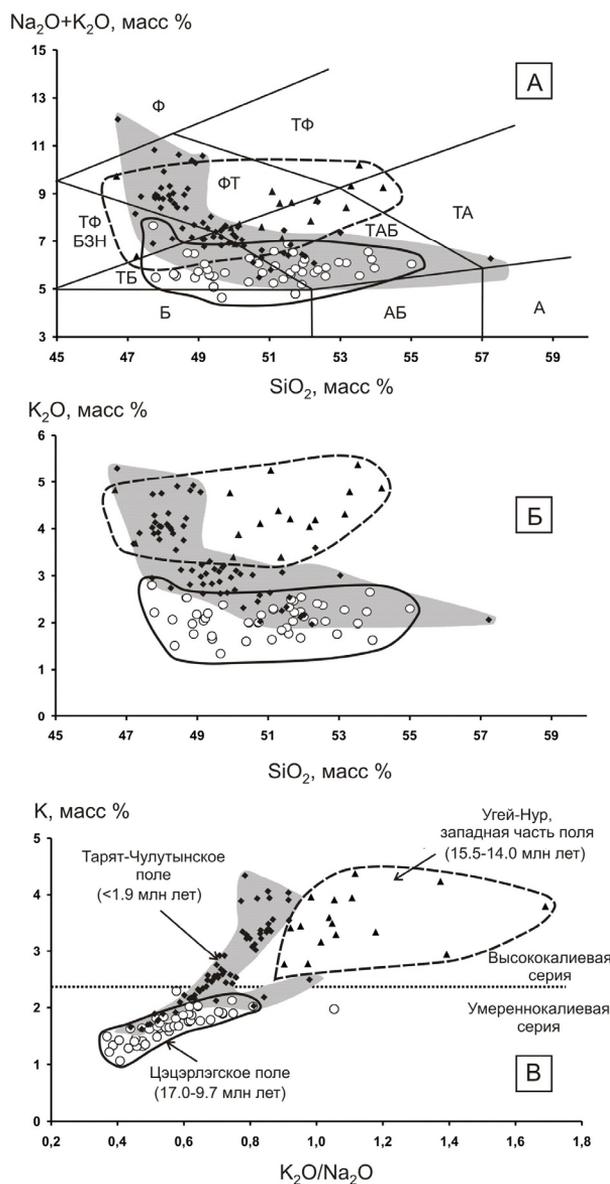


Рис. 2. Соотношения $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ (А), $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ (Б) и $\text{K} - \text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (В) в эталонных составах умеренно- и высококалиевых серий (Цэцэрлэгского и западной части Угей-Нурского полей). Составы лав Тарят-Чулутынского поля варьируют от умеренно- до высококалиевых. Определения петрогенных оксидов выполнены «мокрой химией» (неопубликованные данные авторов). Отношение $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ рассчитано по мас. % оксидов. Поля диаграммы А: Б – базальт, АБ – андезибазальт, А – андезит, ТАБ – трахиандезибазальт, ТБ – трахибазальт, ТФ, БЗН – тефрит, базанит, ФТ – фонотефрит, ТФ – тефрифонолит, Ф – фойдит

Лавы других вулканических полей этой территории относятся к одной из серий либо имеют переходный характер.

Серии получили развитие в линейных зонах и изометричных ареалах Центральной Монголии в различных соотношениях. Подобная лавам Угей-Нурского поля высококалиевая серия с высоким отношением K_2O/Na_2O имела место на Селенгинском поле, а подобная лавам Цэцэрлэгского поля умереннокалиевая серия – на Верхне-Чулутынском, Дзабханском, Верхне-Орхонском, Нижне-Орхонском и Онгийн-Гольском полях. В качестве примера переходной серии на диаграммах рис. 2 нанесены составы лав возрастом $<1,9$ млн лет Тарят-Чулутынского поля.

Под Центральной Монголией и Восточным Саяном в трехмерной модели S-волн [31] аномально низкие скорости установлены на глубине 50–200 км. Эта мантийная неоднородность рассматривалась в качестве Саяно-Монгольского низкоскоростного домена [23]. Домен расположен над высокоскоростной областью верхней мантии. В моделях сейсмической томографии [30] блок мантии с высокими скоростями протягивается в переходную мантийную зону с погружением под Западно-Сибирскую измененность.

