

УДК 552.31:553.21

СУБЩЕЛОЧНЫЕ БАЗАЛЬТОИДЫ В УЛЬТРАМАФИТАХ МАССИВА РАЙ-ИЗ (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ) И ИХ ПЕТРОГЕНЕТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

© 2023 г. Н. В. Вахрушева^{1,*}, К. С. Иванов¹, член-корреспондент РАН В. Н. Пучков¹, П. Б. Ширяев¹

Поступило 09.11.2022 г.

После доработки 08.12.2022 г.

Принято к публикации 10.12.2022 г.

Исследованы состав и возраст субщелочных долеритов, локализованных в хромитоносных ультрамафитах массива Рай-Из. Долериты фиксируют зоны тектонических нарушений в пределах ультрамафитов и не выходят за их пределы, пространственно тяготея к месторождениям и проявлениям хромовых руд. Для изученных пород характерны повышенные содержания щелочей, TiO_2 , P_2O_5 , обогащение крупноионными литофильными элементами и Th; сумма REE варьирует от 103.3 до 164.2 г/т; $(La/Sm)_n = 1.3–1.7$. Определен возраст субщелочных долеритов $^{40}Ar/^{39}Ar$ -методом (402.7 ± 3.8 млн лет). В это время произошла глубокая метаморфическая переработка ультрамафитов большей части массива Рай-Из с формированием хромового оруденения высокохромистого типа и обособлением в зонах разгрузки жильной серии субщелочных долеритов.

Ключевые слова: субщелочные долериты, ультрамафиты, хромит, Полярный Урал, $^{40}Ar/^{39}Ar$ -датирование, палеозой

DOI: 10.31857/S2686739722602538, EDN: NXOLBK

Полярноуральские офиолитовые массивы Рай-Из и Войкаро-Сынинский расположены в основании корово-мантийного разреза Войкарской палеозойской палеоостроводужной зоны, надвинутой по Главному Уральскому глубинному разлому на край Восточно-Европейского континента. Совместно с массивом Сыум-Кеу они слагают крупнейший в мире офиолитовый мафит-ультрамафитовый пояс, протяженностью более 400 км. Массив Рай-Из не только вмещает самое крупное в России месторождение хромовых руд Центральное, но и представляет уникальный объект для исследования геологии и метаморфизма ультрамафитов и мафитов ([1, 2] и др.). В последние годы массив привлекает внимание находками в хромититах алмазов и других минералов, сформировавшихся при сверхвысоких давлениях ([3] и др.).

Впервые субщелочные долериты среди ультрамафитов массива Рай-Из диагностированы А.Н. Заварицким как жильный роговообманковый диабаз [4]. Описания находок базальтоидов повышенной щелочности все чаще появляются в публикациях, посвященных различным офиолитовым комплексам мира ([5–9] и др.), в том числе

и хромитоносным [10]. Ранее, в хромитоносном дунит-гарцбургитовом комплексе Наранского массива (Монголия) нами были выделены многочисленные маломощные дайки базанитов и меланефелинитов [11], которые, как и на Рай-Изе, здесь пространственно тяготеют к рудопроявлениям хромовых руд.

В [13] приведены геохимические характеристики и результаты $^{40}Ar/^{39}Ar$ -датирования (313 млн лет) даек эссексит-долеритов, близких по геохимическим характеристикам к изученным долеритам и секущих диориты Собского комплекса ранне-среднедевонского возраста (410–393 млн лет [14]), расположенного южнее массива Рай-Из (рис. 1).

