

УДК 551.24:552.3

КУЛЬПОЛЬНЕЙСКИЙ ВУЛКАНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ЮЖНО-АНЮЙСКОЙ СУТУРЫ (ЗАПАДНАЯ ЧУКОТКА): СОСТАВ, ВОЗРАСТ И ПАЛЕОТЕКТОНИЧЕСКИЕ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

© 2021 г. А. В. Моисеев¹*, М. В. Маскаев¹, Д. К. Ульянов¹,
член-корреспондент РАН С. Д. Соколов¹, Б. В. Беляцкий²

Поступило 08.02.2021 г.
После доработки 13.04.2021 г.
Принято к публикации 13.04.2021 г.

Представлены новые данные по геохимии и изотопии Sr, Nd вулканических пород Кульпольнейского комплекса и прорывающих его даек, расположенных в северо-западной части Южно-Аньюйской сутуры. Установлено, что вулканиды были сформированы в пределах внутриокеанической зоны субдукции (островная дуга и/или задуговой бассейн). Вулканиды Кульпольнейского комплекса (оксфорд-кимеридж) прорваны дайками диоритов и плагиогранитов, которые деформированы совместно с вмещающими породами. Конкордантные U–Th–Pb (SIMS)-возрасты цирконов из даек составляют $143 \pm 1 - 140 \pm 1$ млн лет. Сходство вулканидов и даек по геохимии позволяет предполагать их формирование в единой геодинамической обстановке. В случае справедливости данного предположения верхний возрастной предел образования Кульпольнейской внутриокеанической зоны субдукции становится более молодым, вплоть до берриасского века.

Ключевые слова: Арктика, базальты, диориты, U–Th–Pb-возраст, циркон, геохимия, островная дуга, палеореконструкции поздня юра–ранний мел

DOI: 10.31857/S2686739721070069

Южно-Аньюйская сutura (ЮАС) образована в результате коллизии Чукотского микроконтинента с Азиатским континентом. Вдоль северной и южной границ ЮАС выделяются позднеюрско-раннемеловые вулканогенно-осадочные комплексы. Их формирование связывают с процессами субдукции. Вдоль южного обрамления данные комплексы относят к Олойскому окраинно-континентальному поясу, заложеному на Азиатском континенте [3–5].

Вулканогенно-осадочные комплексы северной части ЮАС остаются плохо изученными, и относительно их тектонической позиции и происхождения существуют различные точки зрения [1, 2, 4, 5, 7–10].

В основании вулканогенно-осадочных пород северной части ЮАС залегает толща, сложенная базальтами, андезитами, туфами основного–кислого состава и тонкообломочными терригенными породами. Возраст толщи определен как окс-

форд-кимериджский по единичным находкам буйхий [9]. Выше залегают титон-раннемеловые вулканогенно-терригенные, терригенные и вулканические (базальты-дациты и их туфы) породы. Все породы прорваны многочисленными интрузивными телами нескольких генераций. Апт-позднемеловые интрузивные тела неплохо изучены, поскольку связаны с промышленной золотоносностью. Помимо меловых даек, в работе [9] выделяется позднеюрский габбро-плагиогранитовый плутонический комплекс, возраст которого определяется приуроченностью к позднеюрским вулканидам, данные о составе отсутствуют.

По мнению [4, 6], вулканогенно-осадочные породы оксфорда-позднего мела образуют непрерывный стратиграфический разрез, который был включен в состав позднеюрской-раннемеловой Нутесынской дуги, сформированной на краю Чукотского микроконтинента [4–6, 10, 16]. Позже в работах [1, 7–9] вулканогенно-осадочные породы оксфорд-кимериджа были выделены в отдельный комплекс (Кульпольнейский [8] /Кораньвеемская толща [9]), сформировавшийся в пределах Кульпольнейской энсиматической дуги с погружением зоны субдукции от Чукотского микроконтинента. Апт-раннемеловые вулканические породы основного–кислого состава были исклю-

