

РАННЕОРДОВИКСКИЙ ВОЗРАСТ ДЕФОРМАЦИЙ В КОКЧЕТАВСКОЙ СУБДУКЦИОННО-КОЛЛИЗИОННОЙ ЗОНЕ: НОВЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ^{40}Ar - ^{39}Ar ДАННЫЕ

И. де Граве, М.М. Буслов*, Ф.И. Жимулев*, П. Вермиш**, М.О. Мак-Виллиамс**, Дж. Меткалф**

Гентский университет, Гент, Бельгия

* *Институт геологии и минералогии СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Контюга, 3, Россия*

** *ETH Zurich, Isotope Geology and Mineral Resources Clausiusstrasse 25, NW C65, CH-8092 Zurich, Switzerland*

В результате детального геологического картирования центральной части Кокчетавского субдукционно-коллизиионной зоны установлено, что она представляет террейн венд-кембрийской палеосубдукционной зоны, сложенный тектоническими чешуями (пластинами) докембрийских гранито-гнейсов, позднекембрийских гранат-кианит-силлиманит-биотитовых сланцев, содержащих будины гранатовых и гранат-плагиоклазовых амфиболитов и кембрийских милонитизированных гранито-гнейсов с будинами эклогитов. Разломные зоны между тектоническими пластинами маркируются гранат-кварц-мусковитовыми и кварц-мусковитовыми сланцами. Совместно они смяты в опрокинутые на юго-запад изоклинальные складки. Проведенное $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование мусковита из пяти образцов слюдистых сланцев показало близкие значения возрастных плато и изохронного возраста и указывает на раннеордовикский (480—485 млн лет) возраст их формирования. Выявленные особенности геологического строения и геохронологические данные позволили подтвердить раннеордовикский тектонический этап в формировании покровно-чешуйчатой структуры Кокчетавская субдукционно-коллизиионная зона и раннеордовикскую эксгумацию пород сверхвысоких и высоких давлений (УНР-НР пород) в условиях средней—верхней коры.

Кокчетавская метаморфическая зона, берлыкская свита, гранито-гнейсы, эклогиты, гранатовые амфиболиты, фенгит, геохронология.

THE EARLY ORDOVICIAN AGE OF DEFORMATIONS IN THE KOKCHETAV SUBDUCTION-COLLISION ZONE: NEW STRUCTURAL AND $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ DATA

J. De Grave, M.M. Buslov, F.I. Zhimulev, P. Vermeesch, M.O. McWilliams, and J. Metcalf

An extensive mapping and sampling in the central Kokchetav subduction-collision zone has shown that it is a terrane of a Vendian-Cambrian paleosubduction zone made up of tectonic sheets of Precambrian granite-gneisses, Late Precambrian garnet-disthene-sillimanite-biotite schists with boudins of garnet and garnet-plagioclase amphibolites, and Cambrian mylonitized granite-gneisses with boudins of eclogites. The fault zones between tectonic sheets are formed by garnet-quartz-muscovite and quartz-muscovite schists. Along with the central Kokchetav zone, they are isoclinally overfolded southwestward. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of muscovite from five mica schist samples yielded close plateau and isochron ages of 480–485 Ma (Early Ordovician). The geological and geochronological data confirm the Early Ordovician formation of the nappe-sheet structure of the Kokchetav subduction-collision zone and exhumation of UHP and HP rocks in the middle-upper crust.

Kokchetav metamorphic zone, Berlyk Formation, granite-gneisses, eclogites, garnet amphibolites, phengite, geochronology

ВВЕДЕНИЕ

В Кокчетавском массиве Северного Казахстана выделена одноименная субдукционно-коллизиионная зона [1—3], содержащая коэсит-алмазоносные породы сверхвысоких давлений и эклогиты высоких давлений (УНР-НР породы), сформированные в результате субдукции континентальной коры [1—8]. В последнее время на основании анализа структурно-вещественных особенностей пород Кокчетавской субдукционно-коллизиионной зоны и геохронологических данных обосновывается [1—3] важная роль раннеордовикских тектонических процессов в его эволюции и эксгумации УНР-НР пород в коровых условиях. Доказывается, что зона представлена совмещенными террейнами докембрийского Кокчетавского микроконтинента, позднекембрийско-раннеордовикской аккреционной призм (содержащей островодужные породы, офиолиты, милонитизированные гранито-гнейсы с будинами эклогитов, олисто-стромы и турбидиты), различных по глубинности кембрийских палеосубдукционных метаморфических пород. Тектоническое совмещение продолжалось до позднего аренига—раннего карадока в обстановке коллизии Кокчетавского микроконтинента со Степнякской ордовикской островной дугой. В результате двухэтапной субдукции (венд—кембрий и ордовик) и коллизии (ранний ордовик) была сформирована сложная покровно-чешуйчатая структура Кокчетавской субдукционно-коллизиионной зоны [1—3].

