

УДК: 553.98

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -ВОЗРАСТ ФОРМИРОВАНИЯ СКЛАДЧАТОСТИ В ОСАДОЧНЫХ КОМПЛЕКСАХ ЧУКОТКИ И ОСТРОВА ВРАНГЕЛЯ (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

© 2024 г. М. И. Тучкова^{1,*}, член-корреспондент РАН С. Д. Соколов¹,
А. В. Моисеев¹, Е. В. Ватрушкина¹

Поступило 23.08.2023 г.

После доработки 13.10.2023 г.

Принято к публикации 31.10.2023 г.

Датирование $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -изотопным методом новообразованных слюд и хлоритов из надвиговых зон Западной Чукотки и о. Врангеля позволило установить, что они были сформированы 150 млн лет назад, то есть в титоне. В надвиги были вовлечены осадочные породы широкого возрастного интервала от девона до триаса. В силурийских породах гор Дрем-Хед о. Врангеля установлен более древний этап деформаций 257 млн лет, что соответствует позднепермскому стратиграфическому интервалу и свидетельствует о существовании деформаций после проявления в раннем карбоне элсмирского орогенеза. Формирование надвигов сопровождалось прогревом осадочных толщ до температур 250–380°C, при этом в зоне надвигов температурный режим практически не менялся, разница температур между зоной надвига и под надвигом составляет не более 20°C.

Ключевые слова: Чукотка, остров Врангеля, терригенные породы, надвиги, деформации, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирование, слюда, хлорит

DOI: 10.31857/S2686739724020057

В геологической литературе в последние годы активно обсуждаются модели формирования современной структуры Арктической области, и в том числе Амеразийского бассейна ([1, 2] и др.). Согласно наиболее популярной ротационной модели А. Грантца [2], предполагается, что с началом раскрытия Амеразийского бассейна в ранней юре стали формироваться рифтогенные и грабеновые структуры, установленные на Северной Аляске и в бассейне Свердруп (Арктическая Канада).

Одновременно на южном “плече” рифтогенной зоны произошло поднятие, которое фиксируется отсутствием отложений средней юры на Чукотке и Северной Аляске. На Чукотке этот этап сопровождался формированием складчато-надвиговых деформаций южной вергентности. Складчато-надвиговые деформации в осадочных толщах Чукотки и о. Врангеля происходили в несколько этапов во время элсмирской (поздний девон-ранний карбон) и чукотской (валанжинготерив-баррем) фаз орогенеза [3–8].

Известно, что при деформациях осадочных комплексов формируются новообразованные минералы, которые могут служить индикаторами *PT*-условий складчатости, а изотопный возраст этих минералов может отражать время их формирования [9–11]. В триасовых отложениях Западной Чукотки появление новообразованных наиболее высококристаллических слюдистых минералов установлено в зоне зеленых сланцев, возникшей в результате вовлечения в надвиги триасовых осадочных толщ [12, 13]. Зеленосланцевый метаморфизм наблюдается в узкой полосе распространения триасовых отложений в ядре антиформной структуры в зоне сочленения Южно-Аньюйского террейна и южного обрамления Аньюйского субтеррейна.

В данной статье представлены $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -исследования новообразованных минералов из вовлеченных в надвиги осадочных комплексов Чукотки и острова Врангеля. Дополнительно установлены *PT*-условия их формирования.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Изученная территория в тектоническом плане относится к Чукотской складчатой области,

