

УДК 552.32

## ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ U–Pb-SHRIMP-II-ИЗОТОПНОГО ДАТИРОВАНИЯ ПО ЦИРКОНАМ ПЕПЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ИЗ КАЙНОЗОЙСКИХ ВПАДИН ЮГО-ЗАПАДНОГО ПРИМОРЬЯ

© 2011 г. С. О. Максимов, член-корреспондент РАН В. Г. Сахно

Поступило 02.03.2011 г.

В настоящем сообщении приводятся новые данные изотопного датирования пирокластических пород усть-суйфунской свиты – завершающей фазы позднекайнозойского эксплозивного кислого вулканизма на юго-западе Приморья. Пирокластические отложения широко распространены в составе терригенных и угленосных толщ, выполняющих позднекайнозойские впадины, включая главные угленосные бассейны Юго-Западного Приморья. Абсолютное датирование прослоев пирокластике имеет важное значение для стратиграфических построений и корректных корреляций фитокомплексов этих отложений с фитокомплексами удаленных ареалов, учитывая вероятность искажений подобных сопоставлений в связи с влиянием на палеоклиматические условия длительных циклов эксплозивных извержений, которые проявлялись в этот период.

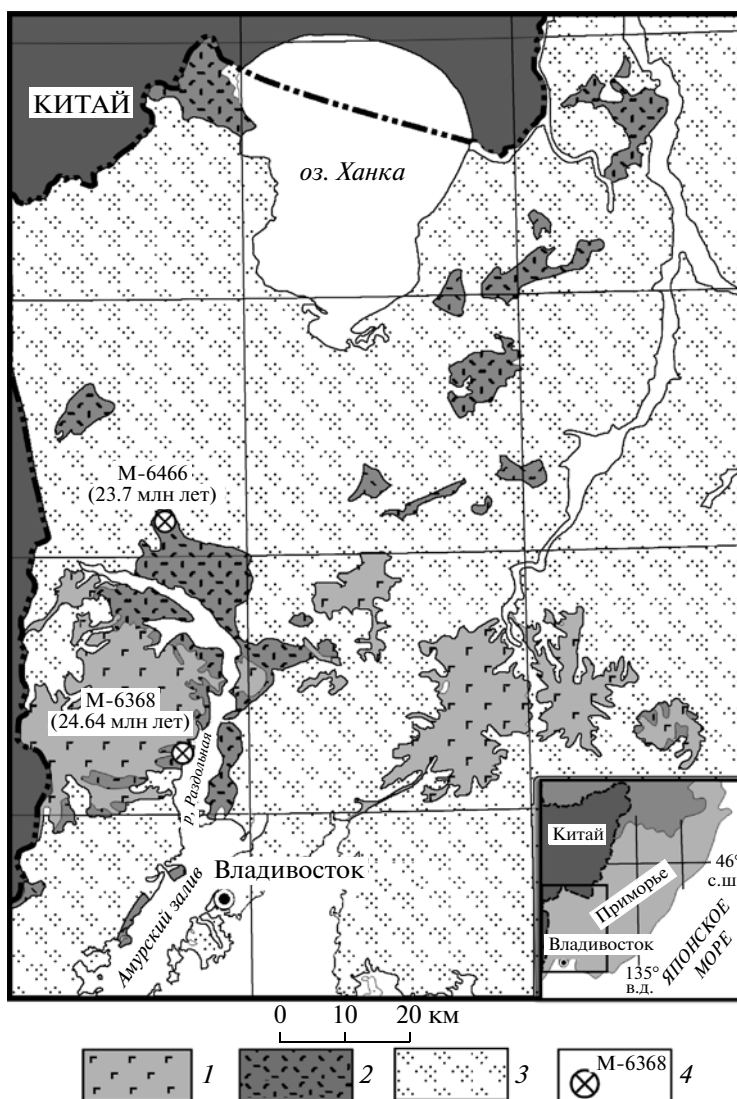
Прецизионный U–Pb-SHRIMP-метод с анализом индивидуальных зерен циркона открывает возможность привязки к абсолютной временной шкале периодов формирования обогащенных пирокластикой терригенных отложений, датированных на основе фитостратиграфических данных [1, 2, 5]. На основании результатов U–Pb-изотопного датирования по цирконам происходит пересмотр устоявшихся представлений о временных границах геологических объектов, включая стратотипические разрезы вулканических комплексов и основные этапы развития вулканических поясов [3, 4].

