

КАЛИЙ-АРГОНОВАЯ ДАТИРОВКА ПОСТДИАГЕНЕТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД РИФЕЯ БАШКИРСКОГО МЕГАНТИКЛИНОРИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© 2010 г. А. И. Степанов, Л. В. Анфимов, А. Т. Расулов, Т. Я. Гуляева, В. Г. Петрищева, О. Л. Галахова

Институт геологии и геохимии УрО РАН
620075, г. Екатеринбург, Почтовый пер., 7
E-mail: gulyaeva@igg.uran.ru

Поступила в редакцию 16.10.2008 г.

В статье рассматриваются результаты сопоставления (интерпретация) калий-аргоновых датировок измененных постдиагенетическими процессами глинистых пород рифея Башкирского мегантиклинория (Ю. Урал) на основе применения графической системы $^{40}\text{Ar-K}$ (калий-аргоновые изохроны) и их минералого-петрографических особенностей. Предполагается, что полученные “изохронные” тенденции калий-аргоновых датировок отражают время (этапы) постдиагенетических изменений изученного комплекса пород Башкирского мегантиклинория. При анализе геохронологических данных по глауконитам из глинистых пород рифея Ю. Урала выявлено, что эта группа минералов имеет низкий уровень радиогеохронологической информативности при использовании их для датировки каких-либо геологических рубежей.

Ключевые слова: интерпретация, датировка, калий-аргоновые данные, калий-аргоновые “изохроны”, глинистые породы, изменения, глауконит.

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы интерпретации результатов калий-аргонового датирования метаморфизованных и метаморфических комплексов пород являются наиболее сложными вследствие высокой чувствительности и калия и, особенно, аргона к влиянию метаморфизующих факторов, в частности, температуры и химических взаимодействий, которые, в итоге, приводят к нарушению первичных изотопных соотношений, “гомогенизации” изотопов и искажению значений возраста. Вновь процесс накопления радиогенного аргона начинается после окончания действия метаморфических процессов и начинается новый отсчет времени [20, 22]. Особенно значимы результаты достоверной интерпретации калий-аргоновых геохронологических данных по слабо метаморфизованным глинистым породам, которые играют часто главенствующую роль в датировке стратиграфических разрезов, но, имея первично разновозрастный минералогический состав, влияют, в свою очередь, на геохронологические результаты. Уже ранними работами С. Бурксер, Б.Б. Зайдис [3], А.В. Ивановской и др. [10] и др. установлено, что слабометаморфизованные глинистые породы, состоящие в основном из слюд и гидрослюд, могут быть успешно использованы в калий-аргоновой геохронологии. На возможность успешного датирования этой группы пород указано и в

сравнительно недавних работах [4]. Потери радиогенного аргона-40 слюдами (несколько различающиеся для каждого типа слюд) связаны с дегидратацией минералов глинистых сланцев и начинаются при достижении температуры 200–300°C. Или, в приложении к геологическим процессам, накопление радиогенного аргона начинается при подъеме и остывании на глубине породы нагретой до этих температур. Следовательно, полученное при этом неискаженное последующими процессами значение возраста должно отмечать время какого-то этапа этой стадии метаморфизма (этапа выхода из зоны повышенных температур). В данной работе затронуты некоторые аспекты проблемы интерпретации калий-аргоновых возрастных данных глинистых пород рифея Башкирского мегантиклинория.

МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДИКА

Глинистые породы рифейских песчано-карбонатно-глинистых комплексов Южного Урала (нижний рифей – бурзянская, средний рифей – юрматинская, верхний рифей – каратавская серии) составляют петрографический ряд: аргиллиты–пелитовые микросланцы–пелитовые сланцы–филлитовидные сланцы–филлиты, что обусловлено наложенным постдиагенетическим метаморфизмом стадий катагенеза и метагенеза [1, 2, 14] и, как отмечено, вполне пригодные для калий-аргонового датирования. Радиогеохронологические определения породных

Таблица 1. Калий-аргоновый возраст пород рифея Башкирского мегантиклинория, Южный Урал

№№ п/п	№ пробы	Анализируемая порода	Геологический возраст, свита	К, %	Ar ⁴⁰ , нг/г	Возраст, млн. лет	Примечания
1	472-6	Сланец алевролитовый	Верхний рифей Миньярская Инзерская Катавская Зильмердакская Средний рифей Авзянская	4.20	477.8	979 ± 2	"Изохронная" линия соответствует 715 млн. лет, R ² = 0.99
2	314/ка	Сланец аргиллитовидный		4.30	482.0	1155 ± 25	
3	474-5	Сланец алевролитовый		1.97	124.9	740 ± 17	
4	474-3	"-"		3.23	191.5	700 ± 2	
5	315/ка	"-"		0.48	26.0	649 ± 18	
6	469-3	Сланец пелитовый		5.58	457.1	909 ± 34	
7	469-7	Сланец алевролитовый		5.10	406.1	889 ± 16	
8	50к	Сланец пелитовый	Средний рифей Авзянская Зигазино-комаровская Зигальгинская Зигальгинская Нижний рифей Бакальская	2.11	117.3	663 ± 2	"Изохронная" линия соответствует 475 млн. лет R ² = 0.98
9	49/ка	"-"		6.35	295.4	570 ± 3	
10	16к	"-"		6.35	267.4	523 ± 4	
11	476-6	"-"		4.16	200.1	590 ± 1	
12	484-2	"-"		4.30	205.2	583 ± 3	
13	47ка	"-"		5.70	254.3	550 ± 1	
14	316/ка	"-"		4.96	396.0	890 ± 16	
15	58к	"-"		5.11	241.4	579 ± 1	
16	89к	"-"		5.13	257.0	608 ± 2	
17	56к	"-"		5.74	274.6	584 ± 2	
18	71к	"-"		7.50	358.8	705 ± 7	
19	Центр-2	"-"	Зигазино-комаровская	5.84	303.0	627 ± 13	"Изохронная" линия соответствует 565 млн. лет R ² = 0.99
20	41к	"-"		7.00	242.1	440 ± 1	
21	311/ка	"-"		2.19	167.0	859 ± 13	
22	477-3	Сланец филлитовидный	Нижний рифей Бакальская Сланец филлитовидный Сланец пелитовый Сланец филлитовидный Филлит Сланец филлитовидный	2.65	117.0	545 ± 2	"Изохронная" линия соответствует 960 млн. лет R ² = 89
23	Мак-1	Сланец филлитовидный		2.88	142.0	597 ± 17	
24	Мак-2	"-"		2.4	134.2	596	
25	Мак-5	"-"		3.01	136.1	582 ± 11	
26	Новоб-1	"-"		3.35	184.3	645 ± 22	
27	479-2	Сланец пелитовый		4.80	341.9	813 ± 4	
28	480-1	"-"		4.69	270.2	684 ± 4	
29	310/ка	"-"		4.75	291.0	719 ± 12	
30	260-к	"-"		4.41	234.6	640 ± 3	
31	Центр-1	"-"		5.01	381.4	857 ± 6	
32	Алекс-1	"-"		5.85	330.0	680 ± 25	
33	Петл-1	"-"		4.87	268.1	658 ± 31	
34	Булан-1	"-"		4.82	231.0	587 ± 17	
35	481-2	Сланец филлитовидный		3.55	211.0	700 ± 5	
36	10к	"-"		2.38	75.0	405 ± 5	
37	Пол-2	"-"		5.21	340.0	759 ± 11	
38	Пол-3	"-"		4.96	340.0	788 ± 8	
39	Пол-5	"-"		4.53	277.0	708 ± 17	
40	464-2	"-"		6.85	266.4	488 ± 3	
41	275/ка	"-"		8.15	187.2	304 ± 5	
42	468-2	Филлит		4.97	192.7	487 ± 2	
43	61/ка	"-"		6.65	220.5	424 ± 4	
44	286/ка	"-"		4.26	113.1	580 ± 3	"Изохронные" линии соответствуют: 460(?) млн. лет R ² = 0.70
45	42н	"-"		7.27	239.4	422 ± 2	
46	59/ка	"-"		5.67	233.0	513 ± 10	
47	26н	Сланец филлитовидный	Айская	5.89	438.5	843 ± 7	850(?) млн. лет R ² = 0.93
48	279/ка	"-"		3.36	20.0	705 ± 12	
49	28н	"-"		6.57	419.3	744 ± 8	