¹Геологический институт Российской Академии наук, Москва, Россия

*E-mail: tuchkova@ginras.ru

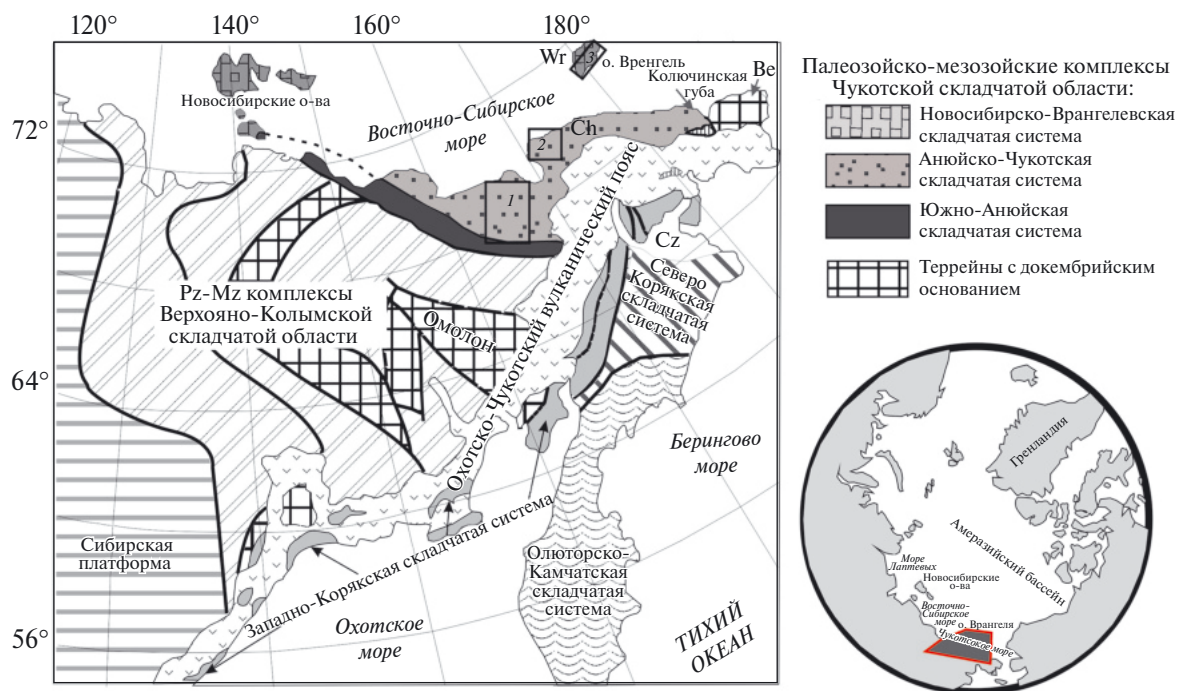


Рис. 1. Схема тектонического районирования Чукотской складчатой области, по ([14], с добавлениями). Прямоугольниками отмечены районы работ: 1 – Западная Чукотка, Анюйский субтерреин; 2 – м. Кибера и окрестности Певека, Чаунский субтерреин; 3 – о. Врангель, Врангелевский терреин. На врезке – положение района работ (многоугольник) на карте Арктики.

в которой остров Врангеля является частью Новосибирско-Врангелевской, а Западная Чукотка – Анюйско-Чукотской складчатых систем (рис. 1) [1]. Остров Врангеля относится к Врангелевскому террейну (Wr), территория Западной Чукотки к Анюйскому (An) субтеррейну Чукотского террейна, триасовые отложения м. Кибера к Чаунскому субтеррейну (Ch) (рис. 1).

Осадочные комплексы пермо-триаса Анюйского и Чаунского субтеррейнов представлены мощной толщей чередования алевро-песчаников с аргиллитами, которая залегает с разрывом и перерывом на образованиях палеозоя. Для нижнего триаса характерны силлы диабазов и карбонатные конкреции, а также туфы основного состава [12–14]. Верхнетриасовые карнийские отложения характеризуются чередованием среднеплитчатых прослоев песчаников и аргиллитов, тогда как норийские отложения обладают тонкоритмичным строением с весьма редкими прослоями песчаников. Породы юрско-мелового возраста накапливались в изолированных впадинах и залегают на триасовых с несогласием. Для Врангелевского террейна отложения нижнего и среднего триаса не установлены, а верхнетриасовые характеризуются преобладанием

алевро-аргиллитов в нижней части, а в верхней доминируют песчаники.

Деформации палеозойско-мезозойского осадочного чехла происходили в несколько этапов – в доколлизиионной истории региона и в процессе коллизии [6, 14]. На Чукотке первый этап доколлизиионных деформаций установлен на рубеже позднего девона – раннего карбона и соответствует элсмирской орогении [4, 5]. Следующее доколлизиионное деформационное событие зафиксировано в ранней юре (~200 млн лет) и основано на структурных исследованиях [12, 13, 15] и датировании крупночешуйчатых фенгитовых слюд вдоль кливажа S1 [12].

Коллизиионные деформации возникли в процессе столкновения Чукотского микроконтинента со структурами активной окраины Сибири [14]. На раннем этапе в конце валанжина образовались складчато-надвиговые деформации северной vergentности. При этом южная окраина Чукотского микроконтинента оказалась тектонически перекрыта пакетом шарьяжных пластин. Позднеколлизиионные деформации южной vergentности связаны с формированием сдвиговых структур и, по мнению одних исследователей, заканчиваются в неокOME-апте [15], а другие

считают, что в готерив-барреме [12, 14]. Время завершения деформаций определяется становлением постколлизийных гранитных батолитов, возраст которых составляет 108–117 млн лет [15].

На острове Врангеля элсмирские деформации представлены складчатостью субмеридионального простирания, которая установлена в породах верхнего силура — среднего девона [6, 7]. Возраст деформаций определен как раннекаменноугольный по угловому несогласию в основании каменноугольных отложений [8]. Деформации коллизийного этапа наложены на элсмирские и сформировали современную складчато-надвиговую структуру северной вергентности в результате субмеридионального сжатия с небольшой лево- и правосдвиговой компонентами, сопровождающих надвиговые движения [1, 6–8, 14].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для исследования образцы отбирались в зоне надвигов (рис. 2), которые были установлены в полевых условиях методом структурной геологии несколькими исследователями. На о. Врангеля на м. Птичий Базар — В.Е. Вержбицким, а А.В. Моисеевым — в береговых обрывах гор Гавайи и на южном окончании острова. На Чукотке на м. Кибера и в береговых обрывах р. Мачваа надвиги были изучены С.М. Катковым.

В осадочных комплексах Чукотки р. Малый Анюй и р. Инсексеем надвиговая структура была установлена Г.Е. Бондаренко.

Из надвига отбирались образцы (3 шт.) из песчаных прослоев над надвигом, под надвигом и из самого надвига (рис. 3). Анализ новообразованных слюды и хлоритов был произведен главным образом на сканирующем электронном микроскопе (SEM) с проверкой сходимости результатов на рентгеноспектральном электронно-зондовом микроанализаторе, далее были рассчитаны кристаллохимические формулы минералов.