Геологическое положение и строение терригенно-тефроидных толщ, выполняющих кайнозойские впадины юга Дальнего Востока, достаточно подробно охарактеризованы при их фитостратиграфическом изучении [1, 2]. Разрезы усть-суйфунской свиты сложены терригенно-пирокластическими (пеплово-пемзовыми) отложениями со значительной долей экзотической (не местной),

существенно силицитной песчано-галечниковой составляющей. Локальные ареалы тефроидных отложений характеризуются некоторыми вариациями минерального состава пеплов, включая акцессорные фазы, что предполагает многоареальность вулканических извержений. Последние носили характер фреатических взрывов с быстро разрушающимися насыпными пирокластическими мааровыми конусами и захоронением извергнутого пирокластического и терригенного материала в озерных котловинах, занимавших обширные пространства в условиях пенепленизированного рельефа. Характер распространения сохранившихся от эрозии ареалов тефроидных отложений свидетельствует о масштабности эксплозивного процесса и значительной площади распространения пирокластике, покрывавшей в момент извержений, вероятно, всю южную часть Амуро-Уссурийской депрессии, включая Приханкайскую и Раздольненскую впадины (рис. 1). Установлено, что после значительной временной паузы произошло внедрение инъекционных туффзитов, сложенных материалом усть-суйфунских пеплово-галечных тефроидов, прорывающих даже молодые вулканические постройки щелочно-базальтовых вулканов (вулкан Борисовский).

Минеральный состав пеплов представлен кварцем, санидином, биотитом, ильменитом, ортитом и акцессорным муассанитом. Весьма характерны оплавленные поверхности минералов, особенно ильменитов. Пирокластический материал состоит из своеобразных трубчато-пластинчатых частичек перлитового стекла. На локальных участках проявлено интенсивное гидротермальное окремнение пород с превращением рыхлых тефроидов в монолитные блоки. Одновременно фиксируются следы динамотермального воздействия вулканокластике на захваченный терригенный материал: пиррометаморфизм галек, обугливание растительных фрагментов, инъекции пирокластике в галечный материал. Для всех терригенно-пирокластических пород усть-суйфунской свиты характерно проявление объемной аргиллизации с различной степенью

*Дальневосточный геологический институт  
Дальневосточного отделения  
Российской Академии наук, Владивосток*



**Рис. 1.** Геологическая схема распространения ареалов тефрогенных отложений в кайнозойских впадинах Юго-Западного Приморья. 1 – средне-верхнемиоценовые платобазальты шуфанского комплекса, 2 – олигоцен-раннемиоценовые терригенно-тефроидные отложения (нерасчлененные), 3 – комплексы фундамента, 4 – точки отбора проб цирконов и их датировки.

гидролизной трансформации риолитовой пироклаستيку в каолинит-монтмориллонитовые массы с формированием Co-Fe-Va-Mn-оксидных микрокорок.

Состав пирокластических пород из отложений различных ареалов усть-суйфунской свиты отвечает калиевым риодацитам, обедненным щелочно-земельными катионами: Sr, Ca, Mg, Eu, но с повышенными концентрациями Zr и легких РЗЭ (табл. 1). Изотопные характеристики тейроидов свидетельствуют о плавлении зрелого корового протолита, вероятно, протерозойско-фанерозойского фундамента Ханкайского массива: обр. М-5894-1:  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.715116 \pm 42$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512523 \pm 15$ ; обр. М-6149-1:  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} =$

$= 18.408 \pm 1$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.535 \pm 1$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.407 \pm 2$ .