¹ Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: moartem@yandex.ru

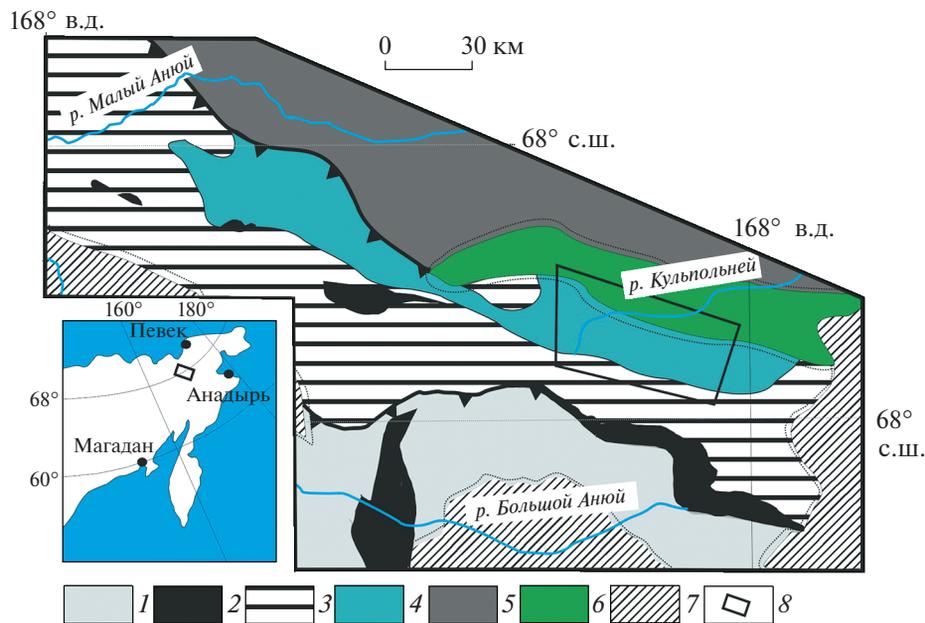


Рис. 1. Схема основных структурных элементов Южно-Анойской сутуры и ее обрамления по [7] с изменениями. 1 – палеозой-мезозойские вулканогенно-осадочные отложения Алазейско-Олойской складчатой системы; 2 – габбро-перидотиты; 3–4 – Южно-Анойская сutura: 3 – осадочные, вулканогенно-осадочные комплексы, палеозой-мезозой; 4 – вулканогенно-осадочные породы, оксфорд-кимеридж (Кульпольнейский комплекс); 5 – триасовые турбидиты пассивной окраины Чукотского микроконтинента, входят в состав Анойско-Чукотской складчатой системы; 6–7 – апт-раннемеловые пост-коллизонные впадины: 6 – Нутесынская впадина; 7 – другие впадины; 8 – район работ.

чены из островодужного разреза и отнесены к наложенной Нутесынской депрессии. При этом отмечалось, что возраст верхней части разреза Кульпольнейского комплекса не был установлен. В работе [2] была предложена модель, согласно которой оксфорд-кимериджская энсиматическая Кульпольнейская дуга была аккрецирована к краю Чукотского микроконтинента, где с титона по берриас с несогласием развивалась окраинно-континентальная Нутесынская дуга.

Главной задачей настоящего исследования является изучение вулканических пород Кульпольнейского комплекса и связанных с ним даек с целью определения геодинамических обстановок их формирования и возраста. Полученные данные позволят опровергнуть или подтвердить существующие модели тектонического развития северной части ЮАС в юрско-меловое время.

Исследования проводились в междуречье Кульпольней-Нутесын (рис. 2). В восточной части (бассейн р. Кораньвеем) преобладают туфы основного и среднего состава, потоки гиалокластитов, подчиненное положение занимают потоки (мощностью 5–25 м) базальтов и андезитов. Встречаются редкие прослои (до 4 м) тонкозернистых черных и серых аргиллитов. В туффитах обнаружены бухии кимеридж-титонского возраста [9]. Вулканиды обладают массивной, миндалекаменной текстурами и подушечной отдельностью. В междоушечном пространстве часто отмечаются бордовые кремнистые породы. К западу

(междуречье Прав. и Лев. Кульпольней) увеличиваются частота и мощность (до 40–50 м) покровов подушечных базальтов. По оценкам [9] общая мощность толщи 850–1100 м. В породах отмечаются зоны дробления южного падения, вероятно, соответствующие плоскостям надвигов. В пределах пород Кульпольнейского комплекса замков складок отмечено не было, слоистые пачки круто падают на юг. Вышележащие титонские вулканогенно-обломочные породы смяты в наклонные складки, осевые поверхности падают на юго-запад под углами 40°–80°, шарниры погружены на северо-запад под углами до 20°. Вулканогенные толщи апт-раннего мела со структурным несогласием залегают на позднеюрских вулканогенно-осадочных и осадочных породах.