Структурные формулы хлоритов рассчитывались по методике, описанной в работе [16]. Структурные формулы слюды рассчитывались на 22 атома кислорода, как описано в работе [17]. Кроме того, поскольку аналитические возможности электронного микроскопа не позволяют различать двух- и трехвалентное железо, использовались расчеты С.В. Guidotti [18, 19], которые показали, что в мусковите содержание Fe^{3+} составляет приблизительно 50–80% Fe. В связи с этим при расчете кристаллохимических формул предполагалось, что 75% Fe в слюде составляет Fe^{3+} . На основании полученных кристаллохимических характеристик оценивались пределы температур (рис. 3) и давлений в новообразованных минералах при их формировании.

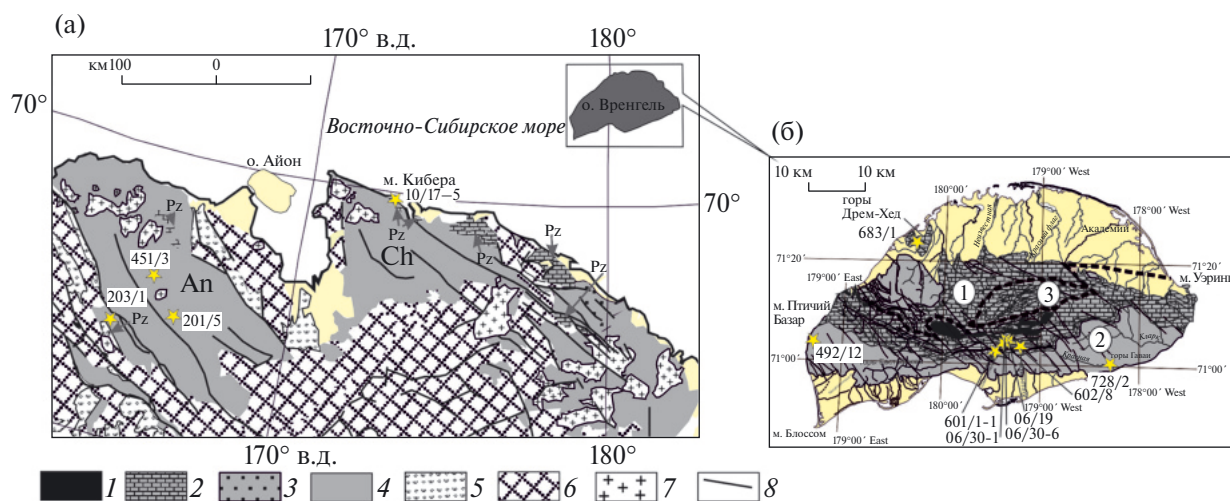


Рис. 2. Положение проанализированных образцов на геологических картах Чукотки (а) и о. Врангеля (б); (а) Геологическая карта Чукотки — фрагмент геологической карты обрамления Восточно-Сибирского и Чукотского морей, использована ([24], с упрощением); An — Анюйский субтеррейн, Ch — Чаунский субтеррейн. Звездочками обозначено положение проанализированных образцов, их номера обозначены цифрами. Геологическая карта о. Врангеля, по материалам [8] (с упрощением). На карте о. Врангеля цифры в кружках означают тектонические зоны: 1 — северную, 2 — южную, 3 — центральную, по материалам [14]. Условные обозначения: Породные и осадочные комплексы: 1 — неопротерозойские; 2 — палеозойские; 3 — пермо-триасовые; 4 — триасовые; 5 — юрские; 6 — меловые; 7 — граниты меловые; 8 — разломы.



Рис. 3. Фотография надвига в триасовых породах на западе о. Врангеля, м. Птичий Базар, с точками отбора образцов. Граница надвига показана прерывистой линией. Справа от фотографии представлены номера образцов, в которых установлена температура формирования новообразованных минералов, горизонтальные толстые линии — пределы определенных значений.

Новообразованные хлориты оценивались по методике [16], новообразованные слюды по методике, описанной в работе [20].

Произведенное ранее изотопное датирование K-Ar- и Rb-Sr-методами было выполнено в образцах с наиболее крупными агрегатами новообразованных слюд, с подробным описанием методики датирования и определения соотношения обломочных и новообразованных слюд [12]. Был проведен детальный петрографический анализ с выделением зон наиболее интенсивных преобразований триасовых пород со сходным комплексом минеральных новообразований и вторичных структур и наличием крупных агрегатов новообразованных слюд вдоль кливажа S1. Это исследование было дополнено подсчетом породообразующих компонентов и предварительной оценкой содержания новообразованных и обломочных минералов. Состав глинистых минералов определялся методом рентгеновской дифракции, с дополнительным анализом качественного состава новообразованных слюд на сканирующем электронном микроскопе ("Philips" XL 30 ESEM с аналитической приставкой EDS фирмы "EDAX", тип Sapphire, анализы проводились на напыленных препаратах в режиме ESEM, г. Сосновец,