Совпадение контура Саяно-Монгольского низкоскоростного домена с областью распространения кайнозойского вулканизма послужило основанием для предположения о непосредственной связи вулканизма с активностью этого домена [10]. На телесеismicком профиле Сибирская платформа – Гобийский Алтай в интерпретации В. В. Мордвиновой [8] под Восточным Хангаем установлена низкоскоростная линза на глубине 80–140 км. Ее образование связывалось с погружением высокоскоростного блока с глубины 130–180 км до подошвы Саяно-Монгольского низкоскоростного домена. Вследствие погружения блока легкий расплавный низкоскоростной материал должен был подниматься в надблоковую расплавную линзу под Восточно-Хангайским вулканическим ареалом. Низкие скорости определены на этом же профиле в линзе, пространственно соответствующей Орхон–Селенгинскому вулканическому ареалу [10].

В качестве несовместимого элемента мантийных пород калий концентрируется в базальтоидных выплавках при малой степени частичного плавления источника с калийсодержащими минеральными фазами. Его концентрация уменьшается с увеличением степени частичного плавления, а при удалении калийсодержащих фаз содержание калия в расплаве снижается. Высокая активность калия свойственна глубинным частям верхней мантии древних кратонов и складчатых областей. Она отражена в распространении калийсодержащих клинопироксенов в ксенолитах из кимберлитов и включениях в алмазах, в алмазоносных пироксен–гранат–карбонатных породах Кокчетавского метаморфического комплекса, выведенного на поверхность тектоническими процессами, и подтверждена экспериментами при высоких давлениях и температурах [22, 24]. Природные парагенезисы с калиевыми клинопироксенами ограничены интервалом давлений 5–7 ГПа [21], соответствующим глубинам 120–180 км. Хотя калий содержится в мантийных минеральных фазах (санидине, флогопите), устойчивых в широком диапазоне глубин, магматические источники Цен-

тральной Монголии, с учетом данных сейсмической томографии, должны относиться (по крайней мере, частично) к глубинному интервалу устойчивости природных калиевых клинопироксенов.

Вариации калия в процессе развития позднекайнозойского магматизма, по-видимому, отражали не только неоднородность состава мантийных источников в расплавных зонах и линзах, но и различную степень плавления. Микроэлементное моделирование показало, что наиболее калиевые составы голоценовых щелочных базальтоидов Центральной Монголии были производными 1,5–2,0-процентного частичного плавления метасоматизированного гранатового перидотита с флогопитом и апатитом. Они характеризовались высоким $(La/Yb)_n$ (до 60 при нормировании к недифференцированной мантии [27]). Относительное снижение концентрации калия до 2 мас. % и менее достигалось повышением плавления до 5 % и сопровождалось снижением $(La/Yb)_n$ до 10 [5]. Моделирование плавления выходит за рамки настоящей работы. Здесь мы ограничимся замечаниями общего порядка, исходя из закономерности понижения $(La/Yb)_n$ с повышением степени частичного плавления гранатосодержащего мантийного материала.

Принятые в качестве эталонов сравнения умереннокалиевая серия Цэцэрлэгского поля и высококалиевая западной части Угей-Нурского поля образуют разобщенные тренды возрастания калия и $(La/Yb)_n$ (диаграмма не показана). По сравнению с первым трендом, второй начинается при слегка повышенном $(La/Yb)_n$ и оканчивается при $(La/Yb)_n$, превышающем приблизительно вдвое значение этого отношения на окончании тренда умереннокалиевой серии. Следовательно, умеренные концентрации калия в расплавах отражают сравнительно высокую степень плавления материала с подчиненной ролью калиевых минеральных фаз, а высокие концентрации калия – более низкую степень плавления с участием калийсодержащих минеральных фаз.

Цикличность

По извержениям лав с повышенной концентрацией калия, разделенным извержениями лав с более низким его содержанием, устанавливаются циклы, которые характеризуются уменьшением квазипериодов в течении позднего кайнозоя от 6–8 млн лет через ~2,5 млн лет до 0,3–0,7 млн лет.

Лавам первого цикла активности Дзабхан–Долино–Озерской зоны 23,4–15,5 млн лет назад свойственна сравнительно низкая концентрация калия (не более 2,3 мас. %). Такой состав ~23 млн лет назад имели щелочные базальтоиды Байдарикского поля. На Дзабханском поле около 16 млн лет назад концентрации калия в базальтоидах несколько снижались (рис. 3).