Вулканические породы оксфорд-кимериджа прорваны дайками, которые секут подушечную отдельность и подчеркнуты эндоконтактовыми зонами мощностью до 5 м. Были выделены две фазы. Дайки первой фазы катаклазированы и деформированы вместе с вмещающими вулканидами. Дайки падают на юго-запад под углами 50°–65°, их мощность 3–7 м по простиранию прослеживается до 40 м. Породы представлены долеритами, диорит-порфирами, плагиогранит-порфирами. Возраст и состав даек первой фазы рассмотрены в статье. Ко второй фазе отнесены дайки кислого состава. Они не катаклазированы, предположительно относятся к апт-позднемеловым интрузиям.

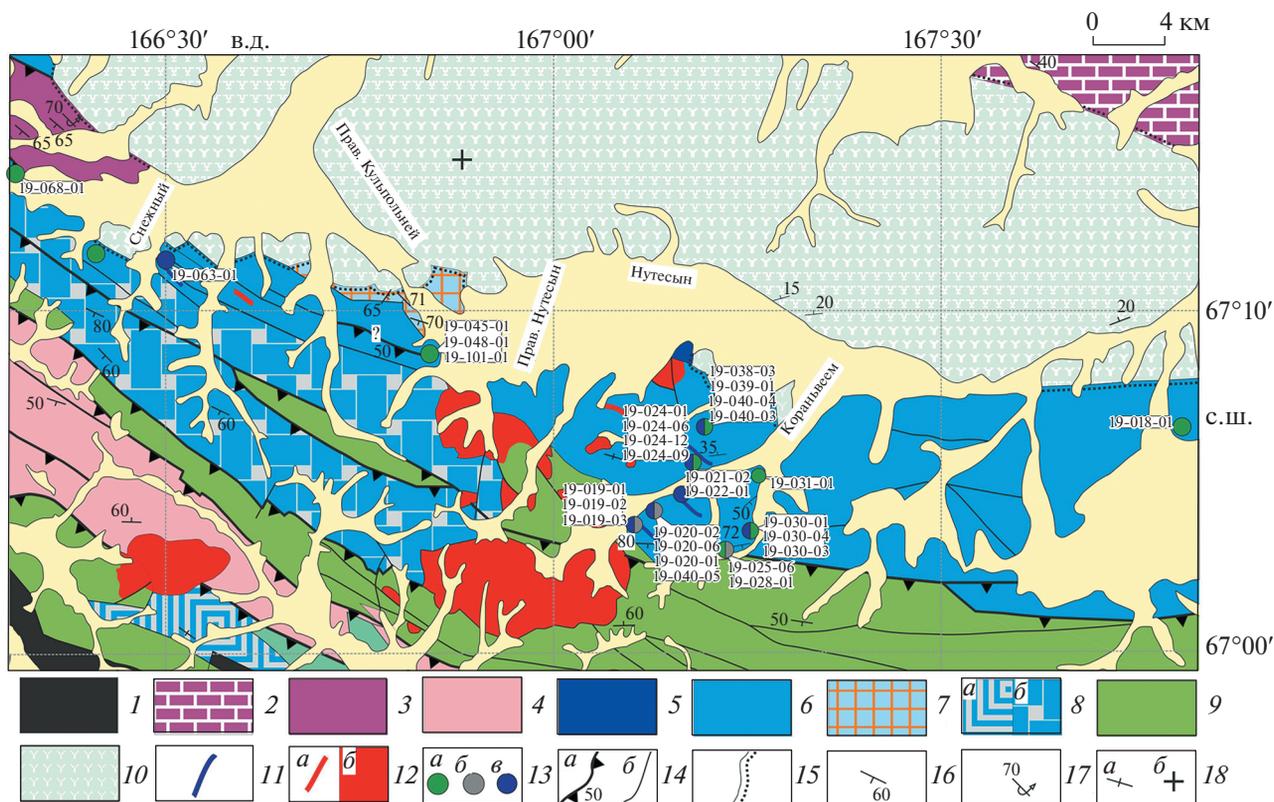


Рис. 2. Схема геологического строения Стадухинского сегмента Южно-Анчуйской сутуры [7, 8]. 1 – палеозой-мезозойские породы Яраваамского террейна Алазейско-Олойской складчатой системы; 2 – триасовые породы Анчуйско-Чукотской складчатой системы; 3–9 – Южно-Анчуйская сutura: 3 – терригенные породы, верхний триас; 4 – терригенные породы, нерасчлененные, верхний триас и ранний мел; 5 – терригенные породы, ранняя юра; 6 – вулканогенно-осадочные породы, оксфорд-кимеридж (Кульпольнейский комплекс); 7 – вулканогенно-обломочные породы, титон; 8 – микститы, вулканогенно-терригенные и терригенные породы: а – поздняя юра–ранний мел, б – титон; 9 – терригенные породы, ранний мел (левотеньвельвеевская толща); 10 – вулканогенно-осадочные породы, апт-поздний мел; 11–12 – интрузивные породы: 11 – дайки диоритов, плагиогранитов, берриас; 12 – гранитоиды, апт-поздний мел: а – дайки; б – штоки; 13 – точки опробования изученных пород и их номера: а – эффузивные породы, б – туфы, в – дайки; 14 – разрывные нарушения: а – надвиги, б – разломы; 15 – несогласные взаимоотношения пород; 16–19 – элементы залегания слоистости и вулканических потоков: 16 – наклонное; 17 – опрокинутое; 18 – вертикальное; 19 – горизонтальное.

Составы изученных пород приведены в приложении 1.