Среди ультрамафитов массива Рай-Из нами исследованы дайки субщелочных долеритов (рис. 1), их состав и изотопный возраст.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ДОЛЕРИТОВ

В пределах месторождения хромовых руд Центральное долериты задокументированы в северном карьере (обнажение Е-2006, см. рис. 1) среди серпентинитов Полойшорского разрыва, ограничивающим месторождение с северо-северо-востока. Выходы даек долеритов прослежены по простиранию (азимут простирания 315°) на 1.8 км, при мощности от 0.5 до 7 м. Долериты также задокументированы в выходе жильного тела среди мета-

¹ Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

*E-mail: nv250190@yandex.ru

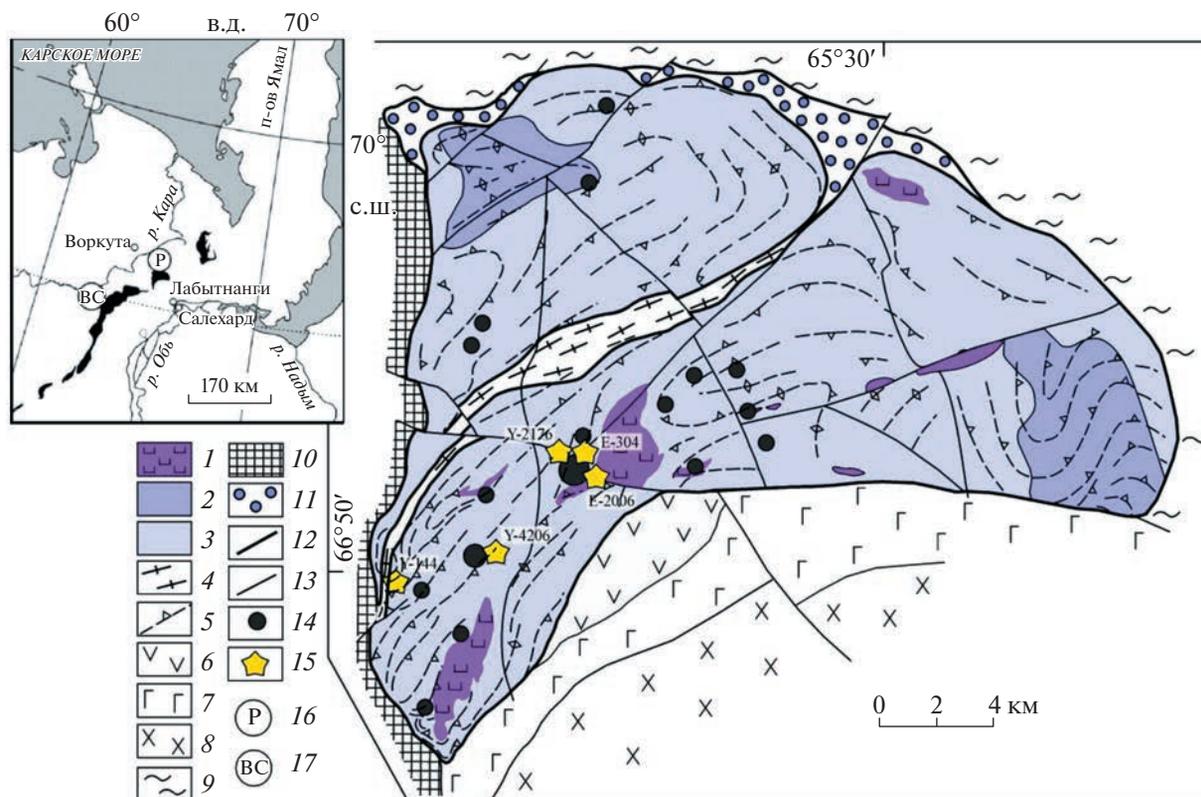


Рис. 1. Геологическая схема массива Рай-Из (по данным [1, 2, 12] с изменениями). 1–3 – райизско-войкарский дунит-гарцбургитовый комплекс: 1 – дуниты, 2 – гарцбургиты, 3 – нерасчлененный дунит-гарцбургитовый комплекс; 4 – Центральная зона метаморфизма; 5 – полосчатость и направление ее падения; 6–7 – дунит-верлит-клинопироксенит-габбровый комплекс; 8 – нерасчлененные дуниты, верлиты, клинопироксениты, 7 – габбро; 8 – плагиограниты и тоналиты Собского комплекса; 9 – филлитовидные сланцы нижнего палеозоя; 10 – кристаллические сланцы и гнейсы хараматалоуского комплекса; 11 – зона серпентинитового меланжа; 12–13 – разрывные нарушения: 12 – 1-го порядка, 13 – 2-го порядка; 14 – месторождения и рудопроявления хромитов; 15 – внеслабные коренные выходы тел субщелочных долеритов; 16 – массив Рай-Из; 17 – Войкаро-Сынгинский.