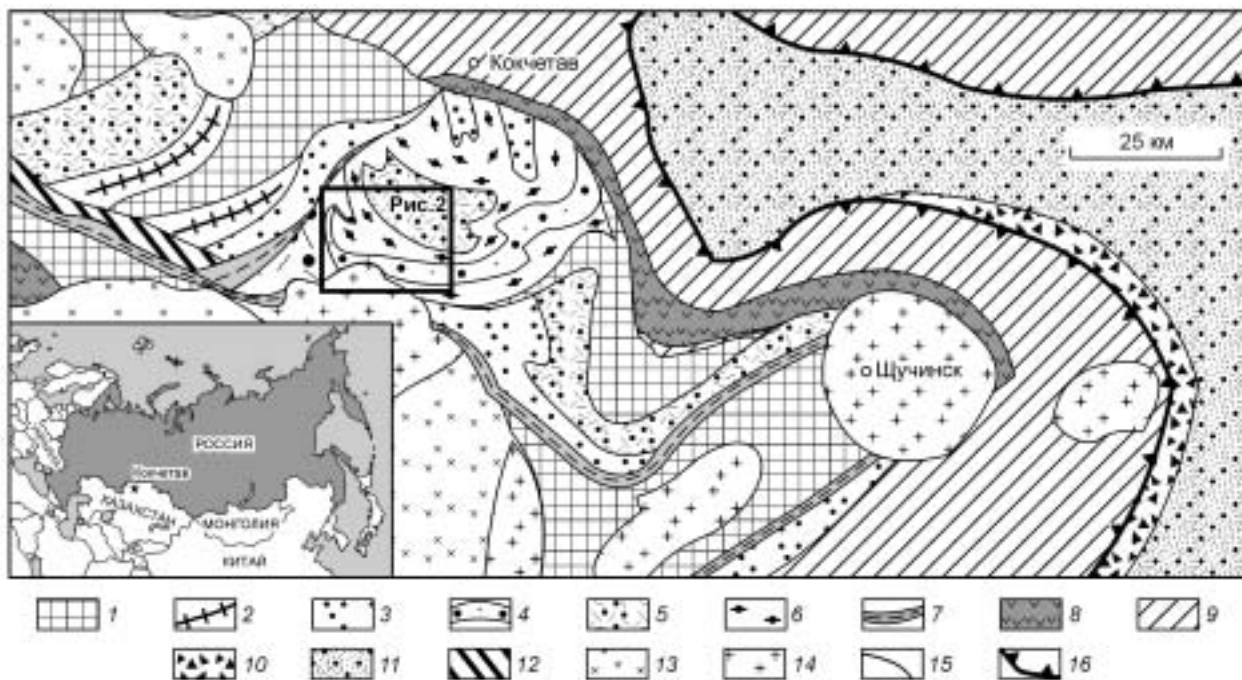


Рис. 1. Схема террейновой структуры Кокчетавской субдукционно-коллизийной зоны (указано положение исследованного участка, рис. 2).

1 — фрагменты осадочного чехла Кокчетавского микроконтинента; 2—6 — мегамеланжевый пояс (террейны палеосубдукционной зоны); 2 — алмазосодержащие гнейсы и коэситовые эклогиты, 3 — коэситовые эклогиты, эклогиты и гранатовые амфиболиты в слюдястых сланцах, 4 — гранатовые перидотиты, эклогиты, амфиболиты, 5 — эклогиты и гранатовые амфиболиты в гранитогнейсах, 6 — гранат-силлиманит-кордиеритовые сланцы (милониты и бластомилониты) с будинами эклогитов и гранатовых амфиболитов; 7 — гранат-кордиерит-биотитовые сланцы и гнейсы (даулетская свита); 8 — вендские(?) вулканогенно-осадочные породы; 9 — раннеордовикская аккреционная призма; 10 — позднеаренигская синтетектоническая олистострома; 11 — ордовикские вулканогенно-осадочные породы Степнякского прогиба; 12 — кембрийский красномайский щелочно-ультраосновной комплекс; 13 — ордовикские граниты; 14 — девонские граниты; 15 — деформированные позднекембрийско-раннеордовикские разломы; 16 — позднеаренигско-раннекарадокский фронтальный надвиг кокчетавского субдукционно-коллизийного комплекса.

В ее строении выделяются [1—3] две крупные структурные единицы (рис. 1): мегамеланжевый пояс, представленный террейнами, сформированными на различных глубинах палеосубдукционной зоны от 150—200 до 60—30 км, и аккреционная призма, которая сформирована на глубинах от 60—30 до 0 км. Если возраст формирования аккреционной призмы по $Ag-Ag$ датировкам мусковитовых сланцев из разломных зон выявлен [1—3] как раннеордовикский (490—478 млн лет), то в мегамеланжевом поясе (Кумдыкольский и Кулетский террейны) датированы преимущественно ранние кембрийские стадии эксгумации УНР-НР пород в условиях верхней мантии и нижней коры [5—15]. В связи с этим важным является определение возраста многочисленных гранат-кварц-сланцевых и кварц-сланцевых приразломных сланцев, разделяющих террейны мегамеланжевого пояса и отдельные тектонические пластины в них, так как они фиксируют время эксгумации УНР-НР в условиях средней—верхней коры.

Нами было проведено детальное геологическое картирование в центральной части мегамеланжевого пояса (стратотипическая местность выделения берлыкской свиты) с отбором образцов гранат-кварц-сланцевых и кварц-сланцевых пород, трассирующих приразломные зоны тектонических пластин и чешуй Берлыкского террейна (см. рис. 1, 2). Изученный террейн расположен между Кумдыкольским, Сулутобинским и Кулетским террейнами, содержащими УНР-НР породы [3]. Название Энбек-Берлыкского террейна дается по названию пос. Энбек-Берлык и берлыкской свиты, для которой характерны высокоглиноземистые тонкозернистые гранат-кианит-силлиманит-биотитовые сланцы, содержащие будины эклогитов(?), гранатовых амфиболитов и коронитов (гранатовых амфиболитов с коронами граната вокруг плагиоклаза и на границе с пироксеном). Авторы работ [6, 7] отмечают, что в поле развития берлыкских тонкозернистых сланцев встречаются тектонические линзы гранитогнейсов с будинами эклогитов и гранатовых амфиболитов.

В настоящей статье представлены новые $^{40}Ag/^{39}Ag$ датировки мусковита из гранат-кварц-сланцевых и кварц-сланцевых сланцев, развивающихся в разломных зонах Берлыкского террейна. Датировки, представленные в данной работе, являются частью результатов, которые запланировано получить для выявления возраста разломных зон, разделяющих террейны палеосубдукционной зоны.