комплексов рифея проводились различными методами в течение многих лет. В результате установлены рубежи [19], обсуждаемые и уточняемые до настоящего времени. Все датировки характеризуются широким разбросом значений, что привело к общему выводу о заметной искаженности возрастных дат в результате влияния факторов постдиагенетических изменений пород. Ранее уже были попытки как-то объяснить такой разброс. Можно отметить, что в последнее время большое значение при интерпретации возрастных данных приобретает необходимость изучения непосредственно материала проб [5]. Иногда для анализа возрастных данных используется зависимость в координатах “калий–возраст”, из которой делаются выводы о влиянии увеличения содержания калия в породах на уменьшение цифры возраста, при этом обогащение калием некоторых пород трактуется как калиевый метасоматоз при постседиментационных трансформациях [14]. Подобные выводы, как отмечалось и ранее [18], характеризуют лишь какие-то общие тенденции в комплексе датировок, по которым трудно дать что-либо более конкретное. И действительно, “возраст” – это геохимическая система, математически определяемая функциональной зависимостью:

$$T = f(^{40}\text{Ar}/\text{K}),$$

в которой, например, уменьшение значений возраста (T) зависит не только от увеличения калия (K – в знаменателе), но и от уменьшения ^{40}Ar (в числителе), т.е. сама координата “возраст” является величиной уже зависимой от двух переменных, в том числе от содержания калия, а влияние аргона-40 затушевывается.

Более определенные зависимости можно получить, если проанализировать калий-аргоновые данные по глинистым породам рифея Ю.Урала (табл. 1) в координатах ^{40}Ar – K , т.е. в системе калий-аргоновой изохроны [21], где более четко и наглядно определяется характер искажения (если он наблюдается) возрастных цифр, зависимость и от K и от Ar , а также появляется возможность сопоставить поведение Ar и K (как геохимической системы) с геолого-петрографическими особенностями тех пород, по которым было проведено датирование (рис. 1–3).

Глинистые отложения рифея Башкирского мегаантиклинория оказались уникальными образованиями для применения метода изохрон при анализе калий-аргоновых возрастных данных. Во-первых, они претерпели хотя и слабый, но, вероятно, достаточный для полного преобразования первичной породы метаморфизм, что предполагает практически полную потерю накопленного радиогенного аргона и начало отсчета времени данного процесса. Во-вторых, вероятней всего, процессы изменения носили преимущественно одноактный, но разновременный на разных участках характер.

Основной целью настоящей работы является интерпретация калий-аргоновых данных по глинистым сланцам рифея, полученных в последнее время в лаборатории Института геологии и геохимии УрО РАН (49 датировок, табл. 1) [14]. В целом, этот анализ является дополнением к многочисленным попыткам определения времени формирования рифейских образований Южного Урала [5, 15, 19 и др.]. Это тем более необходимо, что изохронная методика часто позволяет показать более достоверный возраст датируемых процессов [20, 21].

Наиболее серьезной проблемой при использовании методики калий-аргоновых изохрон является анализ причин отклонения отношения $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ от значения 295.5 (в координатах $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ – K – ^{36}Ar) или от 0 (в системе ^{40}Ar – K). И хотя такие отклонения в большинстве случаев связываются с “избытком” или “недостатком” ^{40}Ar в составе изохронных образцов, но также отмечается, что они могут быть обусловлены природой образцов и особенностями метаморфизма пород [21].

Для наших возрастных определений отбирались фракции размером $-0.5 \dots +0.3$ мм из пород в целом. Эти же образцы пород детально изучены петрографически, проводились рентгенографические и термобарометрические анализы. На основе результатов многолетних геолого-минералогических исследований были проведены классификационные работы [2], учтенные при анализе геохронологических данных. Изотопный анализ аргона проводился классическим методом изотопного разбавления с трассером ^{38}Ar . Изохронный анализ возрастных дат рассчитан в системе ^{40}Ar – K компьютерным методом (для наглядности – без расчета влияния погрешностей экспериментальных измерений). Сделана также попытка анализировать в системе калий-аргоновых изохрон возрастные цифры по глауконитам из этого же комплекса глинистых пород рифея с привлечением некоторых опубликованных данных [7, 11 и др.].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как известно, рифейские глинистые породы по степени преобразования [2] представлены нормально-осадочными, метаморфизованными и метаморфическими разновидностями. При постдиагенетических процессах обломочные плагиоклазы и биотиты замещаются серицитом и хлоритом, глауконит переходит в хлорит. В стадию нормального катагенеза образуются пелитовые, аргиллитовидные микросланцы (преобладающий состав: слюда 1М, биотит, глауконит). В стадию глубинного катагенеза образуются пелитовые сланцы (состав: слюда 1М и 2М₁, биотит, глауконит); в стадию метагенеза – филлитовидные сланцы, филлиты (состав: слюда 2М₁, глауконит, хлоритизированный биотит), при регрессивном катагенезе происходит гидратация серицита и мусковита [14].

