

УДК 551.24

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТАХ ФУНДАМЕНТА ЦЕНТРАЛЬНОЙ КАМЧАТСКОЙ ДЕПРЕССИИ И ОСНОВАНИЯ КЛЮЧЕВСКОЙ ГРУППЫ ВУЛКАНОВ

© 2024 г. Е. А. Зеленин^{1,*}, Н. В. Горбач², С. А. Соколов¹, В. А. Лебедев³

Представлено академиком РАН К.Е. Дегтяревым 13.05.2024 г.

Поступило 13.05.2024 г.

После доработки 23.05.2024 г.

Принято к публикации 29.05.2024 г.

Уникальной особенностью полуострова Камчатка является структура растяжения, протягивающаяся на 400 км вдоль оси полуострова — Центральная Камчатская депрессия (ЦКД). Известны геодинамические модели, связывающие образование ЦКД с выдвиганием Восточной Камчатки в сторону Тихого океана вследствие отступления северного края зоны субдукции. Однако, вплоть до настоящего времени отсутствовали изотопно-геохронологические данные о времени заложения ЦКД, что не позволяло напрямую связать обособление ЦКД с этапами тектонической эволюции Камчатки и интенсивностью новейших деформаций. В статье представлены результаты изучения химического состава и К–Аг-датирования эффузивов, вскрытых глубинной скважиной Кл-1 в северной части ЦКД. В скважине на глубинах 50–475 м выявлены умеренно-калиевые базальты и высоко-калиевые трахиандеизобазальты, для которых получены К–Аг-оценки возраста в интервале 0.7–1.5 млн лет. Эти породы по составу близки к эффузивам, залегающим в основании Ключевской группы вулканов, для которых ранее были известны только существенно более молодые (до 0.3 млн лет) оценки возраста. Ниже в интервале 475–505 м вскрыта пачка песков и валунных конгломератов, несогласно перекрывающая толщу афировых и оливин-пироксен порфировых андеизобазальтов с прослоями шлаков и вулканических песков того же состава, которая прослеживается до глубины 905 м. Ниже до глубины 1513 м в скважине представлены сильно изменённые туфы основного и среднего состава, чередующиеся с андезитами и андеизобазальтами. Для наименее изменённого образца умеренно-калиевого андеизобазальта, вскрытого на глубине 1255 м, получена К–Аг-оценка возраста 3.5 ± 0.4 млн лет. Предполагается, что изменённые эффузивы, вскрытых скважиной на глубинах более 905 м, связаны с завершением аккреции Кроноцкой островной дуги и с формированием современной структуры полуострова Камчатка. Заложение ЦКД происходило после этого события в интервале 1.5–3.5 млн лет.

Ключевые слова: Камчатка, К–Аг-датирование, вулканизм, субдукция

DOI: 10.31857/S2686739724100017

ВВЕДЕНИЕ

Полуостров Камчатка расположен над северным краем Курило-Камчатской зоны субдукции. Уникальной особенностью полуострова

является структура растяжения, протягивающаяся на 400 км вдоль оси полуострова — Центральная Камчатская депрессия (ЦКД). Восточной границей ЦКД является Восточно-Камчатская зона разломов — непрерывная система активных сбросов [1], тогда как с запада границу ЦКД условно проводят в предгорьях Срединного хребта по границе распространения четвертичного заполнения депрессии (рис. 1). Таким образом, в структурном отношении ЦКД является полуграбеном (односторонним грабеном) с активным восточным бортом.

¹Геологический институт Российской Академии наук, Москва, Россия

²Институт вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Петропавловск-Камчатский, Россия

³Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской Академии наук, Москва, Россия

*E-mail: egorzelenin@mail.ru

Современный структурный облик полуострова Камчатка приобрёл в неогене в результате приращения с востока комплексов Кроноцкой дуги, ныне слагающих Восточные полуострова [2–4]. Приращение полуостровов завершилось к плиоцену, а наиболее молодой эпизод эксгумации террейна Восточных полуостровов датирован 3.3–5.1 млн лет [5]. На наиболее северном из Восточных полуостровов Камчатки, Камчатском полуострове, коллизионные деформации продолжаются вплоть до настоящего времени [6]. Современная конфигурация вулканических поясов полуострова также оформилась к плиоцену [3].