ультрамафитов на северо-западном простирании дайкового комплекса (обнажение Y-2176, см. рис. 1).

В 250 м к востоку от месторождения хромитов Западное найден коренной выход метагарцбургитов (амфибол-энстатит-оливиновых пород) с дайкой долерита (Y-4206). Мощность дайки 60–70 см, юго-западный контакт задернован, азимут падения северо-восточного контакта 20° , угол падения 88° . Вдоль северо-восточного контакта наблюдается зона закалки, представленная гиалодолеритом, мощностью 2 см (см. приложение ESM_1.pdf).

В юго-западной части массива Рай-Из (к западу от месторождения № 214), коренные выходы долеритов прослежены по простиранию на 380 м (Y-144); видимая мощность тел варьирует от 6 до 11 м; азимут простирания 70° , контакты с ультрамафитами не обнажаются. За пределы ультрамафитов долериты не распространяются.

Из геологических наблюдений следует, что долериты фиксируют зоны тектонических наруше-

ний внутри ультрамафитов и не выходят за их пределы, пространственно тяготея к месторождениям и проявлениям хромовых руд.

ПЕТРОГРАФИЯ

Среди изученных гипабиссальных пород выделяются три основные разновидности – гиалодолерит из зоны закалки (Y-4206/1), тонкозернистый долерит пироксен-плагиоклазового состава (Y-4206/2-5) и амфиболовый долерит (E-2006, Y-2176, E-304, Y-144), в составе которого, кроме плагиоклаза и пироксена, присутствует амфибол в количестве 20–30%.

Гиалодолерит (Y-4206/1) представлен темно-коричневой стекловатой основной массой с микропорфиловыми вкрапленниками клинопироксена, плагиоклаза, титаномагнетита и, редко, оливина (см. приложение ESM_1.pdf). Вулканическое стекло составляет 85–90% породы. Химический состав вулканического стекла выдержан и составляет: $\text{SiO}_2 = 47.57\text{--}48.83$; $\text{TiO}_2 = 3.40\text{--}3.78$;

$\text{Al}_2\text{O}_3 = 13.45\text{--}13.83$; $\text{MgO} = 4.03\text{--}4.20$; $\text{MnO} = 0.20\text{--}0.31$; $\text{FeO} = 12.47\text{--}13.26$; $\text{CaO} = 8.07\text{--}8.25$; $\text{Na}_2\text{O} = 3.11\text{--}3.38$; $\text{K}_2\text{O} = 1.48\text{--}1.62$; $\text{P}_2\text{O}_5 = 1.41\text{--}1.50$; $\text{SO}_2 = 0.38\text{--}0.46$ мас. %. Рамановскими спектрами установлено присутствие в вулканическом стекле воды (см. приложение ESM_2.pdf).

Плагиоклаз-пироксеновый долерит (Y-4206/2-5) – тонкозернистая порода микропорфировой структуры с микролитовым мезостазиом. Порода полностью раскристаллизована; в составе преобладают плагиоклаз (45–50%) и клинопироксен (35–40%) (см. приложение ESM_1.pdf). Второстепенные минералы: биотит, амфибол и титаномагнетит, в количестве не более 3–5% каждый. Основная масса пронизана скелетными микрокристаллами ильменита. При электронно-микроскопическом исследовании в основной массе идентифицированы многочисленные зерна апатита, размером менее 0.01 мм.

Амфиболовые долериты наиболее распространены (E-2006, Y-2176, Y-144, E-304) и имеют две структурные разновидности – тонкозернистая микропорфировая из внешних частей жильных тел и равномернозернистая мелкозернистая из внутренних частей. Главные породообразующие минералы: плагиоклаз 30–35%, клинопироксен 10–15%, амфибол 20–30%, биотит 3–5%; второстепенные – калиевый полевой шпат, ильменит, титанит, гранат (андрадит); акцессорные – магнетит, апатит, хромшпинелид, циркон, бадделейт. Амфибол обрастает фенокристи клинопироксена и встречается в виде идиоморфных кристаллов коричневого цвета (см. приложение ESM_1.pdf). Вторичные изменения породы проявлены в сосюритизации плагиоклаза и незначительном развитии актинолита и хлорита.