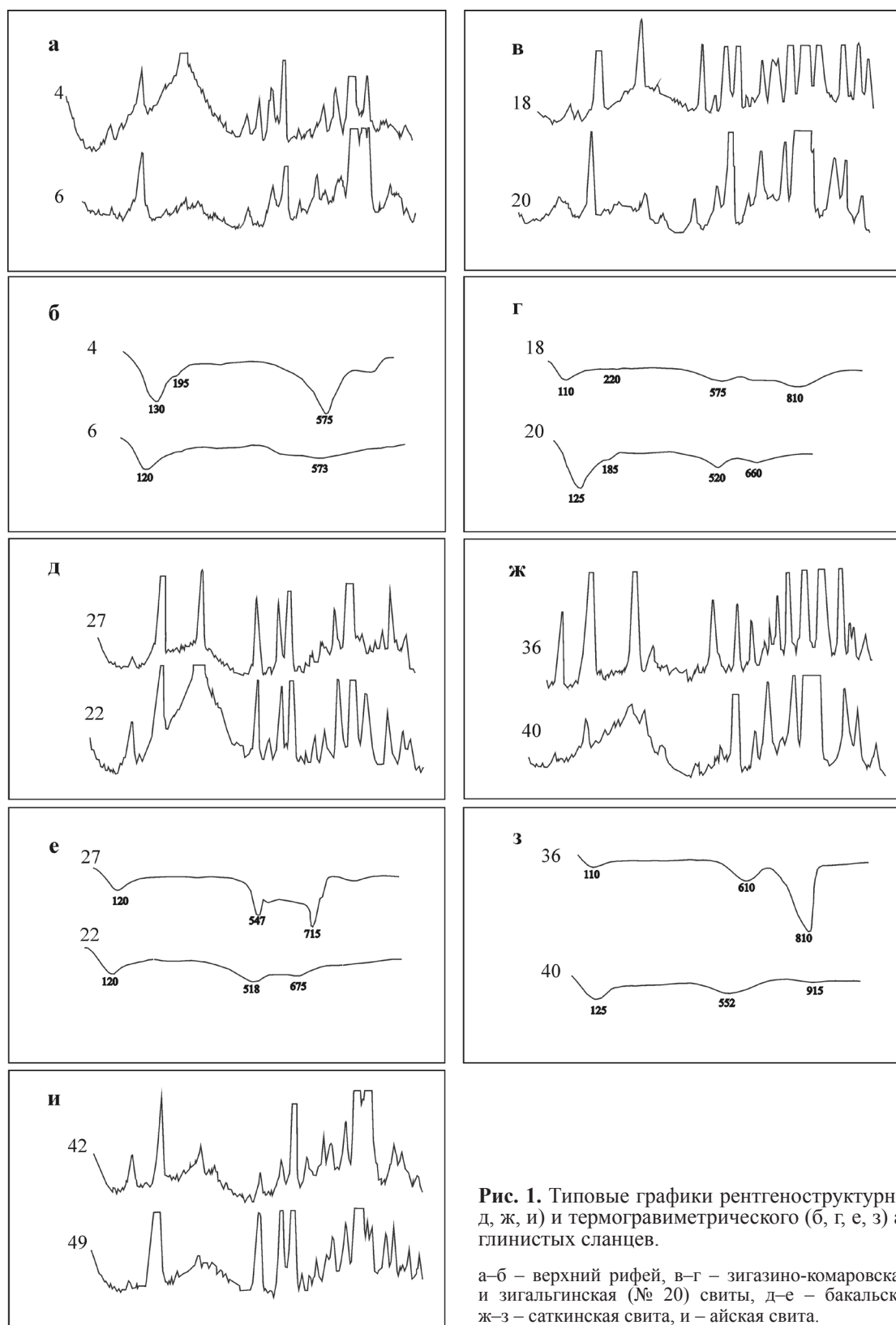
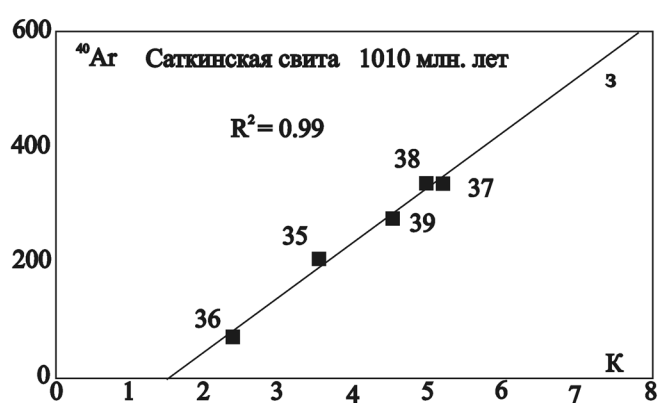
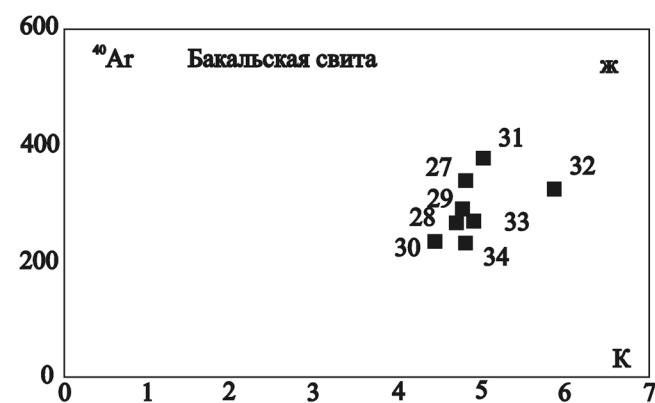
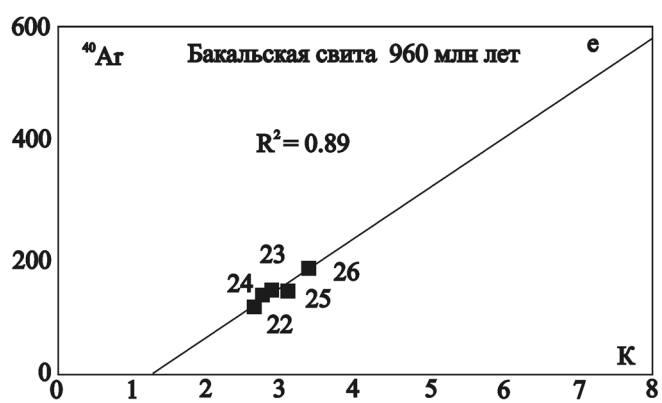
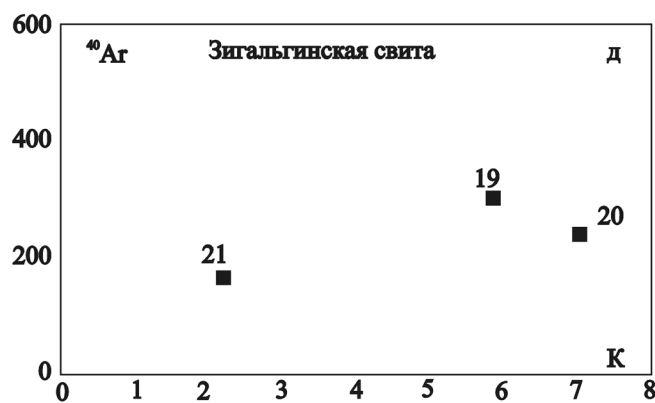
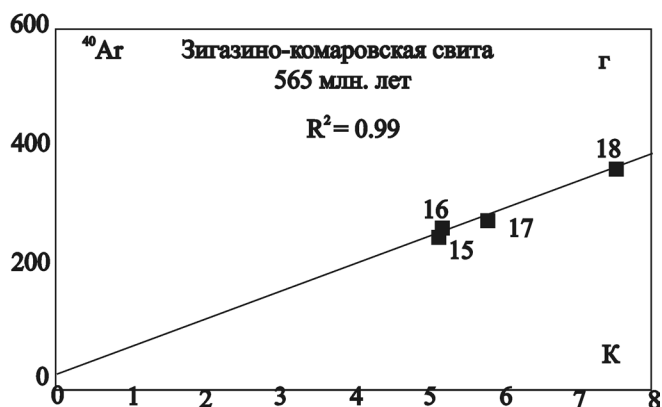
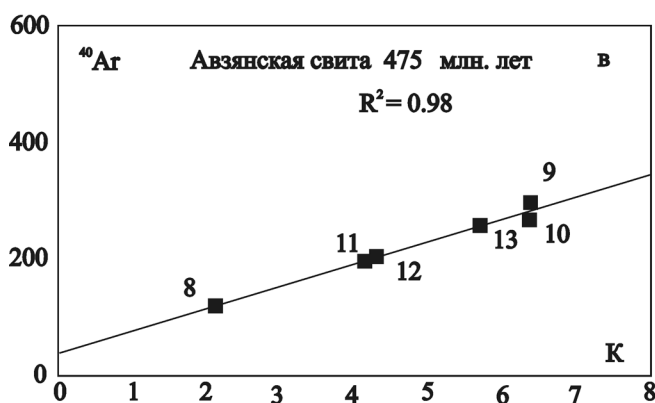
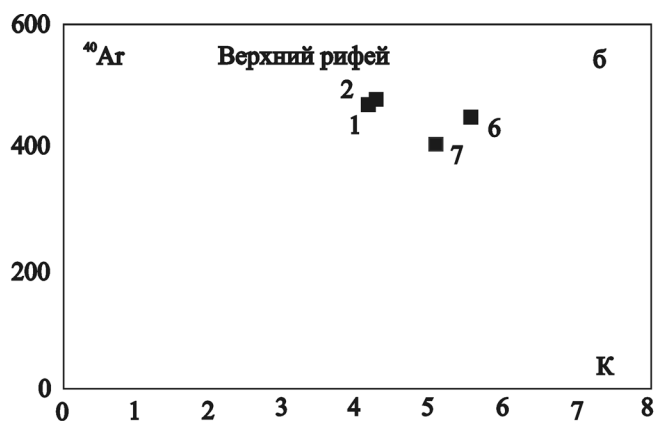
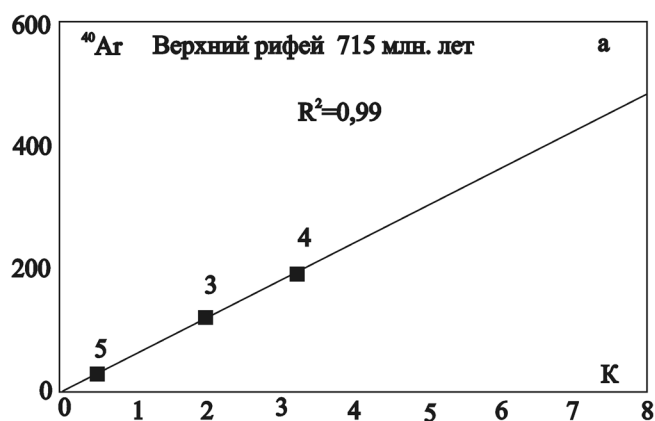


Рис. 1. Типовые графики рентгеноструктурного (а, в, д, ж, и) и термогравиметрического (б, г, е, з) анализов глинистых сланцев.

