

Среднеэоценовый-раннемиоценовый вулканизм на Ткаправаямской площади в Кинкильском вулканическом поясе Северо-Западной Камчатки: Геохимические характеристики источников вулканических пород

Н.Ф. Крикун¹, С.В. Рассказов^{2,3}, Т.А. Ясныгина²

¹Камчатгеология, г. Петропавловск-Камчатский, Россия

²Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

³Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. По результатам К–Аг датирования на Ткаправаямской площади Кинкильского вулканического пояса северо-запада п-ова Камчатка определен возраст пород в интервале 50–20 млн лет с подразделением на интервалы 50–31 и 26–20 млн лет. Обнаружены также более молодые породы возрастного интервала 12.8–6.7 млн лет. Среди вулканических пород преобладают андезиты и андезибазальты при подчиненной роли андезибазальтов, дацитов и риолитов. В породах позднеолигоценового-раннемиоценового возрастного интервала выявлена антидромная последовательность вулканических извержений от дацитов и андезитов до андезибазальтов. Подобная антидромная последовательность была обозначена прежде в нижней (шаманской) среднеэоценовой части разреза Кинкильского вулканического комплекса. Весь спектр пород характеризуется надсубдукционными геохимическими характеристиками – низким содержанием TiO_2 , Nb–Ta обеднением, смещением составов от направления океанических базальтов в область источников континентальной окраины на диаграмме Th/Yb – Ta/Yb. Два возрастных интервала пород в Кинкильском вулканическом поясе могут обозначать его полную надсубдукционную активность либо основную активность в среднем эоцене – раннем олигоцене с локализацией анидромной последовательности в позднем олигоцене – раннем миоцене.

Ключевые слова: Камчатка, андезибазальт, андезит, риолит, надсубдукционный источник, эоцен, олигоцен, миоцен, К–Аг датирование, микроэлементы

Middle Eocene-Early Miocene Volcanism in the Tkapravayam Area of the Kinkil Volcanic Belt, Northwestern Kamchatka: Suprasubduction Geochemical Signatures of Volcanic Rock Sources

N.F. Krikun¹, S.V. Rasskazov^{2,3}, T.A. Yasnygina²

¹Kamchatgeologiya, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

²Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia

³Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Статья получена: 07.07.2026; исправлена: 15.07.2026; принята: 17.07.2026.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Крикун Н.Ф., Рассказов С.В., Ясныгина Т.А. Среднеэоценовый-раннемиоценовый вулканизм на Ткаправаямской площади в Кинкильском вулканическом поясе Северо-Западной Камчатки: Геохимические характеристики источников вулканических пород // Геология и окружающая среда. 2026. Т. 6, № 2. С. 137–154. DOI 10.26516/2541-9641.2026.2.137. EDN: BSHJEU

Article received: 07.07.2026; corrected: 15.07.2026; accepted: 17.07.2026.

FOR CITATION: Krikun N.F., Rasskazov S.V., Yasnygina T.A. Middle Eocene-Early Miocene volcanism in the Tkapravayam area of the Kinkil volcanic belt, Northwestern Kamchatka: Suprasubduction geochemical signatures of volcanic rock sources // Geology and Environment. 2026. Vol. 6, No. 2. P. 137–154. DOI 10.26516/2541-9641.2026.2.137. EDN: BSHJEU

Abstract. From K–Ar dating at the Tkapravayam area of the Kinkil Volcanic Belt in Northwestern Kamchatka, the age has been determined to be between 50 and 20 Ma, subdivided into intervals of 50–31 and 26–20 Ma. Younger rocks ranging in age from 12.8 to 6.7 Ma have also been detected. The rocks are dominated by andesites and basaltic andesites, with subordinate basaltic andesites, dacites, and rhyolites. An antidromic sequence of volcanic eruptions, ranging from dacites and andesites to basaltic andesites, has been identified in rocks of the late Oligocene to early Miocene age range. A similar antidromic sequence was previously defined in the lower (Shaman) Middle Eocene part of the Kinkil volcanic complex. The entire rock spectrum is characterized by suprasubduction geochemical signatures – low TiO_2 content, Nb–Ta depletion, and a shift of rock compositions from the oceanic basalt direction toward the continental margin source area in the Th/Yb – Ta/Yb diagram. Two age intervals of the Kinkil Volcanic Belt may indicate its whole suprasubduction activity or its main activity in the Middle Eocene – Early Oligocene with localization of the antidromic sequence in the Late Oligocene – Early Miocene.

Keywords: Kamchatka, basaltic andesite, andesite, rhyolite, suprasubduction source, Eocene, Oligocene, Miocene, K–Ar ages, trace elements

Введение

На Государственной геологической карте м-ба 1–200 000 листов Р-57-XXXXVI, Р-58-XXXI (Ткаправаямская площадь) вулканические породы территории относились к двум свитам олигоцена: ливланской (Pg_{3lv}) – оливиновые базальты, туфы и нижележащей кинкильской (Pg_{3kn}) – базальты, андезиты, дациты, туфы. Отмечались также более молодые породы в составе эрмановской свиты плиоцена (N_{2er}) (Погожев, Голяков, 1966). Позже, по палеонтологическим находкам и радиоизотопным датировкам был принят средне-верхнеэоценовый возраст кинкильской свиты Кинкильского вулканического пояса северо-запада Камчатки (Гладенков и др., 2005; Шанцер, 2007; Соловьев, 2011; Федоров и др., 2019а,б). В геохимическом отношении вулканические породы Кинкильского пояса существенно различались не только с более молодыми надсубдукционными вулканическими породами континентальной окраины Восточной Камчатки, но и с вулканическими породами средней части Западной Камчатки (Федоров и др., 2011). Пространственно-временное распространение вулканических пород и условия генерации магм

этой территории исследовались вдоль берега Охотского моря, а во внутренней части п-ова не были охарактеризованы.

В 2012–2016 гг. на Ткаправаямской площади (рис. 1) проводилась геологическая съемка ГДП-200 геологической партией АО «Камчатгеология». В ходе работ вулканические породы на большей части территории были отнесены к Кинкильской свите (вулканическому комплексу, ВК). К–Аг датирование пород показало диапазон возрастов Кинкильского вулканического пояса во внутренней части п-ова, выходящий за рамки олигоцена, принятого в легенде Государственной геологической карты (Погожев, Голяков, 1966), и среднего-верхнего эоцена, принятого в работах (Гладенков и др., 2005; Шанцер, 2007; Соловьев, 2011; Федоров и др., 2019а,б).

Цель настоящей статьи – обосновать возраст вулканических пород, распространенных в Кинкильском вулканическом поясе на Ткаправаямской площади, по результатам К–Аг датирования 2016 г., и подчеркнуть значение микроэлементных характеристик источников вулканизма территории, полученных при геохимических исследованиях датированных образцов.

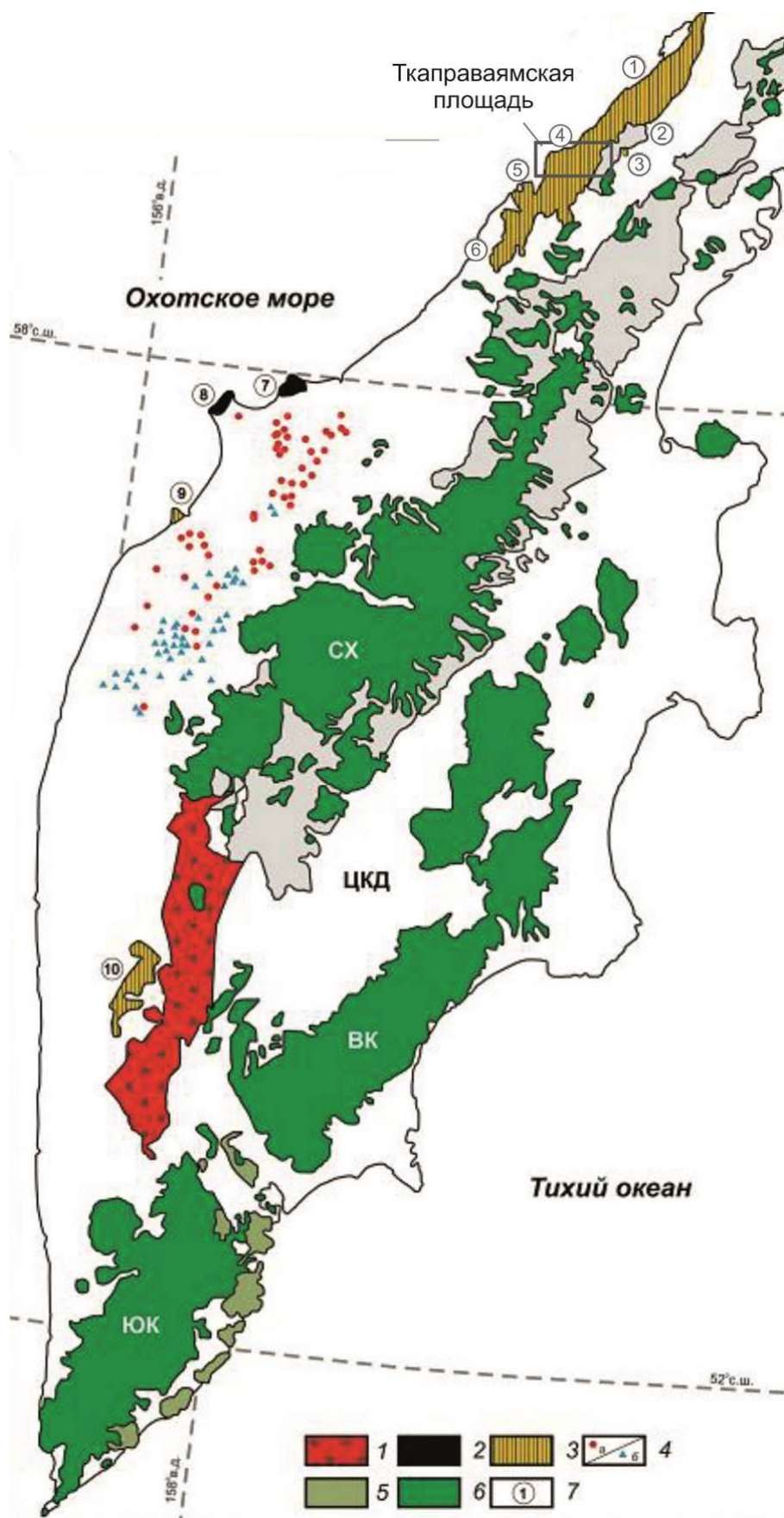


Рис. 1. Пространственное положение Ткаправаямской площади на схеме кайнозойских магматических комплексов п-ова Камчатка (Федоров и др., 2019а,б): 1 — гранитно-метаморфические

