

ВОЗРАСТ И ВРЕМЯ ЭКСГУМАЦИИ ОСАДОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ ВОСТОЧНОЙ КАМЧАТКИ ПО ДАННЫМ ТРЕКОВОГО ДАТИРОВАНИЯ АПАТИТА

© 2022 Н.В. Цуканов, К.А. Дозорова

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия, 117997;
e-mail: kambear2011@yandex.ru*

Поступила в редакцию 14.02.2022; после доработки 15.03.2022; принята в печать 27.03.2022

В статье представлены и анализируются новые и опубликованные ранее данные по трековому датированию детритовых зерен апатита, выделенных из разновозрастных структурно-вещественных комплексов Восточной Камчатки. Исследования проведены в районах с разной геодинамической обстановкой: Кроноцкий п-ов находится в зоне конвергенции Камчатской окраины с относительно теплой и легкой океанической корой Тихоокеанской плиты с поднятием Обручева; Камчатский п-ов расположен в районе коллизии Командорского блока Алеутской вулканической дуги и континентальной окраины Камчатки; вещественные комплексы хребта Кумроч относятся к Озерновско-Валагинскому и Ветловскому террейнам. Проведенный анализ позволил выделить несколько возрастных интервалов эксгумации этих комплексов: 29.9–34.9; 19.3–24.1; 10.2–15.4; 6.2–8.6; 3.3–5.1 млн л. Выделенные возрастные интервалы хорошо коррелируют с основными тектоническими событиями и позволяют сделать вывод, что аккреционные и коллизионные процессы продолжались на Восточной Камчатке с олигоцена по поздний миоцен-плиоцен.

Ключевые слова: Камчатка, трековый анализ, апатиты, возраст, эксгумация, конвергенция плит.

ВВЕДЕНИЕ

В области конвергенции Тихоокеанской плиты с Камчатской окраиной на п-ове Камчатка выделяются: зона Восточных полуостровов (образованных комплексами Кроноцкого островодужного террейна мелового-палеогенового возраста); Восточно-Камчатский (Тюшевский) прогиб, сложенный верхнеэоценовыми — миоценовыми терригенными отложениями, которые перекрывают верхний мел — среднеэоценовые комплексы Ветловского террейна (интрадуговой или окраинноморской природы); Восточно-Камчатский вулканический пояс (плиоцен — четвертичный); Восточно-Камчатский хребет, в который входят хребты Ганальский, Валагинский, Тумрок и Кумроч, в строении которых участвуют меловые — палеоценовые комплексы Озерновско-Валагинского террейна островодужной природы; Центральнo-Камчатская депрессия, выполненная эоцен? — миоценовыми отложениями (рис. 1). В районе Кроноцкого п-ова в Камчатскую зону субдукции погружается

относительно теплая и легкая океаническая кора Тихоокеанской плиты с поднятием Обручева, а Камчатский п-ов находится в зоне коллизии западного фланга Алеутской вулканической дуги (Командорский блок) и континентальной окраины Камчатки (Селиверстов, 2009; Geist, Scholl, 1994). В Курило-Камчатском глубоководном желобе происходит аккреция фрагментов коры в основании континентального склона Камчатки (Селиверстов, 2009). Процессы, происходящие в зонах конвергенции, приводят к достаточно быстрому и высокоамплитудному поднятию и эксгумации вещественных комплексов, что отражается в структуре Восточно-Камчатской окраины (Freitag et al., 2001).

Возраст вещественных комплексов и время выведения их на поверхность могут быть определены при изучении и трековом датировании зерен апатита (Brandon, 1992; Wagner, Van der Haute, 1992). Трековый возраст апатитов из разновозрастных структурно-вещественных комплексов отражает процесс их эксгумации и может быть связан с тектоническими событиями в регионе,

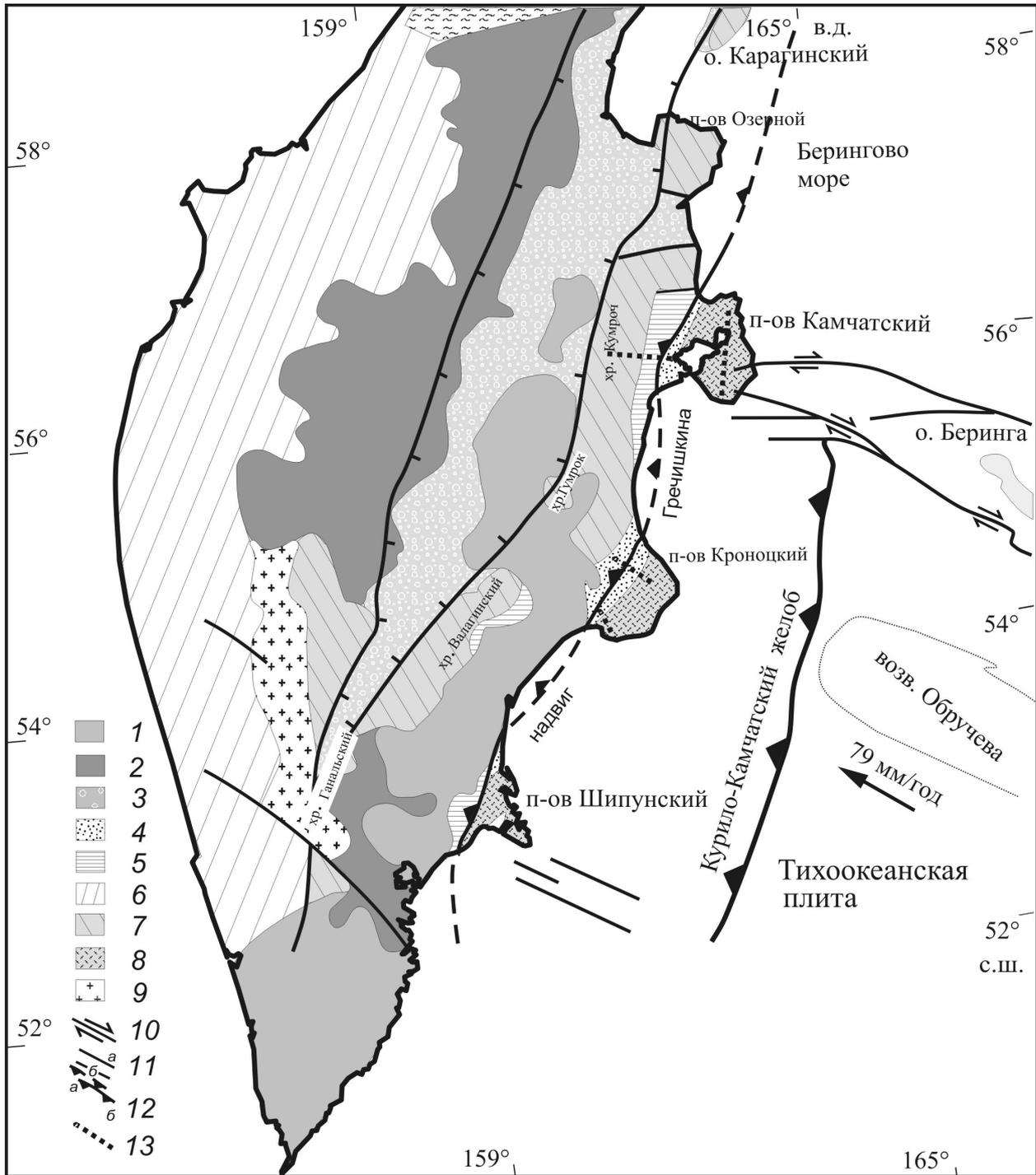


Рис. 1. Схема тектонического строения Камчатки с районами отбора проб. Составлена с использованием (Государственная..., 2006; Карта..., 2005): 1 — Восточно-Камчатский вулканический пояс (N_2-Q); 2 — Срединно-Камчатский вулканический пояс (P_3-Q); 3 — Центрально-Камчатская депрессия (P_3-Q); 4 — Восточно-Камчатский (Тюшевский) прогиб (P_2-N_1); 5 — Ветловский террейн (K_2-P_2); 6 — Западно-Камчатский террейн (K_1-P_2); 7 — Озерновско-Валагинский террейн (K_2-P_1); 8 — Кроноцкий террейн (K_1-P_2); 9 — метаморфические комплексы; 10 — сдвиги; 11 — разломы недифференцированные: а — установленные, б — предполагаемые; 12 — надвиги: а — установленные, б — предполагаемые; 13 — места отбора проб.