а–б – верхний рифей, в–г – зигазино-комаровская (№ 18) и зигальгинская (№ 20) свиты, д–е – бакальская свита, ж–з – саткинская свита, и – айская свита.

Графики рентгеноструктурного анализа, ввиду их мелкого масштаба, предназначены лишь для сравнительного показа различий в петрографии групп пород; цифры слева от графиков соответствуют номерам проб по табл. 1; пики с высокими значениями интенсивностей на рентгеновских графиках урезаны по высоте; характеристики условий рентгеновской съемки: прибор ДРОН-3, интервал съемки от 2 до 16°, излучение $\text{CuK}\alpha$; характеристики термогравиметрии: дериватограф G-1500D, скорость съемки $10^\circ/\text{мин.}$, интервал температур 20–1000°C; значения пиков на графиках термогравиметрии показывают температуру в °C.



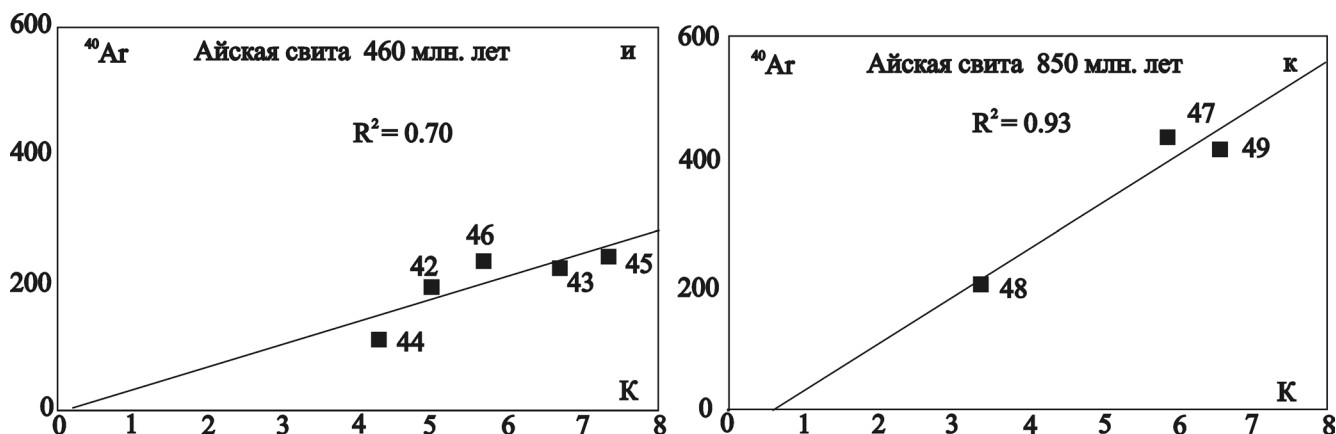


Рис. 2. Графики зависимости содержаний калия и радиогенного аргона-40 для глинистых пород.

а–б – верхнего рифея: а – с низким содержанием калия, “изохронная” линия соответствует 715 млн. лет; б – с высоким содержанием калия; в – авзянской свиты среднего рифея, “изохронная” линия соответствует 475 млн. лет; г – зигазино-комаровской свиты среднего рифея “изохронная” линия – 565 млн. лет; д – зигальгинской свиты среднего рифея; е – бакальской свиты нижнего рифея с низким содержанием калия, “изохронная” линия – 960 млн. лет; ж – бакальской свиты с высоким содержанием калия; з – саткинской свиты нижнего рифея, “изохронная” линия – 1010 млн. лет; и – филлиты айской свиты нижнего рифея, “изохронная” линия – 460 (?) млн. лет; к – филлитовидные сланцы айской свиты, “изохронная” – линия 850 (?) млн. лет.

Единицы измерений: ^{40}Ar – нг/г; К – %; номера точек на графиках соответствуют порядковым номерам анализов в табл. 1 и 2.

Первое, что отмечается при общем обзоре аналитических данных для большинства проб из разных свит (табл. 1) – это четкое разделение пород по содержанию калия в них на две группы: первая группа с содержанием калия до 4.0–4.3%, и вторая – выше 5.0% (пределы содержаний калия в группах несколько различаются в выборках пород из разных стратиграфических горизонтов). При более тщательном и детальном изучении оказалось, что эти различия в содержаниях калия отражают различия минералого-петрографического состава пород (главным образом по результатам рентгеноструктурного и термического анализов: на рис. 1а показаны типовые для каждой группы пород рентгенограммы и термограммы). Эти особенности легли в основу графического анализа датировок в системе координат ^{40}Ar –К с использованием компьютерной методики построения изохронных линий.

Верхний рифей

Верхнерифейские глинистые породы представлены алевролитовыми и, реже, пелитовыми сланцами, измененными до стадии глубинного катагенеза с реликтами начального катагенеза [1, 2]. Верхнерифейские отложения сложены несколькими свитами [14 и др.], датированными по породам и минералам различными радиологическими методами [5–7, 9, 14, 16, 19 и др.]. Однако, обзор опубликованных значений возраста показывает, что, несмотря на достаточное количество возрастных цифр, количество данных по глинистым породам верхнего рифея весьма ограничено, они часто отмечают явно низкий “возраст” и не привязаны к каким-либо геологическим процессам в регионе. Наши К–Аг дати-

ровки по глинистым сланцам верхнего рифея, в целом (табл. 1), также показывают широкий разброс значений, который коррелируется с петрографическими особенностями пород, взятых для геохронологических определений. Во-первых, по содержанию калия изученные верхнерифейские сланцы довольно четко разделяются на две группы. Первая группа пород с низкими содержаниями калия (0.48–3.23%), представленная алевролитовыми сланцами *инзерской и катавской свит*, сложена существенно хлоритом, слюдами и гидрослюдами (до 30%), в меньших количествах присутствует кварц с небольшим количеством плагиоклаза, возможно с примесью калиевого полевого шпата. При анализе возрастных датировок в системе координат ^{40}Ar –К выявляется, что фигуративные точки образуют “изохронную” линию с высоким коэффициентом корреляции $R^2 = 0.99$ проходящую через начало координат (нулевую точку), т.е. – это нормальная калий-аргоновая изохрона (рис. 2а), соответствующая возрасту 715 млн. лет.

Во второй группе пород с высоким содержанием калия (сланцы *миньярской и зильмердакской свит*) хлорита значительно меньше, но развиты нормальные слюды 1М с реликтами упорядоченной до 2М₁ структуры, калиевые полевые шпаты, плагиоклаз и, конечно, кварц. В координатах ^{40}Ar –К фигуративные точки анализов располагаются кучно, не формируя никаких зависимостей (рис. 2б) и при этом отдельные единичные значения возраста пород этой группы выше, чем у пород первой. Различия в петрографических особенностях пород довольно четко определяются и из рис. 1а–б: рентгенограмма и термограмма образца № 4, являются идентичными (типовыми) таковым и для других образцов первой группы, показавших хорошую

изохрону, и заметно отличаются от рентгенограммы и термограммы образца № 6, представляющего вторую группу пород без изохронной зависимости. Очевидно, что породы первой группы показывают завершенность процесса постдиagenетического изменения и своей изохронной зависимостью отмечают время этого процесса. Более высокие содержания радиогенного аргона-40 в породах второй группы дают определенную возможность говорить о их более древнем возрасте или определять их как реликты более ранних измененных пород. Таким образом, наиболее определенно можно сказать, что породы первой группы (низкокалийевые) являются продуктом преобразования пород второй группы и “изохронная” линия 715 млн. лет показывает время одного из этапов постдиagenетических преобразований пород верхнего рифея, т.е. время выхода пород из зоны метаморфизма с температурой, вероятней всего, ниже 200–220°C (исходя из ДТА этих слюд), т.е. момента верхнего предела низкотемпературной дегидратации и окончательного прекращения потерь радиогенного аргона-40 слюдистыми минералами пород.