Состав минералов определен на Cameca SX-100 в ИГГ УрО РАН (аналитики В.А. Булатов, И.А. Готтман). В плагиоклазе из гиалодолерита проявлена как прямая, так и осцилляторная зональность. В центре фенокристов в прямой зональностью минерал соответствует $\text{An}_{68\text{--}70}$, в крайних частях – $\text{An}_{66\text{--}64}$; в микролитах – $\text{An}_{54\text{--}57}$. Плагиоклаз в плагиоклаз-пироксеновом долерите более кислый, чем в гиалодолерите, соответствуя $\text{An}_{52\text{--}57}$ в фенокристаллах и $\text{An}_{33\text{--}51}$ в микролитах. Основной плагиоклаз $\text{An}_{69\text{--}71}$ в амфиболовом долерите сохраняется лишь в центральных частях вкрапленников, последовательно обрастая андезином-олигоклазом $\text{An}_{49\text{--}14}$.

Клинопироксен соответствует титанистому авгиту $\text{Wo}_{36.6\text{--}45.4}$ $\text{En}_{32.2\text{--}45.5}$ $\text{Fs}_{13.6\text{--}23.2}$ (см. приложение ESM_3.pdf). Состав минерала идентичен во всех петрографических разновидностях долерита. Содержание глинозема варьирует от 2.01 до 6.02 мас. %; оксида титана – от 0.66 до 2.78 мас. %; магнезиальность $\text{Mg\#} = \text{Mg} \times 100\% / (\text{Mg} + \text{Fe})$ со-

ставляет 65.8–76.9 ат. %. В фенокристаллах клинопироксена проявлена зональность, которая характеризуется возрастанием от центра к краю зерна алюминия, титана, железа.

Амфибол – титанистый паргасит; содержание оксида титана в минерале составляет 1.7–3.9 мас. %, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 9.27\text{--}10.77$ мас. %; $\text{Mg\#} = 56.0\text{--}64.4\%$. В амфиболе, аналогично клинопироксену, наблюдается прямая корреляция между содержанием титана и алюминия. Состав минерала близок во всех петрографических разновидностях долерита (см. приложение ESM_3.pdf).

Оливин представлен единичными идиоморфными фенокристаллами и микролитами в гиалодолерите. В фенокристах проявлена зональность: от центра к краю зерна возрастает содержание FeO с 16.94 до 24.81 мас. %; MnO – с 0.24 до 0.48 мас. %; Mg\# изменяется от 81.9 до 72.7%; количество оксида никеля убывает к краю с 0.19 до 0.06 мас. %. В микролитах оливин более железистый – FeO составляет 24.7–26.9 мас. %; $\text{Mg\#} = 67.7\text{--}70.0\%$.

Минералы биотитовой серии в исследованных долеритах относятся к ряду флогопит-аннит. Количество оксида титана в биотитах из плагиоклаз-пироксеновых долеритов изменяется от 2.7 до 4.8 мас. %, Mg\# от 41.6 до 63.2%, тогда как в амфиболовых TiO_2 варьирует от 0.3 до 5.8 мас. %, Mg\# от 21.5 до 65.6%.

Содержание основных компонентов в титаномагнетите из гиалодолерита и плагиоклаз-пироксенового долерита сопоставимо: $\text{FeO}_{\text{общ}} = 66.06\text{--}73.87$ мас. % и $\text{TiO}_2 = 15.68\text{--}18.55$ мас. %. Количество Al_2O_3 изменяется от 3.08 до 5.77 мас. %. Титаномагнетит из гиалодолерита отличается повышенным содержанием $\text{MgO} = 4.03\text{--}5.73$ мас. % и пониженным $\text{MnO} = 0.32\text{--}0.49$ мас. %, по сравнению с минералом из плагиоклаз-пироксеновых долеритов, где $\text{MgO} = 0.02\text{--}0.80$ мас. % и $\text{MnO} = 0.72\text{--}1.16$ мас. %. Результаты расчета минимального состава титаномагнетита приведены в табл. 1.