Fig. 1. Tectonic scheme of Kamchatka with sampling areas. Compiled using (State..., 2006; Mineral ..., 2005): 1 — East Kamchatka volcanic belt (N_2-Q); 2 — Middle Kamchatka volcanic belt (P_3-Q); 3 — Central Kamchatka depression (P_3-Q); 4 — East Kamchatka (Tyushevskii) trough (P_2-N_1); 5 — Vetlovskii terrain (K_2-P_2); 6 — West Kamchatka terrain (K_1-P_2); 7 — Ozernovsko-Valaginskii terrain (K_2-P_1); 8 — Kronotskii terrain (K_1-P_2); 9 — metamorphic complexes; 10 — strike-slip faults; 11 — undifferentiated faults: a — identified, б — supposed; 12 — thrusts: a — identified, б — supposed; 13 — sampling locations.

а также позволяет осветить вопросы, связанные с эксгумацией орогенных поясов, реконструкцией источников сноса терригенного материала, установление термальной истории осадочных бассейнов и датирование магматических и осадочных комплексов (Соловьев, 2008; Brandon, 1992; Freitag et al., 2001; Wagner, Van der Haute, 1992).

В настоящей статье приводятся и анализируются результаты датирования детритовых зерен апатитов из вулканогенно-осадочных и терригенных пород хр. Кумроч, Кроноцкого п-ова, Тюшевского прогиба и Камчатского п-ова (рис. 1). Данные по трековому возрасту апатитов и их анализ из вещественных комплексов п-овов Камчатский и Кроноцкий были опубликованы (Цуканов и др., 2021; Freitag et al., 2001). Данные по трековому возрасту апатитов хр. Кумроч публикуются впервые. Анализ всех полученных данных позволяет определить время эксгумации структурно-вещественных комплексов, провести корреляцию времени эксгумации в различных структурах Восточной Камчатки и по-новому трактовать аккреционные процессы, происходящие на Восточной Камчатке.

КРАТКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

В современной структуре Камчатского п-ва выделяется несколько блоков (рис. 2), разделенных разломами, что связано с коллизией Камчатской окраины с Алеутской дугой (Селиверстов, 2009; Gaedicke et al., 2000; Geist, Scholl, 1994; Kozhurin, 2004, 2007). Северный блок (Столбовской) представлен вулканогенно-туфоогенно-осадочными породами верхнего мела — эоцена, относящимися к столбовской серии (Бояринова и др., 2007). Юго-восточный блок (Африканский) образован меловыми вулканогенными и терригенными комплексами. Он отделен от северного блока разломной зоной р. 2-ой Перевальной, а от юго-западного — Пикежской зоной дислокаций. Юго-западный блок (Оленегорский) образован меловыми вулканогенно-осадочными образованиями смагинской свиты и офиолитовыми комплексами Оленегорского габбрового и Солдатского ультрабазитового массивов (Бояринова и др., 2007). Образцы для определения возраста детритовых апатитов были отобраны во всех трех блоках (рис. 2). Из проанализированных образцов только в девяти были выделены апатиты, по которым были получены возрастные определения (табл. 1).

В хр. Кумроч (рис. 3, 4) развиты вулканогенно-туфоогенные образования хапицкой свиты (K_2km-P_1d), которые согласно, но с размывом перекрываются терригенными отложениями дроздовской свиты (P_1) (Государственная..., 2006; Карта..., 2005). К востоку и юго-востоку от вулканогенно-туфоогенных и терригенных толщ

хапицкой и дроздовской свит широко развиты вулканогенно-осадочные образования ветловского комплекса (K_2km-P_2) (Бояринова и др., 2007; Карта..., 2005). В современной структуре они находятся в покровных взаимоотношениях, толщи хапицкой и дроздовской свит надвинуты на ветловский комплекс. Покровная структура запечатывается неоавтохтонным чехлом эоцен — миоценового возраста (Бахтеев и др., 1994; Зинкевич и др., 1992; Карта..., 2005). Пробы для выделения детритовых апатитов были отобраны из песчаников дроздовской свиты, алевролитов и песчаников ветловского комплекса (рис. 3, 4).

На Кроноцком п-ве распространены верхнемеловые и палеогеновые образования (рис. 4, 5): каменистская свита ($K_2sp^? -km-m$) и кроноцкая серия (P_2). Верхнемеловые комплексы представлены базальтами и андезибазальтами, которые раслаиваются пачками туфоогенно-осадочных пород. Кроноцкая серия разделяется на кубовскую и козловскую свиты. Козловская свита сложена вулканитами основного состава с многочисленными силлами и дайками габбро и долеритов, туфами и туфоогенно-осадочными породами. Кубовская свита представлена преимущественно туфами и туфоогенно-осадочными породами (Бояринова и др., 2006). На вулканогенно-туфоогенных образованиях кроноцкой серии залегают (с несогласием и размывом, часто с базальными конгломератами в основании) разновозрастные (олигоцен — миоценовые) туфо-терригенные, терригенные отложения тюшевской серии (Бахтеев и др., 1997; Бояринова и др., 2006; Карта..., 2006; Ступин и др., 1998).

Вещественные комплексы Тюшевского прогиба перекрываются плиоценовыми вулканитами Восточно-Камчатского вулканического пояса (рис. 5) и обнажаются в нескольких изолированных выходах. Отложения юго-восточного борта Тюшевского прогиба с несогласием перекрывают вулканогенные комплексы Кроноцкого террейна. Северо-западный борт прогиба практически повсеместно имеет тектонические ограничения и контактирует с комплексами Ветловского террейна. (Бахтеев и др., 1997; Бояринова и др., 2006; Соловьев и др., 2004; Alexeiev et al., 2006). В районе восточного склона Валагинского хребта описано несогласное с размывом залегание верхнеэоценовых терригенных отложений на образованиях Ветловского террейна (Бахтеев и др., 1994; Зинкевич и др., 1992).

Из осадочных пород различного возраста было отобрано 13 образцов (рис. 4, 5), из которых выделено достаточное количество зерен апатитов для проведения исследования (табл. 1). Были охарактеризованы среднеэоценовые породы козловской свиты кроноцкой серии, представленные туфами основного-среднего состава и