Средний рифей

В комплекс датированных среднерифейских образований входят глинистые сланцы в составе авзянской, зигаино-комаровской, зигальгинской свит.

Результаты рентгеноструктурного и термического анализов пелитовых сланцев *авзянской свиты* не показывают особых петрографических различий в разнокалийевых группах пород – они состоят, главным образом, из высокотемпературной слюды 2M₁ (являющейся основным носителем калия и аргона) с примесью слюды 1M хлорита и смешанно-слоистых образований, чем часто определяется общее содержание калия в породе в целом; отмечается примесь полевых шпатов (плагиоклаз и калиевый полевой шпат). Наличие значительных количеств слюд 2M₁ указывает на высокую степень постдиagenетических преобразований пород. Очевидно, это и определило характер “изохронной” зависимости. В координатах ⁴⁰Ar–K (рис. 1в), невзирая на содержания калия, формируется одна “изохронная” линия (рис. 2в), соответствующая 475 млн. лет с высоким коэффициентом корреляции R² = 0.98. Расчет “изохронной” линии, рассчитанной только для низкокалийевых образцов (№№ 8, 11, 12, табл. 1) (не показано на рисунках) имеет близкое значение – 500 млн. лет. Эта близость значений подтверждается также и петрографической идентичностью всех пород свиты. Обе отмеченные “изохронные” линии характеризуются некоторыми отклонениями от нулевой точки координат, обусловленными, наряду с возможным присутствием некоторого количества избыточного ⁴⁰Ar в каждой пробе, и сложившимся к моменту действия данного ме-

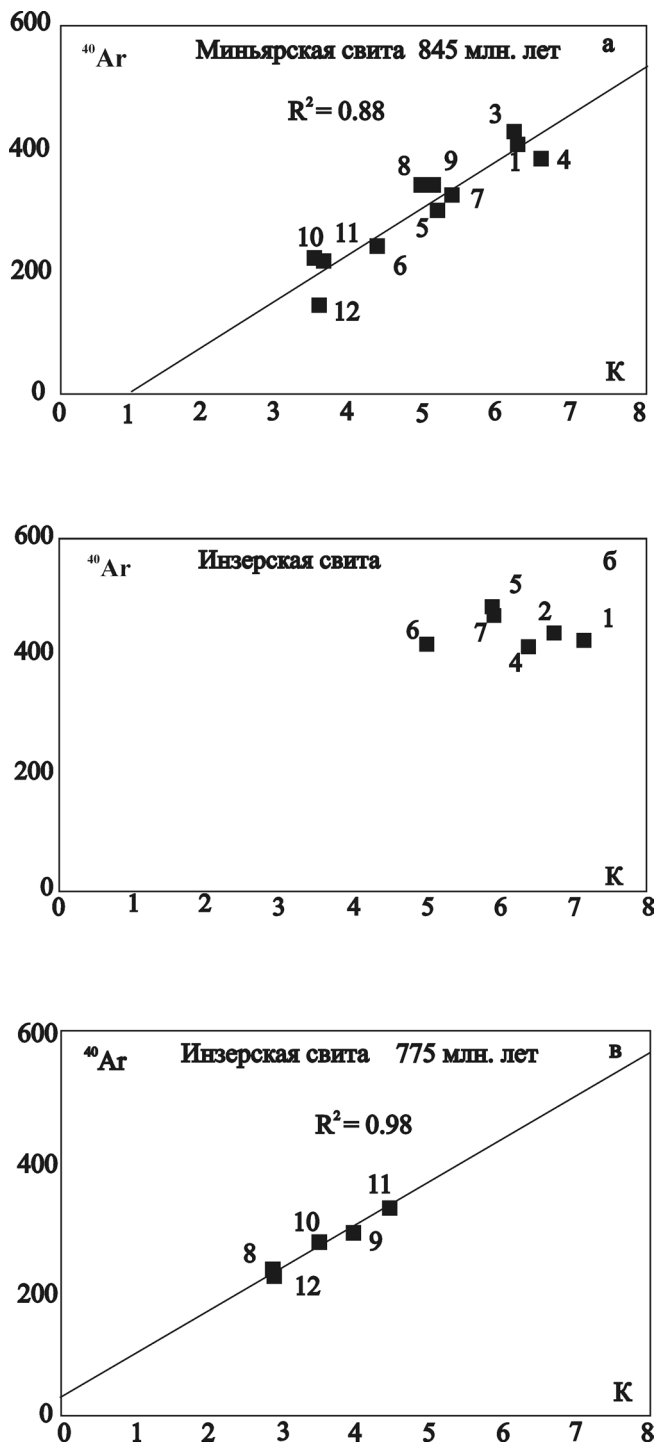


Рис. 3. Графики зависимости содержаний калия и радиогенного аргона-40 для глауконитов из глинистых пород рифея.

а – миньярская свита (“изохронная” линия 845(?) млн. лет); б – инзерская свита с высоким содержанием калия; в – инзерская свита с низким содержанием калия (“изохронная” линия 775 млн. лет).

Единицы измерений: ⁴⁰Ar – нг/г, K – %; номера точек на графиках соответствуют порядковым номерам анализов в табл. 1 и 2.

таморфического процесса первичным отношением изотопов аргона ($^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$). Это положение принято нами как наиболее вероятное условие.

Таким образом, комплекс пород авзянской свиты испытал одноактные довольно высокотемпературные воздействия (что объясняется тождественностью состава и положением точек пород с разным содержанием калия на одной “изохронной” линии), что привело, вероятней всего, к полной потере радиогенного аргона-40 и по окончании этих процессов “калий-аргоновые часы” вновь “включились”, показав в итоге время (возраст) данного этапа постдиагенетических преобразований. Отмечается неясное положение пробы № 14 (табл. 1), характеризующейся высокими содержаниями и калия (около 5%) и аргона (около 400 нг/г), что побудило нас отложить ее рассмотрение до получения дополнительных данных.

Несколько отличными особенностями характеризуются пелитовые сланцы *зигазино-комаровской свиты* (табл. 1). Во-первых, это более значительное развитие слюды 1М и полевошпатовой составляющей, что определяет высокие содержания калия – выше 5%, во-вторых, в координатах ^{40}Ar –К образуется “изохронная” линия (рис. 2г), отвечающая значению 565 млн. лет с высоким $R^2 = 0.99$ и очень малым отклонением от “нулевой” точки, что, пожалуй, позволяет причислить ее к изохроне стандартного вида.

Образцы пелитовых сланцев *зигальгинской свиты* по положению в координатах ^{40}Ar –К близки к положению пород зигазино-комаровской свиты (рис. 2г, д), но отличается от последних петрографическими особенностями – развитием кварца, более значительным количеством полевых шпатов и слюды 2М₁, малым развитием хлорита (не более 10%). Эти различия наглядно отображаются в графиках типовых рентгенограмм и термограмм (образцы № 18 и № 20 на рис. 1в, г). Анализированные образцы пород зигальгинской свиты не образуют изохронной зависимости. Вызывает некоторый интерес проба № 20 (табл. 1), характеризующаяся высоким содержанием калия – 7.0% и низким аргона-40 – 242.1 нг/г, что требует более детального изучения пород зигальгинской свиты. Предполагается, что для пород среднего рифея в период этапа 565 млн. лет сформировались пелитовые сланцы с реликтами более древних минералов. Вероятно, процесс преобразования минералов типа слюд 1М и полевых шпатов в зигазино-комаровское время не был закончен, и только позднее (475 млн. лет) эти реликтовые слюды преобразовались в слюды 2М₁ с сопутствующими минералами. т.е. авзянский этап завершил процесс формирования пород. В работе Н.И. Виноградова и др.[5] приводится значение Rb-Sr метода по аргиллитам юрматинской серии 525 ± 30 млн. лет, которое сопоставляется автором с этапом последнего изменения пород и которое вполне

согласуется с нашим значением по “изохронному” возрасту зигазино-комаровской свиты.