Катовицкий Университет, Польша). Для коррекции полученных результатов несколько образцов были дополнительно проанализированы анализом на электронно-зондовым микроанализаторе. Составы обломочных и новообразованных слюд на разных микроскопах были сопоставимы между собой и показали, что соотношение новообразованных и обломочных слюд составляет 3:1. На основании данного подсчета предполагали, что полученный изотопный возраст отражает время формирования новообразованных слюд. Поэтому при $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датировании образцов, отобранных из надвигов, определялся изотопный возраст по валовой пробе, с предварительным петрографическим и рентгеновским контролем. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирование было произведено в двух лабораториях. Часть образцов (обр. 06-19, 06-30/1, 06-30/6) были проанализированы П. Лейером в лаборатории Университета г. Фэрбенкс (Аляска) по методике, описанной в работах [21, 22]. Остальные (обр. 601-1/-1, 602/8, 683/1, 203/2, 451/3, 411/4) в Новосибирске в Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук А.В. Травинным методом ступенчатого прогрева, по методике, опубликованной в работе [23].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Деформированные породы триасовых осадочных комплексов Чукотки и о. Врангеля имеют очень интенсивный кливаж (две-три системы), при этом первый межзерновой наблюдается в песчаниках, а кливаж пloidчатости, сминающийся более ранний межзерновой кливаж в микроскладки — в аргиллитах и алевро-аргиллитах. Новообразованные глинистые минералы представлены ассоциацией слюда—хлорит и хлорит—слюда в разных соотношениях совместно с другими минералами (смектит, слюда-смектит и хлорит-смектит, редко каолинит). Породообразующие компоненты в песчаниках имеют конформные контакты, сплющены и ориентированы вдоль первой системы кливажа S1, вдоль которой в некоторых образцах развиты крупные агрегаты новообразованного фенгита с высоким содержанием Na и K ф.е. (формульных единиц) [12]. Новообразованный хлорит в триасовых песчаниках отмечается как продукт замещения обломочной слюды или обломков пород. Состав хлоритов из надвиговых зон характеризуется высоким содержанием железа, количество которого в образцах о. Врангеля очень стабильно и составляет 0.39–0.42 ф.е., а в образцах Чукотки наблюдается некоторый разброс значений от 0.24 до 0.41 ф.е. Наиболее высокий уровень преобразования триасовых отложений до зеленых сланцев наблюдается в пределах изолированных поднятий, где карнийские и норийские толщи вовлечены в надвиги. Такие участки обнаружены на южном окончании о. Врангеля (мыс Птичий Базар, горы Гавайи) и на Чукотке на границе Южно-Аньюйского и Чукотского террейнов в бассейнах рек Малый Анюй и Мачваваам.

По кристаллохимическим формулам проанализированных минералов были рассчитаны температуры их формирования по методике [16, 20]. Формирование новообразованных слюд происходило при температуре 270–300°C, при давлении от 5 до 6 кбар. Формирование новообразованных хлоритов оценивается в интервале температур от 300 до 350°C. Оценка средних температур по хлоритам свидетельствует о незначительном понижении температуры от образцов из надвигов о. Врангеля (м. Птичий Базар) к образцам надвигов Чукотки (р. Малый Анюй) — то есть с севера на юг. Снижение температур составляет менее 100°C — от 380 до 300°C. Также установлено, что формирование новообразованных минералов в зоне надвига происходило почти при одинаковой температуре — различие

температур в образце над надвигом и под ним составляет не более 20°C.

K–Ar-изотопный возраст новообразованного фенгита, развитого вдоль межзернового кливажа в песчанике из зоны надвига, составляет около 200 млн лет, что соответствует доколлизийной деформации в ранней юре [12, 13]. Однако не исключается и возраст 130 млн лет, который был получен Rb–Sr-методом наряду с более древними цифрами, но на малом количестве точек [12].

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирование образцов из надвигов показало наличие трех возрастных групп со средним изотопным возрастом 124 ± 7 , 150 ± 2 и 250 ± 10 млн лет, погрешности представляют собой стандартное отклонение (табл. 1, рис. 4). Возраст плато 150 ± 2 млн лет выделяется в четырех проанализированных образцах (обр. 203/2, 451/3, 601/1-1, 602/8). Первые два образца относятся к надвигам в триасовых породах Чукотки, образцы 601/1-1 и 602/8 являются составной частью девон-каменноугольного (D–C₁) комплекса. Сопоставимый возраст получен из образцов более древних пород метаморфического комплекса о. Врангеля, для них характерен возрастной интервал 147–152 млн лет (неопубликованные данные авторов, выполненные П. Лейером). Образцы представлены амфиболитовым сланцем (обр. 06/19), амфиболитом (обр. 06/30-1), кристаллическим сланцем (обр. 06/30-6), а также терригенными породами (обр. 601/1-1, 602/8) (рис. 4).

Возраст 115.6 ± 2.2 млн лет, полученный из триасового метапесчаника (обр. 411/4), совпадает со временем формирования зеленых сланцев Южно-Аньюйского террейна, образовавшихся по туфо-терригенным породам в основании тектонических пластин: 108.4 ± 1.2 ; 115.2 ± 1.4 ; 119.0 ± 3.9 млн лет, датировки из работы [15].

Полученные новые данные по изотопному датированию свидетельствуют о том, что в титоне (≈ 150 млн лет назад) произошли тектонические движения, приведшие к формированию надвигов, в которые были вовлечены палеозойские и раннемезозойские породы Чукотки и о. Врангеля. Надо отметить, что на рубеже кимериджа и титона на Западной Чукотке произошла смена обстановок осадконакопления и источников сноса [3]. В Южно-Аньюйском океаническом бассейне прекратился спрединг и началось накопление турбидитов, что было вызвано сокращением бассейна [14]. Нередко такие события рассматриваются как начало коллизийного этапа.