Вулканические породы Кульпольнейского комплекса представлены базальтами, андезибазальтами и андезитами. Текстура пород миндалекаменная, массивная. Структура порфировая, редко афировая. Структура основной массы – микролитовая, гиалопилитовая. Вкрапленники (15–35%) представлены плагиоклазом (70–100% от всего объема вкрапленников) и пироксеном (0–30%). Иногда вкрапленники замещены эпидотом и хлоритом. Основная масса представлена микролитами плагиоклаза, клинопироксена и девитрифицированным вулканическим стеклом. Содержание рудного минерала доходит до 10%. По составу обломков выделяются лито-витрокластические, лито-кластические и кристаллокластические туфы. Кристаллокласты чаще всего представлены плагиоклазом, реже обломками

пироксена. Литокласты представлены фрагментами базальтов и андезитов размеров от 0.3 до 15–20 см. Матрикс (около 10–15%) вулканогенный, часто замещен вторичными минералами (эпидот, кальцит, хлорит).

По соотношению SiO_2 и K_2O большинство эффузивов и туфов соответствуют низкокальциевой островодужной толеитовой серии. По содержанию SiO_2 вулканыты отвечают базальтам ($n = 7/13$), андезибазальтам ($n = 5/13$) и андезитами. Составы туфов отвечают в основном андезибазальтам ($n = 3/5$), а две точки их составов попадают в поля андезитов и дацитов. Все вулканические породы характеризуются низкой и умеренной магнезиальностью ($\text{Mg}^* = 29–69$). На диаграмме AFM [12] составы пород отвечают толеитовому тренду. Породы умеренно глиноземистые ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 13.5–17.8$ мас. %). Со-

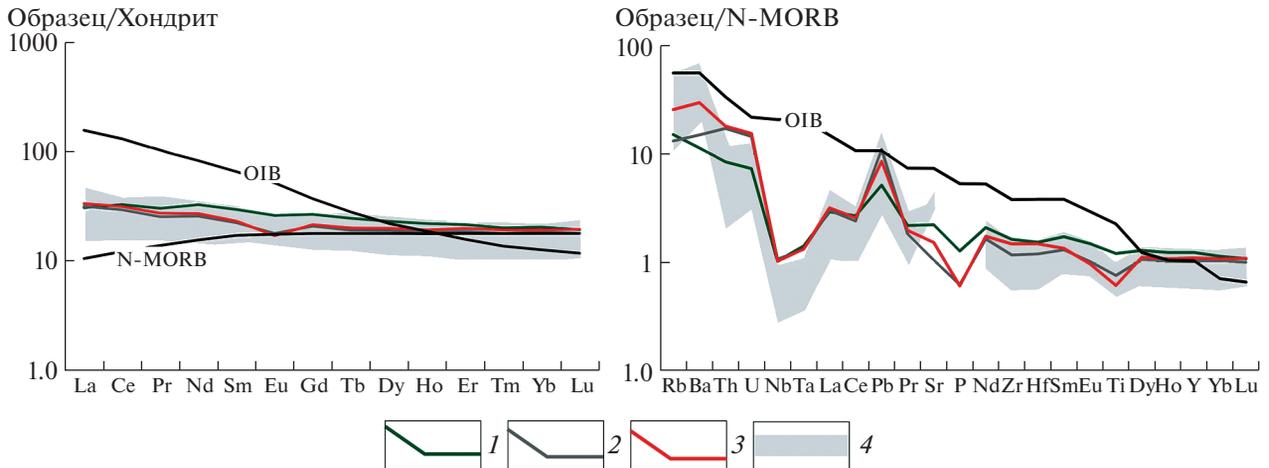


Рис. 3. Хондрит-нормализованные распределения РЗЭ (а) и спайдерграммы редких элементов, нормированных на состав N-MORB (б). Значения для нормирования [18]. 1–2 – усредненные составы вулканических пород Кульпольнейского комплекса: 1 – вулканиты ($n = 15$), 2 – туфы ($n = 5$); 3 – доаптские дайки ($n = 7$); 4 – область составов Марианской дуги по [11].