Проблема определения возраста вулканокластических отложений и использование их в качестве стратиграфического репера осложняются существованием двух временных циклов эксплозивного вулканизма с близким риолитоидным составом продуктов извержений. Прослойки кислой пирокластики фиксируются в разрезах отложений, отнесенных на основании фито-стратиграфических данных соответственно к нижнему (“тефроидная толща”) и верхнему (усть-суйфунская свита) миоцену [1].

U–Pb-датирование по цирконам тейроидов усть-суйфунской свиты в ее стратотипической

**Таблица 1.** Представительные анализы (оксиды – мас. %, элементы – ppm) позднекайнозойских тефроидов усть-суйфунской свиты

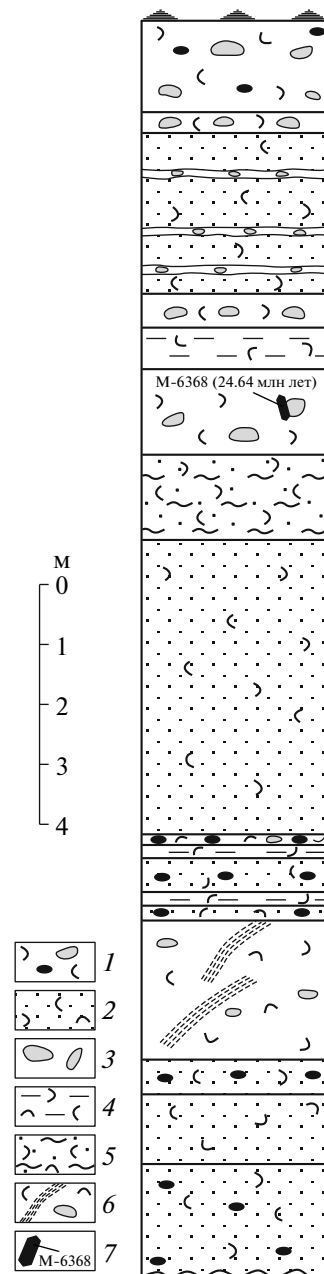
Компонент	М-6134	М-6149-1	М-6136	М-6164	М-6368	М-5894-1	М-5897-1	М-5652	М-5980	М-5393
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO <sub>2</sub>	65.90	66.64	66.88	71.08	73.31	63.40	65.87	66.46	65.60	66.45
TiO <sub>2</sub>	0.24	0.28	0.24	0.13	0.14	0.52	0.14	0.45	0.31	0.93
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.22	13.90	14.07	13.54	12.82	17.40	14.2	14.66	16.57	20.41
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.46	1.41	1.58	0.71	0.74	0.58	1.29	0.40	1.40	1.57
FeO	0.40	2.84	1.75	0.71	0.56	3.29	0.60	3.00	0.54	0.94
MnO	0.05	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.03	0.20	0.04	0.01
MgO	0.59	0.25	0.25	0.09	0.09	0.74	0.29	0.58	0.60	0.80
CaO	1.54	1.86	2.00	0.73	1.02	1.08	0.81	1.07	1.92	0.45
Na <sub>2</sub> O	1.54	1.23	1.47	1.61	1.89	1.12	1.51	3.08	2.29	1.28
K <sub>2</sub> O	3.40	3.86	3.45	5.71	5.20	2.53	4.50	1.43	3.60	3.53
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	0.07	–	0.012	0.02	0.02	0.01	0.05	0.01	0.04
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	3.98	1.29	1.17	0.88	0.80	3.82	3.62	0.03	1.99	0.62
П.п.п.	5.80	6.57	7.39	4.82	3.35	5.43	5.85	7.79	4.89	2.94
Сумма	100.21	100.25	100.29	99.91	99.96	100.01	99.69	99.97	99.90	99.97
Sc	5.62	9.19	–	–	3.87	9.48	1.97	–	2.99	11.14
Ni	7.03	8.89	5.0	5.0	2.42	4.33	3.26	6.72	6.40	43.19
Co	1.87	6.44	1.82	1.67	0.69	1.44	0.88	3.21	2.09	7.23
Cr	1.34	7.30	13.90	4.20	3.29	6.90	2.36	12.88	2.88	62.97