Высококалиевый магматизм активизировался ~15,5 млн лет назад, обозначив начало второго магматического цикла одновременно с относительным повышением концентраций калия в умереннокалиевой серии Цэцэрлэгского поля. В лавах этого поля, излившихся около 9,7 млн лет назад, концентрации калия снижались.

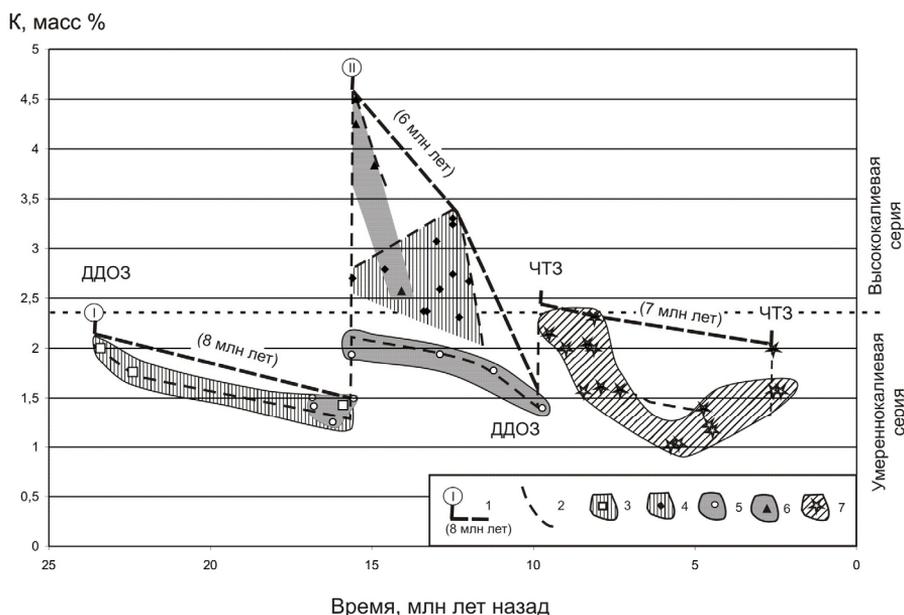


Рис. 3. Циклы вариаций калия с квазипериодичностью 6–8 млн лет в лавах Дзобхан–Долино-Озёрской зоны (ДДОЗ) с переходом к Чулутынской зоне (ЧТЗ):

1 – циклы I–III (в скобках приведена продолжительность цикла); 2 – вариационный тренд; 3–4 – датированные щелочные базальтоиды Дзобхан–Долино-Озерской зоны: 3 – Байдарикского и Дзобханского вулканического полей, 4 – Долино-Озерского вулканического поля; 5–6 – то же, ранних полей вулканических ареалов: 5 – Восточно-Хангайского (Цэцэрлэгское вулканическое поле), 6 – Орхон–Селенгинского (Угей-Нурское вулканическое поле); 7 – то же, Верхне-Чулутынского вулканического поля Чулутынской зоны

Цикличность 6–8 млн лет, свойственная эволюции Дзобхан–Долино-Озерской зоне, поддерживалась с переходом активности в Чулутынскую зону. На Верхне-Чулутынском поле начало цикла обозначилось умереннокалиевым (K 2,04–2,31 мас. %) магматизмом 9,6–8,2 млн лет назад с понижением концентрации калия до интервала 1,39–1,77 мас. % 8,0–4,8 млн лет назад и с повышением до 2,0 мас. % ~2,65 млн лет назад. Начальный магматизм Верхне-Чулутынского вулканического поля в интервале 9,6–7,4 млн лет назад относится к первому циклу активности Чулутынской зоны. Начало двух других циклов обозначено высококалиевыми лавами Тарят–Чулутынского поля возрастом 7,1 и 4,6 млн лет. Эпизоды менее калиевых лав Верхне-Чулутынского поля приходятся на завершающие фазы циклов (рис. 4).

Перестройка магматической системы с переходом активности от Чулутынской зоны к Тарятской выражена вулканическим эпизодом ~1,9 млн лет назад. В это время на Тарят–Чулутынском поле изливались лавы с повышенной концентрацией калия 2,7–3,5 мас. %. Более поздние лавы, излившиеся 1,2 млн лет назад, также характеризовались сравнительно высокими концентрациями калия 2,52–2,67 мас. %, поэтому относятся к самостоятельному магматическому импульсу.