ВОЗРАСТ И ВРЕМЯ ЭКСГУМАЦИИ

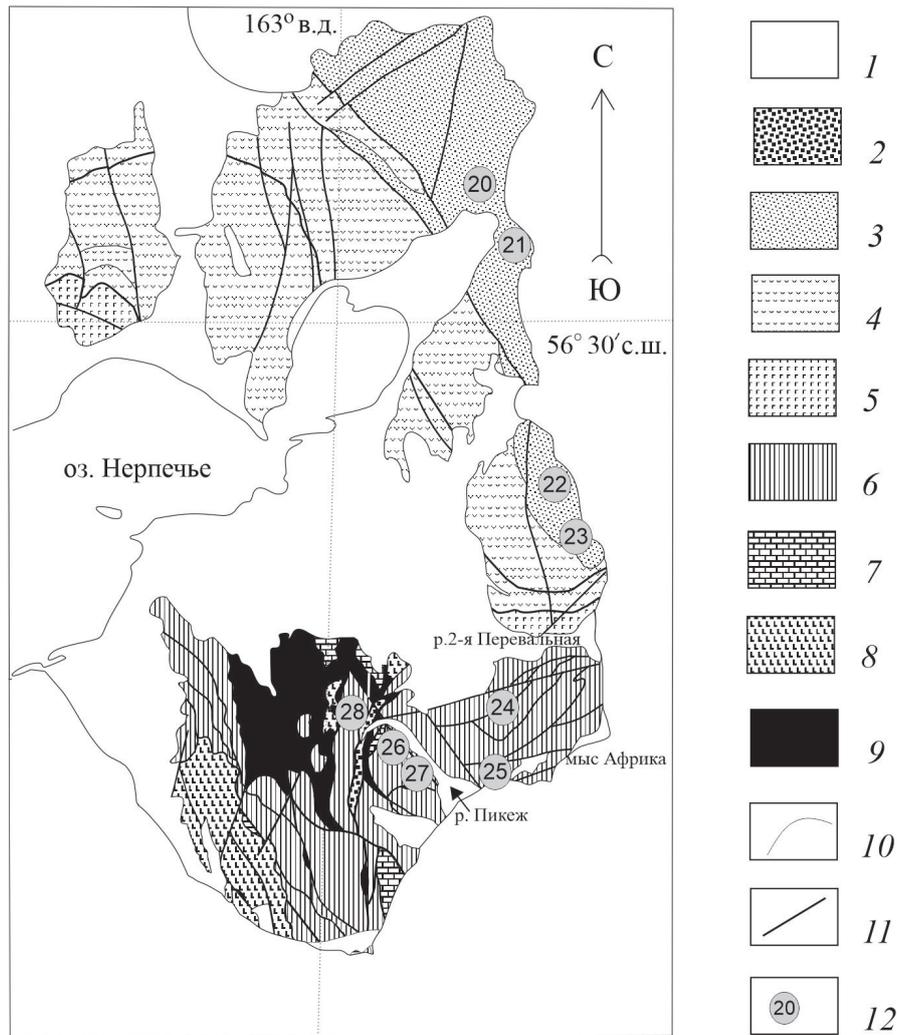


Рис. 2. Схема геологического строения п-ова Камчатский с точками отбора проб. Составлена с использованием материалов (Бояринова и др., 2007; Государственная..., 2006; Карта..., 2005): 1 — рыхлые четвертичные отложения; 2 — плиоцен-плейстоценовые отложения ольховской свиты (N_2); 3–5 — столбовская серия: 3 — рифовская свита (P_{1-2}), 4 — верещагинская свита (P_1), 5 — тарховская свита (K_2-P_1); 6–7 — меловые вулканогенно-осадочные образования: 6 — пикжежский комплекс (K_2), 7 — смагинская толща (K_{1-2}); 8 — габброиды, Оленогорский массив; 9 — серпентиниты и серпентинизированные перидотиты, Солдатский массив; 10 — геологические границы; 11 — тектонические нарушения; 12 — точки отбора проб и номер в табл. 1.

Fig. 2. Geological scheme of the Kamchatskii Peninsula with sampling locations. Compiled using (Boyarinova et al., 2007; State..., 2006; Mineral..., 2005): 1 — loose Quaternary sediments; 2 — Pliocene-Pleistocene deposits of Ol'khovskaya Formation (N_2); 3–5 — Stolbovskaya series: 3 — Rifovskaya Formation (P_{1-2}), 4 — Vereshchaginskaya Formation (P_1), 5 — Tarkhovskaya Formation (K_2-P_1); 6–7 — Cretaceous volcanogenic sedimentary deposits: 6 — Pikezhskiy complex (K_2), 7 — Smaginskaya sequence (K_{1-2}); 8 — gabbroids of Olenegorskiyi Massif; 9 — serpentinites and serpentinitized peridotites of Soldatskiyi Massif; 10 — geological boundaries; 11 — tectonic dislocations; 12 — sampling points and sample numbers in Table 1.

туфогенно-осадочными породами; эоценовые и олигоцен-миоценовые терригенные отложения северо-западного борта Тюшевского прогиба на Кроноцком перешейке — тундровская, чажминская, богачевская свиты (Бояринова и др., 2006) или песчаниковая толща по (Бахтеев и др., 1997). Эти породы интенсивно деформированы и образуют чешуйчатую структуру (рис. 5). Также были изучены образцы из терригенных отложений горбушинской (P_3-N_1gr) толщи, чажминской

(P_3-N_1cz) и тундровской (P_2tn) свит, обнажающиеся в различных частях Кроноцкого п-ова.

ОТБОР ПРОБ И ТРЕКОВЫЙ АНАЛИЗ

Нами был проведен отбор проб для выделения апатитов и определения трекового возраста из различных структур этого региона: на п-ове Камчатский, по р. Камчатка с пересечением Восточного хребта (хр. Кумроч) и Тюшевского

Таблица 1. Аналитические результаты трекового датирования апатита

Table 1. Results of track dating of apatite

Номера мест обора образцов на рисунках 2-5	Стратиграфическое положение и возраст по (Геологическая..., 2005)	Номер образца	Количество зерен апатита	Плотность треков в стандарте [$\times 10^6 \text{ см}^{-2}$] (количество треков)	Плотность треков спонтанного деления [$\times 10^5 \text{ см}^{-2}$] (количество треков)	Плотность треков индуцированного деления [$\times 10^6 \text{ см}^{-2}$] (количество треков)	тест χ^2 [%]	Трековый возраст, млн лет
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кроноцкий п-ов и Тюшевский прогиб								
1	P ₂ kr	99-FT15 (UP6-13)	3	1.074 (2672)	3.140 (38)	1.967 (238)	89.0	31.6 ± 5.6
2	P ₃ -N ₁ bg	99-FT13 (UP6-11)	30	1.071 (2672)	4.215 (51)	10.01 (1211)	99.5	7.3 ± 1.1
3	P ₃ -N ₁ ts	99-FT12 (UP6-10)	55	1.069 (2672)	6.364 (77)	15.78 (1909)	100.0	7.5 ± 0.9
4	P ₃ -N ₁ ts	99-FT11 (UP6-9)	37	1.067 (2672)	9.339 (113)	23.17 (2803)	1.6	8.0 ± 0.8*
			27		6,446 (78)	20,66 (2499)	96.6	5.1 ± 0.6 ¹
			10		2.893 (35)	2.513 (304)	99.8	21.5 ± 4.0 ²
5	P ₃ -N ₁ ts	99-FT10 (UP6-8)	19	1.066 (2672)	3.058 (37)	5.074 (614)	44.1	11.9 ± 2.1*
			14		2.149 (26)	4.487 (543)	84.1	4.6 ± 1.3 ¹
			5		0.909 (11)	0.587 (71)	96.7	29.0 ± 9.7 ²
6	P ₃ -N ₁ ts	99-FT5 (UP6-5)	27	1.061 (2672)	15.12 (183)	15.40 (1864)	0.00	19.3 ± 1.1*
			25		6.031 (73)	11.56 (1399)	92.5	8.0 ± 1.1 ¹
			2		9.089 (110)	3.842 (465)	60.2	45.8 ± 5.0 ²
7	P ₃ cz	99-FT1 (UP6-1)	23	1,054 (2672)	7.107 (86)	7.091 (858)	65.0	15.1 ± 1.9
8	P ₃ cz	99-FT7 (UP6-7)	38	1.064 (2672)	5.124 (62)	7.529 (911)	100.0	11.8 ± 1.7
9	P ₃ cz	99-FT6 (UP6-6)	51	1.062 (2672)	5.455 (66)	14.71 (1780)	100.0	7.2 ± 1.0
10	P ₂ tn	99-FT2 (UP6-2)	55	1.056 (2672)	6.198 (75)	12.10 (1464)	95.4	8.6 ± 1.2
11	P ₂ tn	99-FT3 (UP6-3)	37	1.057 (2672)	4.711 (57)	7.537 (912)	100.0	11.4 ± 1.7
12	P ₂ tn	99-FT4 (UP6-4)	6	1.059 (2672)	0.992 (14)	1.314 (159)	96.4	15.4 ± 4.6
13	P ₃ cz	99-FT9 (UP8-24)	32	1.172 (4655)	4.545 (55)	11.87 (1436)	46.1	6.2 ± 1.0
Хребет Кумроч								
14	P ₁ dr	99-SFT1 (UP6-15)	29	1.077 (2155)	5.537 (67)	3,909 (473)	99.7	29.9 ± 3.3
15	P ₁ dr	97-113 (UP2-24)	14	1.051 (2125)	3.306 (40)	3,140 (380)	76.2	10.2 ± 2.4
16	P ₁ dr	99-SFT2 (UP8-22)	32	1.157 (4465)	5.950 (72)	21,11 (2554)	67.4	3.8 ± 0.6
17	K ₂ -P ₁ hp	99-SFT3 (UP8-23)	9	1.165 (4560)	6.860 (83)	0,529 (664)	83.6	15.0 ± 2.4

ВОЗРАСТ И ВРЕМЯ ЭКСГУМАЦИИ

Таблица 1. Окончание

Table 1. Continued

1	2	3	4	5	6	7	8	9
18	K ₂ -P ₁ hp	99-SFT4 (UP6-16)	44	1.079 (2158)	8.017 (97)	23.69 (2867)	82.2	4.8 ± 0.6
19	K ₂ -P ₂ vt	99-SFT6 (UP6-17)	5	1.081 (2162)	0.496 (6)	0,363 (44)	95.4	24.1 ± 11.2
П-ов Камчатский								
20	P ₂ rf	K98-6 (UP4-16)	13	1.044 (2349)	2.314 (28)	1.372 (166)	82.5	22.4 ± 5.5
21	P ₂ rf	K98-5 (UP4-15)	22	1.044 (2349)	5.703 (69)	5.281 (639)	99.6	21.6 ± 4.3
22	P ₁₋₂ vr	97-308a (UP2-27)	12	1.052 (2155)	1.157 (14)	0.769 (801)	92.9	23.7 ± 7.5
23	P ₁₋₂ vr	97-109 (UP2-22)	29	1.051 (2155)	8.926 (108)	6.620 (801)	90.1	23.9 ± 2.6
24	K ₂ pk	98-21 (UP4-21)	30	1.045 (2349)	13.39 (162)	35.95 (4350)	99.9	6.8 ± 0.6
25	K ₂ pk	97-205 (UP2-25)	30	1.051 (2155)	10.91 (135)	22.45 (2716)	97.9	8.6 ± 0.8
26	K ₂ pk	98-20 (UP4-20)	24	1.045 (2349)	4.059 (49)	18.43 (2230)	80.2	3.3 ± 0.5
27	K ₂ pk	98-23 (UP4-23)	23	1.046 (2349)	5.537 (67)	24.71 (2990)	99.5	3.7 ± 0.5
28	K ₁₋₂ sm	98-24a (UP4-24)	29	1.046 (2349)	50.66 (613)	27.99 (3387)	97.9	34.9 ± 3.4