держание TiO_2 колеблется от 0.8 до 2.6 мас. %, при среднем ($n = 22$) значении 1.4 мас. %.

Особенности распределения РЗЭ соответствуют островодужному типу с преобладанием легких над средними и тяжелыми РЗЭ ($La/Yb = 1.5–3.1$; $La/Sm = 1.2–2.6$), при умеренной концентрации РЗЭ ($La + Sm + Yb = 8.7–22.4$ г/т) (рис. 3а).

Мультиэлементные спектры однотипны и сходны со спектрами вулканитов Марианской дуги, отмечаются преобладание крупноионных литофильных элементов над высокозарядными, Nb–Ta- и P-отрицательные аномалии и Pb-положительная аномалия (см. рис. 3б). На диаграмме зависимости $Th/Yb–Ta/Y$ [17] фигуративные точки составов вулканитов широко разбросаны вдоль оси значений Th/Yb и попадают в поля вулканитов рифтогенных и спрединговых зон задуговых бассейнов и вулканитов энсиматических дуг. Для туфов отмечаются более высокие значения Th/Yb , что сближает их с составами вулканитов энсиматической дуги (рис. 4).

Вулканические породы характеризуются положительными значениями ϵNd (+7.4...+10.0), отношение $^{143}Nd/^{144}Nd$ практически не меняется (0.513008–0.513133), содержание радиогенного Sr 0.702730–0.703908. Изотопные отношения Nd и Sr близки к конечному компоненту NIMU.

Доаптские дайки представлены долеритами, диорит-порфирами, кварцевыми диорит-порфирами и плагиогранит-порфирами. Породы обладают массивной текстурой. Структура разнообразна: преобладает гипидиоморфнозернистая структура, реже наблюдаются порфировая, порфировидная, гломеропорфировая и катакластическая структуры. Долериты, диорит-порфиры и кварцевые диорит-порфиры сложены плагиокла-

зом (50–70%), пироксеном (30–50%), амфиболом (0–7%) и кварцем (0–10%). Плагиогранит-порфир состоит из вкрапленников плагиоклаза (40–60%) и кварца (30–40%). Также присутствует калиевый полевой шпат (до 5%). Основная масса состоит преимущественно из зерен кварца неправильной формы (80%) и микролитов плагиоклаза (10%), интерстиции заполнены ксеноморфными выделениями роговой обманки (10%).

По соотношению SiO_2 и K_2O породы занимают промежуточное положение между толеитовой и известково-щелочной сериями. Они характеризуются низкой и умеренной магнезиальностью ($Mg^* = 30–59$). Содержания TiO_2 изменяются от 0.3 до 1.1 мас. %, Al_2O_3 от 14 до 20.4 мас. %.

Содержания рассеянных и редкоземельных элементов сходны с ранее описанными вулканитами. Отмечается более высокая степень обогащения крупноионными литофилами относительно высокозарядных элементов. На диаграмме $Th/Yb–Ta/Yb$ (Pearce, et al., 2005) фигуративные точки составов даек находятся в поле вулканитов энсиматических островных дуг (см. рис. 4).

Дайки обладают сходными с вулканитами оксфорд-кимериджа изотопными характеристиками радиогенного Nd ($\epsilon Nd = +7.2...+7.4$; $^{143}Nd/^{144}Nd = 0.512975–0.512988$).