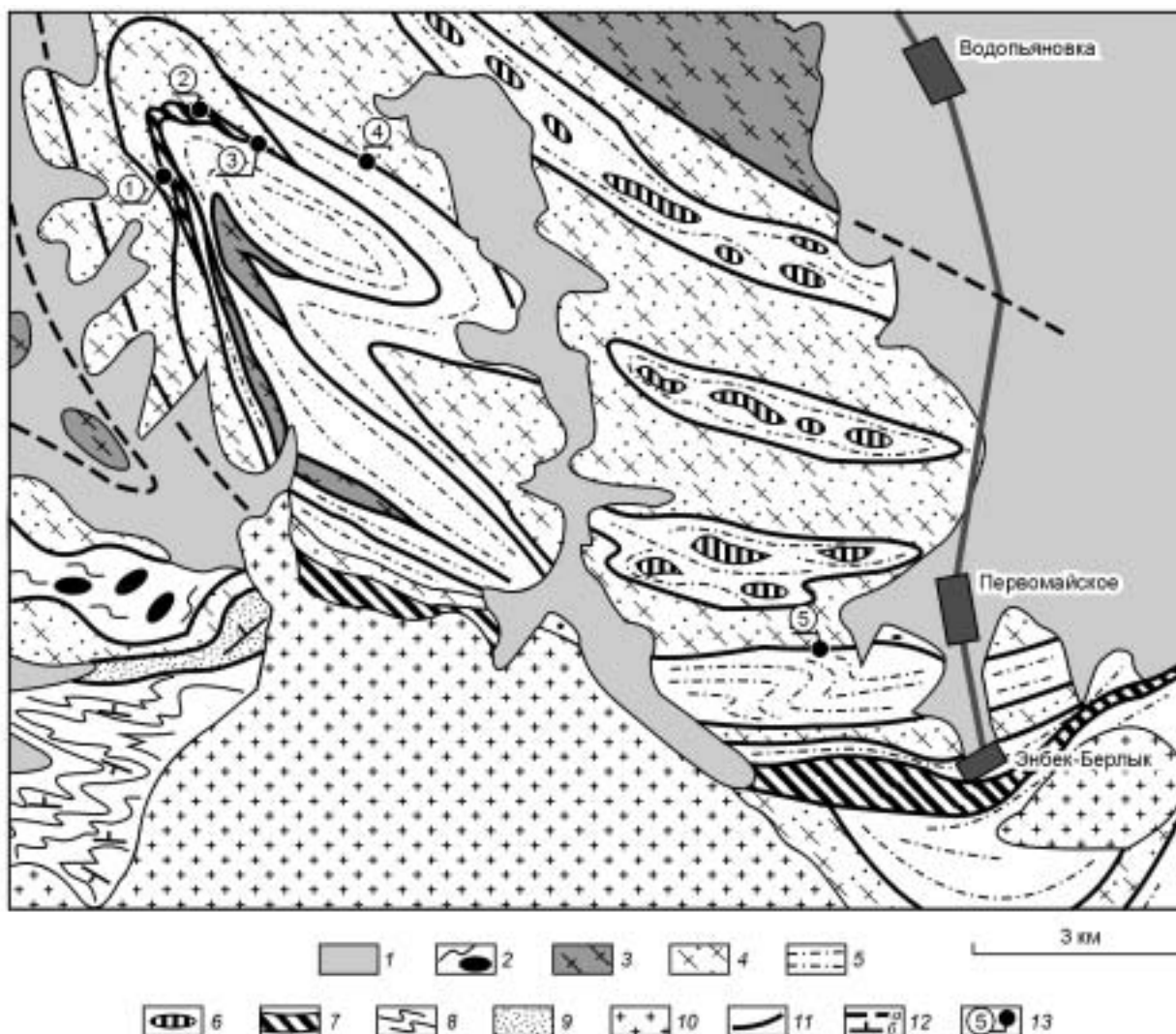


Рис. 2. Тектоническая схема Энбек-Берлыкского и сопредельных террейнов.

1 — четвертичные отложения; 2 — породы высоких давлений в слюдяных сланцах; 3 — гранитогнейсы фундамента микроконтинента; 4—7 — Энбек-Берлыкский террейн (берлыкская свита): 4 — милонитизированные гранитогнейсы с телами гранатовых амфиболитов и эклогитов, 5, 6 — гранат-силлиманит-кианит-кварц-биотитовые сланцы: 5 — мелкозернистые, 6 — крупнозернистые в ядрах изоклинальных складок, 7 — чередование гранатовых перидотитов, гранатовых пироксенитов, гранатовых амфиболитов, эклогитов, плагиоклаз-пироксеновых пород; 8 — кварцевые песчаники кокчетавской свиты (чехла микроконтинента) с элементами простираения слоистости; 9 — ранне- и среднеордовикские(?) кордиерит-андалузит-биотитовые гнейсы и сланцы даулетской свиты; 10 — преимущественно ордовикские граниты, нерасчлененные; 11 — деформированные плоскости раннеаренигских разломов, выполненных гранат-кварц-мусковитовыми и кварц-мусковитовыми сланцами; 12 — структурные элементы: а — предполагаемые разломы, б — элементы залегания слоистости; 13 — места расположения образцов, опробованных Ag-Ag методом: 1 — Kok 2-3, 2 — Kok 2-23, 3 — Kok 2-7, 4 — Kok 2-32, 5 — Kok 2-50.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЭНБЕК-БЕРЛЫКСКОГО ТЕРРЕЙНА

Детальным геологическим датированием установлено, что Энбек-Берлыкский террейн состоит из серии тектонических пластин (см. рис. 2), сложенных тремя типами пород: позднедокембрийскими тонкозернистыми гранат-кианит-силлиманит-биотитовыми сланцами, содержащими будины гранатовых амфиболитов с коронарной структурой; милонитизированными, условно кембрийскими гранитогнейсами с будинами эклогитов и гранатовых амфиболитов; гранитогнейсами, являющимися, вероятно, фрагментами докембрийского фундамента Кокчетавского микроконтинента. Тектонические пластины разделены зонами (мощностью до первых десятков метров) кварц-мусковитовых и гранат-кварц-мусковитовых сланцев, которые трассируют плоскости разломов. Слюды также развиты и внутри тектонических пластин. Тектонические пластины и плоскости разломов смяты в крупные (размах крыльев до многих сотен метров) изоклинальные складки. Оси складок погружаются на северо-восток под углами в 60—70°.

Обычно в рельефе хорошо сохраняются мелкозернистые гранат-кианит-силлиманит-биотитовые сланцы с телами гранатовых амфиболитов, которые в большинстве случаев формируют куполообразные вытянутые структуры северо-восточного и субширотного простирания среди милонитизированных гранито-гнейсов. В приразломных зонах и особенно в замковых частях купольных структур развиты изоклинальные складки с размахом крыльев от первых до десятков сантиметров, а также мелкая пloyчaстoсть.

Для гранатовых амфиболитов с коронитовой структурой были определены условия формирования при $P = 4\text{—}7$ кбар и $T = 600\text{—}680$ °C [9]. Такие же условия установлены и для гранат-кианит-биотит-силлиманитовых сланцев. Возраст метаморфизма пока достоверно не установлен, хотя отдельные $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датировки [8] указывают на позднедокембрийский (565—553 млн лет). Другая стадия метаморфизма и деформаций, в которую была образована чешуйчатая структура берлыкской свиты, сопровождается формированием гранат-кварц-слюдистых и кварц-слюдистых сланцев, разделяющих тектонические чешуи различного состава. Возраст мусковитов, указывающий на время формирования чешуйчатой структуры, определялся $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом датирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ДАТИРОВАНИЯ

В работе представлены результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования мусковита из пяти образцов гранат-кварц-слюдистых и кварц-слюдистых сланцев. Местоположение образцов указано в табл. 1, аналитические результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ступенчатого прогрева мусковитов — в табл. 2. В исследованиях использованы около 1—2 мг чистого (не содержащего включений) чешуйчатого мусковита (размер чешуек приблизительно 100—200 мкм). Образцы были облучены на реакторе в Орегонском государственном университете. В работе использован возрастной стандарт (USGS 85G003) риолитов с возрастом $27,92 \pm 0,17$ млн лет. Ar-Ar датирование образцов проведено в Стенфордском университете методом ступенчатого прогрева, для замеров использовался масс-спектрометр MAP 216.