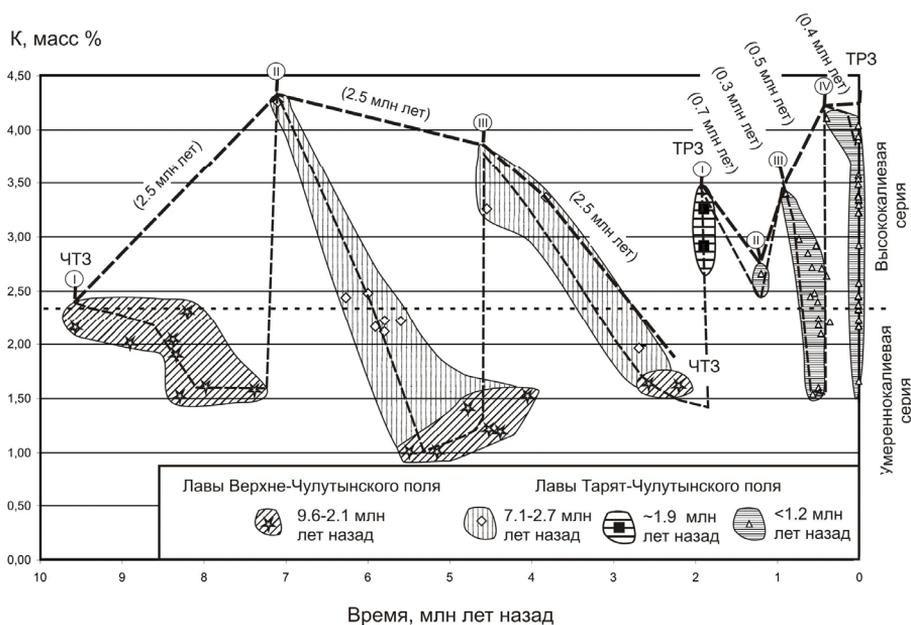


Рис. 4. Циклы вариаций калия с квазипериодичностью 2,5 млн лет в лавах Чулутынской зоны (ЧТЗ) с переходом к квазипериодичности 0,3–0,7 млн лет в лавах Тарятской зоны (ТРЗ).

Усл. обозн. см. на рис. 3. Лавы фазы извержений ~1,9 млн лет назад на Тарят–Чулутынском поле отличаются обогащенным составом изотопов стронция и неодима, резко отличающимся от других лав территории [5]

Активность Тарятской зоны в целом характеризуется квазипериодичностью высококалийных максимумов порядка 0,3–0,7 млн лет. Цикл, начавшийся 0,9 млн лет назад извержением высококалийных лав, охарактеризован многочисленными датированными вулканическими постройками и лавовыми потоками, сложенными базальтоидами с концентрациями калия, снижающимися до 1,5 мас. %. Наконец, начало третьего цикла около 0,4 млн лет назад, обозначенное извержением вулкана Шаварын-Царам, представлено породами с содержанием калия до 4,3 мас. %. В заключительный цикл включены позднеплейстоценовые и голоценовые вулканы с лавовыми потоками, заполнившими современные речные долины.

На Цэцэрлэгском и Угей-Нурском полях, служивших в качестве исходных для Восточно-Хангайского и Орхон–Селенгинского ареалов, концентрации калия снижались в интервале 15,5–9,7 млн лет назад одновременно. Дальнейшее изменение калия в лавах ареалов происходило в противофазе. В Орхон–Селенгинском ареале выделились максимумы калия около 7,4 и 3,4 млн лет назад, а в Восточно-Хангайском – максимум 5,5–5,4 млн лет назад. Сравнительно низкая концентрация калия (1,77 мас. %) в лавах возрастом 7,8 млн лет Хархоринского поля Восточно-Хангайского ареала соответствовала тренду понижения калия лав Верхне-Чулутынского вулканического поля в интервале 9,6–8,2 млн лет назад и находилась на минимуме в лавах Верхне-Орхонского поля около 3,6 млн лет назад, по-

добно менее калиевым лавам Верхне-Чулутынского поля, излившимся 4,8 млн лет назад. Импульс высококалиевого магматизма 5,5–4,8 млн лет назад в Восточно-Хангайском ареале наложен на эту последовательность.