Формирование ЦКД связывают с выдвиганием Восточной Камчатки в сторону Тихого океана вследствие отступления северного края зоны субдукции [7], а обстановка растяжения, приведшая к формированию ЦКД, не могла сложиться до окончания аккреции Восточных полуостровов. Однако, вплоть до настоящего времени отсутствовали изотопно-геохронологические данные о времени заложения ЦКД, что не позволяло напрямую связать обособление ЦКД с этапами тектонической эволюции Камчатки и интенсивностью новейших деформаций. Исследования современных деформаций ЦКД были сосредоточены на активных разломах её восточного борта [1, 7]. Кроме того, неизвестной остаётся мощность рыхлого заполнения ЦКД. В настоящей работе представлены результаты изотопно-геохронологических исследований вулканитов из глубинной скважины Кл-1, позволяющие обосновать возраст заложения ЦКД и дополнить знания о глубине и составе ее фундамента.

ОБРАЗЦЫ И МЕТОДЫ

Скважина Кл-1 глубиной 1513 м была пробурена в 2005–2007 гг. в северной части ЦКД у пос. Ключи в рамках поисковых работ на теплоэнергетические подземные воды. Фрагменты керна и первичные описания колонки были получены авторами статьи в хранилище Камчатского филиала Территориального фонда геологической информации Дальневосточного Федерального округа (Инв. № 7417).

Химический состав четырёх образцов, выбранных для датирования, был определён рентгено-флюоресцентным методом в Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск) на спектрометре S4 Pioneer (“Bruker AXS”) по методике [8]. К–Аг-датирование образцов по основной массе породы было выполнено в Институте геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии

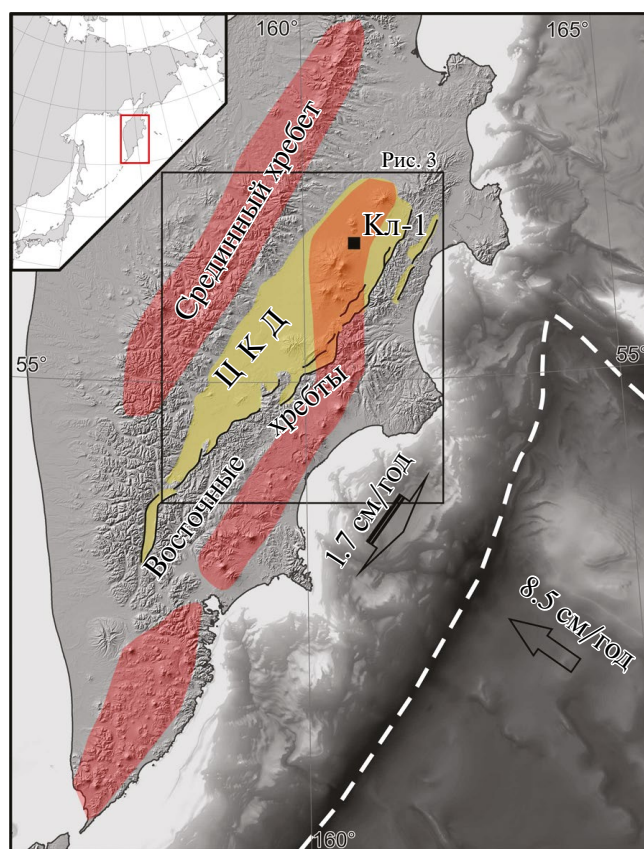


Рис. 1. Положение Центральной Камчатской депрессии (ЦКД) на карте полуострова Камчатка. Жёлтой заливкой показано распространение четвертичных отложений внутри ЦКД и иных крупных грабенов [1], красной заливкой — положение вулканических поясов. Чёрными линиями показаны крупнейшие зоны сбросов. Квадратом показано положение скважины Кл-1.

и геохимии (ИГЕМ) РАН, Определение содержания радиогенного аргона проводилось на масс-спектрометре МИ-1201 ИГ методом изотопного разбавления с применением в качестве трассера моноизотопа ^{38}Ar ; определение калия — методом пламенной спектрофотометрии. При расчёте возраста использованы константы: $\lambda_K = 0.581 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1}$, $\lambda_\beta = 4.962 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1}$, $^{40}\text{K} = 0.01167 \text{ (ат. \%)}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В разрезе скважины (рис. 2) выделено девять слоев. Слои I и II (50–475 м) представлены базальтами и андезибазальтами, которые чередуются с рыхлыми пирокластическими отложениями. Базальты и андезибазальты оливин-клинопироксеновые и мегаплагиофировые, мощность отдельных потоков изменяется от 7 до 26 м. Пирокластические прослои представлены шлаками