U–Th–Pb-датирование аксессуарных цирконов осуществлялось на вторично-ионном микрозонде SHRIMP-II в центре изотопных исследований ВСЕГЕИ по стандартной методике [14]. Обработка полученных данных и построение графиков осуществлялись с использованием программ SQUID и ISOPLOT/Ex [15]. Цирконы не удалось выделить из вулканических пород, и они были выделены из кварцевого диорит-порфира и

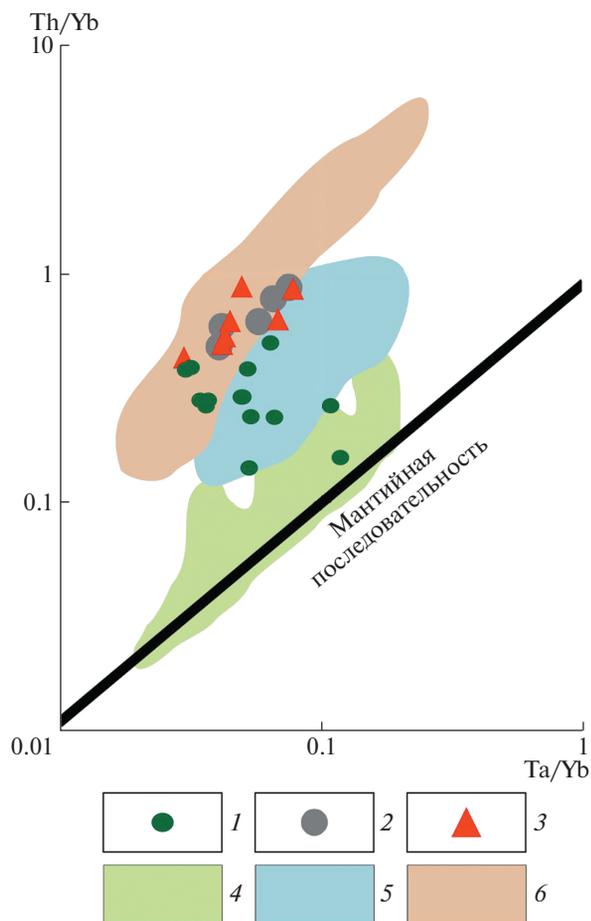


Рис. 4. Th/Yb–Ta/Yb диаграмма по [17]. 1–2 – составы вулканических пород Кульпольнейского комплекса: 1 – вулканиты ($n = 15$), 2 – туфы ($n = 5$); 3 – доаптические дайки ($n = 7$); 4–6 – составы Марианской островодужной системы [17]: 4 – спрединговый центр задугового бассейна; 5 – рифтовые зоны задугового бассейна; 6 – островная дуга.

плагиигранит-порфира (табл. 2). Все зерна цирконов имеют призматическую форму и осцилляторную зональность. Конкордантные значения возраста составляют 140 ± 1 и 143 ± 1 млн лет (приложение 2) (рис. 5).

Представленные данные указывают, что вулканические породы оксфорд-кимериджа были сформированы в надсубдукционной обстановке из обедненного мантийного источника и сходны с вулканитами Марианской островодужной системы (рис. 4). С вулканитами задугового спрединга изученные породы сближает высокое содержание TiO_2 (0.8–2.6 мас. %), что не характерно для вулканитов островных дуг (например, [19]). Геологическое строение вулканогенно-осадочных пород Кульпольнейского комплекса скорее указывают на их образование в пределах островной дуги: 1) в современной структуре породы образуют линейно вытянутые выходы; 2) отсутствуют осадочные породы достаточной мощности, характерные для задуговых бассейнов; 3) широко распространены пирокластические, крупнообломочные разности.

Сделанные выводы противоречат модели, где в поздней юре–раннем мелу на краю Чукотского микроконтинента реконструируется континентальная окраина [4, 10, 16], и подтверждают, что, по крайней мере, до кимериджа существовала внутриокеаническая островодужная система. Структурное положение и внутриокеаническая природа надсубдукционного вулканизма подтверждают принадлежность пород Кульпольнейского комплекса к структурам ЮАС.

Возрасты даек диоритов и плагиигранитов первой фазы указывают на их раннемеловой, берриасский возраст. Для ЮАС неизвестны магма-