V	19.85	22.41	22.90	2.86	5.33	11.90	5.96	57.40	11.90	80.34
Rb	115	100.69	83.17	137.05	143.71	168.87	142.65	97.42	154	220.50
Cs	5.65	3.66	4.12	7.74	4.04	8.01	6.24	5.77	2.83	18.31
Sr	168	192.89	185.9	22.31	87.07	27	39.60	99.44	201	119.65
Ba	528	839	555	304	1180	132	137	635	841	777
Y	28.34	34.13	34.0	35.76	32.91	41.21	69.82	31.75	29	20.81
Zr	117	287	309	136	106	169	277	218	73	134
Nb	13.8	15.4	13.1	14.6	16.5	19.69	29.43	9.49	13	19.62
Ta	0.93	0.93	1.13	1.49	1.03	1.32	1.83	0.70	0.79	1.84
Hf	3.47	6.99	7.01	4.09	3.55	5.32	8.52	4.99	2.30	3.91
La	31.27	37.76	37.94	50.67	42.59	43.88	53.69	32.06	59.74	30.95
Ce	62.07	75.94	74.98	102.20	81.49	91.96	107.69	64.18	102.69	67.82
Pr	7.41	8.73	9.82	12.95	9.04	10.23	13.23	6.96	10.85	6.19
Nd	27.28	32.57	36.58	46.08	32.16	37.48	49.53	27.86	36.73	21.00
Sm	5.68	6.63	5.86	7.43	6.29	7.83	11.17	5.39	6.75	4.02
Eu	0.92	1.19	1.33	0.37	0.84	0.31	0.40	1.09	1.25	0.38
Gd	6.70	7.75	6.56	7.89	7.62	9.65	20.26	4.95	9.55	3.37
Tb	0.78	0.91	0.90	1.06	0.83	1.04	1.66	0.74	0.86	0.28
Dy	4.83	5.53	6.00	6.39	5.17	6.30	10.34	4.65	4.98	3.45
Ho	0.96	1.15	1.27	1.55	1.08	1.28	2.13	0.98	0.97	0.68
Er	2.72	3.28	2.87	3.02	3.12	3.61	6.17	2.63	2.68	1.98
Tm	0.42	0.51	0.41	0.41	0.50	0.56	0.94	0.45	0.41	0.31
Yb	2.73	3.39	3.72	3.85	3.24	3.72	6.28	2.49	2.68	2.17
Lu	0.38	0.48	0.44	0.38	0.46	0.51	0.87	0.42	0.37	0.32
Pb	27.75	23.35	22.9	22.1	19.95	–	5.90	20.68	29.35	26.86
Th	11.80	10.98	12.74	18.72	13.86	16.61	20.26	10.54	14.58	13.52
U	2.59	1.95	2.65	4.05	2.25	3.75	3.61	2.42	1.79	4.77

Примечания. 1 – пеплы (карьер Кипарисово); 2, 3 – пемзы (сопка Клёпочная); 4 – пемза (галечный карьер, с. Нежино); 5 – тефра (железнодорожная выемка в районе с. Нежино); 6 – пепловый туф (р. Мал. Ананьевка); 7 – пепловый туф (сопка Голая); 8 – пепловый туф (р. Кроуновка); 9 – тефра (новокачалинский ареал у оз. Ханка); 10 – инъективные туффзиты риодацитов (вулкан Борисовский). Петрогенные оксиды определены классическим химическим методом в аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН; микроэлементы – в СибГЕОХИ (г. Иркутск) на JCP-MS (аналитик Г.П. Сандимирова). Прочерк – отсутствие данных.