Таблица 1. Вещественный состав (мас. %) образцов из скважины Кл-1

	Кл-99	Кл-284	Кл-400	Кл-1255
Интервал глубин, м	98–99.6	248–289	400–405	1255.5–1257.6
SiO ₂	53.40	51.01	53.52	53.81
TiO ₂	1.34	0.95	1.27	0.82
Al ₂ O ₃	18.81	19.81	17.96	16.41
Fe ₂ O ₃	9.60	9.20	9.45	9.28
MnO	0.15	0.15	0.15	0.16
MgO	3.76	4.82	4.06	6.77
CaO	8.49	9.90	8.50	8.74
Na ₂ O	3.33	2.99	3.29	2.98
K ₂ O	1.58	1.11	1.92	0.96
P ₂ O ₅	0.36	0.25	0.42	0.19
ППП (%)	–0.27	–0.15	–0.08	0.12
Сумма	100.54	100.03	100.45	100.26

серо-коричневого цвета с песчано-пепловым заполнителем. По химическому составу проанализированные образцы лав с глубин 99, 284 и 400 м (табл. 1) соответствуют умеренно-калиевым базальтам и высоко-калиевым трахиандезитобазальтам, то есть сходны с породами, залегающими в основании Ключевской группы вулканов и в районе Хапиченского плато [9, 10]. Слой III (475–505 м) сложен пачкой песков и валунных конгломератов, которые с несогласием перекрывают подстилающие породы.

Слои IV–VI (505–905 м) представлены афировыми и оливин-пироксен порфировыми андезитобазальтами, чередующимися со шлаками того же состава и рыхлыми вулканическими песками, возможно, маркирующими эрозионные границы.

Между слоями VI и VII (рис. 2) на глубине 905 м в разрезе отмечается резкая литологическая граница. Выше 905 м лавы сохраняют

свежий облик, а прослои тефры и терригенных отложений не литифицированы. Ниже 905 м (слои VII–IX) до забоя скважиной вскрыты туфы основного и среднего состава, которые чередуются с андезитами и андезитобазальтами. Породы сильно трещиноваты и аргиллитизированы. В отдельных интервалах первичные минералы почти полностью замещены глинистым веществом. В интервале 905–1513 м для датирования был выбран в наименьшей степени измененный образец умеренно-калиевого андезитобазальта (таблица 1), залегающей на глубине 1255 м (слой VIII).

Было выполнено К–Аг-датирование четырёх образцов. Образцы из слоя II имеют возрасты 0.72 ± 0.05 , 1.54 ± 0.15 и 1.46 ± 0.08 млн лет, а для пород из слоя VIII получена оценка возраста 3.5 ± 0.4 млн лет (рис. 2, табл. 2).

На основании полученных данных можно предполагать, что плиоценовый возраст имеют

Таблица 2. Возрастные определения образцов из скважины Кл-1

№ авт.	Материал	Калий, % ± □	⁴⁰ Аг _{рад} (нг/г) ± □	⁴⁰ Аг _{атм} , %	Возраст, млн лет ± 2□
Кл-99	основная масса	1.31±0.02	0.065±0.002	92.6	0.72±0.05
Кл-284	то же	0.609±0.010	0.065±0.003	94.6	1.54±0.15
Кл-400	>>	1.61±0.02	0.163±0.004	91.1	1.46±0.08
Кл-1255	>>	0.701±0.010	0.169±0.011	96.4	3.5±0.4

слои VII–IX, породы которых по составу и степени изменения аналогичны датированным андезибазальтам слоя VIII. Внутри ЦКД возрастные аналоги этих пород описаны в составе алевролитовой толщи, венчающей разрез фундамента ЦКД в параметрических скважинах Долиновская-1, -2 и Безводная-1, и отнесённой

к среднему миоцену–раннему плиоцену на основании микропалеонтологических данных [11]. В отличие от этих скважин, в скважине Кл-1 описаны эффузивы, что указывает на её положение в пределах вулканического пояса плиоценового возраста. Кровля плиоценовой толщи в скважине Кл-1 имеет глубину 905 м (соответствует абсолютной высоте 875 м ниже уровня моря), что существенно ниже кровли плиоцена в ранее изученных скважинах (рис. 3).