Другая датировка, соответствующая изотопному возрасту 108.4–130.2 млн лет, скорее

Таблица 1. Положение и состав образцов, датированных Ar/Ar-методом

№ п/п	№ образца	Положение	Координаты		Литологическая характеристика	Возраст
Остров Врангеля						
1	06—19	Верховья р. Хищников	71°04.682”	179°14.899W”	Амфиболовый сланец	Неопротерозой
2	06—30/1	Верховья р. Хищников	71°04.224”	179°12.948W”	Амфиболит	Неопротерозой
3	06—30/6	Верховья р. Хищников	71°04.224”	179°12.948W”	Кристаллический сланец	Неопротерозой
4	683/1	г. Дрем-Хед	71°26.165”	179°48'61”	Песчаник	
5	601/1—1	р. Сомнительная	71°01'244”	179°32'166”	Матрикс конгломерата	D-C1
6	602/8	р. Хищников	71°04,659”	179°14,735”	Матрикс конгломерата	D-C1
Чукотка						
7	203/2	р. Инсексвеем	67°48'01,53”	164°45'51.34”	Аргиллит	T3k
8	451/3	р. Мачваваам,	68°16'13,0”	164°45'30,1”	Аргиллит	T3k
9	411/4	Руч. Тайный	69°05.07.2”	165° 17'52.6”	Аргиллит	T3k

Таблица 2. ⁴⁰Ar/³⁹Ar-возраст проанализированных образцов

№ п/п	№ образца, возраст толщи	Минерал/вал	Интегральный возраст, млн лет	Возраст плато
о. Врангеля				
1	06–19, Метаморфический комплекс, неопротерозой	вал	146.8 ± 1.5	130.2 ± 1.7
2	06–30/1, Метаморфический комплекс, неопротерозой	вал	158.6 ± 1.0	130.2 ± 5.5
3	06–30/6 Метаморфический комплекс, неопротерозой	Роговая обманка 1	186.0 ± 0.9	—
		Роговая обманка 2	152.0 ± 0.9	—
		плагиоклаз	149.7 ± 0.7	122.8 ± 3.6
4	601/1–1, D-C ₁	вал	144,2±2,0	147.9±2.1
5	602/8, D-C ₁	вал	150,7±2,1	152.0±2.1
6	683/1, S ₂	вал	240,9±3,4	257.0±3.6
Чукотка				
7	203/2 T3k-n	вал		242.3±3.3 150.1±4.7
8	451/3 T3n	вал	149.7±1.3	150.2±1.2
9	411/4 T3k	вал	112±1.7	115.6±2.2

Примечание: полужирным шрифтом отмечены образцы с наиболее значимым возрастом.

