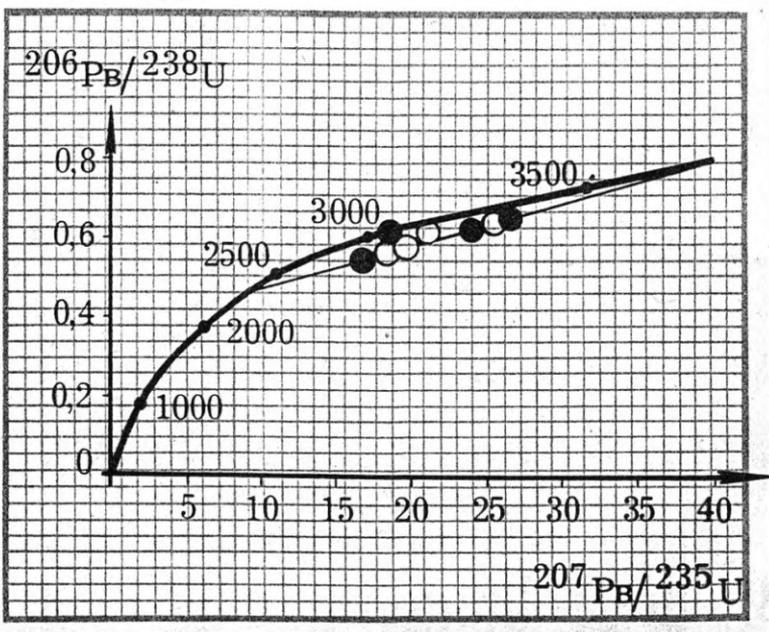


B 34638
86

Методы ИЗОТОПНОЙ ГЕОЛОГИИ и геохронологическая шкала



УДК 550.93:555.1

В.В.КИСЕЛЕВ, Ф.Х.АПАЯРОВ, В.Т.КОМАРЕВЦЕВ,
Э.Н.ЦЫГАНОВ

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО УРАН-СВИНЦОВОМУ ВОЗРАСТУ СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ТЯНЬ-ШАНЯ

Для стратифицированных образований Тянь-Шаня до самого недавнего времени отсутствовали прямые сведения об их радиологических возрастах. В целом немногочисленные калий-аргоновые датировки интрузий, имеющих ясные взаимоотношения с вмещающими осадочными толщами, плохо увязывались с биостратиграфическими и другими геологическими данными или в связи с неопределенностью интерпретации не принимались во внимание. Явно абсурдные или сильно искаженные результаты получались и при попытках калий-аргонового датирования древних метаморфических комплексов.

Первые обнадеживающие результаты дали прикидочные альфа-свинцовые определения возраста обломочных цирконов из рифейских и нижне-протерозойских кварцитов, а затем ряда других метатолш Северного Тянь-Шаня, выполненные А.А.Краснобаевым [1, 5, 4]. Нельзя не отметить и первую уран-свинцовую (по цирконам) датировку толщ киргизской серии Макбальского антиклинория, доказавшую ее дорифейский возраст [10].

Ниже обсуждаются результаты новых радиологических определений, проведенных в лаборатории изотопной геологии и геохронологии Института

«Наука»

524
М.
1986 г.

Прибор	Измерения		
	$^{204}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
МИ-1309	15,747	15,299	35,543
МИ-1201	15,770	15,388	35,575
МИ-1320	15,772	15,411	35,641
Среднее значение лабораторий СССР	15,740	15,365	35,564

геологии АН Киргизской ССР по цирконам из комплексов интрузивных, эффузивных и метаморфических пород, имеющих бесспорную геологическую "привязку" и выполняющих роль "реперов" при стратиграфических построениях.