Примечание. Ошибка определения возраста ±1σ. Трековый возраст вычислен с использованием ζ = 372 ± 9 для CN5 (аналитик Ральф Фрейтаг (Ralf Freitag)). Для образцов 4–6 приведены данные по разным возрастным доменам: *смешанный возраст; ⁽¹⁻²⁾ — возрастные комплексы.

Note: The error of the age determination is ±1σ. The track age was calculated using ζ = 372 ± 9 for CN5 (analyst R. Freitag). For sample 4 to 6, data on the different age apatite domains are given: * — mixed age; ⁽¹⁻²⁾ — age complexes.

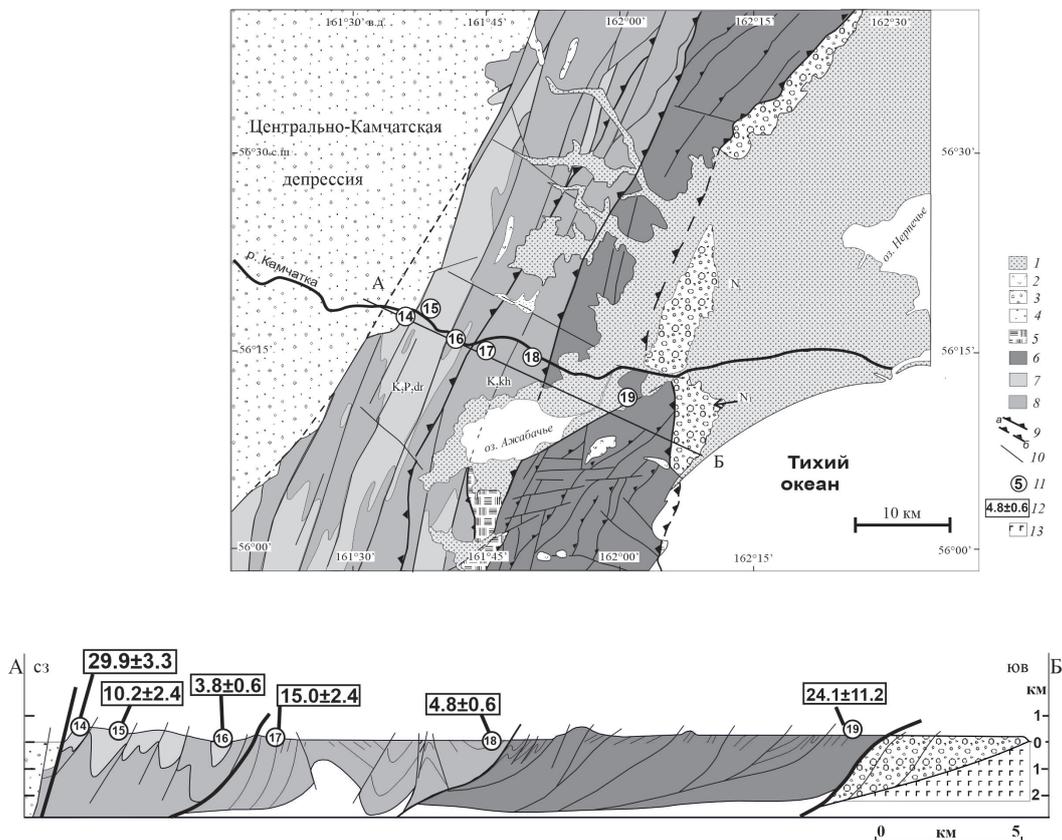


Рис. 3. Схема геологического строения хр. Кумроч и разрез по профилю А-Б. Составлена с использованием материалов (Государственная..., 2006; Карта..., 2005): 1 — рыхлые четвертичные отложения; 2 — плиоценовые субвулканические интрузии; 3 — терригенные отложения Тюшевского прогиба (P_3-N_1); 4 — туфогенно-осадочные отложения Центрально-Камчатской депрессии; 5 — терригенный меланж; 6 — вулканогенно-осадочные образования ветловского комплекса (K_2-P_2); 7 — терригенные отложения дроздовской свиты (P_1); 8 — вулканогенно-туфогенные образования хапицкого комплекса (K_2-P_1); 9–10 — разрывные нарушения: 9 — надвиги: а — установленные, б — предполагаемые; 10 — недифференцированные; 11 — точки отбора проб и номер в табл. 1; 12 — трековый возраст; 13 — вещественные комплексы Кроноцкого террейна.

Fig. 3. Scheme of the geological structure of the Kumroch Range. Compiled using (State..., 2006; Mineral..., 2005): 1 — Quaternary loose sediments; 2 — Pliocene subvolcanic intrusions; 3 — terrigenous deposits of Tyushevskiyi Trough (P_3-N_1); 4 — tuffogenic-sedimentary deposits of the Central Kamchatka depression; 5 — terrigenous melange; 6 — volcanogenic sedimentary deposits of Vetlovskiyi complex (K_2-P_2); 7 — terrigenous deposits of Drozdovskaya Formation (P_1); 8 — volcanogenic-tuffaceous formations of the Khapitsa complex (K_2-P_1); 9–10 — faults: 9 — thrusts identified (a) and inferred (b), 10 — undifferentiated; 11 — sampling points and sample numbers in Table 1; 12 — track age; 13 — Kronotskii terrane.