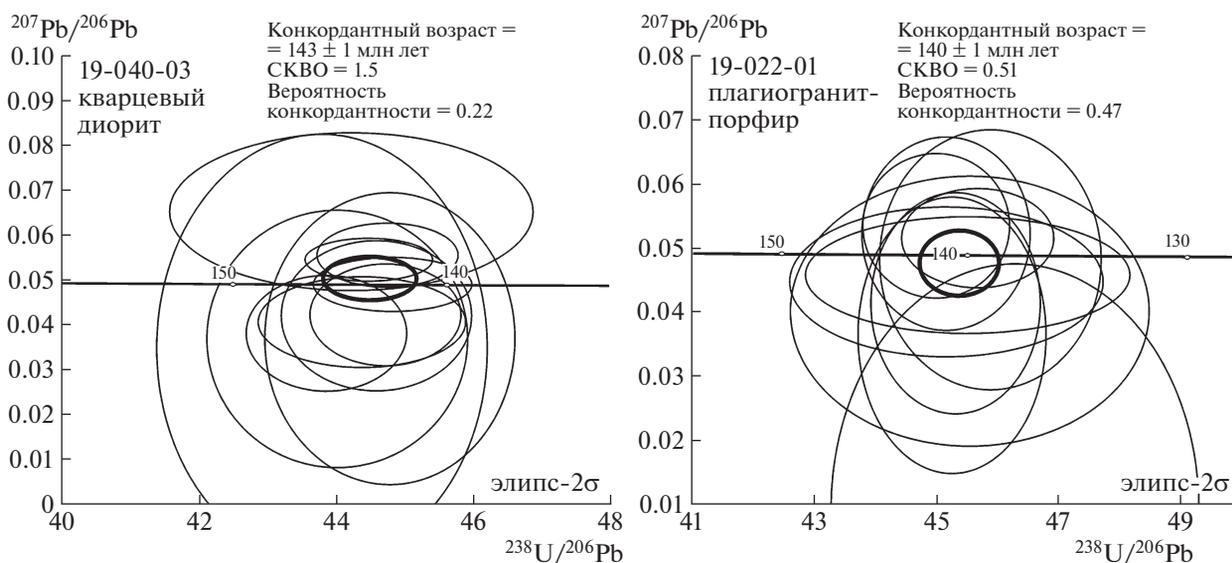


Рис. 5. Диаграммы с конкордией для цирконов из даек, рвущих вулканические породы Кульпольнейского комплекса.