Измерения изотопного состава свинца и урана произведены на масс-спектрометрах МИ-1309, МИ-1320 и МИ-1201, состояние аналитических возможностей которых периодически проверялось по лабораторному эталону и стандарту "Галениит-70" (табл. 1). Все количественные определения проведены методом изотопного разбавления. При выделении свинца и урана из мономинеральных навесок (0,3–0,5 г) циркона использовался гидротермальный способ разложения в автоклавах с чистой на ионно-обменной колонке со смолой ЭДЭ-10П. Для работы применялись дополнительно перегнанные кислоты квалификации "ос.ч", привнос свинца с которыми оценивался холостыми опытами. По нашим оценкам, засорение фоновыми примесями составляло 0,018–0,022 мкг на опыт, т.е. не более 0,2% от исследуемых количества свинца. Навески циркона перед разложением обрабатывались в горячих азотной и соляной кислотах, обеспечивая очистку кристаллов от поверхностных и микротрещинных загрязнений. Для ионизации свинца использовались одноленточные источники с алюмосиликатным эмиттером. Воспроизводимость свинцово-изотопных определений можно видеть на примере повторных анализов (табл. 2, обр. 210), а сравнимость результатов — по анализам одной навески циркона, проведенных нами независимо в лаборатории геохимии изотопов КазИМС (обр. 1–81).

При вычислении возрастов использовались стандартные константы, рекомендованные Научным советом по аналитическим методам при ВИМС [9]. Поправки на обыкновенный свинец вводились по полевым шпатам и по рассчитанной для региона (на основе многочисленных замеров изотопных отношений свинца в галениитах и полевых шпатах гранитоидов) кривой эволюции с точкой современного свинца: 18,92 ; 15,48, оказавшейся близкой к принятой Б.М. Найденовым для Южного Казахстана и определенной для свинца современных металлоносных растворов п-ова Челекен [8].

Наиболее сложными для интерпретации оказались результаты радиологических определений возраста цирконов глубоко метаморфизованных толщ раннего докембрия, из которых мы приводим лишь одно, давшее максимальное значение, приближающееся к альфа-свинцовым дати-

ровкам цирконов актиновской серии Заплатийского Алатау [1], и интересное как показатель принципиальной возможности датирования древних метаморфических комплексов в условиях полициклически развивавшихся складчатых систем Тянь-Таня. Оно получено (см. табл. 2, обр. 3453) по цирконам из пробы биогит-амфиболовых кристаллических сланцев толщи Куйлю герцинит Среднего Тянь-Шаня, отобранной В.А. Севериновым. Высокая радиогенность свинца в цирконах этой пробы и превышающие двухмиллиардный рубеж значения уран-свинцовых возрастов позволяют думать о свинце-свинцовом значении (2570 млн. лет) как о приближающемся к истинному. Судя по прекрасной границе кристаллов циркона, отсутствию в них четкой зональности и признаков окатанности или оплавления, они обязаны своим происхождением субмагматическому процессу, потому время их кристаллизации должно отразить не возраст субстрата свиты, а один из этапов ее метаморфической переработки.

Необходимо отметить, что большая часть из имеющихся к настоящему времени уран-свинцовых датировок цирконов метаморфических комплексов Северного Тянь-Шаня и смежных регионов Казахстана характеризует [10], как правило, рифейские метаморфические наклады, особенно мощные на интервалах в 1–1,2 и 0,6–0,8 млрд лет, и их достоверная интерпретация, по-видимому, станет возможной лишь после накопления достаточного материала. Об этом определенно свидетельствуют геологически более молодые интрузии, приуроченные именно к этим рубежам.

Примером магматических проявлений первого уровня стал Караджилгинский массив Киргизского хребта, для которого в семидесятых годах альфа-свинцовым методом были получены рифейские (1–1,3 млрд лет) значения возраста акцессорного циркона [4]. Одновременно те же даты были определены для обломочных цирконов из кварцитовидных песчаников джелдысуиской свиты. Они, несмотря на 10% величину возможной ошибки и значительный интервал разброса, подтвердили стратиграфическое значение строматолитов для расчленения "немых" образований Северного Тянь-Шаня и выдвинули интрузию в число реперов, контролирующей стратиграфические построения.