Нижний рифей

Калий-аргоновое датирование нижнерифейских пород проведено по филлитам, филлитовидным и пелитовидным сланцам (табл. 1).

Пелитовидные сланцы по содержанию калия разделяются на две группы – породы с содержанием калия до 3.5% и породы с калием выше 4.5%. Различия этих двух групп пород отчетливо отмечаются результатами рентгеноструктурного и термического анализов (рис. 1д, е, типовые графики). Сланцы первой группы (рис. 1д, е, проба № 22) имеют следующий состав: хлорит (в преобладающем количестве), слюда и гидрослюда, кварц и примеси плагиоклаза и калиевого полевого шпата. Сланцы второй группы (рис. 1д, е, проба № 27) сложены слюдой и кварцем, значительно меньше хлорита и есть примесь карбонатов, присутствие которых явно понижает содержание калия в породе в целом и отмечает несколько иные условия формирования. Наличие полевых шпатов в сланцах первой группы и относительно слабое развитие хлорита и гидрослюды в породах второй, вероятней всего, отмечают незавершенность процесса преобразования пород этой свиты и более ранний выход пород из зоны метаморфизма.

В координатах ^{40}Ar –К породы первой группы с относительно высоким коэффициентом корреляции $R^2 = 0.88$ образуют “изохронную” линию, соответствующую возрасту 960 млн. лет (рис. 2е). Примечательно, что это значение довольно близко совпадает с данными, полученными U-Pb методом по метасоматическим сидеритам *бакальской свиты* – 1010 ± 100 млн. лет [12], что, возможно, свидетельствует о совмещении во времени процесса преобразования глинистых пород с формированием сидеритовых руд.

Точки сланцев второй группы никакой зависимости в этой системе не образуют, располагаясь весьма компактно в виде пятна (рис. 2ж), и отличаясь в целом более высокими значениями как калия, так и аргона.

Безусловно, значительная доля неопределенности возникает в связи с отклонением “изохронной” линии от нулевой точки координат. К причинам этих отклонений, как уже отмечалось, обычно относят: привнос калия в период метаморфических преобразований пород (но в нашем случае “изохронную” линию дали низкокалиевые), либо адекватные потери некоторой части накапливающегося радиогенного аргона (без изменения общего характера “изохронной” линии развития), особенно в период окончательного падения температуры затухающего метаморфического процесса, либо, что более вероятно, сложившимся после окончания про-

цесса преобразования пород “воздушным” отношением $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ [21].

Датировка глинистых пород *саткинской свиты* проводилась по филлитовидным сланцам, состоящим из слюды и хлорита в различных соотношениях, кварца, небольшого количества плагиоклаза и карбоната (рис. 1ж, з, проба № 36). Из всего списка анализируемых проб (табл. 1) не рассматривались два опубликованных значения: проба № 40: ($K = 6.85\%$, $^{40}\text{Ar} = 266.4$ нг/г, кажущийся (модельный) возраст 488 ± 7 млн. лет) и проба № 41: ($K = 8.15\%$, $^{40}\text{Ar} = 187.2$ нг/г, кажущийся (модельный) возраст 304 ± 5 млн. лет) [14]. Эти пробы значительно отличаются от остальных в этой группе. Так, по данным рентгеноструктурного и термического анализов (рис. 1ж, з) они состоят преимущественно из кварца и калиевого полевого шпата с небольшими количествами слюды и хлорита. В координатах $^{40}\text{Ar}-K$ фигуративные точки анализируемых проб образуют “изохронную” линию с высокой степенью корреляции $R^2 = 0.99$, соответствующую возрастному значению 1010 млн. лет. (рис. 2з), близкому к таковому для бакальской свиты – 960 млн. лет. Отклонение линии от начала координат наиболее вероятно можно объяснить той же причиной, что и для бакальской свиты.

Датировка пород *айской свиты* и сопоставление полученных результатов проведено отдельно по филлитам и филлитовидным сланцам на основе их минералого-петрографических особенностей. По данным рентгеноструктурного анализа филлиты представляют собой породы, состоящие преимущественно из слюды и кварца, со значительным количеством калиевого полевого шпата и малым количеством хлорита (рис. 1и, проба № 42). Относительные содержания калия определяются в основном соотношением слюды и калишпата, хлорит играет здесь подчиненную роль. Филлиты имеют сравнительно низкие количества радиогенного ^{40}Ar (около 200–230 нг/г). Другая группа пород – филлитовидные сланцы – характеризуются почти чисто кварц-слюдистым составом с небольшим количеством хлорита и калиевого полевого шпата (рис. 1и, проба № 49) и более высокими количествами радиогенного аргона-40 (около 420–440 нг/г), обуславливающими и более высокие модельные значения возраста. Слюды этой группы пород структурно наиболее упорядоченные и содержат в заметном количестве высокотемпературную разновидность $2M_1$, в то время как в филлитах имеется заметное количество смешанно-слоистой фазы. Вполне возможно, что такое соотношение характеризует законченность процесса метаморфических преобразований для филлитовидных сланцев и незаконченность – для филлитов или повторное наложение метаморфизирующего процесса на уже сформированные разности филлитов, что косвенно подтверждается повышенными количества-

ми радиогенного аргона-40 и более высокими значениями возраста филлитовидных сланцев и, соответственно, низкими – филлитов. Это же показывают результаты анализа возрастных данных в координатах $^{40}\text{Ar}-K$ с учетом петрографической характеристики, которая, как было отмечено, позволила разделить породы на две группы. Фигуративные точки анализов филлитов (5 проб) составляют “изохронную” линию с относительно низким коэффициентом корреляции ($R^2 = 0.7$; рис. 2и), проходящую, практически, через начало координат и соответствующую 460. млн. лет. Фигуративные точки анализов филлитовидных сланцев (3 пробы, рис. 2к) составляют неувверенную “изохронную” линию с $R^2 = 0.92$, проходящую также вблизи нулевой точки и соответствующую 850 млн. лет. Эти данные показывают, что филлитовидные сланцы сформировались намного ранее филлитов, образование которых было обусловлено, по всей видимости, поздними и более низкотемпературными условиями. Таким образом, в айской свите намечается два этапа преобразований: 850 и 460 млн. лет.

В целом создается впечатление, что нижнерифейские образования представлены двумя комплексами пород с различной историей геологического развития: это, во-первых, саткинская и бакальская свиты, претерпевшие метаморфические преобразования как единое целое около 1000 млн. лет назад и не подверженные каким-либо более поздним региональным преобразованиям. Второй комплекс представляет айская свита, породы которой неоднократно подвергались воздействию более молодых преобразующих процессов: 850 млн. лет, что близко совпадает с данными по R-Sr [15, 16] и U-Pb методам для пород каратауской серии, и 460. млн. лет – значение близкое к 475 млн. лет (авзянский этап). Таким образом, можно предположить, что в наиболее поздний этап преобразований пород рифея Башкирского мегантиклинория айская свита в каких-то временных пределах геологически развивалась отдельно.