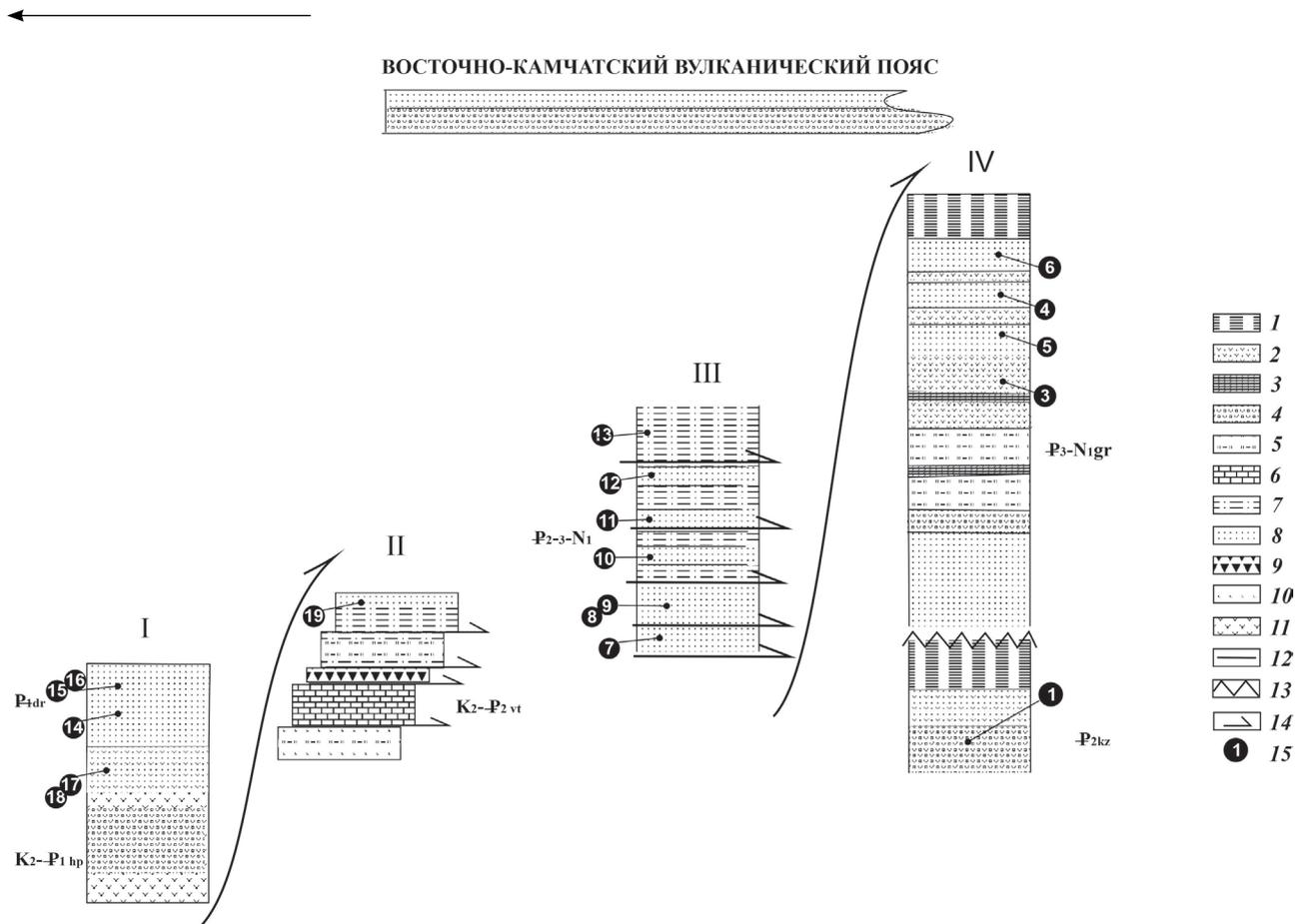


Рис. 4. Схематические тектоно-стратиграфические колонки (вне масштаба) образований хр. Кумроч (I — хапицкая и дроздовская свиты в центральной части хребта, II — ветловский комплекс в восточной части хребта) и Кроноцкого п-ова (III — кайнозойские отложения на Кроноцком перешейке, IV — каменистовская свита и кроноцкая серия на Кроноцком п-ове) с использованием (Бояринова и др., 2006; Карта..., 2005): 1 — турбидиты; 2 — туфы; 3 — диатомиты; 4 — туфоконгломераты; 5 — туфосилициты; 6 — мергелистые известняки; 7 — алевролиты; 8 — песчаники; 9 — терригенный меланж; 10 — базальты ветловского комплекса; 11 — базальты и андезиты хапицкого комплекса; 12–14 — геологические границы: 12 — стратиграфические согласные, 13 — несогласные; 14 — тектонические; 15 — точки отбора образцов и номер в табл. 1.

Fig. 4. Schematic tectonic-stratigraphic columns (out of scale) of formations of the Kumroch Range (I — Khapitskiy and Drozdovskiy complexes in central part of the range, II — Vetlovskiy complex in the eastern part of the range) and the Kronotskii Peninsula (III — Cenozoic deposits on the Kronotskii isthmus, IV — Kamenistovskaya and Kronotskaya formations on the Kronotskii Peninsula) using (Mineral..., 2005; Boyarinova et al., 2006): 1 — turbidites; 2 — tuffs; 3 — diatomites; 4 — tuff conglomerates; 5 — tuff silicite; 6 — marly limestones; 7 — siltstones; 8 — sandstones; 9 — terrigenous melange; 10 — basalts of the Vetlovskiy complex; 11 — basalts and andesites of the Khapitskiy complex; 12–14 — geological boundaries: 12 — stratigraphic conformable, 13 — unconformable, 14 — tectonic; 15 — sampling points and sample numbers in Table 1.

ВОЗРАСТ И ВРЕМЯ ЭКСГУМАЦИИ

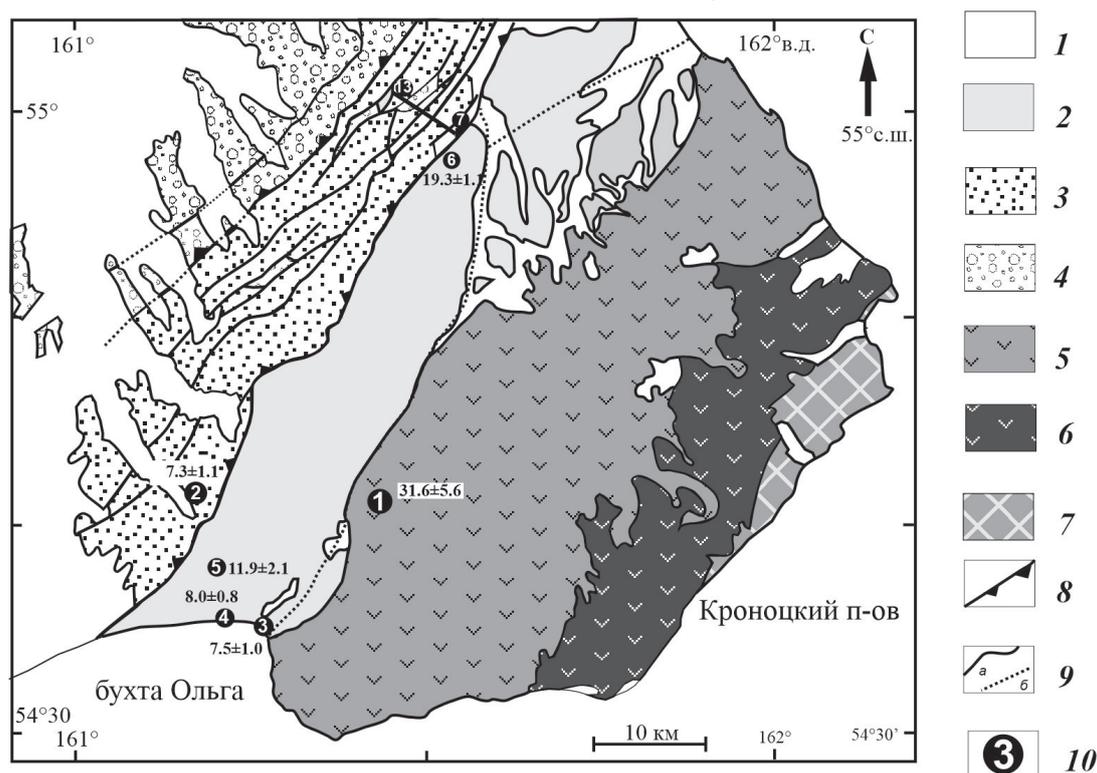


Рис. 5. Схема геологического строения Кроноцкого п-ова. Составлена с использованием (Бахтеев и др., 1997; Бояринова и др., 2006; Карта..., 2005): 1 — плиоцен-четвертичные рыхлые отложения и вулканы Восточно-Камчатского вулканического пояса; 2 — горбушинская толща P_3-N_1 (тюшевская серия); 3 — богачевская (P_3-N_1 bg), чажминская (P_3 cz) и тундровская (P_3 tn) свиты по (Бояринова и др., 2006), песчаниковая толща по (Бахтеев и др., 1997); 4 — станиславская свита (P_1 st); 5, 6 — кроноцкая серия (P_2 kr): 5 — козловская свита, 6 — кубовская свита; 7 — каменистовская свита (K_2 cn?-km-m) и офиолитовый комплекс (K_2) (гипербазиты и габбро); 8 — надвижки; 9 — другие разрывные нарушения: а — недифференцированные, б — предполагаемые; 10 — точки отбора образцов и номер в табл. 1 (в прямоугольнике показан трековый возраст).

Fig. 5. Geological scheme of the Kronotskiy Peninsula. Compiled using (Bakhteev et al., 1997; Boyarinova et al., 2006; Mineral..., 2005): 1 — Pliocene-Quaternary loose sediments and volcanic rocks of the East Kamchatka volcanic belt; 2 — Gorbushinskaya sequence (P_3-N_1) of the Tyushevka series; 3 — Bogachevskaya (P_3-N_1 bg), Chazhma (P_3 cz), and Tundrovskaya (P_3 tn) formations, after (Boyarinova et al., 2006), sandstone sequence, after (Bakhteev et al., 1997); 4 — Stanislavskaya Formation (P_1 st); 5, 6 — Kronotskaya Series (P_2 kr): 5 — Kozlovskaya Formation, 6 — Kubovskaya Formation; 7 — Kamenistovskaya Formation (K_2 cn?-km-m) and ophiolite complex (K_2) (ultrabasites and gabbros); 8 — thrusts; 9 — other faults: a — undifferentiated, b — inferred; 10 — sampling points and sample numbers in Table 1 (track age is shown in the rectangle).

прогиба, на Кроноцком п-ове (Цуканов и др., 2021; Freitag et al., 2001, 2009). Отбор образцов проводился по профилям, ориентированным ортогонально простиранию основных структур.