тические породы данного интервала. Составы петрогенных и рассеянных элементов берриасских даек и оксфорд-кимериджских вулканитов сходны между собой, что указывает на их общий источник и позволяет предполагать формирование в единой геодинамической обстановке. Если данное утверждение верно, то возрастной предел Кульпольнейской внутриокеанической зоны субдукции становится существенно более молодым [1, 7–9]. Это противоречит модели [2], где выделяются оксфорд-кимериджский внутриокеанический и титон-берриасский окраинно-континентальный надсубдукционный вулканизм. Данный вывод носит предварительный характер и требует дополнительных подтверждений.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Химический и изотопный (Sr, Nd) составы образцов вулканических пород Кульпольнейского комплекса и даек берриасского возраста.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Результаты U–Th–Pb (SIMS) датирования акцессорных цирконов из даек, рвущих вулканические породы Кульпольнейского комплекса.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена за счет средств гранта РФФИ 18-77-10073; базовое финансирование сотрудников за счет субсидии 0135-2019-0038.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бондаренко Г.Е.* Тектоника и геодинамическая эволюция мезозойд северного обрамления Тихого океана. Автореф. дисс. ... докт. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 2004. 46 с.
2. *Ватрушкина Е.В., Тучкова М.И., Соколов С.Д.* Позднеюрский-раннемеловой надсубдукционный вулканизм Чукотского террейна (Арктический регион, Россия) // *Геотектоника*. 2019. № 6, С. 1–14.
3. *Лычагин П.П., Дылевский Е.Ф., Шпикерман В.И., Ликман В.Б.* Магматизм центральных районов Северо-Востока СССР. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. 119 с.
4. *Натальин Б.А.* Раннемезозойские эвгеосинклинальные системы северной части Тихоокеанского обрамления // М.: Наука. 1984. 136 с.
5. *Парфёнов Л.М.* Континентальные окраины и островные дуги мезозойд Северо-Востока Азии. Новосибирск: Наука. 1984. 192 с.
6. *Радзивилл А.Я., Радзивилл В.Я.* Позднеюрские магматические образования Южно-Аньюйского прогиба / Магматизм северо-востока Азии. Магадан, 1975. С. 71–80.
7. *Соколов С.Д., Тучкова М.И., Ганелин А.В., Бондаренко Г.Е., Лейер П.* Тектоника Южно-Аньюйской су-
туры (северо-восток Азии) // *Геотектоника*. 2015. № 1. С. 5–30.
8. *Соколов С.Д., Тучкова М.И., Бондаренко Г.Е.* Тектоническая модель Южно-Аньюйской сутуры и ее роль в формировании структур Восточной Арктики // *Строение и история развития литосферы*. М.: Paulsen, 2010. С. 204–227.
9. *Шеховцов В.А., Глотов С.П.* Государственная геологическая карта РФ масштаба 1 : 200 000 (издание второе). Серия Олойская. Лист Q-58-XI, XII. Объяснительная записка/ред. Соколов С.Д. 2001. 106 с.
10. *Amato J.M., Toro J., Akinin V.V., Hampton B.A., Salnikov A.S., Tuchkova M.I.* Tectonic Evolution of the Mesozoic South Anyui Suture Zone, Eastern Russia: A critical Component of Paleogeographic Reconstructions of the Arctic Region // *Geosphere*. 2015. V. 11. № 5. P. 1530–1564. <https://doi.org/10.1130/GES01165.1>
11. *Elliot T., Plank T., Zindler A., White W., Bourdon B.* Element Transport Form Slab Volcanic Front at the Mariana Arc // *Journal of Geophysical Research*. 1997. V. 102. № B7. P. 14991–15019.
12. *Gribble R.F., Stern R.J., Newman S., Bloomer S.H., O'Hearn T.* Chemical and Isotopic Composition of Lavas from the Northern Mariana Trough: Implications for Magmagenesis in Back-arc Basins // *Journal of Petrology*. 1998. V. 39. № 1 P. 125–154.
13. *Irvine T.N., Baragar W.R.A.* A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks // *Canadian Journal of Earth Science*. 1971. V. 8. P. 523–548.
14. *Larionov A.N., Andreichev V.A., Gee D.G.* The Vendian Alkaline Igneous Suite of Northern Timan: Ion Microprobe U–Pb Zircon Ages of Gabbros and Syenite. In: *Gee D. G., Pease V. L.* (eds). The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica // *Geological Society*, 2004. London, Memoirs., V. 30, P. 69–74. <https://doi.org/10.1144/GSL.MEM.2004.030.01.07>
15. *Ludwig K.R.* User's Manual for Isoplot 3.75. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication. 2012. № 5. 75 p. http://www.bgc.org/isoplot_etc/isoplot/Isoplot3_75-4_15manual.pdf
16. *Nokleberg W.J., Parfenov L.M., Monger J.W.H., Norton I.O., Khanchuk A.I., Stone D.B., Scotese C.R., Scholl D.W., Fujita K.* Phanerozoic Tectonic Evolution of the Circum–North Pacific: U.S. Geological Survey Professional Paper 1626. 2000. 122 p.
17. *Pearce J.A., Stern R.J., Bloomer S.H., Fryer P.* Geochemical Mapping of the Mariana Arc-basin System: Implications for the Nature and Distribution of Subduction Components // *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2005. V. 6. P. 1–27. <https://doi.org/10.1029/2004GC000895>
18. *Sun S.S., McDonough W.F.* Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implication for Mantle Composition and Processes. (Eds. A.D. Saunders and M.J. Norry) // *Magmatism in the oceanic basins*, Geol. Soc. Spec. Publ. 1989. № 42. P. 313–345.
19. *Winter J.D.* An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. 2010. 702 p.

KULPOLNEY VOLCANIC COMPLEX OF SOUTH-ANYUI SUTURE (WESTERN CHUKOTKA): COMPOSITION, AGE AND TECTONIC SETTING

A. V. Moiseev^{a, #}, M. V. Maskaev^a, D. K. Ulyanov^a,

Corresponding Member of the RAS S. D. Sokolov^a, and B. V. Belyatsky^b

^a Federal State Institution of Science Geological Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

^b A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, Saint-Petersburg, Russian Federation

[#]E-mail: moartem@yandex.ru

New result from the study of geochemical and Sr, Nd isotopic compositions of effusive and explosive rocks of the Oxford-Kimmeridgian Kulpolney complex and its intruding dikes of the South Anyui suture are considered. It has been proven that effusive, explosive rocks were formed within the intraoceanic convergent boundary (back-arc basin and / or island arc). Among the volcanics of the Kul'polei complex, diorite and plagiogranite dikes are described, which are deformed together with the host rocks. The concordate U–Pb ages of zircons from dikes are 143 ± 1 – 140 ± 1 Ma. The similarity of the geochemical composition of volcanics and dikes suggests their formation in a one geodynamic setting. If this assumption is correct, It makes the upper age limit of suprasubduction volcanism significantly younger, until the Berriasian age.

Keywords: Arctic, basalts, diorites, U–Pb age, zircon, geochemistry, Island Arc, tectonics, Late Jurassic–Early Cretaceous