ГЕОХИМИЯ

Для исследованных долеритов характерны значительные вариации содержаний породообразующих оксидов. Сумма щелочей ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) в породах изменяется от 1.90 до 6.04 мас. %, при преобладании натрия над калием ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ от 1.40 до 3.86). На TAS-диаграмме (рис. 2) гиалодолерит попал в поле трахибазальта. Плагиоклаз-пироксеновые долериты соответствуют по составу умеренно-щелочным пикробазальтам и трахибазальтам. Амфиболовые долериты из различных геологических тел заметно отличаются по составу: породы из обнажения Y-2006 (см. рис. 1) соответствуют щелочным пикритами, тогда как долериты, обнажающиеся за пределами месторожде-

Таблица 1. Содержание миналов в титаномagnetите из долеритов массива Рай-Из

Порода	Содержание миналов, мол. %						
	<i>Mgt</i>	<i>Usp</i>	<i>Spl</i>	<i>Mgf</i>	<i>Hc</i>	<i>Cul</i>	<i>Glx</i>
Гиалодолерит	37.5–42.4	48.3–53.8	2.0–2.6	1.2–8.3	–	0.4–0.6	0.3–0.5
Долерит плагиоклаз-пироксеновый	33.8–44.8	49.6–59.7	–	0.0–1.6	2.9–4.3	0.4–0.5	0.8–1.3
Амфиболовый долерит	32.6–76.0	21.5–59.7	–	–	1.6–8.1	0.6–1.0	0.0–1.1

Примечание. *Mgt* – магнетит, *Usp* – ульвошпинель, *Spl* – шпинель, *Mgf* – магнезиоферрит, *Hc* – герцинит, *Cul* – кулсонит, *Glx* – галаксит.

ния (Y-2176), попадают в поле базальтов. Наиболее щелочными являются амфиболовые долериты юго-западной части массива (Y-144), соответствуя по составу трахибазальтам.

Содержания Na_2O и K_2O обратно пропорциональны MgO для всех типов долеритов. Для пород характерно повышенное содержание фосфора и титана: $\text{P}_2\text{O}_5 = 0.62\text{--}1.45$; $\text{TiO}_2 = 2.2\text{--}3.6$ мас. % (см. приложение *ESM_4.pdf*).

Характер распределения редкоземельных элементов, нормированных на хондрит [16], близок для всех изученных пород (рис. 3). Сумма REE варьирует от 103.3 до 164.2 г/г; $(\text{La}/\text{Sm})_n = 1.3\text{--}1.7$. Спектры тяжелых РЗЭ дифференцированы – отношение $(\text{Gd}/\text{Yb})_n$ составляет 1.83–2.47 (см. приложение *ESM_4.pdf*).

Спектры распределения элементов-примесей (рис. 4), нормированных на примитивную ман-

тию [16] для изученных долеритов, демонстрируют обогащение крупноионными литофильными элементами (Cs, Ba, Pb) и Th, а также наличие Ta–Nb-минимума и Pb- и P-максимумов.

Несмотря на петрографические различия и вариации главных петрогенных оксидов в долеритах массива Рай-Из, геохимические характеристики исследованных пород близки, что позволяет отнести их к продуктам единого магматического события.