комплексы Центральной Камчатки; 2–6 — магматические комплексы континентальной окраины Камчатки: 2 — палеоценовые, 3 — среднеэоценовые, 4 — среднеэоценовые-раннеолигоценовые (а) и позднепалеогеновые-раннемиоценовые (б) (магматические тела вне масштаба), 5 — миоценовые, 6 — плиоцен-четвертичные вулканические пояса Южной Камчатки (ЮК), Восточной Камчатки (ВК) и Срединного хребта (СХ); 7 — районы исследования раннекайнозойских комплексов. 1 — бухта Подкагерная, 2 — истоки р. Шаманка, 3 — Шаманкинский интрузив, 4 — мыс Ребро, 5 — мыс Тэви, 6 — устье р. Анадырка – Кинкильский мыс, 7 — мыс Омгон, 8 — Утхолокский п-ов, 9 — мыс Хайрюзова, 10 — гора Черная. Авторами этой схематической карты на севере Западной Камчатки показана зона вулканизма среднего эоцена Кинкильского ВК, тогда как, по результатам выполненного здесь К–Аг датирования вулканических пород Ткаправаямской площади получены возрастные интервалы 50–31 млн лет (эоцен – ранний олигоцен) и 26–20 млн лет (конец олигоцена – начало миоцена), сопоставимые с возрастными интервалами вулканических пород, датированных южнее 58° с.ш.

Fig. 1. Spatial position of the Tkapravayamskaya area on the sketch map of Cenozoic igneous complexes of the Kamchatka Peninsula (Fedorov et al., 2019a,б): 1 – granite metamorphic complexes of Central Kamchatka; 2–6 – magmatic complexes of the Kamchatka continental margin: 2 – Paleocene, 3 – Middle Eocene, 4 – Middle Eocene-Early Oligocene (a) and Late Paleogene-Early Miocene (igneous bodies out of scale), 5 – Miocene, 6 – Pliocene-Quaternary volcanic belts of South Kamchatka (ЮК), of Eastern Kamchatka (ВК) and Sredinnyi Range of Kamchatka (СХ); 7 – studied areas: 1 – Podkagernaya Bay, 2 – upper reaches of the Shamanka River, 3 – Shamanka intrusion, 4 – Cape Rebro, 5 – Cape Tevi, 6 – the mouth of the Anadyrka. The authors of this sketch map showed the zone of middle Eocene volcanism of the Kinkil volcanic complex (VC) in the north of Western Kamchatka, while, according to the results of K–Ar dating of volcanic rocks of the Tkapravayam area, presented in this paper, age intervals of 50–31 Ma (Eocene – Early Oligocene) and 26–20 Ma (Late Oligocene – Early Miocene) were obtained, comparable with the age intervals of volcanic rocks dated south of 58° N.

Результаты работ, выполненных до и после картирования Ткаправаямской площади

Кинкильский ВК, протягивающийся вдоль западного побережья Камчатки от устья реки Палана на юго-западе до Рекинникской губы на северо-востоке, представленный в стратиграфическом отношении кинкильской свитой, сложен базальтами, андезибазальтами, андезитами, дацитами и риолитами и связанными с ними пирокластическими отложениями общей мощностью около 1.5 км. В составе кинкильской свиты (вулканического комплекса) различались две подсвиты: нижняя – шаманкинская и верхняя – божедомовская. В нижней подсвите была установлена антидромная последовательность от риолитов до базальтов (Гладенков и др., 2005; Шанцер, 2007).

Кинкильская свита с размывом и угловым несогласием перекрывает выходы терригенных пород верхнего мела, палеоцена и нижнего эоцена. Породы свиты содержат окаменелую древесину и листовую флору плохой сохранности. Шаманский гранодиоритовый

массив, внедрявшийся одновременно с извержениями риолитов кинкильской свиты, прорывает терригенную лесновскую серию верхнего мела – среднего эоцена. В конгломератах, содержащих гальку и валуны гранодиоритов и связанных с ними пород, определены флористические остатки среднего эоцена (Шанцер и др., 1985). Для пород кислого состава получен U/Pb возраст цирконов: для гранодиоритов Шаманского массива – 45.3 ± 1.0 млн лет, для туфов основания кинкильской свиты – возраст 45.5 ± 2.9 млн лет (Шапиро и др., 2001; Соловьев и др., 2002). На восточном побережье залива Шелехова Охотского моря, вблизи устья р. Анадырка (точка 6 на рис. 1), стратиграфически ниже пород Кинкильского ВК находятся игнимбриты верхней части анадырской свиты, охарактеризованных К–Аг датировкой 53 ± 1.4 млн лет. К–Аг датировки пород, которые относились к породам этого комплекса, составили интервал 46–37 млн лет (Багдасарьян и др., 1991) (эти данные требуют внесения поправки, поскольку К–Аг датировки ереванской лаборатории систематически

удревнялись, относительно К–Аг и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датировок других лабораторий). Дополнительное К–Аг датирование показало возрастной интервал 51–37 млн лет (Федоров и др., 2011). По имеющимся К–Аг датировкам возраст кинкильской свиты оценивался не только средним, но и верхним эоценом. Килинский ВК включался в состав эоцен-олигоценового Западнокамчатско-Корякского вулканического пояса континентальной окраины.

В более поздних работах (Федоров и др., 2019а,б), в соответствии с результатами палеонтологического и радиоизотопного датирования, кинкильская свита относилась к среднему-верхнему эоцену и различалась с породами вулканического пояса Западной Камчатки, протягивающимся в средней части п-ова, южнее 58° с.ш. Породы возрастного интервала 46–31 млн лет (конец среднего эоцена – нижний олигоцен) характеризовали развитие в этой части Западной Камчатки внутриплитного К–На щелочно-базальтового магматизма с геохимическими характеристиками, сходными с E-MORB, а породы возрастного интервала 35–17 млн лет (поздний эоцен – ранний миоцен) – развитие ультракалиевого щелочно-базальтового магматизма (Волынец и др., 1985, 1987; Амирханов и др., 1987; Перепелов, 2014).

Методика аналитических исследований

При К–Аг датировании вулканических и субвулканических пород Ткаправаямской площади измерения радиогенного аргона выполнялись в лаборатории изотопии и геохронологии ИЗК СО РАН на масс-спектрометре МИ-1201, модифицированном для

одновременного измерения масс ^{40}Ar и ^{36}Ar . Концентрация калия определялась как среднее по трем навескам методом пламенной фотометрии. Для расчета возраста использовались константы: $\lambda_K = 0.581 \times 10^{-10} \text{ год}^{-1}$; $\lambda_\beta = 4.962 \times 10^{-10} \text{ год}^{-1}$; $^{40}\text{K} = 0.01167 \text{ ат. \% K}$. Методика датирования приведена в работе (Расказов и др., 2000).

Содержания петрогенных оксидов измерялись классическим химическим методом (Сизых, 1985), а содержания микроэлементов – методом ИСП-МС с использованием квадрупольного масс-спектрометра Agilent 7500ce. Химическая пробоподготовка проводилась кислотным разложением под воздействием микроволнового излучения по методике (Ясныгина и др., 2003). Вода и кислоты дважды очищались с помощью систем очистки Savillex DST-1000. Для калибровки результатов измерений использовались многоэлементные стандартные растворы. В качестве внутренних стандартов вводился In и Bi. Для контроля точности анализа использовались международные сертифицированные стандартные образцы BHVO-2, AGV-2, JA-2, DNC-1a.

Результаты

К–Аг датировки

Породы Кинкильского вулканического пояса на Ткаправаямской площади охарактеризованы группами К–Аг датировок в интервалах 50–31 млн лет (эоцен – ранний олигоцен) и 26–20 млн лет (конец олигоцена – начало миоцена). Точки отбора образцов для датирования и геохимических исследований показаны на рис. 2.