местности (нижнее течение р. Раздольная) осуществляли на ионном микрозонде SHRIMP-II в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ по стандартной методике [6]. Исследовали цирконы (обр. М-6368), выделенные из пемзовых бомб, которыми насыщены тефроидные горизонты усть-суйфунской свиты (рис. 2), из коренных выходов в 3 км северо-восточнее с. Нежино (координаты 43°28'21"N, 131°48'14"E). Цирконы представлены длиннопризматическими желтовато-розовыми кристаллами и их обломками с характерными скульптурными отпечатками вростков аксессуарных фаз (рис. 3а). Длина кристаллов 0.25–0.75 мм, коэффициент удлинения от 3 до 7.5. Важно подчеркнуть выдержанность морфологических особенностей кристаллов цирконов для всех ареалов развития усть-суйфунских тефроидов.

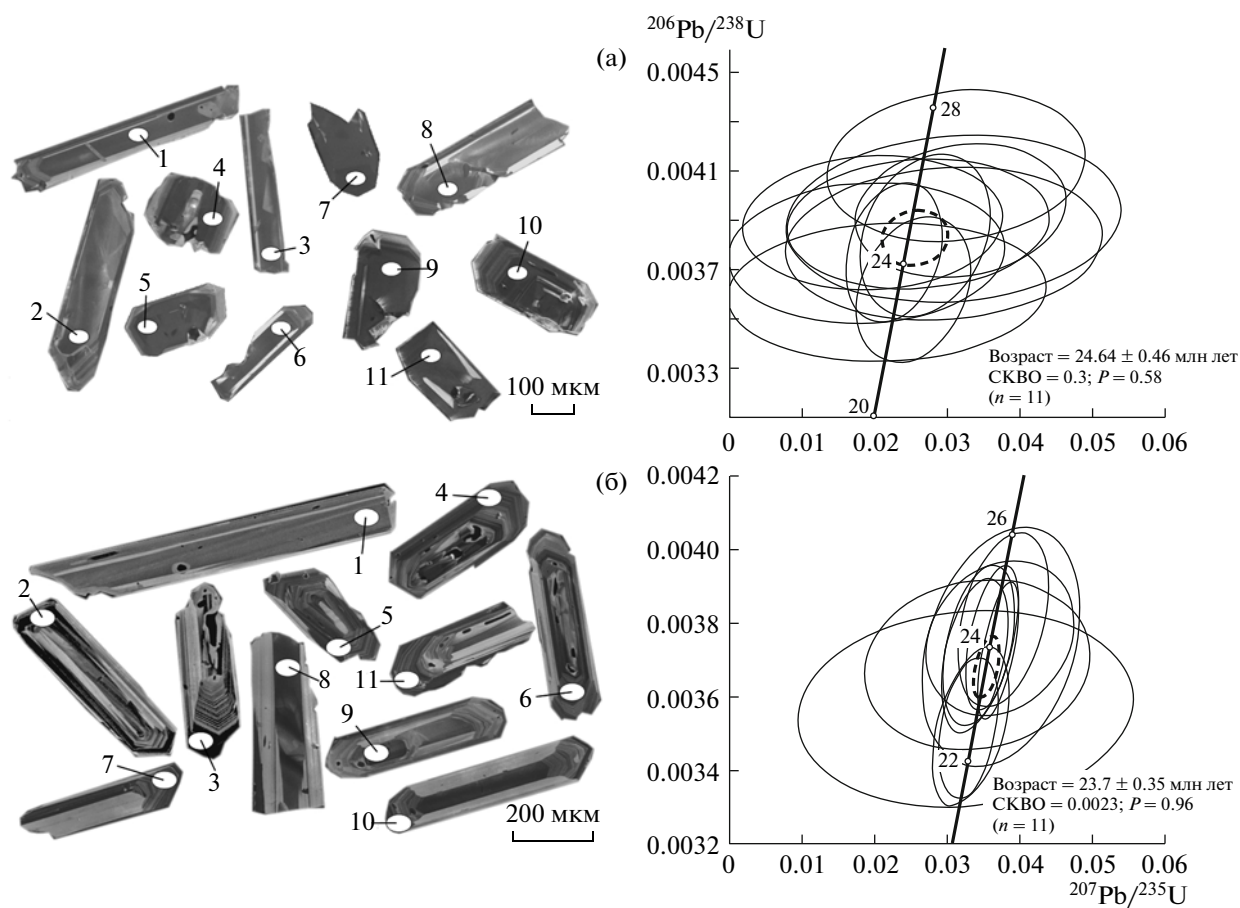
В катодолюминесцентном излучении зерна проявляют тонкую осцилляторную магматическую зональность (рис. 3а). Выполнено 11 определений, показавших близкие значения и конкордантность U–Pb-дат (табл. 2, рис. 3а). Средневзвешенный изотопный возраст составил  $24.64 \pm \pm 0.46$  млн лет, СКВО = 0.30,  $P = 0.58$ , Th/U = 0.60–0.93. Дополнительно проведено U–Pb-датирование SHRIMP-II-методом цирконов (обр. М-6466) из пепловых отложений еще одного типового ареала усть-суйфунских тефроидов (галёнковского) в 70 км севернее места отбора пробы цирконов М-6368, координаты: 44°04'19" N, 131°45'11"E (рис. 1). Разрез усть-суйфунской свиты в карьерной выработке представлен пирокластической пачкой, состоящей из чередующихся горизонтов риолитовых пеплов с примесью терригенной, существенно кремнистой составляющей и пепловых горизонтов, обогащенных пемзовыми бомбами. Верхняя часть разреза сложена насыщенными тефрой галечниками. В целом его строение аналогично строению усть-суйфунских отложений раздольненского ареала. Морфотип цирконов, выделенных из пепловой витрокластики (обр. М-6466), также аналогичен цирконам обр. М-6368 (рис. 3б).