Таблица 1. Координаты отбора на $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование мусковитов

Образец (номер см. рис. 2)	Сланец	Широта (северная)	Долгота (восточная)	Высота, м
Кок 3-3 (1)	Гранат-кварц-мусковитовый	53°08'12"	069°11'44"	338
Кок 3-23 (2)	»	53°08'50"	069°12'40"	298
Кок 3-27 (3)	»	53°08'24"	069°12'47"	319
Кок 3-32 (4)	Кварц-мусковитовый	53°08'16"	069°14'49"	318
Кок 3-50 (5)	»	53°04'24"	069°20'13"	345

Аргоновые спектры и инверсионные изохроны для каждого образца показаны на рис. 3. Из-за плохой статистики не получилась инверсионная изохрона для обр. 3-27. Остальные четыре образца имеют относительно большие и плоские возрастные плато и для них получен изохронный возраст. Значения возрастных плато и изохронного возраста очень близки и указывают на раннеордовикский (480—485 млн лет) возраст мусковитов. Плохо выраженная изохрона и седлообразная форма спектра для обр. 3-27, скорее всего, связаны с присутствием в нем избыточного аргона. Полученные данные однозначно указывают на то, что гранат-кварц-слюдистые и кварц-слюдистые сланцы сформированы в интервале 480—485 млн лет (рис. 4).

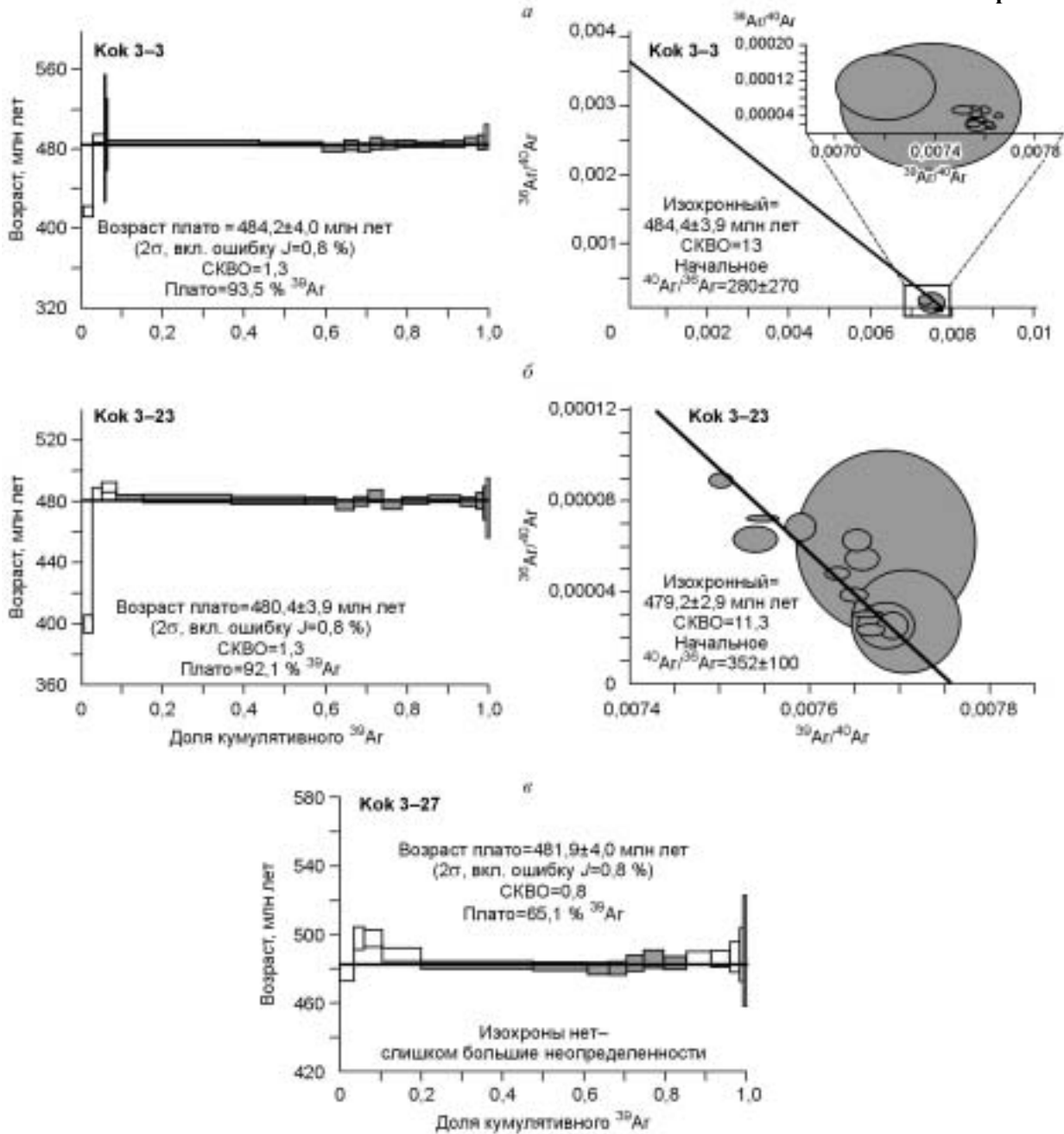
ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

По мнению авторов работ [1—3], субдукция литосферы Палеоазиатского океана и коллизия Кокчетавского микроконтинента с островной дугой в конечном итоге определили формирование и эксгумацию УНР-НР пород. Изначально, в венде—раннем кембрии, происходило погружение микроконтинента в зону субдукции до глубин 150—200 км, что привело к УНР-НР метаморфизму (пик около 535 млн лет), а также частичному плавлению пород. В следующую стадию (535—528 млн лет) сформированные кислые расплавы, включающие блоки УНР-НР пород, достигли уровня основания аккреционной призмы (глубины до 60—30 км). В период 528—500 млн лет УНР-НР породы поднимались вдоль разломных структур нижней коры вследствие заклинивания субдукционной зоны Кокчетавским микроконтинентом. В период 500—480 млн лет УНР-НР породы вошли в состав верхней коры. В результате была создана Кокчетавская субдукционно-коллизийная зона, которая образована террейнами различных уровней глубинности венд-раннеаренигской субдукционной зоны и аккреционного клина, разделенными зонами гранат-слюдистых и слюдистых сланцев, бластомилонитов и милонитов. Позднеаренигско-раннекарадокские коллизийные процессы микроконтинент—островная дуга (480—460 млн лет) привели к надвиганию Кокчетавской субдукционно-коллизийной зоны на преддуговой прогиб Степнякской островной дуги.