ГЛАУКОНИТЫ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД РИФЕЯ

В составе песчано-глинистых породных комплексов рифея Башкирского мегантиклинория в качестве вторичного минерала довольно широко развит глауконит [14]. Однако, возрастные значения по нему также характеризуются значительными расхождениями. Геохимические особенности глауконита служат дополнительными индикаторами минеральных фаций [1]. В калий-аргоновой геохронометрии глауконит считается пригодным для датирования осадочных пород и применяется довольно часто [19]. Изучение условий пригодности глауконита [18] позволило наметить признаки первичности и изменения минерала:

– глауконит периода седиментации (возможно, периода диагенеза) осадков, обычно доволь-

Таблица 2. Глаукониты глинистых пород рифея Ю. Урала

№ п/п	К, %	⁴⁰ Ar, нг/г	Возраст, млн. лет	№ п/п	К, %	⁴⁰ Ar, нг/г	Возраст, млн. лет
Инзерская свита				Миньярская свита			
1 [11]	7.15	426.6	723 ± 21	1 [11]	6.31	414.1	781 ± 21
2 [11]	6.73	439.1	778 ± 23	—	—	—	—
3 [7]	5.04	337.4	800	3 [11]	6.27	428.4	801 ± 24
4 [11]	6.39	417.7	778 ± 23	4 [11]	6.65	385.6	706 ± 21
5 [7]	5.90	482.0	932	5 [8]	5.23	303.4	667
6 [8]	5.0	419.5	945	6 [8]	4.41	244.5	685
7 [7]	5.90	473.0	921	7 [8]	5.43	328.4	731
8 [7]	2.87	232.0	921	8 [6]	5.00	342.7	813
9 [7]	3.98	294.5	865	9 [7]	5.17	342.7	789
10 [7]	3.50	276.7	910	10 [6]	3.55	224.9	760
11 [7]	4.45	335.6	876	11 [8]	3.67	219.6	722
12 [7]	2.91	223.1	885	12 [8]	3.61	219.6	733
Зильмердакская свита							
1 [7]	3.56	317.7	1000	2 [18]	7.37	446.2	733
3 [18]	6.84	464.1	799 ± 15	4 [18]	6.84	462.3	790 ± 6

Примечание. В квадратных скобках после номера – источник данных.

но мелкозернистый, обладает зеленым, бутылочно-зеленым цветом, несовершенной структурой 1Md, содержит значительное количество разбухающих слоев, относительно низкие и непостоянные содержания калия и некоторые фациальные особенности;

– перекристаллизованный, окончательно сформированный глауконит, более крупнозернистый, с зернами округлой формы имеет более упорядоченную структуру 1M, высокие содержания калия (до 7–7.5%), темно-зеленый до черного цвет глобул.

Длительность и непрерывность процесса формирования минерала, который является фоновым процессом всего аутигенного глауконитообразования [17], сложность состава и структуры, многократность структурных и химических преобразований, стремление в окончательном виде к формированию 1M-структуры с высоким содержанием калия не позволяют в большинстве случаев датировать не только время формирования породы, в которой он заключен, но и время какого-либо этапа ее преобразования. Тем не менее, мы попытались провести выборочный анализ опубликованных K-Ar датировок по глауконитам (табл. 2) из пород отдельных свит рифея по аналогичной методике.

Миньярская свита. Глаукониты миньярской свиты по содержанию калия формируют три довольно дискретные группы, которые совместно образуют “изохронную” линию с относительно неплохим коэффициентом $R^2 = 0.88$, соответствующую 845 млн. лет (рис. 3а), но в каждой группе, в свою очередь, намечаются свои зависимости, отражающие особенности “роста” минерала. Кроме того, из данных Т.А. Ивановской и др. [11], можно предположить, что возраст глауконита с большим содержанием калия (№ 1, табл. 2) ближе всего может отражать конец процесса “глауконитизации” – 706 ± 21 млн. лет, тем более, что проба характери-

зуется наименьшим количеством (из приведенных авторами данных) разбухающих монтмориллонитовых слоев и высоким содержанием калия.

Инзерская свита. Глаукониты из пород свиты по содержанию калия условно разделяются на две группы: “б” – содержание калия выше 5%, “в” – содержание калия до 4.5% (признак “первичности”).

Фигуративные точки глауконита группы “б” с высоким содержанием калия (рис. 3б) характеризуются небольшими колебаниями в содержаниях аргона и незначительными – по калию. В этом отражается лишь процесс калиевого метасоматоза (очевидно, процесс роста глауконита – “глауконитизация”), определяющего искажения индивидуальных датировок. Фигуративные точки глауконита группы “в”, относящиеся к “раннему”, наименее “развитому” глаукониту, образуют “изохронную” линию с высоким коэффициентом корреляции $R^2 = 0.98$, соответствующую 775 млн. лет (рис. 3в). Из всех датировок глауконита по этой свите можно лишь предположить, что единичное значение возраста образца глауконита с наиболее высоким содержанием калия может характеризовать лишь конечные этапы преобразования минерала 723 ± 21 млн. лет.

Зильмердакская свита. Датирования зильмердакской свиты по глаукониту проводились и ранее [18]. Из отдельных обогащенных глауконитом участков песчано-алевролитовых сланцев свиты были взяты образцы, содержащие до 20–60% глауконита. Выделенный из этих образцов глауконит был разделен на разные фракции. По обогащенной до 100% фракции глауконита, представляющей хорошо сформированные темно-зеленые, почти черные глобулы с наиболее высоким содержанием калия – 7.3%, характеризующиеся наиболее совершенной структурой, получено значение возраста 733 млн. лет (табл. 2), которое наиболее ве-

Таблица 3. Сопоставление значений К-Аг “изохронного” возраста в стратиграфическом разрезе свит рифея Башкирского мегантиклинория

Рифей	Серии	Временные границы серий (по данным [13]), млн. лет	Свиты	Время проявления процессов постдиагенетических изменений, млн. лет	
				Глинистые сланцы	Глауконит
Верхний	Каратавская	660	Укская (uk)		
			Миньярская (mn)		845(?)
			Инзерская (in)	715	775
			Катавская (kt)		
		1000 ± 20	Зильмердакская (zl)		733
Средний	Юрматинская	1348 ± 16	Авзянская (av)	475	
			Зигазино-комаровская (zk)	565	
			Зигальгинская (zg)		
Нижний	Бурзянская	1615 ± 45	Бакальская (b)	960	
			Саткинская (st)	1010	
			Айская (ai)	460(?), 850(?)	

Примечание. * – Значения границ взяты из [13].

роятно показывает время завершения процесса перекристаллизации (окончательного формирования) глауконита. Это косвенно подтверждается цифрой 757 млн. лет [18, (анализ А-1953*)].

По фракции глауконита, характеризующейся глобулами с зеленым и желтовато-зеленым оттенком [18], получено значение возраста 684 ± 2 млн. лет при содержании калия 6.72%. Глауконит этой фракции характеризует первичный, но уже значительно измененный поздними низкотемпературными процессами (выветриванием), тип глауконита и заниженные значения возраста и калия отражают этот процесс, указывая на искаженность первичного возраста. С другой стороны, значения возраста 799 ± 15 и 790 ± 6 млн. лет (табл. 2), при содержании К = 6.84%, относящиеся к глаукониту со смешанным составом из первично измененных и перекристаллизованных глобул, вероятней всего, представляют промежуточное значение в ходе процесса перекристаллизации. В целом, можно предположить, что “первичный” глауконит преобразовывался двумя параллельными путями: первый – низкотемпературные изменения, типа выветривания, привели к значениям 684 млн. лет, второй – более высокотемпературная перекристаллизация (“глауконитизация”) – к значению 733–757 млн. лет, а значения 790–799 млн. лет, являясь промежуточными, позволяют предполагать, что первичный (аутигенный) возраст минерала является более древним. Применение системы $^{40}\text{Ar}-\text{K}$ к глаукониту зильмердакской свиты не представляется возможным.

Из этого небольшого обзора о пригодности глауконита для целей калий-аргоновой геохронологии получается, что к датировкам по неизученным гла-

уконитам следует относиться довольно осторожно – достоверность интерпретации их возраста может быть довольно низкой, т.е. датирование глауконитов требует обязательного детального изучения структурно-химических и петрогенетических особенностей минерала и увязки этих данных с получаемыми цифрами возраста.

ВЫВОДЫ

Проведенное сопоставление (интерпретация) калий-аргоновых данных, полученных по постдиагенетически измененным глинистым породам рифея Башкирского мегантиклинория Ю. Урала в виде анализа их в системе “калий-аргоновых” изохрон с петрографо-минералогическими особенностями пород и минералов (глауконитов) из них, позволяет наметить некоторые временные вехи (этапы) в процессах постдиагенетических преобразований пород (табл. 3):

- наиболее низкие калий-аргоновые значения (460–500 млн. лет) получены по пелитовым сланцам авзянской свиты среднего рифея и филлитам айской свиты нижнего рифея;

- значение 565 млн. лет отмечается для пелитовых сланцев зигазино-комаровской свиты среднего рифея;

- довольно четко проявляется этап изменений пород 715–775 млн. лет для пород верхнего рифея – алевролитовых сланцев инзерской и катавской свит;

- время изменения 845–850 млн. лет отмечаются неуверенно и для глауконитов миньярской свиты верхнего рифея (индивидуальные точки имеют до-

вольно большое отклонение от изохронной линии, но характеризуются относительно высоким коэффициентом корреляции) и для филлитов айской свиты (мало единичных фигуративных точек);

– наиболее древний этап 960–1010 млн. лет отмечается для пелитовых и филлитовых сланцев бакальской и саткинской свит нижнего рифея.