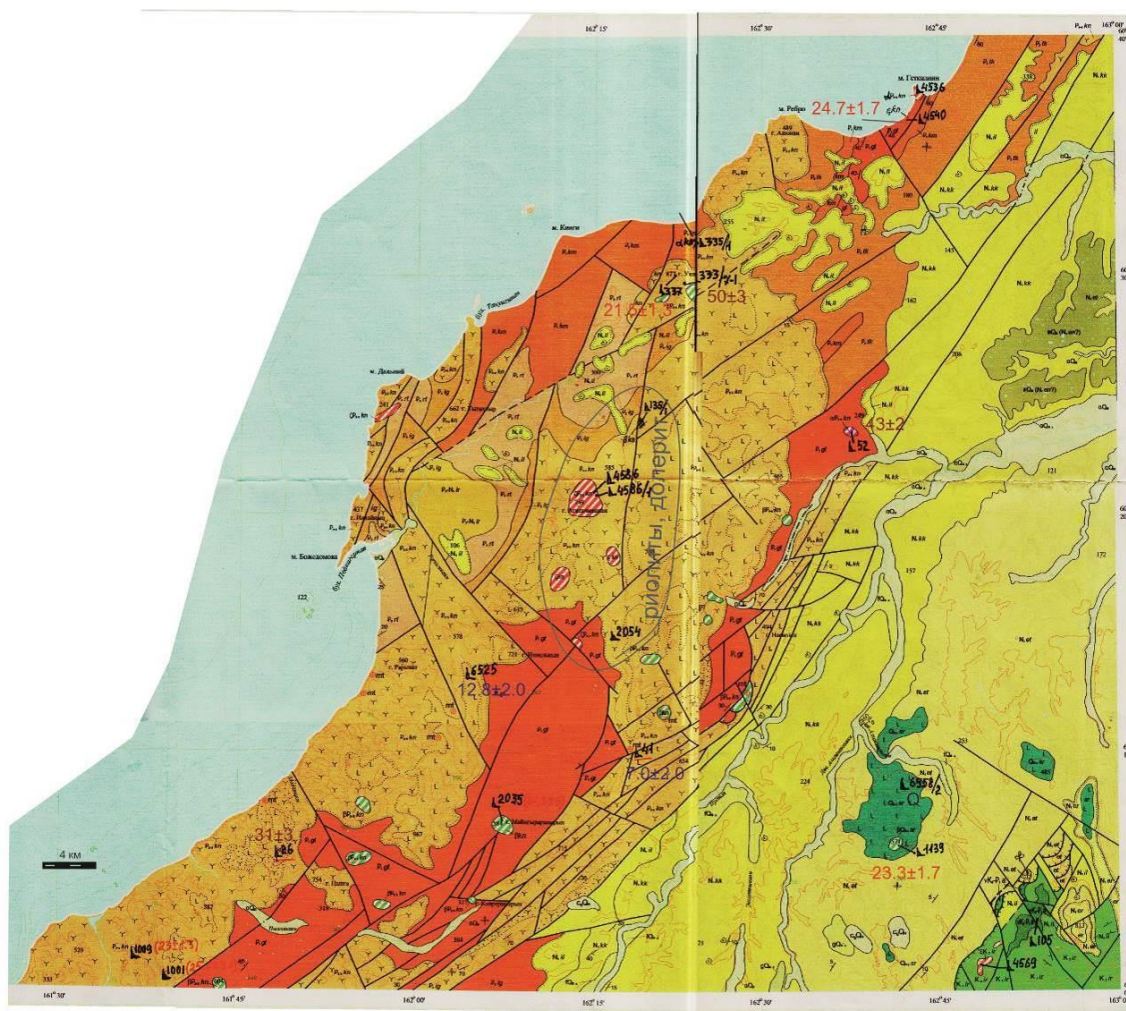


Рис. 2. Схема привязки датированных вулканических и субвулканических пород к предварительному макету геологической карты Ткаправаямской площади, составленному Н.Ф. Крикуном в масштабе 1 : 200 000 в 2015 г. К–Аг датировки вулканических и субвулканических пород (млн лет) показаны по группам, выделенным разным цветом. Группа риолитов и долерита с относительно древними датировками выделена овалом в центральной части площади. В Западно-Камчатской зоне находятся породы Ичинско-Пусторецкой подзоны: Q_{E-1sr} – срединный комплекс базальтовый; βQ_{E-1sr} – субвулканические образования. Экструзии базальтов; N_{1er} – эрмановская свита. Песчаники, аргиллиты, бурые угли, лигниты, туфы андезитов и базальтов, конгломераты; N_{1et} – этолонская свита. Песчаники, конгломераты, алевриты, аргиллиты, прослои (0.1–0.2 м) бурых углей и лигнитов; N_{1kk} – какерская свита. Алевритовые туффы, песчаники с плавающей галькой и валунами эффузивных пород и габброидов; N_{1il} – ильинская свита. Конгломераты, песчаники, алевритовые туффы. В составе Кинкильско-Подкагерненской подзоны выделяется кинкильский комплекс андезит-базальтовый: $P_{2-3} kn$ (с учетом новых К–Аг датировок – $P_{2-3}-N_1 kn$) – покровные образования. Базальты, андезибазальты, андезиты, дациты, их туфы, агглютинаты, туффы, слои и линзы каменных и бурых углей, углистых алевритовых туффов, редкие карбонатные и известково-песчанистые конкреции, окаменевшая древесина; субвулканические образования: $\beta P_{2-3} kn$, – штоки базальтов, $\alpha P_{2-3} kn$, – штоки андезитов, $\zeta P_{2-3} kn$, – штоки дацитов. Более древние породы мезозоя и раннего кайнозоя представлены образованиями Приохотской зоны (Омгонская и Ирунейская подзоны)

Fig. 2. Scheme of location of dated volcanic and subvolcanic rocks in the preliminary layout of the geological map in the Tkapravayam area, compiled by N.F. Krikun at a scale of 1:200,000 in 2015. K–Ar dates of volcanic and subvolcanic rocks (Ma) are shown in groups highlighted in different colors. A group of rhyolites and dolerite with relatively old dates is highlighted by an oval in the central part of the area. The West Kamchatka zone contains rocks of the Ichinsko-Pustoretskaya subzone: Q_{E-1sr} – Sredinnyi basaltic complex; βQ_{E-1sr} – subvolcanic formations. Basalt extrusions; N_{1er} – Ermanovka suite. Sandstones, mudstones, brown coals, lignites, andesite and basalt tuffs, conglomerates; N_{1et} –

Etolonsky suite. Sandstones, conglomerates, siltstones, mudstones, interlayers (0.1–0.2 m) of brown coals and lignites; N_{1kk} – Kakersky suite. Siltstones, sandstones with floating pebbles and boulders of effusive rocks and gabbroids; N_{1il} – Ilyinka suite. Conglomerates, sandstones, siltstones. The Kinkil-Pidkagernensky subzone includes the Kinkil andesite-basalt complex; $P_{2-3} kn$ (taking into account the new K–Ar ages – $P_{2-3}-N_1 kn$) – cover formations. Basalts, basaltic andesites, andesites, dacites, their tuffs, agglutinates, tuffites, layers and lenses of hard and brown coals, carbonaceous silt tuffites, rare carbonate and calcareous-sandy concretions, petrified wood; subvolcanic formations: $\beta P_{2-3} kn$ – basalt stocks, $\alpha P_{2-3} kn$ – andesite stocks, $\zeta P_{2-3} kn$ – dacite stocks. Older rocks of the Mesozoic and Early Cenozoic are represented by formations of the Priokhotskaya zone (Omgonsky and Iruneisky subzones)

Эоцен-олигоценевая группа представлена тремя образцами: Mg-андезитом (обр. 333/7-1), андезитом (обр. 52) и андезибазальтом (обр. 1139). Первый показал датировку 50 млн лет, второй – 43 млн лет, третий – 31.5 млн лет. В олигоцен-раннемиоценовую группу входят 6 датированных образцов. Интервалом 26–25 млн лет датированы андезит и Mg-андезит (обр. 1001, 4540), интервалом 23–21 млн лет – Mg-андезит и андезибазальт (обр. 1009, 1139, 337), датировкой около 20 млн лет – андезибазальт с пониженным содержанием SiO_2 и повышенным содержанием MgO (обр. 2035).

К Кинкильскому ВК отнесены породы, для которых получены более древние датировки. Датировки в интервале от 95 до 207 млн лет показали риолиты, опробованные в центральной части площади работ (обр. 2054, 4586 и 4586/1), датировку 121 млн лет – долерит субвулканической фации (обр. 135/1). Либо риолиты и долерит принадлежат фундаменту комплекса, либо датировки были завышены вследствие вторичных изменений или присутствия в вулканическом стекле захваченного ^{40}Ar .

Среди пород Кинкильского вулканического пояса были встречены также породы, для которых получены сравнительно молодые датировки. Карбонатизированный

андезибазальт (обр. 41) показал датировку 7 ± 2 млн лет (для подтверждения результата измерения радиогенного аргона выполнены дважды). Эта порода содержит 4.4 мас.% CO_2 при концентрации $CaO = 5.62$ мас.%. Для базальта (обр. 6525) получена датировка 12.8 ± 2.0 млн лет, для андезита (обр. 335/1) – датировка 6.7 ± 1.0 млн лет. Мог проявиться эффект омоложения, отражающий наложенные процессы, которые сопровождалась потерями ^{40}Ar . Вполне вероятно, что вулканические породы, датированные в интервале 12.8–6.7 млн лет действительно имеют средне-позднемиоценовый геологический возраст и относятся к вулканическому поясу Срединного хребта Камчатки, отклоняющемуся на его северном окончании к западу. С учетом этих датировок, молодой вулканизм охватывает весь Камчатский перешеек (см. рис. 1).

Для меловых пород – габбро Атвенаямского комплекса (обр. 105) и сиенитов Ирунейского комплекса (обр. 4569) – получены завышенные датировки 209 и 350 млн лет.

Измерения радиогенного аргона в базальте Срединненского комплекса (обр. 6558/2) показали его крайне низкую концентрацию, свидетельствующую о молодом (позднеплейстоценовом или голоценовом) возрасте.