Караджилгинский и тесно связанные с ним Кызылташский, Береговой и Тавалыкский массивы прорывают карбонатно-терригенные толщи караджилгинской и ортоауской серий, содержащие среднерифейский комплекс строматолитов, а кварцитовидные песчаники джелдысуиской свиты, прослеживающиеся в докембрийских разрезах Тянь-Шаня в качестве регионального корреляционного уровня [12], содержат продукты их размыва.

Минералогический анализ цирконов из ряда отобранных проб (508; 1–70; 77–100; 3–70; 77–82; 2–70; 77–96) показал их однообразие, хорошую сохранность и все признаки магматического происхождения.

Радиологические определения (см. табл. 2) подтвердили предположения о генетическом родстве и одновозрастности всех рассматриваемых массивов, составляющих, по-существу, единую, но неравномерно вскрытую интрузию. Графические построения в координатах $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ указывают (см. рис. 1) на близкое соответствие изотопного состава первично захваченного свинца в цирконах таковому в плагиоклазах и изохронный свинец-свинцовый возраст цирконов всех проб: 1105 ± 25 млн лет. В пределах указанной ошибки заключены и частные свинец-

Таблица 2. Результаты уран-свинцового изотопного исследования цирконов из магматических и метаморфических пород Северного и Среднего Тянь-Шаня

Номер пробы	Анализируемый минерал	Место отбора пробы, комплекс, породы	Содержание г/г		Изотопный состав свинца, %				Возраст, млн лет		
			Уран 10^{-4}	Свинец 10^{-3}	204	206	207	208	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1-70	Циркон	Хребет Караджилга, Караджилгинский массив, гранодиориты	—	—	0,310	69,16	9,64	20,89	1080	—	—
77-82	Полевой шпат	То же	—	—	1,40	24,39	21,80	52,41	—	—	—
77-82	Циркон, 80% очистки	"	—	—	0,365	68,085	10,35	21,20	1084	—	—
77-82	Циркон	"	—	—	0,267	71,61	9,30	18,83	1118	—	—
77-82	Циркон, полевой шпат	"	—	—	0,487	61,49	11,61	26,41	1094	—	—
77-100	Циркон	Хребет Кунгей, Береговойской массив, гранодиориты	7,82	17,00	0,278	70,36	9,31	20,05	1114	989	1029
3-70	Циркон, полевой шпат	То же	—	—	0,712	52,37	14,06	32,86	1109	—	—
2-70	Циркон	Хребет Кызылташ, Кызылташский массив, гранодиориты	—	—	0,398	66,45	10,65	22,50	1094	—	—
77-96	Полевой шпат	То же	—	—	1,408	25,01	21,73	51,85	—	—	—
508	Циркон	Таласский хребет, северный склон, р. Чон-Чичкан, Табалькский массив, гранодиориты	7,39	14,26	0,028	85,07	6,89	8,01	1109	1120	1115
508	Полевой шпат	То же	—	—	1,140	33,82	18,70	46,33	—	—	—
1-81	Циркон	Большой Каратау, р. Ранг, Кумыстинский массив, моноклиниты	2,28	2,92	0,0317	75,719	5,272	18,977	730	685	695
1-81	То же	То же	—	—	0,044	75,03	5,36	19,56	710	—	—
2-81	"	"	—	—	0,092	73,38	5,98	20,55	730	—	—
8	Циркон	Таласский хребет, Кумыштагская интрузия, северная часть, граниты	13,2	8,88	0,0310	82,828	4,961	12,18	392	402	400
2	Циркон	Кумыштагская интрузия, центральная часть, граниты	8,38	5,36	0,0385	79,000	5,293	15,667	600	365	399
2Б	То же	То же	14,9	5,45	0,091	79,52	5,63	14,75	430	207	225
210	Циркон	Хребет Джетымтау, р. Чирпыкты, туфы липаритов	4,76	6,53	0,1285	74,284	6,5018	19,085	690	700	698
210	То же	То же	5,8	6,53	0,128	74,28	6,50	19,09	690	580	603
210	Полевые шпаты	"	—	—	1,3058	26,537	20,567	51,59	—	—	—
9-81	Циркон	Хребет Джетымтау, р. Курменты, серия Б. Нарына, литокристаллокластические туфы	3,63	5,88	0,0794	73,831	6,083	20,005	841	826	830
9-81	То же	То же	—	—	0,0849	73,824	6,082	20,008	807	—	—
1246	Циркон	Киргизский хребет, р. Караарча, Алмалинский массив, гранодиориты	5,25	4,35	0,032	76,63	4,78	18,56	466	457	455
1246	Ортит	То же	—	—	1,2165	23,382	18,978	56,423	—	—	—