Стратиграфический возраст осадочного комплекса и Ar-Ar данные

Интегральный Ar-Ar
возраст образца

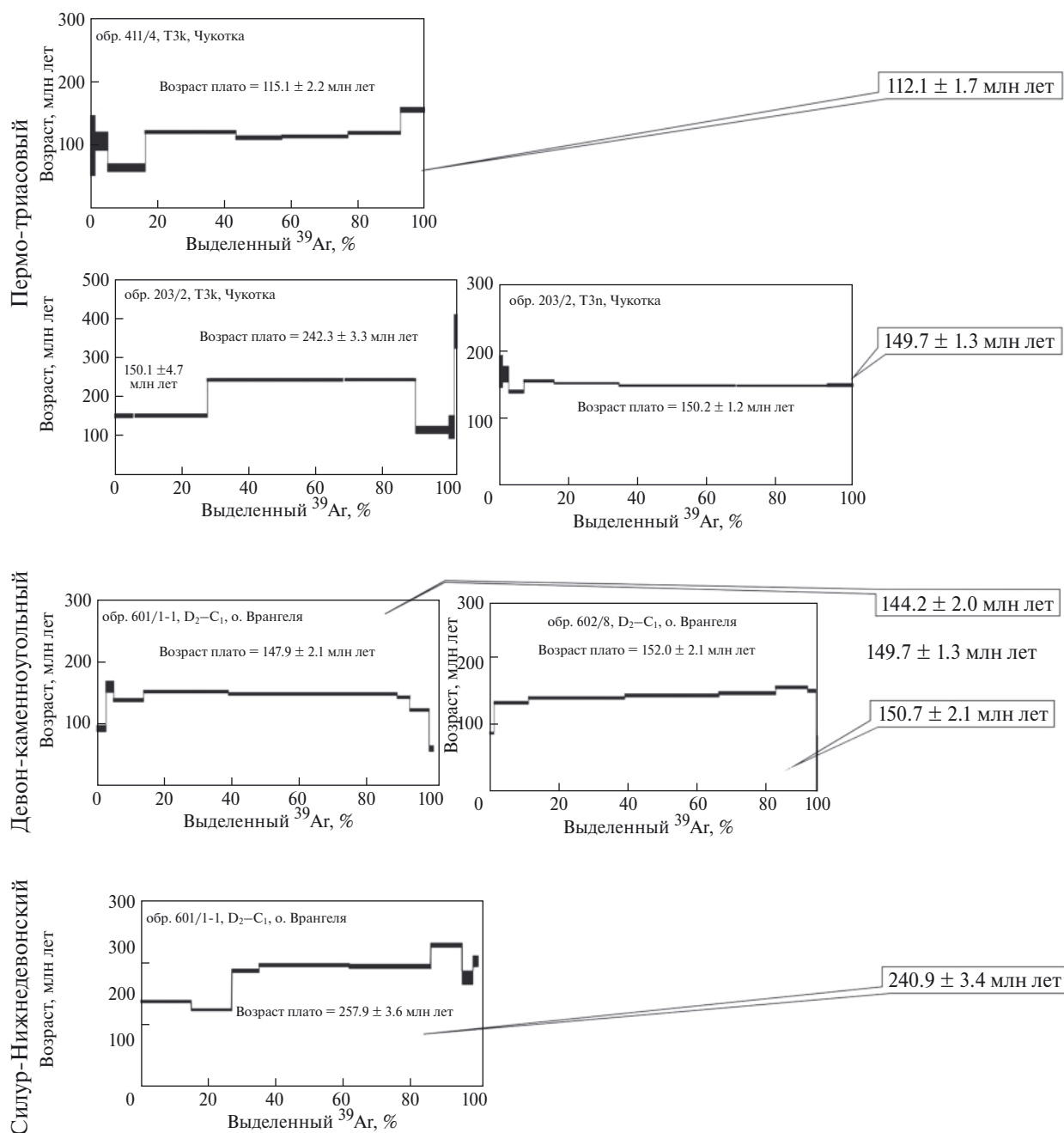


Рис. 4. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования в терригенных триасовых и палеозойских отложениях Чукотки и о. Врангеля.

всего соответствует завершению коллизионных деформаций в регионе. Это заключение основано на том, что датировки этого возрастного интервала отмечены в неопротерозойских породах о. Врангеля и в верхнетриасовых Чукотки.

Более древний возраст установлен в образце верхнесилурийской толщи (обр. 683/1, г. Дрем-Хед, о. Врангеля) – $257 \pm 3,6$ млн лет (табл. 1). Среднетриасовый возраст деформаций ($242 \pm 3,3$ млн лет) определен в образце из верхнетриасовой толщи (обр. 203/2, р. Инсексвеем, Чукотка).

Однако данная датировка обнаружена в двух образцах и имеет большую погрешность, и ее необходимо проверять на других образцах. Тем не менее данный изотопный возраст получен в двух образцах, расположенных в разных участках региона, и его можно принять с оговоркой как некий этап региональных тектонических движений. К тому же данное обстоятельство может указывать на то, что некоторые предполагаемые карнийские отложения Чукотки, лишенные фауны, могут иметь раннетриасовый возраст.

ВЫВОДЫ

1. Проведенный впервые комплекс структурных, литологических и геохронологических исследований позволил установить время складчато-надвиговых деформаций и связать их с этапами тектонической эволюции Чукотской складчатой области (рис. 5).

2. Начало формирования надвигов коллизийного этапа происходило приблизительно 150 млн лет назад, что отвечает титонскому ярусу (рис. 5). В надвиги были вовлечены палеозойско-мезозойские осадочные породы от девон-каменноугольных до триасовых. Результат 115.6 ± 2.2 млн лет соответствует времени завершения коллизийных деформаций.

3. Более древние породы силура о. Врангеля, деформированные в элсмирскую фазу (поздний девон-ранний карбон), несут следы вторичных преобразований в позднепермское время (257 млн лет). Возможно, это связано с началом пермско-триасового этапа формирования пассивной окраины.

4. Самым интенсивным преобразованиям подвержены вовлеченные в надвиги толщи, в которых разностороннее сжатие приводит к кливжированию пород под разным углом, и в результате породы преобразуются в зеленые сланцы.

5. В триасовых осадочных толщах температура и давления нарастали в надвиговых зонах. При этом с севера на юг отмечено снижение температурного режима от 380°C до 300°C . В зоне самих надвигов температурный режим меняется незначительно, разница температур составляет около 20°C .

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны рецензентам К.Н. Шатагину и анонимному рецензенту, замечания которых существенно улучшили статью.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 20-17-00197-П.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов С.Д., Лобковский Л.И., Верниковский В.А., Тучкова М.И., Сорохтин Н.О., Кононов М.В. Тектоника и геодинамика Восточной Арктики в мезозое // Геология и геофизика. 2022. Т. 63. № 4. С. 389–409.
2. Grantz A., Hart P.E., Childers V.A. Geology and tectonic development of the Amerasia and Canada Basins, Arctic Ocean. Eds. A.M. Spencer, A.F. Embry, D.L. Gautier, A.V. Stoupakova, K. Sørensen // Arctic petroleum geology. Geol. Soc. London Mem., 2011. V. 35. P. 771–799.
3. Голионко Б.Г., Ватрушкина Е.В., Вержбицкий В.Е., Соколов С.Д., Тучкова М.И. Деформации и этапы структурной эволюции мезозойских комплексов Западной Чукотки // Геотектоника. 2018. № 1. С. 63–78. DOI: 10.7868/S0016853X18010046
4. Лучицкая М.В., Соколов С.Д., Котов А.Б., Натанов Л.М., Белоусова Е.А., Катков С.М. Позднепалеозойские гранитоиды Чукотки: особенности состава и положение в структуре арктического региона России // Геотектоника. 2015, № 4. С. 3–29.
5. Lane L.S., Cecile M.P., Gehrels G.E., Kos'ko M.K., Layer P.W., Parrish R.R. Geochronology and structural setting of Latest Devonian – Early Carboniferous magmatic rocks, Cape Kiber, northeast Russia // Can. J. Earth Sci. 2015. 52. P. 147–160. <http://dx.doi.org/10.1139/cjes-2013-0184>.
6. Вержбицкий В.Е., Соколов С.Д., Тучкова М.И. Современная структура и этапы тектонической эволюции острова Врангеля (Российская Восточная Арктика) // Геотектоника. 2015. № 3. С. 3–35.
7. Моисеев А.В., Соколов С.Д., Тучкова М.И., Вержбицкий В.Е., Малышев Н.А. Этапы структурной эволюции осадочного чехла о. Врангеля, Восточная Арктика // Геотектоника. 2018. № 5. С. 22–38.
8. Косько М.К., Авдюничев В.В., Ганелин В.Г., Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г., Сесил М.П., Смирнов А.Н., Ушаков В.И., Хандожко Н.В., Харрисон Дж.К., Шульга Ю.Д. Остров Врангеля: геологическое строение, минерагения, геоэкология. 2003. ВНИИ геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С. Грамберга, Санкт-Петербург. 137 с.
9. Кориковский С.П., Путиш М., Закариадзе Г.С., Дюрович В. Альпийский анхиметаморфизм пород оболочки инфрататрикума Западных Карпат: составы аутигенных и кластогенных мусковит-фенгитов как индикатор температурных ступеней // Петрология. 1995. Т. 3. № 6. С. 578–592.