Подобно Тарят–Чулутынскому полю Чулутынской зоны, в обоих ареалах проявился вулканизм последних 1,2 млн лет. Для реконструкций временных вариаций калия в них геохронометрических данных пока не достаточно.

Заключение

В пространственно–временной эволюции позднекайнозойского магматизма Центральной Монголии выявлен феномен цикличности извержений с временными вариациями калия в диапазоне 0,8–4,8 мас. %. Установлена квазипериодичность 6–8 млн лет во временном интервале 23,4–9,7 млн лет назад, ~2,5 млн лет в интервале 9,6–2,1 млн лет назад и 0,3–0,7 млн лет в последние 1,9 млн лет. Подобная меняющаяся во времени квазипериодичность предполагалась прежде для вулканических импульсов, реконструированных в позднем кайнозое Азии по максимумам радиоизотопных датировок [3, 19].

Позднекайнозойские вулканические поля Центральной Монголии были распределены в линейные зоны (субширотную Дзабхан–Долино-Озёрскую, субмеридиональную Чулутынскую и субширотную Тарятскую) и изометричные ареалы (Восточно-Хангайский и Орхон–Селенгинский). Смена цикличности вариаций калия сопровождала пространственное перераспределение вулканизма из Дзабхан–Долино-Озёрской в Чулутынскую и далее в Тарятскую зону. Циклы 6–8 млн лет проявились в первой зоне, 2,5 млн лет – во второй и 0,3–0,7 млн лет – в третьей.

Активность вулканических ареалов была лишь частично согласована с активностью вулканических зон. Ранние извержения в Восточно-Хангайском ареале представлены умереннокалиевыми лавами Цэцэрлэгского поля временного интервала 17,0–9,7 млн лет назад, а в Орхон–Селенгинском – высококалиевыми лавами Угей-Нурского поля (включая лавы ручья Тэгин-Гол) временного интервала 15,5–11,5 млн лет назад. В обоих ареалах извержения продолжались до позднего плейстоцена с разнонаправленным пространственным смещением: в первом ареале – от Цэцэрлэгского поля на восток и юго-восток, а во втором – от Угей-Нурского поля на север и северо-запад. Начальные умереннокалиевые лавы Восточно-Хангайского ареала сменялись высококалиевыми в интервале 5,5–3,8 млн лет назад и затем – умереннокалиевыми, а начальные высококалиевые лавы Орхон–Селенгинского ареала – сменялись умереннокалиевыми в интервале 10,0–2,8 млн лет назад и затем – опять высококалиевыми.

Установленные циклические вариации калия в щелочных базальтоидах Центральной Монголии служат показателем менявшегося во времени импульсного вовлечения в плавление мантийного материала. Мы предполагаем, что высококалиевый щелочно-базальтоидный магматизм отражал импульсы магмообразования в мантийных источниках в условиях повышен-

ной активности калия на глубинах 120–180 км, а умереннокалиевый – сопутствующее декомпрессионное плавление мантийного материала на глубинах 80–120 км между импульсами высококалиевого магматизма.

Исследования выполнены с частичным финансированием НИР в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, государственный контракт № П1688.