Таблица 2 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1287	Циркон	Терской, р. Узок, гранодиориты	6,23	4,8	0,013	83,92	4,90	11,16	459	460	464
10270	Циркон	Терской, перевал Корумды-Тоссор, гранодиориты	14,4	11,5	0,05	82,76	5,35	11,84	451	474	468
10148	Циркон	Терской, р. Калча, верховье, гранодиориты	21,2	15,4	0,105	82,87	6,19	10,83	469	428	433
157	То же	Терской, западная оконечность, гранодиориты	6,28	5,15	0,058	80,01	5,34	14,59	469	468	468
3453	Циркон	Сарыджаз, р. Куйлю, толща Куйлю, биотит-амфиболовые сланцы	2,61	11,10	0,017	76,624	13,394	9,965	2570	2050	2330

свинцовые и уран-свинцовые возрастные определения, что в целом позволяет думать о достаточной надежности полученного результата.

Караджилгинское и сопутствующие ему интрузивные проявления, по историко-геологическим данным [4–7], приурочены к рубежу, с которым в Тянь-Шане связаны кардинальные структурные перестройки, складчатость и мощная магматическая вспышка. В Центральном Казахстане дислокации рассматриваемого рубежа получили название исседонских [3] и, судя по полученной датировке, могут коррелироваться с завершающими фазами гренвилевского тектонического этапа.

Радиологическими определениями возраста цирконов из лейкогранитов Кумыштагского массива в Таласском Алатау, монзонитов Кумыстинского массива Большого Каратау, принадлежащих Таласо-Каратаусской структурно-формационной зоне Северного Тянь-Шаня, а также порфиринов верхов серии Большого Нарына в Джетынтау (Срединный Тянь-Шань)

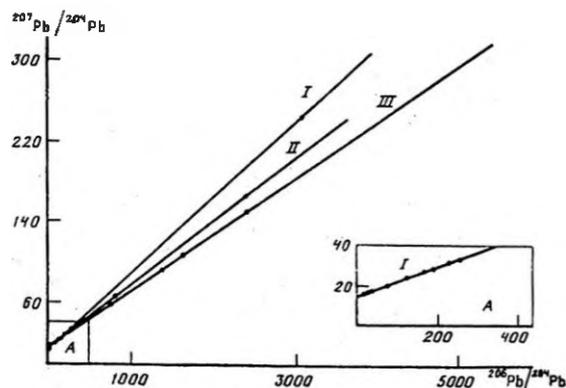


Рис. 1. Изохронная диаграмма в координатах $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ для цирконов Караджилгинского и Тавялыгского массивов [I], Кумыстинской интрузии [II] и алюмалитского комплекса [III]

мы предприняли попытку датирования другого крупного позднедокембрийского рубежа, к которому приурочена граница между верхнерифейским и рифейско-вендским (по комплексам микрофитоцитов и строматолитов) структурными этапами.

Кумыстинские монзониты и гранодиориты Большого Каратау, отчетливо прорывая коксуйскую серию вулканитов и толщу бакуйлинских доломитов, содержащих среднерифейские (?) строматолиты, сами столь же четко перекрываются по поверхности глубокого размыва толщей ранских конгломератов, выше которых лежат тиллиты известной байконурской свиты и далее — фаунистически охарактеризованный разрез нижнего палеозоя.