Таблица 2. Аналитические результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ступенчатого прогрева мусковитов

$T, ^\circ\text{C}$	$^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar} (1\sigma)$	$^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar} (1\sigma)$	$^{39}\text{Ar}, \%$	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar} (1\sigma)$	Возраст, млн лет
1	2	3	4	5	6
Кок 3-3, мусковит, $J = 0,0023658$					
700	0,0206 (0,0006)	0,2796 (0,1686)	0,64	109,74 (0,26)	416,41 ± 2,64
800	0,0098 (0,0004)	0,3026 (0,1311)	0,82	132,08 (0,22)	490,55 ± 2,16
850	0,0082 (0,0077)	0,3851 (2,3495)	0,04	132,13 (3,29)	490,72 ± 32,09
900	0,0143 (0,0042)	0,3059 (1,2145)	0,09	133,28 (1,85)	494,45 ± 18,05
950	0,0043 (0,0001)	0,0536 (0,0116)	10,11	130,63 (0,15)	485,83 ± 1,43
1000	0,0031 (0,0001)	0,1099 (0,0273)	4,21	130,30 (0,11)	484,76 ± 1,04
1025	0,0051 (0,0003)	0,2669 (0,0776)	1,45	128,84 (0,14)	479,99 ± 1,40
1050	0,0070 (0,0004)	0,3797 (0,1188)	0,93	129,91 (0,25)	483,48 ± 2,43
1075	0,0068 (0,0005)	0,3512 (0,1394)	0,81	129,27 (0,22)	481,40 ± 2,12
1100	0,0070 (0,0005)	0,4035 (0,1429)	0,79	130,57 (0,30)	485,63 ± 2,98
1120	0,0057 (0,0004)	0,3040 (0,1174)	0,96	130,07 (0,20)	484,02 ± 1,94
1140	0,0039 (0,0003)	0,2031 (0,0918)	1,24	130,40 (0,18)	485,07 ± 1,77
1170	0,0027 (0,0003)	0,1575 (0,0632)	1,85	130,17 (0,14)	484,35 ± 1,36
1200	0,0018 (0,0003)	0,1765 (0,0786)	1,46	130,34 (0,16)	484,88 ± 1,53
1250	0,0027 (0,0004)	0,3834 (0,1346)	0,85	131,16 (0,21)	487,56 ± 2,10
1300	0,0026 (0,0009)	0,3924 (0,2621)	0,44	130,90 (0,38)	486,70 ± 3,75
1400	0,0012 (0,0014)	0,6804 (0,4112)	0,28	132,54 (0,62)	492,04 ± 6,07
Кок 3-23, мусковит, $J = 0,0023600$					
700	0,0484 (0,0008)	0,3743 (0,1442)	0,75	104,86 (0,29)	398,90 ± 2,97
800	0,0142 (0,0005)	0,3109 (0,1216)	0,88	130,54 (0,22)	484,50 ± 2,13
850	0,0112 (0,0003)	0,2642 (0,0797)	1,34	131,94 (0,16)	489,03 ± 1,58
900	0,0119 (0,0002)	0,1713 (0,0437)	2,52	129,83 (0,11)	482,19 ± 1,08
950	0,0096 (0,0001)	0,0873 (0,0138)	8,15	129,70 (0,13)	481,77 ± 1,30
1000	0,0039 (0,0001)	0,1053 (0,0165)	6,81	129,33 (0,12)	480,55 ± 1,21
1025	0,0063 (0,0002)	0,2349 (0,0390)	2,87	129,21 (0,11)	480,17 ± 1,04
1050	0,0083 (0,0003)	0,2767 (0,0660)	1,68	128,28 (0,14)	477,12 ± 1,35
1075	0,0091 (0,0003)	0,3315 (0,0850)	1,31	129,12 (0,15)	479,87 ± 1,51
1100	0,0085 (0,0003)	0,3064 (0,0834)	1,32	130,19 (0,20)	483,35 ± 1,95
1120	0,0072 (0,0003)	0,2428 (0,0628)	1,76	128,51 (0,15)	477,87 ± 1,50
1140	0,0051 (0,0002)	0,1463 (0,0450)	2,48	129,27 (0,11)	480,37 ± 1,12
1170	0,0030 (0,0001)	0,1400 (0,0377)	2,97	129,56 (0,11)	481,31 ± 1,09
1200	0,0033 (0,0003)	0,2603 (0,0762)	1,46	129,06 (0,15)	479,67 ± 1,45
1250	0,0033 (0,0006)	0,4864 (0,1625)	0,69	129,21 (0,27)	480,15 ± 2,69
1300	0,0036 (0,0013)	0,7242 (0,3577)	0,31	128,74 (0,56)	478,63 ± 5,45
1400	0,0083 (0,0022)	0,9288 (0,6240)	0,18	127,77 (0,96)	475,46 ± 9,44
Кок 3-27, мусковит, $J = 0,0023566$					
700	0,0097 (0,0005)	0,2360 (0,1353)	0,75	128,57 (0,41)	477,47 ± 2,20
800	0,0057 (0,0007)	0,2004 (0,2083)	0,50	134,80 (0,27)	497,67 ± 3,22
850	0,0042 (0,0004)	0,1984 (0,1043)	0,99	134,74 (0,30)	497,50 ± 2,46
900	0,0036 (0,0002)	0,0969 (0,0544)	1,97	131,82 (0,13)	488,04 ± 2,01
950	0,0020 (0,0001)	0,0629 (0,0186)	5,87	129,99 (0,12)	482,11 ± 1,07
1000	0,0019 (0,0002)	0,1371 (0,0374)	2,86	129,77 (0,17)	481,39 ± 1,14
1025	0,0032 (0,0003)	0,2859 (0,0971)	1,10	129,33 (0,27)	479,93 ± 1,73
1050	0,0032 (0,0004)	0,2333 (0,1131)	0,94	129,53 (0,26)	480,59 ± 1,94