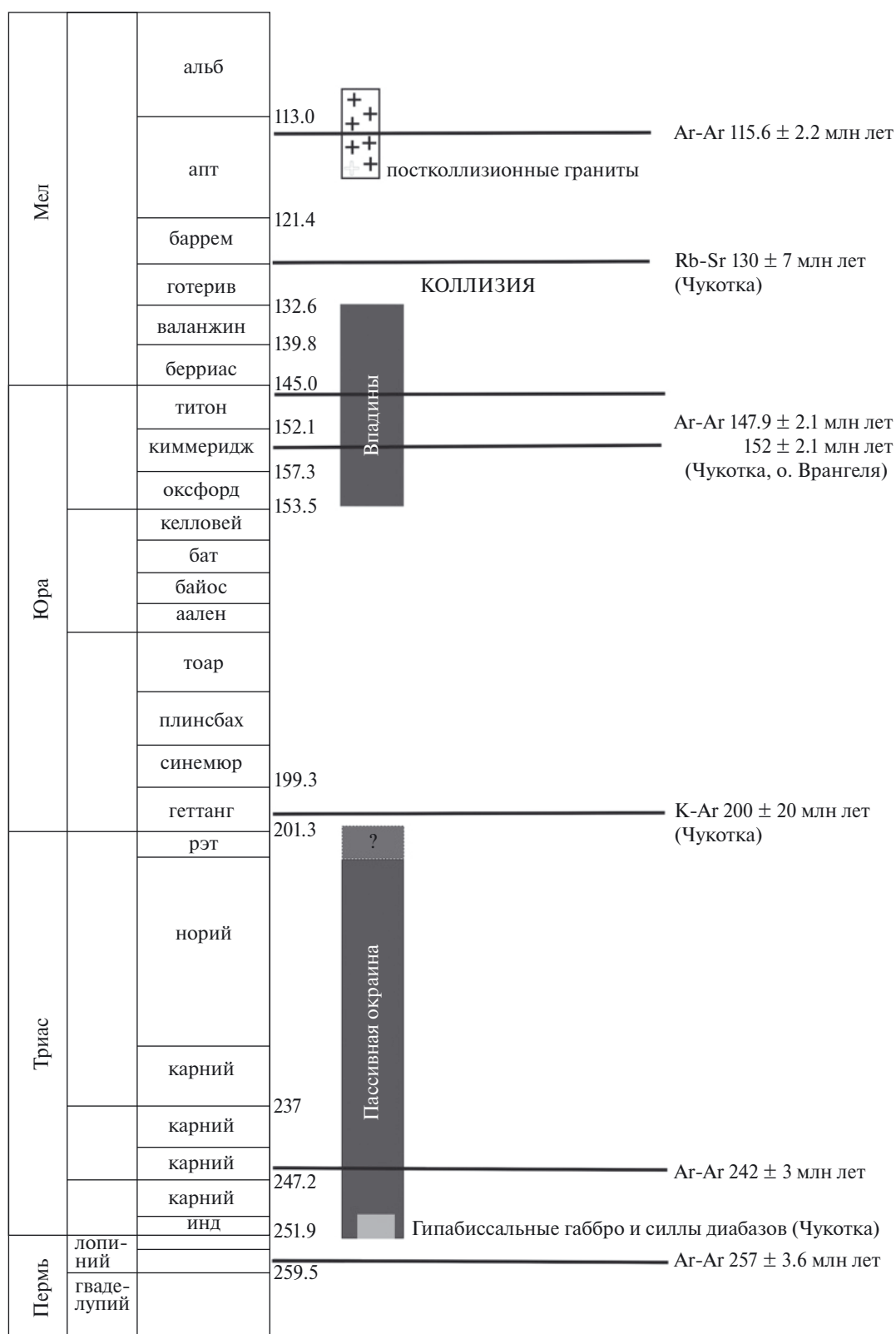


Рис. 5. Основные деформационные события на территории Чукотки и о. Врангеля по результатам изотопного ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -, K/Ar-, Rb/Sr-) датирования показаны в соответствии с этапами развития осадочных бассейнов.