Из монзонитов в выходах по р. Ранг отобраны две пробы (1–81 и 2–81). Навеска циркона из первой пробы после химической чистки была разделена на две части, в одной из которых нами проведены изотопные и количественные определения, а во второй — в лаборатории КазИМС определен изотопный состав свинца. Для цирконов из пробы 2–81 удалось определить только изотопный состав свинца.

Цирконы в пробах по минералогическим особенностям были совершенно идентичными: одной окраски, все идеальной огранки, без включений и зональности и различались лишь соотношениями крупной и мелкой фракций. Как показывает анализ, они тем не менее оказались с различными, но пропорциональными содержаниями изотопов свинца, что обеспечило близкий свинец-свинцовый возраст в каждой из навесок и расположение на графике с координатами $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ всех полученных точек на изохроне, проходящей через точку современного свинца с наклоном, соответствующим возрасту 730 ± 15 млн лет (см. рис. 1). Вычисленные значения уран-свинцовых возрастов пробы 1–81 дали близкие, но дискордантные значения. В данном случае можно считать, что дискордантность вызвана эпизодической потерей свинца, которая сказалась на уран-свинцовых отношениях, не нарушив пропорций радиогенных компонентов, определяющих возраст кристаллизации.

Кумыштагская интрузия расположена в центральной части Таласского Алатау. Она прорывает сарыджонскую и чаткарагайскую свиты, относимые по совокупности биостратиграфических данных к верхам верхнего

рифей [12]. Более молодые из докембрийских образований не имеют с ней тектонически неосложненных контактов, но нигде не обнаруживают и признаков контактового воздействия, мощно проявленного в прорываемых толщах. Интрузия представлена лейкократовыми гранитами, характерными в Северном Тянь-Шане для завершающих стадий каледонского тектонического этапа. Вместе с тем давно было обращено внимание на идентичность состава гранитов в интрузии и в гальке конгломератов основания курганской свиты, состоящих преимущественно из местного обломочного материала. По основанию актугайской свиты аркозов, перекрывающихся чичканской (венд по комплексу строматолитов) и курганской свитами, в докембрийском разрезе Таласо-Каратауской структурно-формационной зоны повсеместно фиксируется крупное структурное несогласие и потому факты принадлежности интрузии к нижнему структурному этажу послужили основанием для предположения о ее байкальском возрасте [5]. В процессе детальных геолого-съемочных работ в этом районе геологам В.А. Макарову и А.Г. Разбойникову удалось расчленить интрузию на два разновозрастных массива, по пробам из которых (8; 2; 2Б) нами проведены радиологические определения.

Цирконы из пробы "молодых" гранитов дали сходящиеся значения возраста около 400 млн лет. Возраст по пробам 2 и 2Б получился резко расходящимся по разным отношениям (см. табл. 2). Явной причиной discordантности является воздействие "молодых" гранитов, хотя минералогически явных следов регенерации в цирконах с помощью обычной микроскопии не обнаруживается. Не противоречащая здравому смыслу свинец-свинцовая датировка по пробе 2 (600 млн лет) при умеренных высоких содержаниях радиогенного свинца в данном случае может приниматься как минимальная, что подтверждается вычислением уран-свинцового (по discordии, рис. 2) и свинец-свинцового возрастов по двум пробам — 710 ± 25 млн лет.

В Джетынтау, в приустьевой части долины р. Чирпыкты, опробованы туфы липаритов верхней толщи порфиридов серии Большого Нарына (проба 210). На порфириодах с глубоким размытием и крупным несогласием залегают толщи "Сарыбельын-Чонторы", перекрывающиеся тилитоподобными конгломератами свиты Джетынтау, в валунах и гальке которых обнаружен широкий спектр микропроблематики рифея и венда. Мощные вулканогенные образования серии Большого Нарына на основании межрегиональных корреляций полагаются рифейскими, а в качестве границы между рифеем и вендом принимается упомянутая поверхность регионального несогласия.