U–Pb-датирование, выполненное по 11 зернам цирконов, показало конкордантный изотопный возраст  $23.70 \pm 0.35$  млн лет при СКВО = 0.0023,  $P = 0.96$  (рис. 3г) и Th/U = 0.50–1.05. Это значение близко U–Pb-датировкам цирконов из усть-суйфунских тефроидов бассейна нижнего течения р. Раздольная. Однако, исходя из определенной минералогической специфики галёнковских пеплов, нельзя исключить вероятность поступления вулканического вещества из автономного центра извержений.



**Рис. 2.** Литологическая колонка отложений усть-суйфунской свиты (раздольненский ареал) и место отбора образца на U–Pb-изотопное датирование цирконов. 1 – галечники с пемзово-пепловым цементом, 2 – пепловые туфы, 3 – прослой пемзовых бомб, 4 – алевро-пелитовые туфы, 5 – пелитовые туфы, обогащенные растительным детритом, 6 – пепловые туфы с косослоистыми прослоями пемзовых лапиллей, 7 – точка отбора образца на U–Pb-датирование.

Параллельно с U–Pb-изотопным датированием цирконов проведены K–Ar-определения возраста усть-суйфунских тефроидов. Датированы кайнотипные вулканические стекла, пемзы, туфы и биотиты из пеплов (табл. 3). Полученные даты отражают компактный пограничный (позднеоли-



**Рис. 3.** Катодолуминесцентные изображения цирконов (слева) и их диаграммы с конкордией (справа): а — обр. М-6368, б — обр. М-6466; белые овалы — области анализа, цифры соответствуют номерам определений в табл. 2. Размер эллипсов соответствует величине  $2\sigma$ .