10. *Abad I., Gutierrez Alonso G., Nieto F., Gertner I., Becker A., Cabero A.* The structure and the phyllosilicates (chemistry, crystallinity and texture) of Talas Ala-Tau (Tien Shan, Kyrgyz Republic): comparison with more recent subduction complexes // *Tectonophysics*. 2003. V. 365. P. 103–127.
11. *Симанович И.М.* Постседиментационный литогенез терригенных комплексов в складчатых областях: структуры пород и кливаж // *Литол. и полезн. ископ.* 2007. № 1. С. 84–92.
12. *Тучкова М.И., Бондаренко Г.Е., Буякайте М.И., Головин Д.И., Галускина И.О., Покровская Е.В.* Структурно-литологические и геохронологические индикаторы деформаций Чукотского микроконтинента // *Геотектоника*. 2007. № 5. С. 76–96.
13. *Тучкова М.И., Катков С.М., Галускина И.О., Симанович И.М.* Постседиментационные преобразования терригенных пород триаса Западной Чукотки как показатель условий складчатости // *Геотектоника*. 2011. № 3. С. 64–78.
14. *Соколов С.Д., Тучкова М.И., Ганелин А.В., Бондаренко Г.Е., Лейер П.* Тектоника Южно-Анхойской сuture (Северо-Восток Азии) // *Геотектоника*. 2015. № 1. С. 5–30.
15. *Катков С.М., Миллер Э.Л., Торо Х.* Структурные парагенезы и возраст деформаций западного сектора Анхойско-Чукотской складчатой системы (Северо-Восток Азии) // *Геотектоника*. 2010. № 5. С. 61–80.
16. *Cathelineau M.* Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature // *Clay minerals*. 1988. 23. P. 471–485.
17. *Буланов В.А., Сизых А.И.* Кристаллохимизм породообразующих минералов. Издательство Иркутского государственного университета, Иркутск, 2005. 220 с.
18. *Guidotti C.V., Sassi F.P., Blencoe J.G., Selverstone J.* The paragonite_muscovite solvus: I. P-T-X limits from the Na-K compositions of natural, quasi binary paragonite_muscovite pairs // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1994. 58. V. 10. P. 2269–2257.
19. *Guidotti C.V., Sassi F.P., Sassi R., Blencoe J.G.* The effects of ferromagnesian components on the paragonite-muscovite solvus: A semi-quantitative analysis on chemical data for natural paragonite-muscovite pairs // *Journal Met. Geol.* 1994. V. 12. P. 779–788.
20. *Massone H.J., Schreyer W.* Phengite geobarometry based on the limiting assemblage with K-Feldspar, phlogopite and quartz // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1987. V. 96. № 2. P. 212–244.
21. *Ledneva G.V., Layer P.W., Bazylev B.A., Sokolov S.D., Kuzmin D., Kononkova N.N., Ishiwatari A.* Early-middle Triassic basic magmatism and metamorphism of ultramafic-mafic complexes of the Ust'-Belaya terrane (central Chukotka, NE Russia): $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages, petrological and geochemical data, geodynamic interpretations // *International Geology review*. 2018. P. 1–19. DOI: 10.1080/00206814.2018.1491013
22. *Layer P.W., Newberry R., Fujita K., Parfenov L., Trunilina V., Bakharev A.* Tectonic setting of the plutonic belts of Yakuria, northeast Russia, based on $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology and trace element geochemistry // *Geology*. 2001. V. 29. № 2. P. 167–170.
23. *Травин А.В., Юдин Д.С., Владимиров А.Г., Хромых С.В., Волкова Н.И., Мехоношин А.С., Колотилина Т.Б.* Термохронология Чернорудской гранулитовой зоны (Ольхонский регион, Западное Прибайкалье) // *Геохимия*. 2009. Т. 11. С. 1181–1199.
24. *Geological map of the Arctic, Harrison J.C., St-Onge M. R., Petrov O.V., Strelnikov S.I., Lopatin B., Wilson F., Tella S., Paul D., Lynds T., Shokalsky S., Hults C., Bergman S., Solli A., Jepsen H.F.* Geological Survey of Canada, Ottawa. 2011. P. 9.

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ AGE OF THRUSTING IN SEDIMENTARY COMPLEXES OF CHUKOTKA AND WRANGEL ISLAND (NORTH-EAST RUSSIA)

**M. I. Tuchkova^{a, #}, Corresponding Member of the RAS S. D. Sokolov^a,
A. V. Moiseev^a, E. V. Vatrushkina^a**

^a*Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

[#]*E-mail: tuchkova@ginras.ru*

The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotope dating of newly formed micas and chlorites from thrust zones made it possible to establish that they were formed in the Tithonian (150 Ma). The thrusts involved sedimentary rocks of a wide age range from Devonian to Triassic. In the Silurian rocks of the Drem-Hed Mountains of Wrangel Island, an older stage of deformations of 257 Ma was established for Wrangel Island, which corresponds to the Late Permian stratigraphic interval, and indicates the existence of deformations after the manifestation of the Ellesmere orogeny in the Early Carboniferous.

Keywords: Chukotka, Wrangel Island, siliciclastic rocks, thrust, deformation, Ar-Ar dating, Mica, Chlorite