Трековое датирование основано на подсчете плотности и протяженности треков осколков спонтанного деления ядер урана (U^{238}), накапливающихся в природных минералах в ходе геологической истории (Hurford, 1990; Hurford, Green, 1982).

Для проведения трекового датирования по апатитам в полевых условиях было отобрано более 100 проб из осадочных пород различного возраста и разных стратиграфических комплексов. Вес каждой пробы составлял от 20 до 25 кг. Содержания апатита в пробах преимущественно составляли 3 кристалла апатита оптимального размера на 1 кг веса пробы.

Выделенные и отобранные из образцов зерна апатита были изучены по стандартной методике (Hurford 1990; Hurford, Green, 1982; Wagner, Van der Haute; 1992). Для определения трекового возраста использовался метод анализа отдельных зерен (grain-by-grain) с внешним слюдяным детектором и применением Z-калибровки (Zeta-method) (Hurford, 1990; Hurford, Green, 1982). Трековый возраст, полученный по апатитам значительно моложе, чем возраст осадочных комплексов, из которых они были отобраны. Можно предположить, что большинство изученных образцов находились в зоне полного «отжига». Многие из них содержали небольшое количество зерен апатита с протяженными треками или имели преимущественно редкие спонтанные треки, что, вероятно, связано с низким содержанием урана в породе. Поэтому для вещественных

комплексов хр. Кумроч и Кроноцкого п-ова были вычислены только средние скорости эксгумации. Оценивалась средняя скорость вертикальных движений от изотермы в 110°C к поверхности без учета ускорения или замедления процесса во время эксгумации изученных вещественных комплексов. В расчетах использовался температурный интервал от изотермы в 110°C и температуры на поверхности 5°C для закрытия апатитовой системы (Charman, 1986).

В таблице 1 приведены полученные трековые возрасты апатитов и детали анализа (использовался совокупный метод). Подсчет и анализ проводился Ральфом Фрейтагом (Ralf Freitag).

РЕЗУЛЬТАТЫ ТРЕКОВОГО АНАЛИЗА И ВЫВОДЫ

Изученные структуры находятся в разных геодинамических условиях: Камчатский п-ов расположен в зоне конвергенции Камчатской окраины и западного фланга Алеутской дуги (Командорские острова) (Селиверстов, 2009; Gaedicke et al., 2000); хребет Кумроч характеризует зону Восточных хребтов (Ачайваям-Валагинский и Ветловский террейны); Кроноцкий п-ов находится в зоне конвергенции Камчатской окраины и Тихоокеанской плиты с возвышенностью Обручева.

Полученные нами данные по трековому датированию зерен апатита из осадочных пород Восточной Камчатки позволяют выделить несколько периодов эксгумации структурно-вещественных комплексов, начиная с позднего эоцена — олигоцена и заканчивая плиоценом (табл. 2).

Наиболее представительные и полные данные были получены на Камчатском п-ове (Freitag et al., 2001). Здесь наряду с возрастом пород были вычислены скорости подъема блоков и измерены разные стадии остывания пород. Показано, что блоки воздымались с различной скоростью; самая высокая скорость зафиксирована в Пикежской зоне дислокаций и Африканском блоке. При этом наиболее стабильным является юго-западный блок, представленный офиолитовыми комплексами Оленегорского и Солдатского массивов и вулканогенно-осадочными

образованиями смагинской свиты мелового возраста (Freitag et al., 2001). Из туфопесчаников этого блока были выделены апатиты с возрастом 34.9 млн л. и были определены стадии эксгумации. В течение периода с 40 до 28 млн л. этот блок медленно поднимался и образования, слагающие его выводились в зону остывания. В период, начиная с 28 млн л. до 9 млн л. он находился в стабильном температурном режиме, и выведение комплексов, слагающих его на поверхность произошло после 9 млн л. (Freitag et al., 2001). Эта вторая фаза эксгумации совпадает с первой фазой эксгумации Африканского блока.

Трековые возрасты апатитов из образцов Столбовского блока, севернее р. 2-я Перевальная, укладываются в интервале 21–24 млн л. и характеризуют палеоцен-эоценовые породы столбовской серии (верещагинская и рифовская свиты по (Карта..., 2006)). По данным (Freitag et al., 2001) образования, слагающие весь этот тектонический блок, по-видимому, были эксгумированы равномерно со средней скоростью 0.2 ± 0.08 мм в год.

Апатиты из образований Африканского блока, расположенного южнее р. 2-я Перевальная и ограниченного с запада Пикежской зоной дислокаций, имеют средний трековый возраст от 6.8 до 8.6 млн л. и среднюю скорость эксгумации 0.58 ± 0.06 и 0.46 ± 0.03 мм в год. Ральфом Фрейтагом (Freitag et al., 2001) было проведено временное температурное моделирование, которое показало, что эксгумация в этом блоке проходила в два этапа: с 9 до 7 млн л. — быстрая эксгумация, потом с 7 до 4 млн л. блок был стабилен в температурном поле и не охлаждался, а затем в течение 3 млн л. этот блок поднялся на поверхность. Апатиты образцов, отобранных непосредственно в Пикежской зоне дислокаций, имеют средний возраст от 3.3 ± 0.5 до 3.7 ± 0.5 млн л. Вычисленная скорость эксгумации составляет от 1.2 до 1.08 мм в год. Возрастной этап вывода этих комплексов на поверхность хорошо коррелируется со вторым этапом эксгумации Африканского блока.

Таким образом, полученные данные по эксгумации пород различных блоков на Камчатском п-ове свидетельствуют о существовании нескольких фаз тектонической активности, прерываемых периодами тектонического затишья.

Таблица 2. Основные возрастные этапы по датировкам детритовых апатитов

Table 2. Main age stages according to the dating of detrital apatites

Регион	Возраст, млн лет				
	поздний эоцен-олигоцен	олигоцен	ранний-средний миоцен	поздний миоцен	плиоцен
п-ов Камчатский	34.9	21.6-23.9		6.8-8.6	3.3-3.7
хр. Кумроч	29.9	24.1	10.2-15		3.8-4.8
п-ов Кроноцкий	31.6	19.3-21.5	11.4-15.4	6.2-8.6	4.6-5.1

Крупное тектоническое событие, начавшееся 9 млн л. назад, затронуло офиолитовый комплекс Оленегорского блока, а также Африканский блок. Второе событие подъема, начиная с 4 млн л. фиксируется преимущественно в Африканском блоке и в Пикежской зоне дислокаций.

В Озерновско-Валагинском и Ветловском террейнах в хр. Кумроч в изученных образцах достаточное количество зерен апатита было выделено только в шести из них (Freitag et al., 1999). Пять образцов характеризуют образования мелового — раннепалеогенового возраста хапицкой и дроздовской свит (рис 3). Пробы из пород Ветловского террейна были взяты на трех участках, но только в одном из них, выделенные зерна апатита были пригодны для проведения исследований, поэтому возрастные определения имеют большие погрешности (табл. 1). Из других образцов, содержащих достаточное для исследования количество зерен апатита, был получен смешанный возраст, что вероятно, указывает на нелинейную историю охлаждения или низкий нагрев (Galbraith, Laslett, 1993). Возраста, полученные из исследованных проб, позволяют также выделить несколько этапов остывания. Наиболее ранний олигоценый этап (24–29 млн л.) был установлен в породах дроздовской свиты Озерновско-Валагинского террейна и из песчаников ветловского комплекса.

Второй возрастной интервал эксгумации в среднем миоцене (10–15 млн л.) был зафиксирован в отложениях дроздовской и хапицкой свит. Ещё один этап эксгумации датируется плиоценом (3.8–4.2 млн л.). Образцы с апатитами этого возраста были отобраны в средней части хр. Кумроч из песчаников дроздовской свиты.

Итак, в хребте Кумроч, в Озерновско-Валагинском и Ветловском террейнах выделяются три возрастных этапа эксгумации вещественных комплексов: в олигоцене, в среднем миоцене и плиоцене.

На Кроноцком п-ове апатиты с возрастом 31.6 млн л. были выделены из среднеэоценовых туфогенно-осадочных пород козловской свиты кроноцкой серии, которые с несогласием и размывом перекрываются мелководными отложениями ракитинской свиты олигоцен — миоценового возраста.