Т а б л и ц а 1

Результаты К–Аг датирования вулканических и субвулканических пород Ткаправаямской площади

Table 1

K–Ar Results of Dating of Volcanic and Subvolcanic Rocks of the Tkpravayamskaya Area

N п/п	Образец	Порода	K, мас. %	Возд. Ar, %	$^{40}Ar_p \times 10^{-5}$, нмм ³ /г	Возраст, млн лет
КИНКИЛЬСКИЙ ВУЛКАНИЧЕСКИЙ ПОЯС						
1	333/7-1	Mg-андезит	0.66	89.5	132	50 ± 3
	52	Андезит	1.20	83.4	205	43 ± 2
	26	Андезибазальт	1.32	91.4	163	31 ± 3
	1001/1	Mg-андезит	1.49	93.5	150	25.6 ± 3.0
5	4540	Андезит	1.18	93.0	114	24.7 ± 1.7

6	1139	Андезибазальт	0.87	96.4	80.3	23.3±1.7
3	1009	Mg-андезибазальт	1.34	80.2	120	23.0±1.3
4	337	Андезибазальт	0.85	92.8	71.1	21.5±1.3
5	2035	Mg-андезибазальт (диорит-порфирит)	0.45	90.9	35.5	20.3±2.0
ОМОЛОЖЕНИЕ ИЛИ ВУЛКАНИЧЕСКИЙ ПОЯС СРЕДИННОГО ХРЕБТА?						
6	6525	Базальт	0.76	85.0	38	12.8±2.0
7	41	Mg-андезибазальт. карбонатизированный	1.00	83.7	27*	7.0±2.0
8	335/1		1.32	93.5	34.6	6.7±1.0
УДРЕВНЕНИЕ?						
9	2054	Риолит	1.53	75.3	1310	207±5
10	4586	Риолит	1.98	70.2	1140	143±6
11	4586/1	Риолит	1.99	73.0	753	95±4
12	135/1	Mg-андезит	1.20	77.0	583	121±5
ВУЛКАНИЧЕСКИЙ ПОЯС СРЕДИННОГО ХРЕБТА						
13	6558/2	Базальт		100	НПО	Четвертич- ный
УДРЕВНЕНИЕ ДАТИРОВОК МЕЛОВЫХ ПОРОД?						
14	105	Габбро	2.02	80.3	1740	209±7
15	4569	Сиенит	1320	69.3	1320	350±10

Примечание: НПО – ниже предела обнаружения.

Петрогенные оксиды и микроэлементы вулканических и субвулканических пород

Результаты К–Аг датирования используются для иллюстрации временной смены состава вулканических пород Ткаправаямской площади.

На классификационной диаграмме щелочи – кремнезем и диаграмме MgO – SiO₂ (рис. 3, 4, табл. 2) датированные породы группы среднего эоцена – раннего олигоцена

Кинкильского вулканического пояса представлены неупорядоченным во времени спектром дацитов, андезитов и андезибазальтов. Породы конца олигоцена – начала миоцена обнаруживают последовательную временную смену состава от дацитов и андезитов (возраст 26–25 млн лет) через андезиты и андезибазальты (возраст 23–21 млн лет) к андезибазальтам с пониженным содержанием SiO₂ (возраст около 20 млн лет).

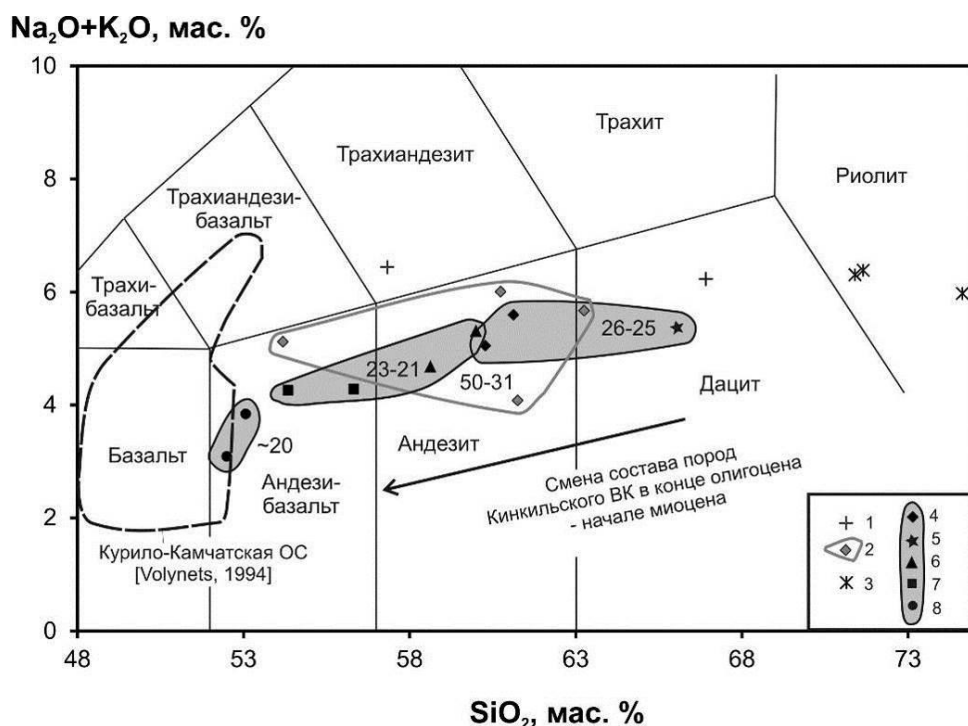


Рис. 3. Временная смена состава вулканических и субвулканических пород Ткаправаямской площади на классификационной диаграмме щелочи – кремнезем. Породы: 1 – меловые Атвенайва-ямского и Ирунейского ВК; 2–8 – Кинкильского вулканического пояса: 2 – эоцен-олигоценовые; 3 – неясного возраста (возможно, первой половины позднего олигоцена); 4–8 – конца олигоцена – начала миоцена с последовательной временной сменой состава от группы дацитов (4) и андезитов (5) через группу андезитов (6) и андезибазальтов (7) к группе андезибазальтов (8). Цифрами показаны интервалы К–Аг датировок в млн лет табл. 1. Фигуративное поле базальтов Курило-Камчатской островодужной системы (ОС) показано штриховой линией по данным из работы (Volynets, 1994). Для определения положения породы в систематике щелочи–кремнезем результаты силикатного анализа пересчитаны на 100 % за вычетом потерь при прокаливании.

Fig. 3. Temporal change in the composition of volcanic and subvolcanic rocks in the Tkpravayam area on the alkali–silica classification diagram. Rocks: 1 – Cretaceous Atvenayvayam and Irunei VC; 2–8 – Kinkil Volcanic Belt: 2 – Eocene-Oligocene; 3 – of uncertain age (possibly the first half of the Late Oligocene); 4–8 – late Oligocene – early Miocene with a sequential temporal change in composition from a group of dacites (4) and andesites (5) through a group of andesites (6) and basaltic andesites (7) to a group of basaltic andesites (8). K–Ar age intervals in Ma are shown from Table 1. The basalt field of the Kuril-Kamchatka island-arc system (IAS) is shown by a dashed line after (Volynets, 1994). To determine the position of a rock in the TAS systematics, the major oxides were recalculated to 100% without losses on ignition.

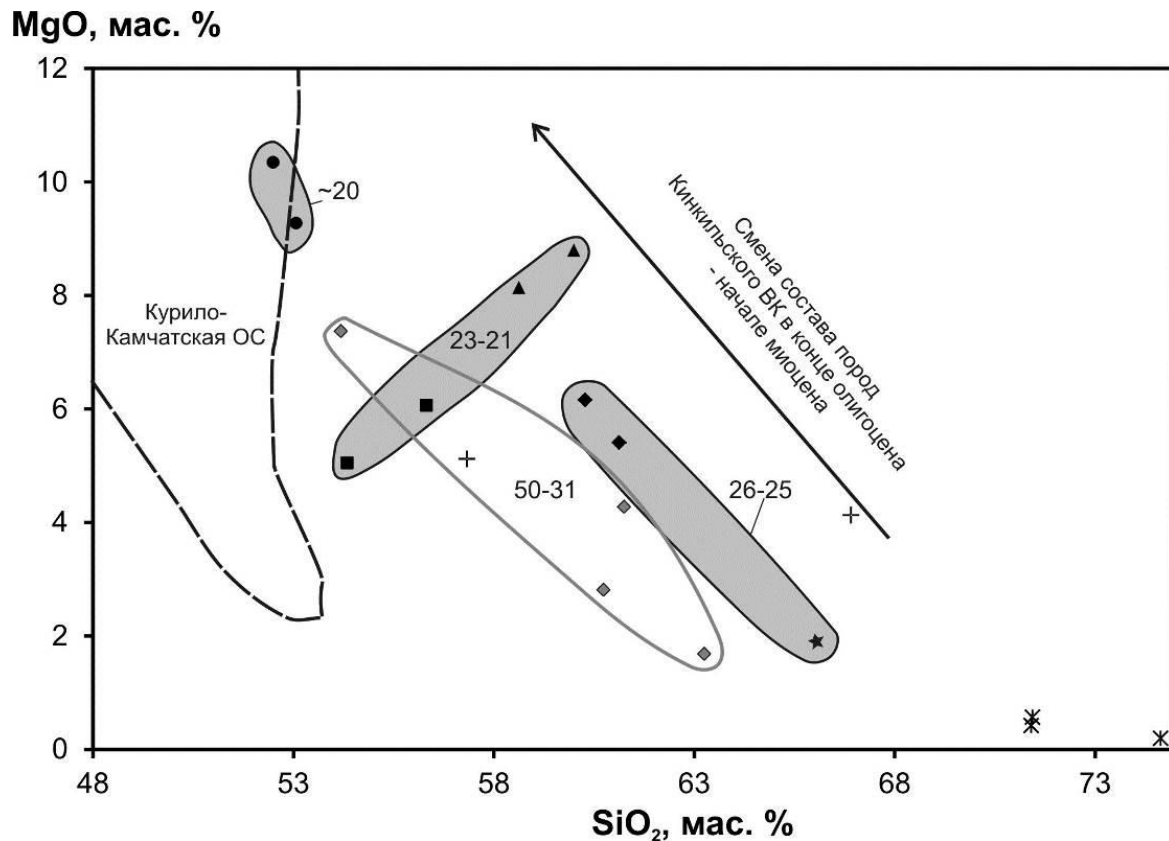


Рис. 4. Временная смена состава вулканических и субвулканических пород Ткаправаямской площади на диаграмме MgO – SiO₂. Усл. обозн. см. рис. 3. Фигуративное поле базальтов Курило-Камчатской ОС показано штриховой линией по данным из работы (Volynets, 1994). Результаты силикатного анализа пересчитаны на 100 % за вычетом потерь при прокаливании.