1	2	3	4	5	6
1075	0,0030 (0,0004)	0,2199 (0,1197)	0,89	130,33 (0,35)	483,21 ± 2,38
1100	0,0027 (0,0004)	0,1857 (0,1058)	1,02	131,06 (0,30)	485,57 ± 2,55
1120	0,0021 (0,0003)	0,1874 (0,0900)	1,19	130,33 (4,79)	483,21 ± 1,94
1140	0,0019 (0,0003)	0,1588 (0,0813)	1,31	131,29 (0,20)	486,35 ± 1,90
1170	0,0020 (0,0004)	0,1939 (0,1048)	1,01	131,12 (0,27)	485,76 ± 2,28
1200	0,0006 (0,0008)	0,3404 (0,2187)	0,50	131,41 (0,36)	486,71 ± 4,39
1250	0,0012 (0,0018)	0,6237 (0,4788)	0,22	131,78 (0,82)	487,90 ± 7,72
1300	0,0003 (0,0039)	0,8685 (1,0930)	0,10	132,56 (1,72)	490,45 ± 15,91
1400	0,0043 (0,0048)	0,3202 (1,3048)	0,08	142,14 (2,29)	521,21 ± 19,39
Кок 3-32, мусковит, J = 0,0023579					
700	0,0346 (0,0011)	0,1562 (0,3150)	0,35	88,90 (0,41)	343,32 ± 4,38
800	0,0065 (0,0006)	0,0873 (0,1684)	0,66	133,52 (0,27)	493,79 ± 2,59
850	0,0044 (0,0005)	0,1221 (0,1408)	0,80	133,72 (0,30)	494,44 ± 2,92
900	0,0046 (0,0002)	0,0962 (0,0584)	1,94	129,77 (0,13)	481,60 ± 1,28
950	0,0018 (0,0001)	0,0771 (0,0218)	5,31	129,90 (0,12)	482,02 ± 1,22
1000	0,0022 (0,0002)	0,1862 (0,0565)	2,02	129,75 (0,17)	481,54 ± 1,66
1025	0,0030 (0,0005)	0,3413 (0,1445)	0,77	130,13 (0,27)	482,78 ± 2,63
1050	0,0032 (0,0006)	0,4207 (0,1789)	0,63	128,80 (0,26)	478,46 ± 2,55
1075	0,0041 (0,0006)	0,3697 (0,1853)	0,61	129,29 (0,35)	480,08 ± 3,39
1100	0,0046 (0,0005)	0,2772 (0,1582)	0,72	129,58 (0,30)	481,00 ± 2,96
1120	0,0131 (0,0115)	0,8038 (3,4231)	0,03	138,08 (4,79)	508,47 ± 46,16
1140	0,0017 (0,0004)	0,1542 (0,1250)	0,90	129,45 (0,20)	480,57 ± 1,93
1170	0,0016 (0,0004)	0,1773 (0,1234)	0,92	130,99 (0,27)	485,58 ± 2,63
1200	0,0012 (0,0008)	0,1800 (0,2389)	0,47	129,67 (0,36)	481,27 ± 3,49
1250	0,0026 (0,0017)	0,6656 (0,5154)	0,22	130,79 (0,82)	484,92 ± 7,97
1300	0,0034 (0,0041)	1,1214 (1,2093)	0,09	129,34 (1,72)	480,22 ± 16,83
1400	0,0006 (0,0050)	1,4362 (1,5211)	0,01	133,26 (2,29)	492,96 ± 22,27
Кок 3-50, мусковит, J = 0,0023551					
700	0,0491 (0,0008)	1,0721 (0,2040)	0,43	86,41 (0,29)	334,19 ± 3,09
800	0,0150 (0,0004)	0,4675 (0,1069)	0,82	126,76 (0,20)	471,30 ± 1,92
850	0,0128 (0,0003)	0,4159 (0,0849)	1,04	129,73 (0,17)	480,97 ± 1,67
900	0,0109 (0,0002)	0,2216 (0,0466)	1,94	128,76 (0,12)	477,82 ± 1,17
950	0,0074 (0,0001)	0,0800 (0,0111)	8,21	129,36 (0,11)	479,77 ± 1,10
1000	0,0040 (0,0001)	0,1711 (0,0238)	3,84	129,32 (0,10)	479,64 ± 0,97
1025	0,0088 (0,0003)	0,4641 (0,0719)	1,23	128,80 (0,20)	477,95 ± 1,97
1050	0,0096 (0,0005)	0,5229 (0,1068)	0,84	127,95 (0,20)	475,19 ± 1,91
1075	0,0096 (0,0004)	0,5880 (0,1210)	0,75	128,02 (0,20)	475,40 ± 1,93
1100	0,0104 (0,0004)	0,6356 (0,1209)	0,75	128,64 (0,24)	477,41 ± 2,34
1120	0,0086 (0,0004)	0,5712 (0,1123)	0,80	128,43 (0,20)	476,75 ± 1,93
1140	0,0075 (0,0003)	0,4795 (0,0854)	1,05	129,88 (0,20)	481,48 ± 1,96
1170	0,0049 (0,0002)	0,2875 (0,0549)	1,70	128,88 (0,12)	478,21 ± 1,18
1200	0,0038 (0,0003)	0,3738 (0,0742)	1,24	129,81 (0,13)	481,23 ± 1,27
1250	0,0045 (0,0005)	0,6214 (0,1301)	0,70	130,14 (0,26)	482,32 ± 2,55
1300	0,0054 (0,0011)	1,2319 (0,3008)	0,31	127,52 (0,44)	473,79 ± 4,30
1400	0,0055 (0,0015)	1,5817 (0,4052)	0,23	129,31 (0,69)	479,62 ± 6,73



В работах [1—3] охарактеризован $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраст мусковитов в интервале 490—478 млн лет из разломных зон аккреционной призмы, расположенной между Кокчетавской мегамеланжевой зоной и Степнякским преддуговым прогибом. Эти возрасты трактуются как время проявления коллизионного тектонического события, связанного с переходом континентальной субдукции в коллизию микроконтинент — островная дуга. Несомненно, что указанный интервал времени, характеризующий возвратные течения в аккреционной призме, должен быть зафиксирован и в палеосубдукционной зоне как в проявлении структурных форм, так и в ретроградном метаморфизме УНР-НР пород. Проведенное А.В. Травиним [16] Ar-Ag исследование минералов из поля развития пород берлыкской свиты, в том числе амфибола из гранатового амфиболита с коронитовой структурой и биотита из эклогитсодержащего гранитогнейса, выявило даты соответственно в 553 ± 26 и 531 ± 21 млн лет. Эти цифры отвечают этапу начального погружения пород Кокчетавского микроконтинента в зону субдукции и могут свидетельствовать о формировании гранат-кианит-силлиманит-биотитовых сланцев и гранатовых амфиболитов в верхней части палеосубдукционной зоны ($P = 4\text{—}7$ кбар и $T = 600\text{—}680$ °C). По мусковиту, развивающему по этим же гранитогнейсам, получен [16] возраст 486 ± 9 млн лет, а по мусковиту, разви-