Полученные для пород слоя II оценки возраста около 0.7 и 1.5 млн лет (рис. 2), очевидно относятся как минимум к двум эпизодам вулканической активности. Столь древние вулканы ранее не были известны в Ключевской группе вулканов [12, 13], но эти новые даты удивительно близки к двум известным группам дат для древнейших эффузивов ЦКД около 0.7 и 1.3 млн лет [14, 15] (рис. 3). Однако, столь разрозненных данных недостаточно для выводов о региональных эпизодах активизации вулканизма. Проверка данной гипотезы требует дальнейшего накопления датировок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Авторами были изучены образцы вулканических горных пород, пройденных глубинной скважиной Кл-1 вблизи пос. Ключи. Эффузивы, вскрытые в интервале глубин 50–475 м имеют возраст 0.72 ± 0.05 , 1.54 ± 0.15 и 1.46 ± 0.08 млн лет и по составу отвечают умеренно-калиевым базальтам и высоко-калиевым трахиандезибазальтам, то есть сходны с породами, обнажающимися в основании Ключевской группы. Однако они существенно древнее всех ранее датированных эффузивов основания Ключевской группы (до 0.3 млн лет). Ниже глубины 905 м и до забоя скважиной вскрыты трещиноватые и аргилитизированные туфы основного и среднего состава, чередующиеся с андезитами и андезибазальтами. Для наименее изменённого образца умеренно-калиевого андезибазальта, вскрытого на глубине 1255 м, получена К–Аг-оценка возраста 3.5 ± 0.4 млн лет, соответствующая отвечающая времени завершения аккреции комплексов Кроноцкой дуги к Камчатке. Таким образом, время заложения ЦКД можно ограничить интервалом 1.5–3.5 млн лет.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено за счёт средств Российского научного фонда, проект № 21-77-10102.

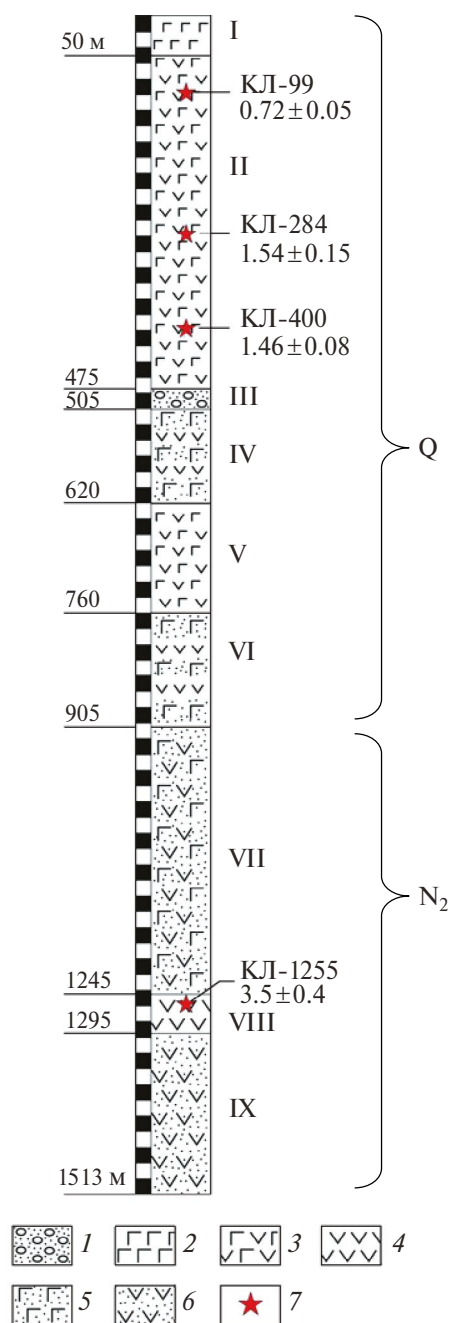


Рис. 2. Литологическая колонка скважины Кл-1. 1 — песчано-валунная толща, 2–4 — лавы (2 — базальты, 3 — андезибазальты, 4 — андезиты), 5–6 — туфы (5 — основного, 6 — среднего состава), 7 — точки отбора образцов на К–Аг-датирование (подписаны индексы образцов и возраст в млн лет).