Fig. 4. Temporal changes in the composition of volcanic and subvolcanic rocks from the Tkpravayam area on the MgO versus SiO₂ diagram. Symbols are as in Fig. 3. The basalt field of the Kuril-Kamchatka Island System is shown by a dashed line based after (Volynets, 1994). The results of silicate analysis have been recalculated to 100% without losses on ignition.

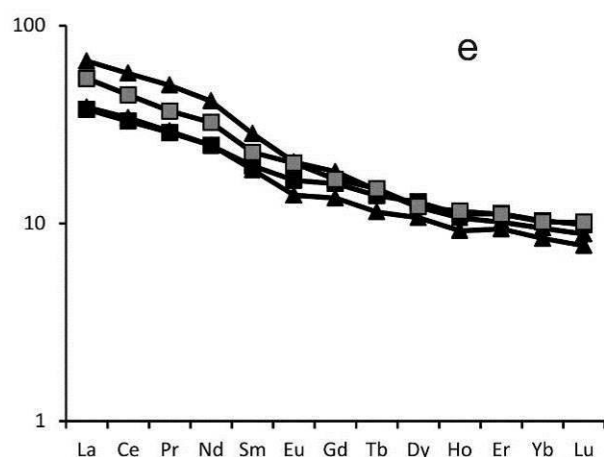
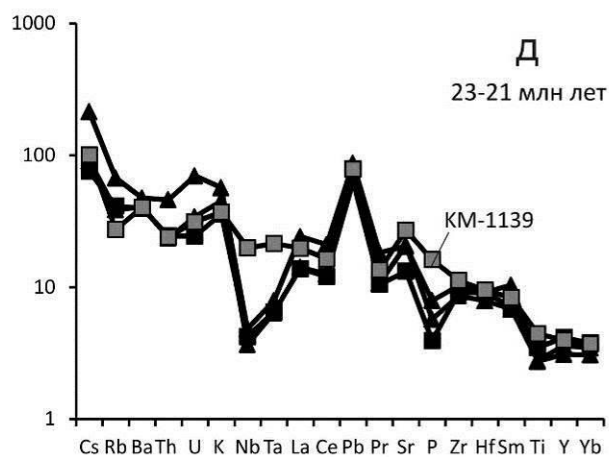
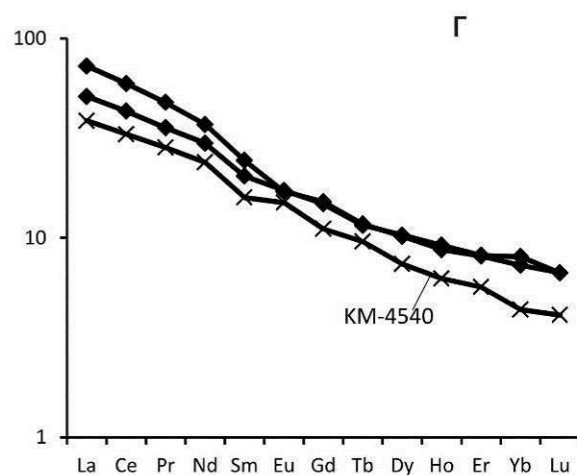
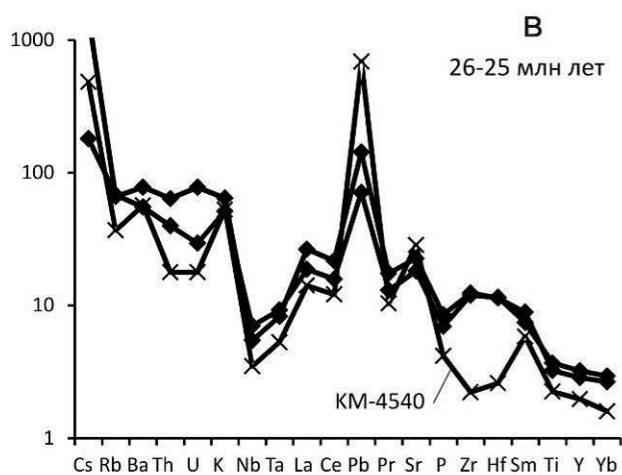
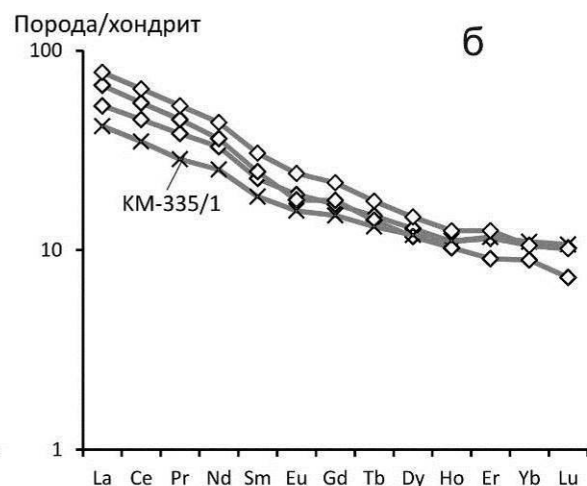
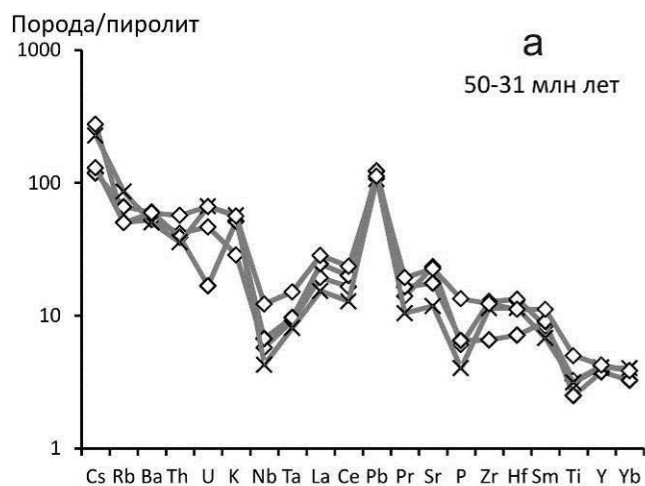
Выделенные разновозрастные группы пород отличаются спектрами несовместимых элементов, нормированными к составу пиролита, и редкоземельных элементов (РЗЭ), нормированных к составу хондрита (рис. 5). В спектрах отчетливо выражены минимумы Nb и Ta, свидетельствующие о надсубдукционном происхождении вулканических пород. Об этом же свидетельствует смещение всех фигуративных точек пород выше мантийного направления на диаграмме Th/Yb – Ta/Yb (рис. 6). Повышение значений Th/Yb при слабо изменяющихся либо постоянных значениях Ta/Yb также интерпретируется как тренд обогащения в субдукционной зоне (Pearce, 1983). Такая зависимость прослеживается в породах возрастом 26–25 и ~20 млн лет.

Образец 1139, отобранный из останца пород Кинкильского комплекса в поле развития четвертичных пород Срединненского комплекса, отличается от типичных кинкильских пород повышенным содержанием TiO_2 и нивелированием Nb–Ta аномалии (рис. 5 д), что свидетельствует о переходном характере источника от надсубдукционного к внутриплитному.

Точки надсубдукционных пород территории распределяются вдоль комплементарного тренда островной дуги (высокие отношения $K/(Ta \cdot 1000)$ и La/Ta) и слэба (низкое отношение K/Ta) на диаграмме $K/(Ta \cdot 1000) - La/Ta$ (рис. 7). Смещение точек

риолитов с уменьшением La/Ta относительно надсубдукционных составов может отражать плавление источника, комплементарного по отношению к постколлизийному источнику. Таким образом, коллизийные процессы могут отражаться на исследуемой территории только в составе риолитов. Особый состав источников риолитов делает их исключительными в изученной последовательности пород, т.е. они могут не вписываться во временной ряд дацитов-андезибазальтов.

Разделяя породы Кинкильского вулканического пояса на возрастные интервалы 50–31 и 26–20 млн лет, можно видеть, что островная дуга первого временного интервала, протягивалась от района работ, по крайней мере, до района устья р. Анадырка, а вулканизм второго интервала проявился локально. Локализация сопровождалась переходом к меняющимся во времени магматическим источникам. На примере позднекайнозойской эволюции островной дуги Северо-Восточного Хонсю было показано стабильное поступление расплавов из источников одного типа во фронтальной зоне дуги и меняющиеся соотношения компонентов в тыловой зоне задугового растяжения (Рассказов и др., 2012). Выявленная временная смена состава вулканических пород Кинкильского вулканического пояса может отражать подобную обстановку, установившуюся во временном интервале 26–20 млн лет назад.