Изотопный возраст изучен для амфиболового долерита E-2006/1 (см. рис. 1). $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирование показало (рис. 5), что в высокотемпературной части возрастного спектра выделилось плато, характеризующееся 76% выделенного ^{39}Ar и значением 402.7 ± 3.8 млн лет. Датирование проводилось в Институте геологии и минералогии СО РАН под руководством А.В. Травина по методике [17]. Долериты образовались в гипабиссальных

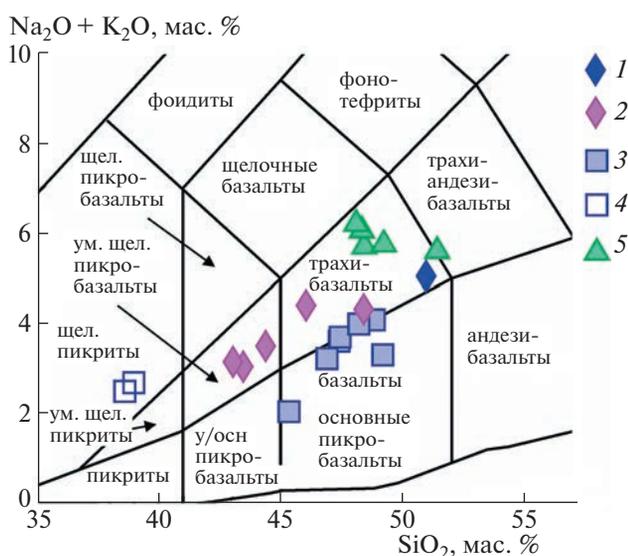


Рис. 2. Классификационная диаграмма SiO_2 – $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ для долеритов массива Рай-Из [15]. Условные обозначения: 1 – гиалодолерит Y-4206/1; 2 – плагиоклаз-пироксеновый долерит Y-4206/2-5; 3–5 – амфиболовые долериты: 3 – Y-2176; 4 – E-2006; 5 – Y-144.

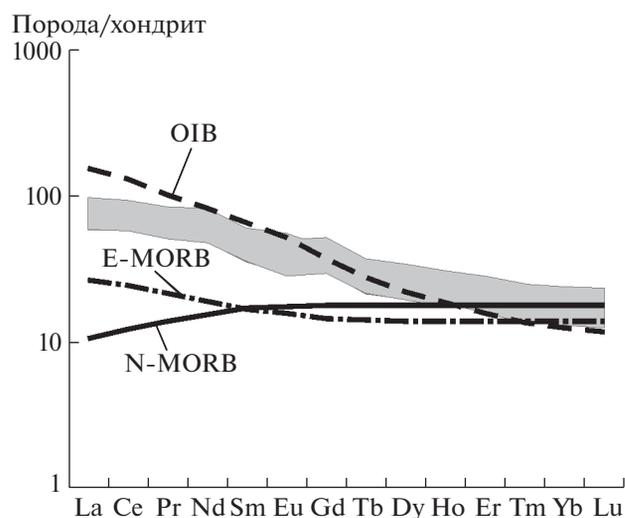


Рис. 3. Спектры распределения редкоземельных элементов, нормированных на хондрит, в долеритах массива Рай-Из. OIB – базальты океанических островов, E-MORB – обогащенный тип базальтов срединно-океанических хребтов, N-MORB – “нормальный” тип базальтов срединно-океанических хребтов. Составы OIB, E-MORB и N-MORB по [16].

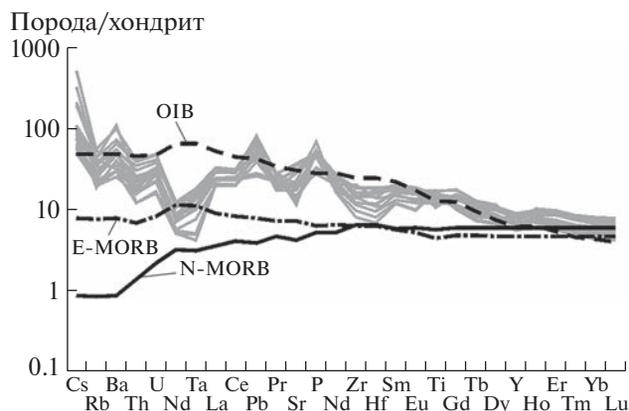


Рис. 4. Мультиэлементная диаграмма распределения элементов-примесей, нормированных на примитивную мантию [16], в долеритах массива Рай-Из.



Рис. 5. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования долеритов массива Рай-Из (обр. E-2006/1 – амфиболовый долерит из северного карьера месторождения Центральное).