Список литературы

1. Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 3. Природные и социальные сферы как части окружающей среды и как объекты воздействия. – М. : Янус-К, 2002. – 672 с.
2. *Геншафт Ю. С.* Каталог включений глубинных пород и минералов в базальтах Монголии / Ю. С. Геншафт, А. Я. Салтыковский. – М. : Наука, 1990. – 71 с.
3. Геохронология и геодинамика позднего кайнозоя (Южная Сибирь – Южная и Восточная Азия) / С. В. Рассказов [и др.]. – Новосибирск : Наука. Сиб. отделение, 2000. – 288 с.
4. Геохронология и закономерности миграции вулканизма в пределах Хангайского позднекайнозойского вулканического ареала / Е. А. Кудряшова [и др.] // Изотопное датирование процессов рудообразования, магматизма : III рос. конф. по изотопной геохронологии : материалы. – М. : ГЕОС, 2006. – Т. 1. – С. 355–362.
5. Голоценовый вулканизм в Центральной Монголии и Северо-Восточном Китае: асинхронное декомпрессионное и флюидное плавление мантии / И. С. Чувашова [и др.] // Вулканология и сейсмология. – 2007. – № 6. – С. 19–45.
6. *Девяткин Е. В.* Геохронология кайнозойских базальтов Монголии и их связь со структурами новейшего этапа // Стратиграфия. Геол. корреляция. – 2004. – Т. 12, № 2. – С. 102–114.
7. Динамика плавления мантии под Центральной Монголией в интервале последних 4 млн лет: соотношения редких земель в лавах Хануйского вулканического поля / С. В. Рассказов [и др.] // VI рос.-монг. конф. по астрономии и геофизике. – Иркутск : Ин-т земной коры СО РАН, 2006. – С. 150–164.
8. Исследование скоростной структуры литосферы на Монголо-Байкальском трансекте 2003 по обменным SV-волнам / В. В. Мордвинова [и др.] // Физика Земли. – 2007. – № 2. – С. 21–32.
9. Кайнозойские отложения Тарятской впадины и долины р. Чулуту (Центральный Хангай) / Н. А. Логачев [и др.] // Изв. АН СССР. Сер., геол. – 1982. – № 8. – С. 76–86.
10. Кайнозойский вулканизм локальных низкоскоростных мантийных аномалий Центральной Монголии и Юго-Западного Прибайкалья / С. В. Рассказов [и др.] // Вулканизм и геодинамика : III всерос. симп. по вулканологии и палеовулканологии : материалы. – Улан-Удэ : Изд-во Бурят. науч. центра, 2006. – Т. 1. – С. 280–283.
11. *Кепежинская В. В.* Кайнозойские щелочные базальтоиды Монголии и их глубинные включения / В. В. Кепежинская. – М. : Наука, 1979. – 311 с.
12. *Корина Н. А.* Хангайское нагорье // Геоморфология Монгольской народной республики : тр. совместной Советско-Монгольской науч.-исследов. экспедиции. – М. : Наука, 1982. – Вып. 28. – С. 87–108.
13. *Кривоносова Е. В.* Геолого-геоморфологические особенности и история формирования позднекайнозойского вулканического ареала Тарятской впадины (Монголия) / Е. В. Кривоносова, В. В. Ярмлюк, А. А. Монгуш // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Геоэкология природной среды и общества. – Кызыл : ТуВИКОПР СО РАН, 2005. – Вып. 8. – С. 92–99.