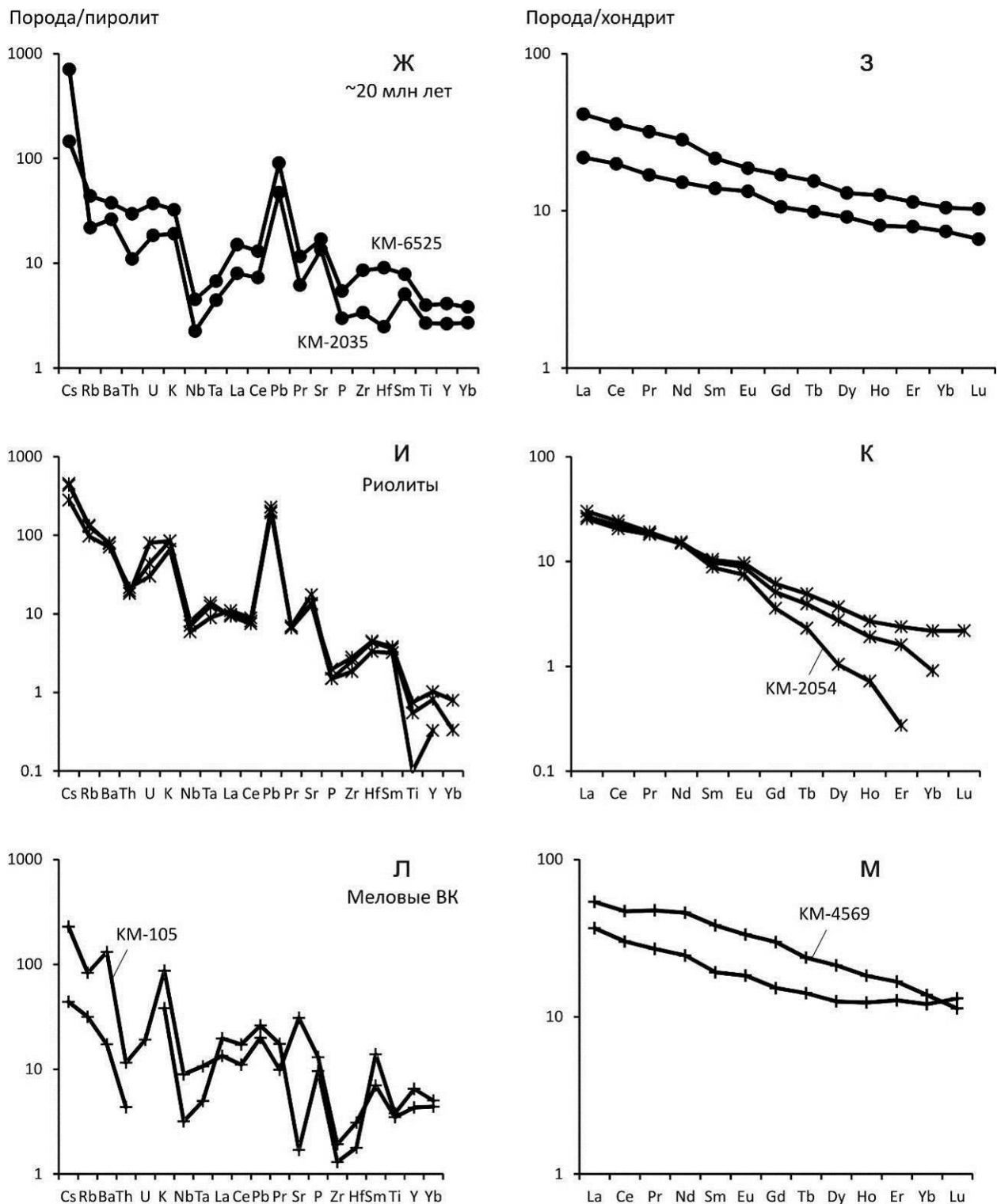


Рис. 5. Спектры несовместимых элементов вулканических пород Ткаправаямской площади, нормированные к составу пиrolита (а,в,д,ж,и,л), и спектры редкоземельных элементов, нормированные к составу хондрита (б,г,е,з,к,м). Усл. обозн. см. рис. 3. Для нормирования использованы данные из работы (Sun, McDonough, 1989)

Fig. 5. Trace element patterns of volcanic rocks of the Tkapravayam area, normalized to the pyrolite (а,в,д,ж,и,л), and rare earth element patterns, normalized to the chondrite (б,г,е,з,к,м). Symbols are as in Fig. 3. For normalization, the pyrolite and chondrite compositions were used from (Sun, McDonough, 1989)

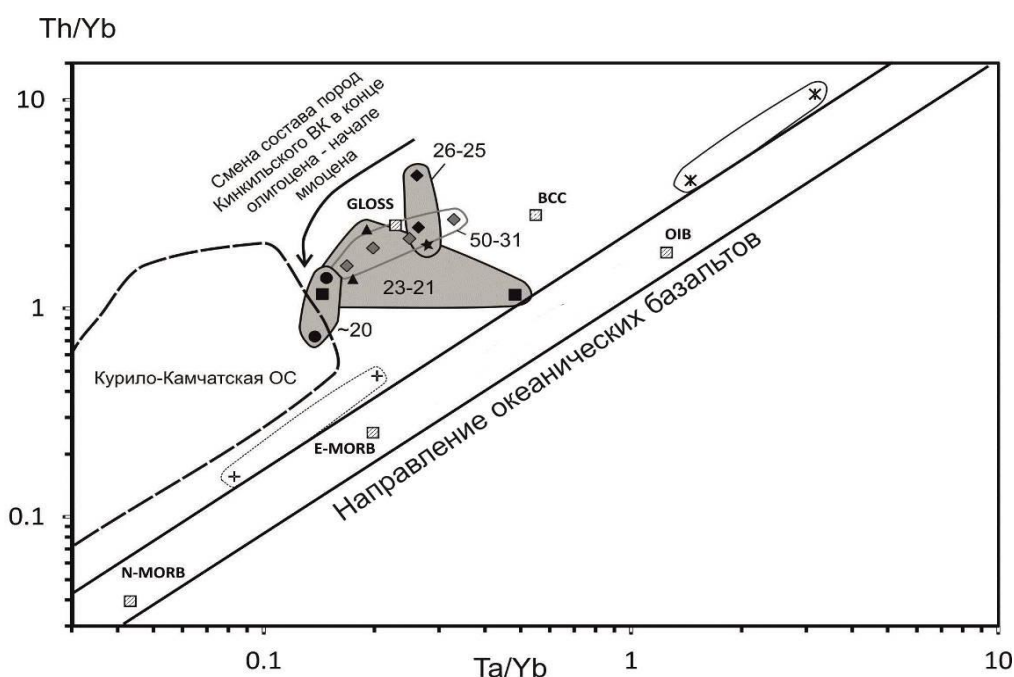


Рис. 6. Временная смена состава вулканических и субвулканических пород Ткаправаямской площади на диаграмме Th/Yb – Ta/Yb. Усл. обозн. см. рис. 3. Фигуративное поле базальтов Курило-Камчатской ОС показано штриховой линией по данным из работы (Volynets, 1994). Для выделения направления океанических базальтов использованы составы N-MORB, E-MORB и OIB из работы (Sun, McDonough, 1989). Дополнительно показаны: BCC – Bulk Continental Crust (валовый состав коры) (Rudnick, Fontain, 1995); GLOSS – Global Subducting Sediments (глобальные субдуцируемые осадки) (Plank, Langmuir 1998)

Fig. 6. Temporary change in the composition of volcanic and subvolcanic rocks from the Tkpravayam area on the Th/Yb versus Ta/Yb diagram. Symbols are as in Fig. 3. The data field of basalts from the Kuril-Kamchatka Island System is shown by a dashed line after (Volynets, 1994). To identify the direction of oceanic basalts, the compositions of N-MORB, E-MORB, and OIB from (Sun and McDonough, 1989) were used. Additionally shown: BCC – Bulk Continental Crust (Rudnick, Fountain, 1995); GLOSS – Global Subducting Sediments (Plank, Langmuir 1998)

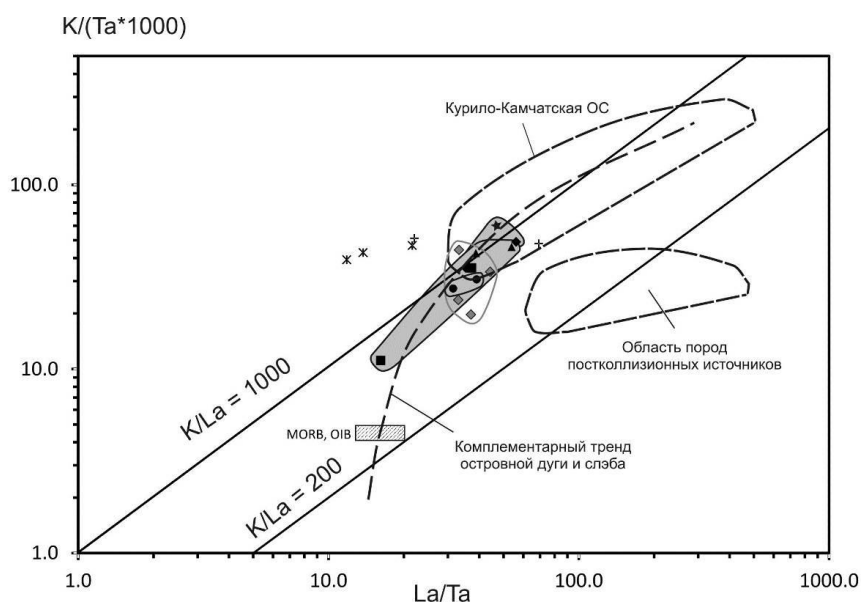


Рис. 7. Временная смена состава вулканических и субвулканических пород Ткаправаямской площади на диаграмме K/(Ta*1000) – La/Ta. Усл. обозн. см. рис. 3. Фигуративное поле базальтов Курило-Камчатской островодужной системы показано штриховой линией по данным из работ

(Volynets, 1994; Рассказов и др., 2012). Комплементарный тренд островной дуги и слэба, а также область пород постколлизийных магматических источников показаны по работе (Рассказов и др., 2012)

Fig. 7. Temporal change in the composition of volcanic and subvolcanic rocks from the Tkapravayam area on the $K/(Ta \cdot 1000)$ versus La/Ta diagram. Symbols are as in Fig. 3. The field of basalt of the Kuril-Kamchatka island-arc system is shown by a dashed line after (Volynets, 1994; Rasskazov et al., 2012). The complementary trend of the island arc and slab, as well as the area of rocks from post-collisional magmatic sources, are shown after (Rasskazov et al., 2012)

Обсуждение

Сопоставления датировок вулканических пород

Интервал датировок эоцена – раннего олигоцена 50–31 млн лет перекрывает интервал опубликованных $K-Ar$ датировок Кинкильского ВК района устья р. Анадырка 46–37 млн лет (Багдасарьян и др., 1991). Более молодые породы комплекса с интервалом датировок 26–20 млн лет Ткаправаямской площади представляют собой отдельную генерацию вулканических извержений конца олигоцена – начала миоцена, не проявленную в районе устья р. Анадырка.