Поскольку значения калий-аргонового возраста определяются временем “включения калий-аргоновых часов” (началом накопления радиогенного аргона-40), определяемым выходом пород из зон повышенных температур, то можно предположить, что калий-аргоновые геохронологические значения для датированных групп пород, порой согласующиеся с данными по другим методам, дают время положительных вертикальных тектонических подвижек. Например, Г.В. Овчинниковой и др. [16] по иллитовым фракциям пород инзерской свиты рубидий-стронциевым изохронным методом получены значения 805–835 млн. лет, отождествляемые со стадиями диагенеза погружения. А уже к стадии подъема комплекса пород этой же свиты, вероятно, можно отнести полученное значение по глаукониту – 775 млн. лет.

Изложенный материал показывает принципиально широкие возможности “изохронного” анализа (интерпретации) калий-аргоновых данных на основе петрографических особенностей глинистых пород, претерпевших метаморфизм низких ступеней. И хотя здесь не рассматривалось влияние экспериментальных погрешностей возрастных определений, “изохронные” тенденции, получаемые при графическом анализе калий-аргоновых датировок глинистых пород рифея Урала, приводят, с одной стороны, к некоторым выводам, безусловно требующим геологического обоснования, а с другой – к необходимости более тщательного датирования всего комплекса пород обязательно совместно с более детальным минералого-петрографическим их изучением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анфимов Л.В. Литогенез в рифейских осадочных толщах Башкирского мегаантиклинория (Ю. Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 290 с.
2. Анфимов Л.В., Казарманова Н.И., Ишарская М.В., Калеганов Б.А. Глинистые породы рифея на юге Волго-Уральской области и в Башкирском мегаантиклинории // Общие проблемы стратиграфии и геологической истории рифея северной Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 1995. С. 12–13.
3. Бурксер С., Зайдис Б.Б. О применении калий-аргонового метода датирования абсолютного возраста к слабо метаморфизованным породам // Методические вопросы изотопной геологии. М.: Наука, 1965. С. 51–55.
4. Виноградов В.И., Головин Д.И. Геохимическое значение К-Аг геохронологических исследований осадочных пород // Литология и полез. ископаемые. 2008. № 2. С. 174–185.
5. Виноградов В.И., Муравьев В.И., Буякайте М.И. и др. Эпигенез среднерифейских отложений Башкирского антиклинория Южного Урала – время преобразований и геологические следствия // Литология и полез. ископаемые. 2000. № 6. С. 640–652.
6. Гаррис М.А. Этапы магматизма и метаморфизма в доюрской истории Урала и Приуралья. М.: Наука, 1977. 296 с.
7. Гаррис М.А., Дядин Н.Н., Денисенко А.Е. Новые данные к геохронологической шкале Урала // Тр. XI сессии Комиссии по опред. абсол. возр. геолог. формаций. М.: АН СССР, 1963. С. 361–374.
8. Гаррис М.А., Казаков Г.А., Келлер Б.М. и др. Геохронологическая шкала верхнего протерозоя // МГК XXII сессия. Проблема 3. М.: Наука, 1964. С. 128–156.
9. Зайцева Т.С., Ивановская Т.А., Горохов И.М. и др. Rb-Sr метод и ЯГР-спектры глауконитов укской свиты, верхний рифей, Ю. Урал // Изотопное датирование геологических процессов: новые методы и результаты. Москва: ГЕОС, 2000. С. 144–147.
10. Ивановская А.В., Кольцова Т.В., Мануйлова М.М., Соколова М.Ф. К вопросу о применимости глауконитов, гидрослюд и аргиллитов для возрастного расчленения пород К-Аг методом // Геохимия. 1973. № 11. С. 1620–1625.
11. Ивановская Т.А., Смелов С.Б. Материалы по изотопному возрасту и минералогии глауконита верхнего рифея Южного Урала (район г. Миньяр) // Литология и полез. ископаемые. 1976. № 1. С. 147–151.
12. Каурова О.К., Овчинникова Г.В., Кузнецов А.Б. и др. U-Th-Pb систематика метасоматических сидеритов бакальского рудного поля, нижний рифей Урала // Изотопное датирование геологических процессов: новые методы и результаты: мат-лы Российской конф. по изот. геохронологии. М.: ГЕОС, 2000. С. 175–177.
13. Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З. Некоторые аспекты геологической истории рифея западного склона Южного Урала в рамках реального времени // Ежегодник-2000. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. С. 42–51.
14. Маслов В.А., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфимов Л.В. Рифей западного склона Южного Урала. (классические разрезы, седименто- и литогенез, минерогенез, геологические памятники природы). Т. 1. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. 2001. 352 с.
15. Овчинникова Г.В., Васильева И.М., Семихатов М.А. и др. U-Pb систематика карбонатных пород протерозоя: инзерская свита стратотипа рифея (Южный Урал) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1998. Т. 6, № 4. С. 20–31.
16. Овчинникова Г.В., Горохов И.М., Семихатов М.А. и др. Время формирования и преобразования отложений инзерской свиты, верхний рифей Южного Урала // Общие проблемы стратиграфии и геологической истории рифея северной Евразии: тез. докл. Екатеринбург: УрО РАН, 1995. С. 73–75.
17. Рядсен М. Распределение глауконита в гранулометрических фракциях пород нижнего кембрия Эстонии // Изв. АН Эстонской ССР Геология. 1979. Т. 28, № 3. С. 81–88.
18. Степанов А.И., Подлесова Р.Г. Слюды в калий-аргоновой геохронологии // Кристаллохимические

- особенности силикатных минералов Урала. Свердловск: ИГГ УНЦ АН СССР, 1981. С. 61–81.
19. Стратотип рифея. Стратиграфия, геохронология. М.: Наука, 1983. 184 с.
 20. *Harper C.T.* Graphical solutions to the problem of radiogenic argon-40 loss from metamorphic minerals // *Ecol. Geol. Helv.*, 1970. V. 63, № 1. P. 119–140.
 21. *Hayatsu A., Carmichael A.M.* K-Ar isochron method and initial argon ratios // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1970. V. 8, № 1. P. 71–76.
 22. *McElyanny M.W.* The magnetic polarity time scale: Prospects possibilities in magnetostratigraphy // Contribution to the geological time scale / G.V. Gohee, H.D. Hedberg, M.F. Giassner, eds. Studies of geology. Amer. Assoc. Petrol. Geologists, Tulsa, OK. 1978. № 6. 388 p.

Рецензент В.Л. Андричев

Potassium-argon dating of postdiagenetic changings of the Bashkirian meganticlinorium Riphean clay rocks

A. I. Stepanov, **L. V. Anfimov**, **A. T. Rasulov**, T. Y. Gulyaeva, V. G. Petrishsheva, O. L. Galakhova

Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

The results of correlation (interpretation) K-Ar dates of the Bashkirian Riphey clay rocks (South Urals), changed by late postdiagenetic processes, are given in graphical systems $^{40}\text{Ar-K}$ (argon-potassium isochrons) together with a study of mineralogy and petrology of these rocks. It belives, “isochron” lines of the K-Ar dates reflect the active time (stage) of the postdiagenetic processes on clay rocks of Bashkirian Meganticlinorium. Besides, during the review of geochronological dates in the glauconites we can see this mineral group has a very low level of radiogeochronological information for using it in datingany geological boundaries.

Key words: interpretation, dating, potassium-argon dates, potassium-argon “isochrons”, clay rocks, change, glauconite.