14. *Кудряшова Е. А.* Сравнительная характеристика Тарянского и Орхонского позднекайнозойских вулканических районов (Центральная Монголия): этапы формирования и состав вулканических продуктов / Е. А. Кудряшова, В. В. Ярмолук // Геодинамика формирования подвижных поясов земли : междунар. науч. конф. : материалы – Екатеринбург : Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 2007. – С. 169–174.
15. Новые данные о К–Аг возрасте кайнозойских континентальных базальтов Байкальской рифтовой системы / В. А. Кононова [и др.] // Докл. АН. – 1988. – Т. 303, № 2. – С. 454–457.
16. Новые данные о калий–аргоновом возрасте базальтов западного борта Хубсугульского рифта (МНР) / В. В. Иваненко [и др.] // Докл. АН. – 1989. – Т. 309, № 4. – С. 925–930.
17. Первые результаты исследований изотопов ^{238}U -серии в вулканических породах конца плейстоцена и голоцена Центральной Монголии и Восточного Саяна / И. С. Чувашова [и др.] // XVIII Симпозиум по геохимии изотопов имени академика А. П. Виноградова : тез. докл. – М. : ГЕОХИ РАН, 2007. – С. 281–282.
18. Позднекайнозойский вулканизм Хангая (Центральная Монголия) и проблемы новейшего горообразования в Центральной Азии / В. В. Ярмолук [и др.] // Докл. АН. – 2008. – Т. 422, № 2. – С. 223–228.
19. *Рассказов С. В.* Ритмы позднекайнозойского вулканизма юго-восточной части Евразийской плиты // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 3 : Природные и социальные сферы как части окружающей среды и как объекты воздействий. – М. : Янус-К, 2002. – С. 184–189.
20. *Салтыковский А. Я.* Калиевые базальтоиды в кайнозойе Монголии / А. Я. Салтыковский, Ю. С. Геншафт, М. М. Аракелянц // Вулканология и сейсмология. – 1984. – № 5. – С. 60–73.
21. *Сафонов О. Г.* Равновесие калийсодержащего клинопироксена с расплавом как модель для барометрии глубинных ассоциаций / О. Г. Сафонов, Л. Л. Перчук, Ю. А. Литвин // Геология и геофизика. – 2005. – Т. 46, № 12. – С. 1318–1334.
22. *Соболев Н. В.* Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии / Н. В. Соболев – Новосибирск : Наука, 1974. – 264 с.
23. Ярусная динамика верхней мантии Восточной Азии: соотношения мигрирующего вулканизма и низкоскоростных аномалий / С. В. Рассказов [и др.] // Докл. АН. – 2003. – Т. 390, № 1. – С. 90–95.
24. Crystal–melt equilibria involving potassium-bearing clinopyroxene as indicator of mantle-derived ultra-high-potassic liquids: an analytical review / L. L. Perchuk [et al.] // Lithos. – 2002. – Vol. 60. – P. 89–111.
25. *Devyatkin E. V.* Geochronology of basalts from the Valley of Lakes, Mongolia, and their correlation with the Cenozoic sedimentary sequence / E. V. Devyatkin, K. Balogh, A. Dudich // Russian Journal of Earth Sciences. – 2002. – Vol 4, N 5. – P. 389–397.
26. *Enkhtuvshin H.* A Petrological study on the Late Mesozoic and Cenozoic volcanic rocks of the Mongolian Plateau / H. Enkhtuvshin – Master thesis. Shimane University, 1995. – 119 p.
27. *McDonough W. F.* The composition of the Earth / W. F. McDonough, S.-S. Sun // Chemical Geology. – 1995. – V. 120. – P. 223–253.
28. Oligocene–Miocene sediments, fossils and basalts from the Valley of Lakes (Central Mongolia) – An integrated study / V. Höck [et al.] // Mitt. Österr. Geol. Ges. – 1999. – V. 90. – P. 83–125.
29. Petrogenesis of Cenozoic basalts from Mongolia: evidence for the role of asthenospheric versus metasomatized lithospheric mantle sources / T. L. Barry [et al.] // J. Petrol. – 2003. – V. 44, № 1. – P. 55–91.
30. *Van der Voo R.* Mesozoic subducted slabs under Siberia / R. van der Voo, W. Spakman, H. Bijwaard // Nature. – 1999. – V. 397. – P. 246–249.

31. Yanovskaya T. B. 3D S-wave velocity pattern in the upper mantle beneath the continent of Asia from Rayleigh wave data / T. B. Yanovskaya, V. M. Kozhevnikov // Phys. Earth and Planet. Inter. – 2003. – Vol. 138. – P. 263–278.

Cyclic variations of potassium in Late Cenozoic lavas from Central Mongolia

I. S. Chuvashova, S. V. Rasskazov, S. B. Brandt

Annotation. Twenty three samples of alkaline basalts from late Cenozoic volcanic fields of Central Mongolia were dated by potassium–argon method. Analysis of more than 100 K–Ar and Ar–Ar ages showed cyclic temporal variations of potassium in erupted lavas ranged from 0.8 to 4.8 wt %. Alternating high- and moderate-K magmatism took place at 23.4–9.7, 9.6–2.6 Ma, and <1.9 Ma with quasi-periodicity of 6–8, 2.5, and 0.3–0.7 m. y., respectively. It is suggested that high- and moderate-K magmas originated due to processes developed at the lower and upper portions of the Sayan-Mongolian low-velocity domain (i. e. at depths 120–180 and 80–120 km, respectively).

Key words: Cenozoic, Central Mongolia, volcanic rocks, K–Ar dating, trace elements.

*Чувашова Ирина Сергеевна
младший научный сотрудник
Институт земной коры СО РАН
664033, г. Иркутск, Лермонтова 128
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. К. Марска, 1
преподаватель
тел.: (3952) 51–16–59*

*Рассказов Сергей Васильевич
доктор геолого-минералогических наук
профессор
Институт земной коры СО РАН
664033, г. Иркутск, Лермонтова, 128
заведующий лабораторией
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. К. Марска, 1
профессор кафедры динамической геологии
тел.: (3952) 51–16–59*

*Брандт Сергей Борисович
доктор геолого-минералогических наук
профессор
Институт земной коры СО РАН
664033, г. Иркутск, Лермонтова, 128
главный научный сотрудник
тел.: (3952) 51–16–59*