С учетом обозначенной антидромной смены состава вулканических пород возрастной последовательности 26–20 млн лет назад Ткаправаямской площади можно предположить, что эта последовательность начиналась риолитовыми расплавами, извергавшимися непосредственно перед извержениями расплавов дацитов и андезитов (т.е. в интервале 26–31 млн лет назад). Имеется также вероятность того, что риолиты Ткаправаямской площади могут быть возрастными аналогами гранодиоритов Шаманского массива и риолитовых туфов основания кинкильской свиты (возраст около 45 млн лет) (Шапиро и др., 2001; Соловьев и др., 2002). В этом случае риолиты Ткаправаямской площади не связаны с антидромной группой пород дацит–андезибаазальт.

Ключевое значение в эволюции Кинкильского вулканического пояса имеет не только антидромная последовательность от риолитов до базальтов нижней (шаманкинской, среднеэоценовой) части разреза кинкильской свиты (Гладенков и др., 2005; Шанцер, 2007), но и подобной последовательности в ее верхней (ткаправаямской) части на рубеже олигоцена и миоцена. Антидромные

последовательности обозначили начало и завершение активности Кинкильского вулканического пояса.

Источники вулканических интервалов 50–31 и 26–20 млн лет назад на Ткаправаямской площади в свете гипотетических построений тектонического развития Западной Камчатки

Для территории южнее площади работ предполагается раннеэоценовая (53–46 млн лет назад) тектоническая аккреция Ачайваям-Валагинской дуги к континентальной окраине Азии (Константиновская, 1999). Согласно этой гипотезе, дуга была активной в позднем маастрихте – раннем палеоцене (до 60 млн лет назад). Субдукция шла с северо-запада на юго-восток. Вследствие коллизии Ачайваям-Валагинской дуги с континентальным блоком (Срединным метаморфическим массивом) произошла структурная перестройка, повлекшая за собой изменение направления субдукции на противоположное, имевшее место в интервале среднего эоцена – среднего миоцена (Константиновская, 2003). Океаническая литосфера, поглощенная в зоне субдукции, могла генерироваться при спрединге в Командорской котловине (Шапиро, Соловьев, 2011).

На Ткаправаямской площади получен интервал $K-Ar$ датировок среднего эоцена – раннего миоцена Кинкильского вулканического пояса, соответствующий по времени гипотетической противоположной субдукции Ачайваям-Валагинской дуги. По соотношению $K-Ta-La$ признаки коллизийных процессов в источниках вулканических пород отсутствуют и проявляется только надсубдукционный компонент континентальной окраины.

Заключение

По результатам К–Аг датирования на Ткаправаямской площади северо-запада п-ова Камчатка возраст Кинкильского вулканического пояса определяется в интервале 50–20 млн лет с подразделением на интервалы 50–31 и 26–20 млн лет. В составе этого пояса преобладают андезиты и андезибазальты при подчиненной роли дацитов, андезибазальтов и риолитов. В породах возрастного интервала 26–20 млн лет проявлена антидромная последовательность вулканических извержений от дацитов и андезитов до андезибазальтов. Подобная антидромная последовательность была выявлена прежде в нижней (шаманской) среднеэоценовой части разреза Кинкильского ВК.

Весь спектр пород характеризуется надсубдукционной геохимической спецификой (низким содержанием TiO_2 , Nb–Ta обеднением, положением фигуративных точек вулканический пород на диаграмме Th/Yb – Ta/Yb выше направления океанических базальтов). Два возрастных интервала Кинкильского вулканического пояса (50–31 и 26–20 млн лет) могут обозначать всю его активность. Имеется вероятность того, что надсубдукционный Кинкильский магматический пояс был активен в основном 50–31 млн лет назад, а во временном интервале 26–20 млн лет назад вулканизм был локальным.

Породы меловых вулканических комплексов (Ирунейского и Атвенайваямского) изменены, поэтому полученные датировки этих пород искажены. На Ткаправаямской площади датированы также вулканические породы возрастного интервала 12.8–6.7 млн лет, которые могут относиться к вулканическому поясу Срединного хребта Камчатки, отклоняющемуся на его северном окончании к западу. В геохимическом отношении меловые и позднемиоценовые породы в общем сопоставимы со среднеэоценовыми–раннемиоценовыми породами Кинкильского вулканического пояса.

Благодарности

Полевые материалы для статьи были получены Н.Ф. Крикун при геологической съемке на северо-западе Камчатки в 2012–2016 гг. – в качестве начальника полевой партии.

Измерения радиогенного аргона-40 выполнялись в лаборатории изотопии и геохронологии ИЗК СО РАН С.С. Брандтом, концентрации калия для К–Аг датирования (фотометрия пламени) и петрогенные оксиды (классический химический анализ) определялись Г.В. Бондаревой. Микроэлементный состав пород определялся методом ИСП-МС на масс-спектрометре Agilent 7500ce в центре коллективного пользования «Ультрамикроанализ» Лимнологического института СО РАН (масс-спектрометрист А.П. Чебыкин). Пробы для ИСП-МС анализа подготовлены в лаборатории изотопии и геохронологии ИЗК СО РАН М.Е. Марковой.

Текст с использованием результатов аналитических исследований был представлен в отчет по геологической съемке Ткаправаямской площади в 2017 г. и преобразован в рукопись статьи в память о геологе Камчатки Н.Ф. Крикун в связи с 50-летием окончания ею геологического факультета Иркутского государственного университета.

Литература

- Амирханов Х.И., Батырмурзаев А.Г., Антипин В.С., Перепелов А.Б. Калий-аргоновый возраст щелочных базальтоидов Западной Камчатки // Доклады АН СССР. 1986. Т. 287, № 2. С. 494–496.
- Багдасарян Г.П., Гладенков Ю.Б., Шанцер А.Е. Изотопное датирование вулканогенных толщ палеогена и неогена Камчатки // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1991. Т. 2, № 3. С. 87–91.
- Волынец О.Н., Аношин Г.Н., Пузанков Ю.М., Перепелов А.Б., Антипин В.С. Калиевые базальтоиды Западной Камчатки – проявления пород лампроитовой серии в островодужной системе // Геология и геофизика. 1987. № 11. С. 41–50.
- Волынец О.Н., Антипин В.С., Перепелов А.Б., Аношин Г.Н., Пузанков Ю.М. Первые данные по геологии и минералогии позднекайнозойских калиевых базальтоидов Западной Камчатки // Доклады АН СССР. 1985. Т. 284, № 1. С. 205–208.
- Гладенков Ю.Б., Синельникова В.Н., Челебаева А.Э., Шанцер А.Е. Биосфера–экосистема–биота в прошлом Земли. Экосистемы кайнозоя Северной Пацифики. Эоцен–олигоцен Западной Камчатки и сопредельных районов / М.: ГЕОС, 2005. 480 с.
- Константиновская Е.А. Геодинамика коллизии островная дуга – континент на западной

окраине Тихого океана // Геотектоника. 1999. № 5. С. 15–34.

Константиновская Е.А. Тектоника восточных окраин Азии: структурное развитие и геодинамическое моделирование. М.: Научный мир, 2003. 224 с.

Перепелов А.Б. Кайнозойский магматизм Камчатки на этапах смены геодинамических обстановок. Дисс. докт. геол.-мин. наук. Иркутск: Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН. 2014. 361 с.

Погожев А.Г., Голяков В.И. Геологическая карта масштаба 1:200 000. Серия Корякская. Листы Р-57-XXXVI, Р-58-XXXI. Редактор Титов В.А. Объяснительная записка. М.: Недра. 1966. 75 с.

Рассказов С.В., Логачев Н.А., Брандт И.С., Брандт С.Б., Иванов А.В. Геохронология и геодинамика позднего кайнозоя (Южная Сибирь – Южная и Восточная Азия). Новосибирск: Наука, 2000. 288 с.

Рассказов С.В., Чувашова И.С., Ясныгина Т.А., Фёфелов Н.Н., Саранина Е.В. Калиевая и каликатровая вулканические серии в кайнозое Азии. Новосибирск: Академическое изд-во «ГЕО». 2012. 351 с.

Сизых Ю.И. Общая схема химического анализа горных пород и минералов. Отчет. Институт земной коры СО АН СССР. Иркутск, 1985. 50 с.

Соловьев А.В., Шапиро М.Н., Гарвер Дж.И. Лесновский тектонический покров, Северная Камчатка // Геотектоника. № 6. 2002. С. 45–59.

Федоров П.И., Коваленко Д.В., Агеева О.А. Западнокамчатско-Корякский окраинно-континентальный вулканогенный пояс: возраст, состав и источники формирования // Геохимия. 2011. № 8. С. 813–838.

Федоров П.И., Коваленко Д.В., Перепелов А.Б., Дриль С.И. Состав источников кинкильского комплекса Западной Камчатки по изотопно-геохимическим данным // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2019. № 1. Вып. 41. С. 54–72. doi: 10.31431/1816-5524-2019-1-41-54-72.

Федоров П.И., Перепелов А.Б., Коваленко Д.В., Дриль С.И., Лобанов К.В. Источники эоценового магматизма Западной Камчатки (по геохимическим и изотопным Sr–Nd–Pb-характеристикам базитов) // Доклады Академии наук. 2019. Т. 487, № 3. С. 293–298.