гоценовый) временной интервал образования вулканокластических компонентов отложений, что согласуется с результатами U–Pb-изотопного датирования по цирконам (табл. 2), но расходится с возрастной оценкой формирования отложений по данным фитостратиграфии (поздний миоцен) [3]. Отложения усть-суйфунской свиты перекрываются шуфанскими платобазальтами, также маркирующими верхнюю возрастную границу этих отложений не моложе 15 млн лет [8].

Результаты проведенных геохронологических исследований уверенно определяют позднеолигоценый возраст заключительной (усть-суйфунской) фазы позднекайнозойского эксплозивного риолитового вулканизма, продукты которого широко распространены в составе отложений, выполняющих кайнозойские впадины Юго-Западного Приморья, включая крупные угленосные разрезы. Время проявления этой заключительной пароксизмальной фазы кислого вулканизма совпадает с акселерацией процессов спрединга и тафрогенеза в соседней Япономорской котловине

[9], начавшихся еще в эоцене и отражающих региональный характер растяжения восточной окраины Евразийского континента [10]. Начальная стадия этого грандиозного деструктивного процесса в континентальном обрамлении отразилась развитием рифто-грабеновых впадин и проявлением исключительно эксплозивного (газового) риолитоидного вулканизма. Подобные катастрофические эксплозивные процессы могли оказывать существенное влияние на климатические условия — определяющий фактор фитостратиграфических корреляций для позднего кайнозоя [2]. К таким климатообразующим процессам [11] относятся и фазы интенсивных пирокластических извержений на рубеже мела и палеогена в пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса Дальнего Востока [12]. Тепловые аномалии, рост фитопродуктивности в периоды пауз чередовались с массовым тафоценозом в результате пирокластических эксплозий и следовавших за ними температурных минимумов, что в целом способствовало углегенезу.

**Таблица 2.** Результаты U–Pb-датирования (SHRIMP-II) цирконов из тефроидных отложений усть-суйфунской свиты Юго-Западного Приморья

Точки анализа	<sup>206</sup> Pb	U	Th	<sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb, ±1σ %	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb, ±1σ %	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U-возраст, млн лет
	г/г						
Обр. М-6368							
1	0.525	159	137	0.89	260.4 ± 3.5	0.0508 ± 13.0	24.7 ± 0.86
2	0.629	202	174	0.89	276.2 ± 3.3	0.0505 ± 12.0	23.3 ± 0.77
3	0.757	234	201	0.89	265.2 ± 3.1	0.0435 ± 12.0	24.26 ± 0.74
4	1.95	574	336	0.60	253.5 ± 2.6	0.0835 ± 5.0	24.5 ± 0.81
5	2.76	856	731	0.88	266.8 ± 2.3	0.0727 ± 5.0	23.23 ± 0.74
6	1.3	358	266	0.77	236.5 ± 2.6	0.0743 ± 7.0	26.52 ± 0.8
7	3.13	910	786	0.89	249.9 ± 2.2	0.0708 ± 4.4	25.01 ± 0.69
8	0.814	234	210	0.93	247.1 ± 2.9	0.0839 ± 7.8	25.14 ± 0.89
9	1.38	400	295	0.76	248.5 ± 2.5	0.0747 ± 6.4	25.35 ± 0.71
10	2.05	595	377	0.65	249.9 ± 2.3	0.0588 ± 5.8	25.04 ± 0.71
11	1.46	437	312	0.74	257.9 ± 2.5	0.0587 ± 7.1	24.25 ± 0.75
Обр. М-6466							
1	0.393	122	114	0.96	267.7 ± 3.6	0.0484 ± 11	24.04 ± 0.85
2	4.34	1344	718	0.55	265.9 ± 2.1	0.0464 ± 3.5	24.20 ± 0.52
3	8.8	2747	1973	0.74	268.3 ± 2.0	0.0480 ± 2.4	23.98 ± 0.49
4	1.2	385	142	0.38	276.0 ± 2.6	0.0562 ± 6.7	22.96 ± 0.7
5	1.96	610	361	0.61	267.4 ± 2.4	0.0444 ± 5.4	24.06 ± 0.57
6	2.03	636	412	0.67	269.3 ± 2.3	0.0440 ± 5.0	23.89 ± 0.55
7	1.63	505	243	0.50	266.5 ± 2.4	0.0579 ± 4.8	23.74 ± 0.61
8	1.571	519	328	0.65	283.2 ± 2.4	0.0461 ± 5.4	22.72 ± 0.54
9	1.21	370	376	1.05	262.5 ± 2.5	0.0478 ± 6.3	24.51 ± 0.62
10	2.79	855	448	0.54	263.2 ± 2.2	0.0561 ± 3.8	24.19 ± 0.55
11	1.75	583	289	0.51	285.3 ± 2.3	0.0448 ± 5.2	22.55 ± 0.53