В отдельных образцах (табл. 1) выделяется несколько популяций апатита смешанного возраста, при этом эти образования распространены в различных районах Кроноцкого перешейка. Они характеризуют отложения различных стратиграфических интервалов. Вероятно, вещественные комплексы, из которых были отобраны породы, содержащие апатиты с таким возрастом, не подверглись полному «отжигу» в связи с тем, что они либо не погрузались на достаточную

глубину, либо находились на определенной глубине не достаточное для этого время (Galbraith, Laslett, 1993). Апатиты с наиболее молодым плиоценовым (4.6–5.1 млн л.) возрастом, вероятно, характеризуют верхний возрастной предел накопления осадков этой толщи.

Популяция апатитов с возрастом остывания 11–15 млн л. была изучена из эоценовых и олигоцен — миоценовых терригенных отложений северо-западного борта Тюшевского прогиба на Кроноцком перешейке — тундровской, чажминской, богачевской свит или песчаниковой толщи по (Бахтеев и др., 1992). Эти породы интенсивно деформированы и образуют чешуйчатую структуру, состоящую из системы перемежающихся тектонических пластин мощностью 50–150 м.

Еще одна возрастная группа апатитов, имеющая возраст 6–9 млн л., выделена из терригенных отложений горбушинской (P_3-N_1gr) толщи, чажминской (P_3-N_1cz) и тундровской (P_2tn) свит. Она характеризует разновозрастные формации, обнажающиеся в различных частях Кроноцкого п-ова (рис. 4, 5).

Выделяющиеся возрастные этапы по апатитам, вероятно, отражают процесс аккреции происходивший, с конца эоцена по настоящее время в пределах Камчатской окраины. Совокупность геологических и структурных данных, а также возраст изученных пород позволяют связать временные интервалы, выделяемые по возрасту апатитов, с основными тектоническими событиями в этой области переходной зоны (Alexeiev et al., 2006; Freitag et al., 2001).

Самые древние возраста апатитов были зафиксированы в офиолитовом блоке Камчатского п-ова (34.9 млн л.) и на Кроноцком п-ове (31.6 млн л.). Для комплексов Камчатского п-ова, из которых были выделены апатиты с таким трековым возрастом, можно предположить, что они находились в аккреционной призме, которая медленно поднималась до глубины с температурой менее 60°C, что произошло на границе эоцена и олигодена, после завершения активного вулканизма в Кроноцкой вулканической дуге в среднем эоцене.

Трековый возраст апатитов на Кроноцком п-ове (31 ± 5 млн л.) может соответствовать начальной стадии коллизии Кроноцкого островодужного террейна с Камчатской окраиной, при котором островодужные комплексы, накапливавшиеся в активную стадию формирования Кроноцкой вулканической дуги, поднялись в зону охлаждения. В среднем эоцене активный вулканизм в Кроноцкой палеодуге прекратился и, начиная с олигодена, на вулканогенных островодужных комплексах накапливались прибрежно-морские терригенные отложения. Близкое по времени (29 млн л.) событие

фиксируется в отложениях ветловского комплекса в южной части хр. Кумроч.

Вторая и третья возрастная группа апатитов (олигоцен — ранний миоцен и ранний — средний миоцен), вероятно, отражают время более поздней стадии продолжавшейся коллизии Кроноцкого островодужного террейна с Камчатской окраиной и формированием крупного регионального надвига Гречишкина (Бахтеев и др., 1997; Соловьев и др., 2004; Alexeiev et al., 2006). С этим интервалом можно связать образование современной структуры Камчатки и заложение современной субдукционной зоны. Характерно, что этот этап тектонической активности отражен только в вещественных комплексах Ачайваем-Валагинского и Кроноцкого террейнов и Тюшевского прогиба и не фиксируется в структуре Камчатского п-ова.

Четвертый возрастной интервал позднего миоцена (6.2–8.6 млн л.) выделяется в структуре Восточных п-овов (Кроноцкого и Камчатского Мыса). Он, вероятно, обусловлен начавшейся субдукцией Тихоокеанской плиты под современную Камчатскую окраину и активным новым воздыманием Кроноцкого террейна и внешнего края Камчатской окраины. Этот процесс, вероятно, можно связать с началом пододвигания в Камчатскую зону субдукции возвышенности Обручева северо-западного фланга Гавайско-Императорских подводных гор.

Наиболее молодые возрастные датировки апатитов (3.3–5.1 млн л.) отражают плиоценовый этап взаимодействия Тихоокеанской плиты и Камчатской окраины. На Камчатском п-ове он связан с системой активных разломов (Пикежская зона разломов), связанной с сочленением Курило-Камчатского и Алеутского глубоководных желобов. На Кроноцком п-ве плиоценовый возраст прибрежноморских отложений был ранее датирован по микропалеонтологическим данным (Marsagliya et al., 1999). В хр. Кумроч этот возрастной этап отражает продолжающееся поднятие Восточно-Камчатских хребтов, связанное с коллизией Камчатскомысского сегмента Кроноцкого террейна и раскрытием Центрально-Камчатской депрессии.

Основываясь на геологических данных и анализе деформаций в осадочных комплексах (Alexeiev et al., 2006) можно утверждать, что коллизия Кроноцкого террейна с Камчатской окраиной началась в позднем эоцене-олигоцене и продолжалась по ранний миоцен. В этом случае новые данные по возрасту апатитов позволяют предполагать, что коллизионные процессы продолжались в позднем миоцене и плиоцене. Основные тектонические движения фиксируются в средней части Тюшевского прогиба и проявляются в эксгумации пород

аллохтона (тундровская (P_2) и богачевская свиты (P_3-N_1)) и в формировании регионального надвига Гречишкина. Тектонические события, при которых комплексы аллохтона были надвинуты на терригенные отложения олигоцена — миоцена тюшевской серии, вероятно, происходили во временном интервале 3.3–5.1 млн л. Процессы аккреции проходили дискретно во времени, прерываясь на тектонические затишья.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания МинОбр Науки, тема FMWE-2021-0004. Полевые работы и аналитические исследования были проведены при финансовой поддержке Министерства образования и науки ФРГ в рамках Российско-Германского проекта КАЛЬМАР, грант № 03G0640C.

Авторы приносят искреннюю благодарность Ральфу Фрейтагу (Ralf Freitag) и Кристофу Гедике (Christoph Gaedicke) за предоставленные аналитические данные по возрасту апатитов и плодотворное обсуждение результатов работы

Список литературы [Referenses]

- Бахтеев М.К., Беньямовский В.Н., Брагин Н.Ю. и др.* Новые данные по стратиграфии мезозоя и кайнозоя Восточной Камчатки (Валагинский хребет) // Стратиграфия и геологическая корреляция. 1994. Т. 2. № 6. С. 77–84 [*Bakhteev M.K., Benyamovsky V.N., Bragin N.Yu. et al.* New data on stratigraphy of Mesozoic and Cenozoic of Eastern Kamchatka (Valaginsky Range) // *Stratigrafiya i geologicheskaya korrelyatsiya*. 1994. V. 2. № 6. P. 77–84 (in Russian)].
- Бахтеев М.К., Морозов О.А., Тихомирова С.Р.* Строение безофиолитового коллизийного шва Восточной Камчатки — зоны надвига Гречишкина // Геотектоника. 1997. № 3. С. 74–85 [*Bakhteev M.K., Morozov O.A., Tikhomirova S.R.* Structure of the Eastern Kamchatka ophiolite-free collisional suture — Grechishkin Thrust zone // *Geotectonics*. 1997. V. 31. № 3. P. 236–247].
- Бояринова М.Е., Вешняков Н.А., Коркин А.Г. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Восточно-Камчатская. Листы N-57-XII, N-58-VII, N-57-XVIII (г. ИстокЧажма). Объяснительная записка. Санкт-Петербург. 2006. С. 258 [*Boyarinova M.E., Veshnyakov N.A., Korkin A.G. et al.* The 1:200 000 State Geological Map of the Russian Federation, Ser. Eastern Kamchatka. Sheet No. N-57-XII, N-58-VII, N-57-XVIII (Istok Chazhma Mountain). Explanatory Note. St.-Petersburg:VSEGEI, 2006. P. 258 (in Russian)].
- Бояринова М.Е., Вешняков Н.А., Коркин А.Г., Савельев Д.П.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Восточно-Камчатская. Листы 0–58-XXVI, XXXI, XXXII. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. 267 с. [*Boyarinova M.E., Veshnyakov N.A., Korkin A.G., Savelyev D.P.* The 1:200 000 State Geological Map of the Russian Federation. Ser. Eastern Kamchatka. Sheet 0–58-XXVI, XXXI, XXXII. Explanatory Note. St.-Petersburg:VSEGEI, 2007. P. 267. (in Russian)].

- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 / Под ред. Литвинова А.Ф., Марковского Б.А. СПб.: ВСЕГЕИ, 2006 [The 1:1 000 000 State Geological Map of the Russian Federation / Eds: Litvinov A.F., Markovsky B.A. St.-Petersburg:VSEGEI, 2006 (in Russian)].
- Зинкевич В.П., Федорчук А.В., Цуканов Н.В. Аккреционная тектоника юга Валагинского хребта (Восточная Камчатка) // Геотектоника. 1992. № 3. С. 64–78 [Zinkevich V.P., Fedorchuk A.V., Tsukanov N.V. Accretional tectonics of the southern Valaginsky Range (Eastern Kamchatka) // Geotektonika. 1992. № 3. P. 64–78 (in Russian)].
- Карта полезных ископаемых Камчатской области и Корякского автономного округа. Масштаб 1:500 000 / Под ред. Литвинова А.Ф. и др. СПб.: ВСЕГЕИ, 2005 [The 1:500 000 Mineral Resources Map of the Kamchatka Region and the Koryak Autonomous District / Eds.: Litvinov A.F. et al. St.-Petersburg: VSEGEI, 2006 (in Russian)]
- Селиверстов Н.И. Геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Петропавловск-Камчатский: Издательство КамГУ им. Витуса Беринга, 2009. 191 с. [Seliverstov N.I. Geodynamics of Kurile-Kamchatka-Aleutian junction zone. Petropavlovsk-Kamchatsky: Vitus Bering Kamchatka SA Publ., 2009. 191 p. (in Russian)].
- Соловьев А.В. Изучение тектонических процессов в областях конвергенции литосферных плит методами трекового датирования и структурного анализа // Тр. ГИН. Вып. 577. М.: Наука, 2008. 319 с. [Solovyev A.V. Study of tectonic processes in zone of lithosphere plates convergence by methods of track dating and structural analysis // Trudy GIN. Iss. 577. Moscow: Nauka, 2008. 319 p. (in Russian)].
- Соловьев А.В., Шапиро М.Н., Гарвер Дж. И., Ландер А.В. Формирование Восточно-Камчатской аккреционной призмы по данным трекового датирования цирконов из терригенных пород // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 11. С. 1292–1302 [Solovyev A.V., Shapiro M.N., Garver J.I., Lander A.V. Formation of East Kamchatka accretionary prism according to fission-track dating of zircons from terrigenous rocks // Russian Geology and Geophysics. 2004. V. 45. № 11. P. 1237–1247].
- Ступин С.И., Серова М.Я., Щербинина Е.А. и др. Олигоценый известковый планктон с Кроноцкого полуострова (Восточная Камчатка) // Стратиграфия и Геологическая корреляция. 1998. № 6. С. 85–95 [Stupin S.I., Serova M.Ya., Shcherbinina E.A. et al. Oligocene calcareous plankton from Kronotsky Peninsula (Eastern Kamchatka) // Stratigraphy and Geological Correlation. 1998. V. 6. № 5. P. 509–519].
- Цуканов Н.В., Фрейтаг Р., Гедике К. Новые данные о возрасте и времени эксгумации осадочных комплексов Кроноцкого террейна и Тюшевского прогиба (Восточная Камчатка) по данным трекового датирования апатита // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 500. № 1. С. 5–11. <https://doi.org/10.31857/S2686739721090206> [Tsukanov N.V., Freitag R., Gaedicke Ch. New data on the age and exhumation time of sedimentary complexes of the Kronotskii terrane and the Tyshevka basin (Eastern Kamchatka) based on track dating of apatite // Doklady Earth Sciences. 2021. V. 500. № 1. P. 709–714. <https://doi.org/10.1134/S1028334X21090208>].
- Alexeiev D.V., Gaedicke C., Tsukanov N.V. et al. Collision of the Kronotskiy arc at the NE Eurasia margin and structural evolution of the Kamchatka–Aleutian junction // International Journal of Earth Science. 2006. V. 95. № 6. P. 977–993. <https://doi.org/10.1007/s00531-006-0080-z>.
- Brandon M.T. Decomposition of fission-track grain age distribution // American Journal of Science. 1992. V. 292. Oktober. P. 535–564.
- Chapman D.S. Thermal gradients in the continental crust // J.B. Dawson et al. (Eds.). The Nature of the Lower Continental Crust. Geological Society. Special Publications. 1986. V. 24. № 1. P. 63–70.
- Galbraith R.F. On statistical models for fission-track counts // Journal of Mathematical Geology. 1981. V. 13. P. 471–478.
- Galbraith R.F., Laslett G.M. Statistical models for mixed fission track ages // Nuclear Tracks and Radiation Measurements. 1993. V. 21. № 4. P. 459–470.
- Gaedicke C., Baranov B., Seliverstov N. et al. Structure of an active arc — continent collision area: the Aleutian-Kamchatka junction // Tectonophysics. 2000. V. 325. № 1. P. 63–85. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(00\)00131-1](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(00)00131-1)
- Geist E.L., Scholl D.W. Large-scale deformation related to the collision of the Aleutian Arc with Kamchatka // Tectonics. 1994. V. 13. № 3. P. 538–560. <https://doi.org/10.1029/94TC00428>
- Kozhurin A.I. Active Faulting in the Kamchatsky Peninsula, Kamchatka-Aleutian Junction // American Geophysical Union. Geophysical Monograph Series «Volcanism and Subduction: The Kamchatka Region» / Eds: Eichelberger J. Gordeev E. Kasahara M. et al. 2007. V. 172. P. 107–116.
- Kozhurin A.I. Active faulting at the Eurasian, North American and Pacific plates junction // Tectonophysics. 2004. V. 380. № 3–4. P. 273–285. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2003.09.024>
- Hurfurd A.J. Standardization of the fission track dating calibration: Recommendation by the Fission Track Working Group of the I.U.G.S. Subcommittee on Geochronology // Chemical Geology: Isotop Geoscience section. 1990. V. 80. № 2. P. 171–178.
- Hurfurd A.J., Green P.F. A users' guide to fission track dating calibration // Earth and Planetary Science Letters. 1982. V. 59. № 2. P. 343–354.
- Marsaglia K.M., Mann P., Hyatt R.J., Olson H.C. Evaluating the influence of aseismic ridge subduction and accretion on detrital modes off ore arc sandstone: an example from the Kronotsky peninsula in the Kamchatka forearc // Lithos. 1999. V. 46. P. 17–42. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(98\)00054-1](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(98)00054-1)
- Freitag R., Tsukanov N., Alexeiev D., et al. Structural Evolution of the Kumroch Range, Kamchatka from the Late Cretaceous to the Cenozoic // EOS Transactions. AGU-Fall Meeting. San Francisco, 1999. V. 80. № 46. P. F954.
- Freitag R., Gaedicke C., Baranov B.V., Tsukanov N.V. Collisional processes at the junction of the Aleutian–Kamchatka arcs: new evidence from fission track analysis and field observations // Terra Nova. 2001. № 13. P. 433–442.
- Wagner G.P., Van der Haute. Fission-Track Dating. Solid Earth Sciences Library, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1992. 285 p.

ЦУКАНОВ, ДОЗОРОВА
**THE AGE AND EXHUMATION TIME
OF THE EASTERN KAMCHATKA SEDIMENTARY COMPLEXES
BASED ON APATITE TRACK DATING**

N.V. Tsukanov, K.A. Dozorova

*P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, 117997;
e-mail: kambear2011@yandex.ru*

Received February 14, 2022; revised March 15, 2022; accepted March 27, 2022

The paper presents and analyzes new and previously published data on track dating of detrital apatite grains isolated from different-age structural complexes of Eastern Kamchatka. The investigations were carried out in areas with different geodynamic settings. These were the Kronotskii Peninsula which is situated in the zone of convergence of the Kamchatka margin with the relatively warm and light oceanic crust of the Pacific plate with the Obruchev Rise, the Kamchatkii Mys Peninsula which is situated in the area of collision of the Commander block of the Aleutian volcanic arc and the continental margin of Kamchatka, and the the Kumroch Ridge complexes of which belong to the Ozernovsky-Valaginskii and Vetlovskii terranes. The analysis allows distinguishing several exhumation events: 29.9–34.9, 19.3–24.1, 10.2–15.4, 6.2–8.6, and 3.3–5.1 Ma. The highlighted age intervals correlate well with the main tectonic events and allow us to conclude that accretionary and collisional processes in Eastern Kamchatka continued from the Oligocene to the Late Miocene-Pliocene.

Keywords: Kamchatka, fission track dating, apatite, age, tectonics, exhumation, plate convergence.