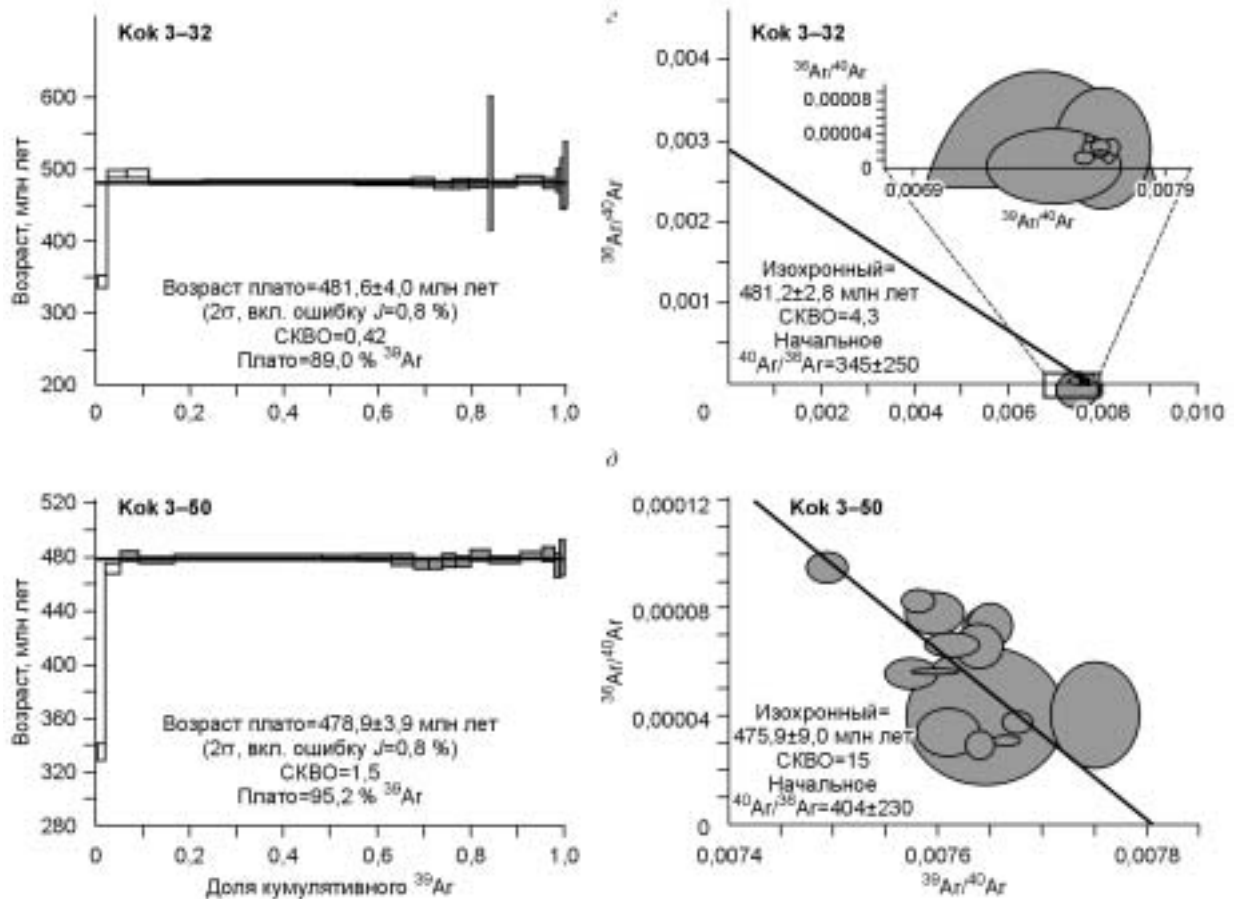


Рис. 3. Результаты Ar-Ar датирования образцов.

a — Kok 3-3, *б* — Kok 3-23, *в* — Kok 3-27, *г* — Kok 3-32, *д* — Kok 3-50. Левый ряд рисунков показывает спектры возрастов, полученные ступенчатым прогревом. Все возрастное плато включают 0,8 % оценки погрешности иррадиационного параметра. В подсчете возраста использованы только заштрихованные ступени на плато. Правый ряд рисунков (кроме Kok 3-27) показывает инверсионный изохронный возраст в $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ — $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ системе.

вающемся по гранат-кианит-силлиманитовому сланцу (содержащему датированный гранатовый амфиболит), — 478 ± 5 млн лет. Возрасты по мусковиту являются явно наложенными на породы берлыкской свиты, которые имеют сложную структурно-метаморфическую историю и представляют собой деформированную в складки чешуйчатую структуру.

На основании геохронологических данных и структурных особенностей можно выделить три этапа в формировании структуры Энбек-Берлыкского террейна: ранний (позднедокембрийский), связанный с образованием гранат-кианит-кварцевых сланцев и гранатовых амфиболитов с характерной линейностью по удлинениям кристаллов кианита [7, 8], средний (раннеордовикский) — совмещение разновозрастных тектонических пластин с формированием чешуйчатой структуры террейна и гранат-кварц-слюдистых и кварц-слюдистых сланцев в приразломных зонах, поздний (ранне- и средне-

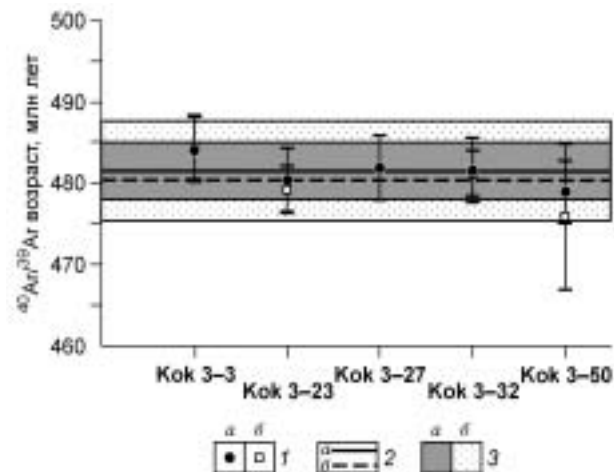


Рис. 4. Диаграмма распределения $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраста исследованных образцов.

1 — значения по возрастному плато (*a*), по изохронному возрасту (*б*); 2 — среднее по пяти образцам (*a*), по четырем образцам (*б*); 3 — интервалы для средних значений возраста (2σ) по плато (*a*) и изохронным возрастам (*б*).

ордовикский) — деформирование чешуйчатой структуры и образование крупных, опрокинутых на юго-запад, изоклинальных куполовидных складок. Наши данные о возрасте мусковитов из разломных зон и возраст мусковитов [16] из внутренних частей тектонических пластин Энбек-Берлыкского террейна указывают на раннеаренигский возраст второго этапа деформаций.