**Таблица 3.** K–Ar-определения абсолютного возраста усть-суйфунских тефроидов

Номер пробы, координаты	Анализируемый материал	Калий (%) ± σ	<sup>40</sup> Ar <sub>рад</sub> (нг/г) ± σ	Возраст (млн лет) ± 2σ
М-6136 43°33'30" N, 131°51'53" E	Пемза (гора Клёпочная)	3.05 ± 0.04	5.77 ± 0.02	27.1 ± 0.7
М-6360 43°27'44" N, 131°47'42" E	Вулканическое стекло (с. Нежино)	4.47 ± 0.05	8.19 ± 0.03	26.2 ± 0.6
М-5897-1 43°28'39" N, 131°44'59" E	Туф (гора Голая)	3.21 ± 0.04	5.30 ± 0.02	23.6 ± 0.6
М-6066* 43°28'01" N, 131°46'26" E	Биотит из пеплов (гора Голая)	6.04 ± 0.10	11.53 ± 0.04	27.5 ± 1.0
М-6351 43°27'59" N, 131°47'01" E	Биотит из пеплов (гора Голая)	6.67 ± 0.07	11.67 ± 0.04	25.1 ± 0.6

Примечание. \* – затронут слабыми изменениями. Определения абсолютного возраста пород проводили согласно методике [7] (лаборатория изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН, аналитик В.А. Лебедев).

Работа выполнена при поддержке гранта Президиума РАН (проект 10–01–П16–02).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлюткин Б.И., Ганзей С.С., Пушкарь В.С. и др. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1993. Т. 1. № 6. С. 40–47.
2. Баскакова Л.А. // Тихоокеан. геология. 1986. № 3. С. 14–21.
3. Акинин В.В., Ханчук А.И. // ДАН. 2005. Т. 404. № 5. С. 654–658.
4. Сахно В.Г., Акинин В.В. // ДАН. 2008. Т. 418. № 2. С. 226–231.
5. Павлюткин Б.И., Петренко Т.И. Стратиграфия палеоген-неогеновых отложений Приморья. Владивосток: Дальнаука, 2010. 125 с.
6. Larionov F.N., Andreichev V.A., Gee D.G. // Mem. Geol. Soc. London. 2004. V. 30. P. 69–74.
7. Чернышов И.В., Лебедев В.А., Аракелянц М.Н. // Петрология. 2006. Т. 13. № 1. С. 69–89.
8. Максимов С.О., Сахно В.Г. // ДАН. 2008. Т. 422. № 3. С. 359–364.
9. Ingle J.C.Jr. // Proc. ODP. Sci. Results. 1992. V. 127/128. № 2. P. 1197–1218.
10. Федоров П.И. Кайнозойский вулканизм в зонах растяжения на восточной окраине Азии. М.: Геос, 316 с.
11. Мелекесцев И.В. Вулканизм и рельефообразование. М.: Наука, 211 с.
12. Лебедев Е.Л. Стратиграфия и возраст Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Тр. ГИН. 1987. В. 421. 175 с.