В пробе 210 проанализированы две навески циркона и полевой шпат. Цирконы обеих навесок оказались идентичными по изотопному составу свинца (в пределах аналитических погрешностей), но различались содержаниями урана. При вычислении возраста с поправкой на первично захваченный свинец по полевым шпатам по первой навеске получен минимальный разброс датировок, что позволяет считать его реальным (690 ± 10 млн лет).

По пробе 9-81, отобранной в долине р. Курменты из литокристаллических туфов основания той же толщи верхних порфиридов серии Большого Нарына, получена вторая дата, дающая представление о длительности фор-

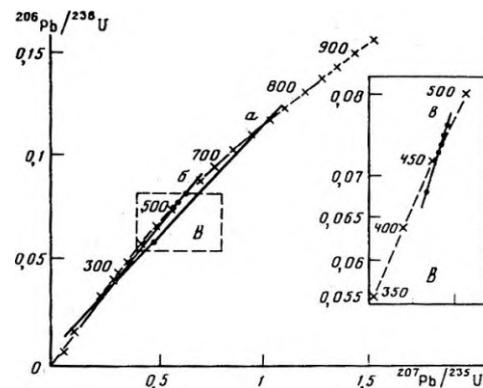


Рис. 2. Изохронная диаграмма с конкордией в координатах $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ — $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ для цирконов кумыштагских гранитов (а, б) и алмалинского комплекса (в)

мирования всей "кровлевой" части серии, разумеется, при условиях идентичности толщ и соответствия ее возраста возрасту цирконов из туфов. Навеска минералогически однородных мелких, слегка оплавленных цирконов была разделена на две части, в одной из которых определялся изотопный состав свинца, а во второй, кроме того, — содержания свинца и урана (см. табл. 2). Различие в полученных свинец-свинцовых возрастах по навескам мы склонны объяснять вероятной фактической неоднородностью цирконов, поскольку они из обломочных пород. Общий разброс возрастов, вычисленных по разным отношениям, находится в интервале 20 млн лет от практически сходящихся уран-свинцовых значений и несколько превышает возможную аналитическую ошибку. Возраст цирконовой смеси поэтому может оцениваться близким к 830 ± 20 млн лет.

Как можно было увидеть, первые из полученных данных по датировке предвендского несогласия в Тянь-Шань, которые пока следует рассматривать как предварительные, находятся в полном соответствии с историко-геологическими и биостратиграфическими построениями и позволяют надеяться на получение радиологически более обоснованной датировки нижней и верхней границ периода предвендского "перерыва".

Из числа новых радиологических определений возраста палеозойских стратифицированных образований Тянь-Шаня заслуживают обсуждения данные, полученные при датировке Алмалинской и ряда сходных с ней по структурному положению, составу и минералого-геохимическим особенностям интрузий.

Заметим, что из множества палеозойских рубежей, имеющих биостратиграфические обоснования, в регионе обнаружено всего лишь несколько примеров с беспорочной "привязкой" к интрузивным проявлениям. Это объекты первостепенной важности, поскольку позволяют прямо коррелировать геологические события, а при наличии геохронологических данных осуществлять надежную увязку схем магматизма с региональной и общей стратиграфическими шкалами.

Алмалинский массив гранодиоритов, расположенный в западном окончании Киргизского хребта, имеет рвушие контакты с толщами туюксайской свиты, охарактеризованной фаунистическими остатками верхнего кембрия—тремадока, и с размытом перекрыт алмалинской свитой, породы которой содержат многочисленные остатки среднеордовикских брахиопод и гастропод. С достаточными основаниями полагается [2; 11], что его внедрение сопряжено с отчетливо проявленными в пределах геантиклинальных зон каледонид Северного Тянь-Шаня предланвирическими движениями, обусловившими аренигский "перерыв" в осадконакоплении.