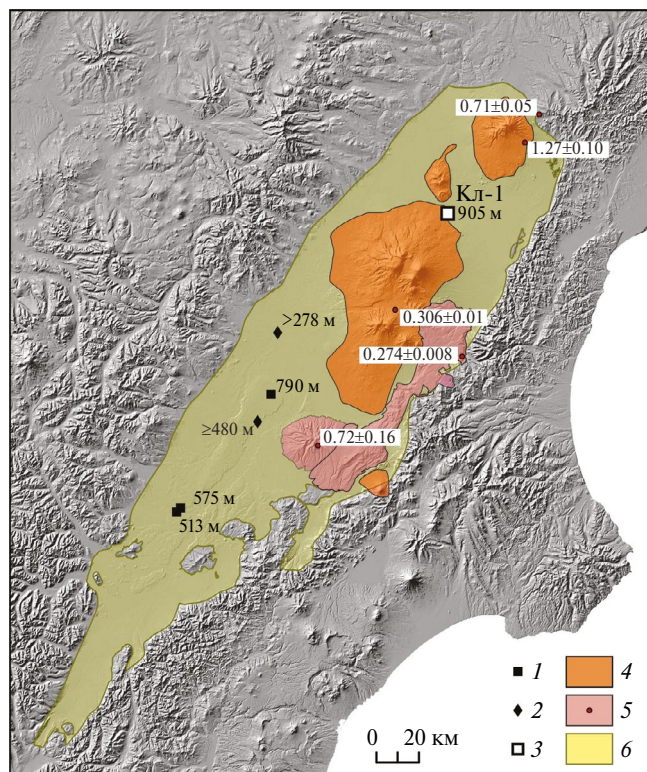


Рис. 3. Оценки мощности осадочного заполнения ЦКД (1 – по [11]), 2 – по [16], 3 – скважина Кл-1) и возраста вулканитов, выходящих на дневную поверхность (4 – верхний плейстоцен – голоцен [17], 5 – средний плейстоцен и древнее, включая точки определения абсолютного возраста в млн лет [12–15]; 6 – распространение четвертичных отложений внутри ЦКД).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kozhurin A., Acocella V., Kyle P. R., Lagmay F. M., Melekestsev I. V., Ponomareva V., Rust D., Tibaldi A., Tunesi A., Corazzato C., Rovida A., Sakharov A., Tengonciang A., Uy H. Trenching studies of active faults in Kamchatka, eastern Russia: palaeoseismic, tectonic and hazard implications // *Tectonophysics*. 2006. V. 417 № 3. P. 285–304.
2. Константиновская Е. А. Геодинамика коллизии островная дуга – континент на западной окраине Тихого океана // *Геотектоника*. 1999. № 5. С. 15–34.
3. Авдейко Г. П., Палуева А. А., Хлебородова О. А. Геодинамические условия вулканизма и магмообразования Курило-Камчатской островодужной системы // *Петрология*. 2006. Т. 14. № 3. С. 249–267.
4. Lander A. V., Shapiro M. N. The origin of the modern Kamchatka subduction zone // *Volcanism and Subduction: The Kamchatka Region*. 2007. P. 57–64.
5. Цуканов Н. В., Дозорова К. А. Возраст и время аккумуляции осадочных комплексов Восточной Камчатки по данным трекового датирования апатита // *Вестник Камчатской региональной ассоциации “Учебно-научный центр”*. Серия: Науки о Земле. 2022. Вып. 53. № 1. С. 76–88.
6. Кожурин А. И., Пинегина Т. К., Пономарева В. В., Зеленин Е. А., Михайлюкова П. Г. Скорость коллизионных деформаций Камчатского полуострова (Камчатка) // *Геотектоника*. 2014. № 2. С. 42–60.
7. Kozhurin A. I., Zelenin E. A. An extending island arc: the case of Kamchatka // *Tectonophysics*. 2017. V. 706–707. P. 91–102.
8. Amosova A. A., Panteeva S. V., Chubarov V. M., Finkelstein A. L. Determination of major elements by wavelength-dispersive X-ray fluorescence spectrometry and trace elements by inductively coupled plasma mass spectrometry in igneous rocks from the same fused sample (110 mg) // *Spectrochimica Acta. Part B: Atomic Spectroscopy*. 2016. 122. 62–68.
9. Ермаков В. А. Формационное расчленение четвертичных вулканических пород. М.: Недра, 1977. 225 с.
10. Флеров Г. Б., Чурикова Т. Г., Ананьев В. В. Вулканический массив Плоских Сопок: геология, петрохимия, минералогия и петрогенезис пород (Ключевская группа вулканов, Камчатка) // *Вулканология и сейсмология*. 2017. № 4. С. 30–47.
11. Хасанов Ш. Г., Литвинов А. Ф., Марковский Б. А. и др. Объяснительная записка. – Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Издание второе. Серия Хангарская. Лист N-57-IX (Мильково). Объяснительная записка. М.: МФ ВСЕГЕИ, 2015. 143 с.
12. Churikova T. G., Gordeychik B. N., Iwamori H., Nakamura H., Ishizuka O., Nishizawa T., Haraguchi S., Miyazaki T., Vaglarov B. S. Petrological and geochemical evolution of the Tolbachik volcanic massif, Kamchatka, Russia // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2015. V. 307. P. 156–181.
13. Calkins J. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of Khapitsa plateau and Studyonaya river basalts and basaltic andesites in Central Kamchatka Depression, Kamchatka, Russia / Linkages among tectonics, seismicity, magma genesis, and eruption in volcanic arcs. IV International Biennial Workshop on Subduction Processes emphasizing the Japan-Kurile-Kamchatka-Aleutian Arcs. Petropavlovsk-Kamchatsky. August 21–27, 2004. Petropavlovsk-Kamchatsky: Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, 2004. 333 p.
14. Ермаков В. А., Баженова Г. Н. Первые результаты геохронологических U-Pb-исследований пород вулкана Николка в Центральной Камчатской депрессии // *ДАН*. 2018. Т. 480. № 2. С. 184–188.