Шанцер А.Е. Подходы к стратиграфии вулканогенных толщ палеогена северо-западной Камчатки // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2007. Т. 15. № 5. С. 83–94.

Шанцер А.Е., Шапиро М.Н., Колосков А.В., Челебаева А.И., Синельникова В.Н. Эволюция структуры Лесновского поднятия и прилегающих территорий в кайнозое (Северная Камчатка) // Тихоокеанская геология. 1985. № 4. С. 66–74.

Шапиро М.Н., Соловьев А.В., Щербинина Е.А. и др. Новые данные о времени коллизии островной дуги с континентом на Камчатке // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 5. С. 841–851.

Ясныгина Т.А., Рассказов С.В., Маркова М.Е., Иванов А.В., Демонтерова Е.И. Определение микроэлементов методом ICP-MS с применением микроволнового кислотного разложения в вулканических породах основного и среднего состава // Прикладная геохимия. Т. 4. Аналитические исследования (ред. Буренков Э.К., Кременецкий А.А.). М.: ИМГРЭ, 2003. С. 48–56.

Pearce J. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins / Hawkesworth C.J., Norry M.J. (Eds.) // Continental basalts and mantle xenoliths. Nantwich, Cheshire: Shiva Publ., 1983. P. 230–250.

Plank T., Langmuir C.H. The chemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle // Chemical Geology. 1998. Vol. 145. P. 325–394.

Rudnick R.L., Fountain D.M. Nature and composition of the continental crust: a lower crustal perspective // Review of Geophysics. 1995. Vol. 33. P. 267–309. doi: 10.1029/95RG01302

Sun S.-S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / Magmatism in the ocean basins // Geol. Soc. Spec. Publ. No 42. 1989. P. 313–345. doi: 10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19

Volynets O.N. Geochemical types, petrology and genesis of Late Cenozoic volcanic rocks from the Kurile-Kamchatka island-arc system // Intern. Geol. Rev. 1994. Vol. 36. P. 373–405.

References

Amirhanov Kh.I., Batyrmurzaev A.G., Antipin V.S., Perepelov A.B. Potassium-argon age of alkaline basaltoids of Western Kamchatka // Doklady Akademii Nauk USSR. 1986. Vol. 287, No. 2. P. 494–496.

Bagdasaryan G.P., Gladenkov Yu.B., Shantser A.E. Isotope dating of the Paleogene and Neogene volcanogenic sequences of Kamchatka // Stratigraphy. Geol. Correlation. 1994. Vol. 2, № 3. P. 87–91.

Gladenkov Yu.B., Sinelnikova V.N., Chelebaeva A.E., Shantser A.E. Biosphere–ecosystem–biota in the Earth's past. Cenozoic ecosystems of the North

Pacific. Eocene–Oligocene of Western Kamchatka and adjacent areas / Moscow: GEOS, 2005. 480 p.

Fedorov P.I., Kovalenko D.V., Ageeva O.A. Western Kamchatka–Koryak continental-margin volcanogenic belt: Age, composition, and sources // *Geochemistry Int.* 2011. Vol. 49. No. 8. P. 768–792. doi: 10.1134/S0016702911060036.

Fedorov P.I., Kovalenko D.V., Perepelov A.B., Dril S.I. Composition of sources in the Kinkil Complex of Western Kamchatka based on the isotopic-geochemical data // *Bulletin of Kamchatka Regional Association «Educational-Scientific Center»*. Earth Sciences. 2019. V. 41, No. 1. P. 54–72. doi: 10.31431/1816-5524-2019-1-41-54-72.

Fedorov P.I., Perepelov A.B., Kovalenko D.V., Dril S.I., Lobanov K.V. Sources of Eocene magmatism in Western Kamchatka by the geochemical and Sr–Nd–Pb isotope characteristics of basites // *Doklady Earth Sciences*. 2019. Vol. 487, No. 1. P. 835–840. doi: 10.1134/S1028334X19070225

Konstantinovskaya E.A. Geodynamics of island arc–continent collision on the western margin of the Pacific Ocean // *Geotectonics*. 1999. No. 5. P. 15–34.

Konstantinovskaya E.A. Tectonics of the eastern margins of Asia: structural development and geodynamic modeling. Moscow: Nauchny Mir, 2003. 224 p.

Pearce J. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins / Hawkesworth C.J., Norry M.J. (Eds.) // *Continental basalts and mantle xenoliths*. Nantwich, Cheshire: Shiva Publ., 1983. P. 230–250.

Perepelov A.B. Cenozoic magmatism of Kamchatka at the stages of changing geodynamic settings. Thesis submitted for the degree of Dr. of Geology at the A.P. Vinogradov Ins. of Geochemistry Siberian Branch of RAS. 2014. 361 p.

Plank T., Langmuir C.H. The chemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle // *Chemical Geology*. 1998. Vol. 145. P. 325–394.

Pogozhev A.G. Golyakov V.I. (Editor Titov V.A.) Geological map of scale 1:200 000. Koryak Series. Sheets P-57-XXXVI, P-58-XXXI. Explanatory note. Moscow: Nedra. 1966. 75 p.

Rasskazov S.V., Logatchev N.A., Brandt I.S., Brandt S.B., Ivanov A.V. Geochronology and geodynamics of the late Cenozoic (Southern Siberia - South and East Asia). Novosibirsk: Nauka, 2000. 288 p.

Rasskazov S.V., Chuvashova I.S., Yasnygina T.A., Fefelov N.N., Saranina E.V. Potassium and potassium volcanic series in Cenozoic Asia.

Novosibirsk: Academic Publishing House "GEO". 2012. 351 p.

Rudnick R.L., Fountain D.M. Nature and composition of the continental crust: a lower crustal perspective // *Review of Geophysics*. 1995. Vol. 33. P. 267–309. doi: 10.1029/95RG01302

Shantzer A.E. Approaches to stratigraphy of the Paleogene volcanogenic sequences in northwestern Kamchatka // *Stratigraphy and Geological Correlation*. 2007. Vol. 15. No. 5. P. 525–535. doi: 10.1134/S086959380705005X

Shantzer A.E., Shapiro M.N., Koloskov A.V., Chelebaeva A.I., Sinelnikova V.N. Evolution of the Lesnovsky Uplift structure and adjacent territories in the Cenozoic (Northern Kamchatka) // *Pacific Geology*. 1985. No. 4. P. 66–74.

Shapiro M.N., Soloviev A.V., Shcherbinina E.A., et al. New data on the timing of island arc collision with the continent in Kamchatka // *Geology and Geophysics*. 2001. T. 42. No. 5. P. 841–851. Soloviev A.V., Shapiro M.N., Garver J.I. Lesnovsky tectonic nappe, Northern Kamchatka // *Geotectonics*. No. 6. 2002. P. 45–59.

Sizykh Yu.I. Complex scheme of the chemical analysis of rock and mineral samples. Institute of the Earth's Crust, SB RAS, Irkutsk, 1985. 50 p.

Sun S.-S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / *Magmatism in the ocean basins* // *Geol. Soc. Spec. Publ.* No 42. 1989. P. 313–345. doi: 10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19

Volynets O.N. Geochemical types, petrology and genesis of Late Cenozoic volcanic rocks from the Kurile-Kamchatka island-arc system // *Intern. Geol. Rev.* 1994. Vol. 36. P. 373–405.

Volynets O.N., Anoshin G.N., Puzankov Yu.M., Perepelov A.B., Antipin V.S. Potassium basaltoids of Western Kamchatka – manifestations of rocks of the lamproite series in an island-arc system // *Geology and Geophysics*. 1987. No. 11, pp. 41–50.

Volynets O.N., Antipin V.S., Perepelov A.B., Anoshin G.N., Puzankov Yu.M. First data on the geology and mineralogy of late Cenozoic potassium basaltoids of Western Kamchatka // *Doklady Akademii Nauk USSR*. 1985. Vol. 284, No. 1. P. 205–208.

Yasnygina T.A., Rasskazov S.V., Markova M.E., Ivanov A.V., Demanterova E.I. Determination of microelements by ICP-MS using microwave acid digestion in volcanic rocks of basic and intermediate composition // *Applied Geochemistry*. Vol. 4. Analytical studies (ed. Burenkov E.K., Kremenetsky A.A.). Moscow: IMGRE, 2003. P. 48–56.

Крикун Наталья Федоровна,
Камчатгеология, Петропавловск-Камчатский,
начальник геологической партии,
Krikun Nataliya Fedorovna,
Kamchatgeologiya, Petropavlovsk-Kamchatsky,
head of the geological party.

Рассказов Сергей Васильевич,
доктор геолого-минералогических наук, профес-
сор,
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,
Институт земной коры СО РАН,
заведующий лабораторией изотопии и геохроно-
логии,
664025, Иркутск, ул. Ленина, д. 3,
Иркутский государственный университет, гео-
логический факультет,
заведующий кафедрой динамической геологии,
тел.: (3952) 51–16–59,
email: rassk@crust.irk.ru
Rasskazov Sergei Vasilevich,
doctor of geological and mineralogical sciences,
professor,

664025, Irkutsk, Lenin st., 3,
Irkutsk State University, Faculty of Geology,
Head of Dynamic Geology Char,
664033, Irkutsk, Lermontov st., 128,
Institute of the Earth's Crust SB RAS,
Head of the Laboratory for Isotopic and Geochrono-
logical Studies,
tel.: (3952) 51–16–59,
email: rassk@crust.irk.ru

Ясныгина Татьяна Александровна,
кандидат геолого-минералогических наук,
664033 Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,
Институт земной коры СО РАН,
старший научный сотрудник,
email: ty@crust.irk.ru
Yasnygina Tatyana Alexandrovna,
candidate of geological and mineralogical sciences,
664033, Irkutsk, st. Lermontova, 128,
Institute of the Earth's Crust SB RAS,
Senior Researcher,
email: ty@crust.irk.ru