Проба 1246, из которой нами проанализированы цирконы и ортит, описана А.Г. Разбойниковым в правобережье р. Караарча, в трех километрах от контакта с алмалинской свитой. Свинец-свинцовая датировка (465 млн лет, см. табл. 2), получающаяся при расчетах с поправкой на первично захваченный свинец как по точке современного свинца, так и по его изотопному составу в ортитах, должна быть близкой к истинной, хотя и существует дискордантность с уран-свинцовыми значениями возраста. Предпринятый нами анализ изотопных отношений свинца и урана в цирконах аналогичных интрузий в Терской Алатау по пробам, отобранным А.Ф. Лопиным (1287; 157; 10270; 10148), показал близость развития в них геохимических систем цирконов и верность полученного для Алмалинского массива свинец-свинцового определения. На диаграммах (см. рис. 1, 2) все полученные точки располагаются на линиях изохрон, соответствующих возрасту в 465 ± 5 млн лет.

Выявленная дата существенно уточняет радиологический возраст предланвирических интрузий в Тянь-Шане, ранее предполагавшийся на основании калий-аргоновых определений по биотитам и амфиболам в диапазоне от 450 до 490 млн лет [2; 11].

В заключение отметим, что первые опыты уран-свинцового радиологического датирования цирконов из древних образований фанерозойских складчатых систем Тянь-Шаня показали хорошую согласованность получаемых результатов с геологическими данными. Одновременно они выявили существенные различия в сохранности уран-свинцовых геохимических систем цирконов из объектов Северного и Среднего Тянь-Шаня. Несомненно, что в фанерозое регион Северного Тянь-Шаня оказался более насыщенным термальными событиями, способными наложить заметный отпечаток на их состояние, нежели Средний, что может прямо коррелироваться с магматической пассивностью последнего в это время.

Обращает на себя внимание факт близости геохимической истории цирконов из однотипных интрузий довольно крупных идентично развивавшихся тектонических блоков, выделяемых обычно в ранге структурно-формационных подзон. Это обстоятельство может оказаться полезным при интерпретации радиологических данных по региону.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакиров А.Б. Тектоническая позиция метаморфических комплексов Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим, 1978. 261 с.
2. Геология СССР. Т. 25. Киргизская ССР, кн. 2. М.: Недра, 1972. 315 с.
3. Зайцев Ю.А. О выделении среднерифейской иседедонской складчатости в Казахстане//Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. 1974. № 3. С. 32–52.

4. Киселев В.В., Королев В.Г. Тектоника докембрия Средней Азии и Центрального Казахстана. Фрунзе: Илим, 1972. 79 с.

5. Киселев В.В., Королев В.Г. Палеотектоника докембрия и нижнего палеозоя Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим, 1981. 184 с.

6. Киселев В.В., Королев В.Г., Криволицкая В.Н. Докембрийский магматизм Байкало-каледонской складчатой области Тянь-Шаня//Проблемы докембрийского магматизма. Л.: Наука, 1974. С. 74–79.

7. Королев В.Г., Киселев В.В., Максимова Р.А. Основные черты палеозойской тектоники Северного и Среднего Тянь-Шаня//Тектоника Тянь-Шаня и Памира. М.: Наука, 1983. С. 55–60.

8. Найденов Б.М., Халилов В.А., Семенова Т.В. Изотопный состав свинца в современном минералообразовании//Тез. докл. комис. по определению возраста геол. формаций. М.: Наука, 1973. С. 18–24.

9. Найденов Б.М., Ефимов И.А., Семенова Т.В., Халимов В.А. Радиологическое датирование цирконов докембрийских комплексов пород Южного Казахстана//Проблемы геохронологии и изотопной геологии. М.: Наука, 1981. С. 114–132.

10. Определение абсолютного возраста пород и минералов по стандартным константам. М.: ВИМС, 1983. 118 с.

11. Стратифицированные и интрузивные образования Киргизии. Фрунзе: Илим, 1982. Кн. 2. 245 с.

12. Типовые разрезы докембрия Средней Азии и Центрального Казахстана//Стратиграфия архая и нижнего протерозоя СССР. Л.: Наука, 1979. С. 173–185.