15. Толстых М. Л., Бабанский А. Д., Смирнова М. Д., Певзнер М. М., Лебедев В. А., Ларионова Ю. О., Кущева Ю. В., Парфенов А. В. Вулканизм начальной фазы заложения северного сегмента субдукции тихоокеанской плиты (полуостров Камчатка, хребет Кумроч) // Вулканология и сейсмология. 2023. № 2. С. 52–68.
16. Озорнина С. П. Диатомовые водоросли (*Bacillariophyta*) древнеозерных отложений Центральной Камчатской депрессии // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2011. Вып. 17. С. 84–100.
17. Ponomareva V. V., Churikova T., Melekestsev I. V. et al. Late Pleistocene-Holocene Volcanism on the Kamchatka Peninsula, Northwest Pacific Region. Volcanism and Subduction: the Kamchatka Region // American Geophysical Union Geophysical Monograph. Series. 2007. 172. P. 165–198.

NEW DATA ON THE AGES OF THE BASEMENT OF THE CENTRAL KAMCHATKA DEPRESSION AND THE PEDESTAL OF THE KVECHOVO GROUP OF VOLCANOES

E. A. Zelenin^{a, #}, N. V. Gorbach^b, S. A. Sokolov^a, V. A. Lebedev^c

Presented by Academician K. E. Degtyarev May 13, 2024

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

^b*Institute of Volcanology and Seismology Far Eastern Branch
of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation*

^c*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry
of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

[#]*E-mail: egorzelenin@mail.ru*

A unique feature of the Kamchatka Peninsula is the Central Kamchatka Depression (CKD), stretching 400 km along the peninsula. Existing geodynamic models connect the formation of the CKD with the extension of the East Kamchatka toward the Pacific Ocean due to the slab rollback. However, no radiometric ages of the CKD formation have known yet, thus making it impossible to directly link the emergence of the CKD to the stages of Kamchatka tectonic evolution of and to the recent tectonic deformations. The paper presents the results of XRF analysis and K-Ar dating of lavas from the KI-1 borehole near the Klyuchi settlement. Samples from the depth interval of 50–475 m (ages 0.72 ± 0.05 , 1.54 ± 0.15 and 1.46 ± 0.08 Ma) correspond to medium-K basalts and high-K trachyandesibasalts, likely similar to the rocks exposed at the base of the Kliuchevskaia Group. Still, these studied rocks are much older than any other dated rocks of the Kliuchevskaia Group (dates does not exceed 0.3 Ma). Below the stratigraphic unconformity at a depth of 905 m, a single date of 3.5 ± 0.4 Ma was obtained, which coincide with the end of accretion of the Eastern Peninsulas, which caused the transverse compression across the peninsula. Thus, the time of CDD emergence likely falls within the range of 1.5–3.5 Ma.

Keywords: Kamchatka, K-Ar dating, volcanism, subduction