Полученные результаты хорошо согласуются с мнением авторов работ [7, 8], согласно которому эксгумация кокчетавского метаморфического меланжа была не одноактной, и разные тектонические механизмы внесли разный вклад в подъем метаморфических пород. В частности, для тонкозернистых пород берлыкской свиты на основании детальнейших структурных работ выявлены также три этапа деформаций: ранний — с проявлением минеральной линейности, обусловленной ориентировкой мелких кристаллов кианита, средний — определяемый мелковолнистой складчатостью, и поздний — выраженный интенсивным рассланцеванием и появлением силлиманита. Сопоставляя перечисленные этапы с вышеприведенными возрастными датировками и структурными данными можно предполагать, что ранний этап отвечает возрасту начального субдукционного кембрийского метаморфизма, средний — раннеордовикскому этапу формирования чешуйчатой структуры Энбек-Берлыкского террейна и поздний — проявлению складчатости и интенсивному рассланцеванию. Средний и поздний этапы по возрасту совпадают с временем коллизии Кокчетавского микроконтинента и Степнякской ордовикской островной дуги [1—3].

Таким образом, полученные нами новые геохронологические данные и данные о строении Энбек-Берлыкского террейна позволили зафиксировать раннеордовикский (480—485 млн лет) тектонический этап в формировании покровно-чешуйчатой структуры Кокчетавской субдукционно-коллизийной зоны и эксгумации УНР-НР пород, который проходил в условиях возвратных течений в палеосубдукционной зоне.

Работа выполнена при поддержке Фламандского фонда научных исследований, грантов НШ-1247.2003.01, РФФИ (№ 05-05-64899) и Фонда содействия отечественной науке.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Добрецов Н.Л., Буслов М.М., Жимулев Ф.И., Травин А.В.** Кокчетавский массив: деформированная кембрийско-раннекарадокская коллизийно-субдукционная зона // Докл. РАН, 2005, т. 402, № 2, с. 1—5.
2. **Добрецов Н.Л., Буслов М.М., Жимулев Ф.И.** Кембро-ордовикская тектоническая эволюция Кокчетавского метаморфического пояса (Северный Казахстан) // Геология и геофизика, 2005, т. 46, с. 806—816.
3. **Добрецов Н.Л., Буслов М.М., Жимулев Ф.И. и др.** Венд-раннеордовикская геодинамическая эволюция и модель эксгумации пород сверхвысоких и высоких давлений Кокчетавской субдукционно-коллизийной зоны (Северный Казахстан) // Геология и геофизика, 2006, т. 47, с. 428—444.
4. **Sobolev N.V., Shatsky V.S.** Diamond inclusions in garnets from metamorphic rocks: a new environment for diamond formation // Nature, 1990, v. 343, p. 742—746.
5. **Claoué-Long J.C., Sobolev N.V., Shatsky V.S., Sobolev A.V.** Zircon response to diamond-pressure metamorphism in the Kokchetav massif, USSR // Geology, 1991, v. 19, p. 710—713.
6. **Dobretsov N.L., Shatsky V.S.** Exhumation of high-pressure rocks of the Kokchetav massif: facts and models // Lithos, 2004, v. 78, p. 307—318.
7. **Theunissen K., Dobretsov N.L., Korsakov A. et al.** Two contrasting petrotectonic domains in the Kokchetav megamelange (north Kazakhstan): Difference in exhumation mechanisms of ultrahigh-pressure crustal rocks, or a result of subsequent deformation? // The Island Arc, 2000, v. 9, p. 284—303.
8. **Добрецов Н.Л., Тениссен К., Смирнова Л.В.** Структурная и геодинамическая эволюция алмазосодержащих метаморфических пород Кокчетавского массива (Казахстан) // Геология и геофизика, 1998, т. 39, с. 1645—1666.
9. **Шацкий В.С., Соболев Н.В., Гилберт А.Е.** Эклогиты Кокчетавского массива // Эклогиты и глаукофановые сланцы в складчатых областях / Под ред. Н.Л. Добрецова, Н.В. Соболева, В.С. Шацкого и др. Новосибирск, Наука, 1989, с. 54—83.
10. **Hermann J., Rubatto D., Korsakov A., Shatsky V.S.** Age and exhumation rate of diamondiferous, deeply subducted continental crust in the Kokchetav massif, Kazakhstan (abstract) // Field Guide Book of the IV International Eclogite Field Symposium, August 1999 / Eds. N.L. Dobretsov et al. Novosibirsk, 1999, p. 12—13.
11. **Jagoutz E., Shatsky V.S., Sobolev N.V., Pokhilenko N.P.** Pb-Nd-Sr isotopic study of the Kokchetav Massif, the outcrop of the lower lithosphere // Workshop on diamonds (28th International Geological Congress) / Eds. F.R. Boyd, H.O. Meyer, N.V. Sobolev. Washington DC, Carnegie Institution Geophysical Laboratory, 1989, p. 32—35.

12. **Шацкий В.С., Ягоуц И., Козьменко О.А. и др.** Возраст и генезис эклогитов Кокчетавского массива // Геология и геофизика, 1993, т. 34 (12), с. 47—58.
13. **Katayama I., Maruyama S., Parkinson C.D. et al.** Ion micro-probe U-Pb zircon geochronology of peak and retrograde stages of ultrahigh-pressure metamorphic rocks from the Kokchetav massif, northern Kazakhstan // Earth Planet. Sci. Lett., 2001, v. 188, p. 185—198.
14. **Hacker B.R., Calvert A., Zhang R.Y. et al.** Ultrarapid exhumation of ultrahigh-pressure rocks of the Kokchetav Massif, Kazakhstan? // Lithos, 2003, v. 70, p. 61—75.
15. **Herman J., Rubatto D., Korsakov A.V., Shatsky V.S.** Multiple zircon growth during fast exhumation of diamondiferous, deeply subducted continental crust (Kokchetav massif, Kazakhstan) // Contr. Miner. Petrol., 2001, v. 141, p. 66—82.
16. **Travin A.** Ar/Ar geochronology of the Kokchetav megamelange // Fourth International Eclogite Field Symposium Guide to the Diamondiferous and High Pressure Metamorphic Rocks of Kokchetav Massif / Eds. N.L. Dobretsov, N.V. Sobolev, V.S. Shatsky. Novosibirsk, United Institute of Geology, Geophysics and Mineralogy SB RAS, 1999, p. 52—56.

*Поступила в редакцию 15 июля 2005 г.,
после доработки — 31 октября 2005 г.*