условиях, что предполагает их быстрое остывание. Поэтому фиксируемые $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датировки должны соответствовать времени их формирования.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Химический состав исследованных долеритов отличается повышенными содержаниями TiO_2 и, соответственно, низкими $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ (<9), а также повышенными (по сравнению с MORB и островными дугами) содержаниями P_2O_5 . Относительно высокие содержания щелочей также не позволяют отнести рассматриваемые породы к типичным для полярноуральских офиолитовых разрезов толеитам [18].

Высокохромистое хромовое оруденение месторождений Центральное и Западное, а также рудопроявлений Юго-Западного рудного поля

массива Рай-Из, в пределах которых установлены субщелочные долериты, локализовано в породах метаморфизованного дунит-гарцбургитового комплекса, представленных амфибол-энстатит-оливиновыми породами и пегматоидными дунитами. Метаультрамафиты, вмещающие хромовое оруденение, заметно обеднены алюминием, кальцием, титаном, железом при одном и том же содержании нормативного пироксена, по сравнению с дунитами и гарцбургитами, претерпевшими лишь петельчатую серпентинизацию, не вмещающими хромовое оруденение и сохранившимися в северо-восточной, юго-западной и восточной частях массива [2].

Локализация хромового оруденения массива Рай-Из – месторождения Центральное, Западное и других проявлений, по нашему мнению, произошло во время формирования высокопараметрических метаморфитов, при подъеме ультрама-

фитового блока. Этот подъем вызвал декомпрессию и плавление мантийного материала с генерацией базальтовых магм. Частичное плавление исходного ультрамафитового субстрата запустило рудогенерирующий процесс, сопровождавшийся также выделением небольшой порции базальтового расплава повышенной щелочности, и плагиоклазитового мобилизата, локализующихся в зонах локального растяжения. Субщелочной долерит и плагиоклазит концентрируют алюминий, кальций, титан, щелочи, кремнезем; хромовая руда и околорудные дуниты – хром, железо и магний.

Определение U–Pb-возраста, выполненное по цирконам из плагиоклазитов массива Рай-Из, показало 400 млн лет [19], что согласуется с датировками по породам рудовмещающих метасульфидов месторождения Центральное, полученные Sm–Nd-методом [20], а также с результатами настоящего исследования. Датировки, полученные тремя разными методами, практически совпадают (в пределах ошибки) и подтверждают предложенную нами модель.

Приложения (дополнительные материалы) доступны на сайте <https://elibrary.ru>

БЛАГОДАРНОСТИ

Мы признательны А.В. Травину за выполненное аргон-аргоновое датирование. Авторы благодарны рецензентам за ценные критические замечания, способствовавшие улучшению статьи.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-17-00027, <https://rscf.ru/project/22-17-00027/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Строение, эволюция и минерогения гипербазитового массива Рай-Из. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. 228 с.
2. Вахрушева Н.В., Ширяев П.Б., Степанов А.Е., Богданова А.Р. Петрология и хромитоносность ультраосновного массива Рай-Из Полярный Урал. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2017. 265 с.
3. Yang J., Meng F., Xu X., Robinson P.T., Dilek Y., Makeyev A.B., Wirth R., Wiedenbeck M., Griffin W.L., Cliff J. Diamonds, native elements and metal alloys from chromitites of the Ray-Is ophiolite of the Polar Urals // *Gondwana Research*. 2015. V. 27. P. 459–485.
4. Заварицкий А.Н. Перидотитовый массив Рай-Из в Полярном Урале. М.–Л.: Гос. науч.–технич. изд-во, 1932. 221 с.
5. Lapierre H., Samper A., Bosch D., Maury R.C., Béchenec F., Cotten J., Demant A., Brunet P., Keller F., Marcoux J. The Tethyan plume: geochemical diversity of Middle Permian basalts from the Oman rifted margin // *Lithos*. 2004. V. 74. P. 167–198.
6. Bortolotti V., Chiari M., Göncüoğlu M.C., Marcucci M., Principi G., Tekin U.K., Saccani E., Tassinari R. Age and geochemistry of basalt–chert associations in the ophiolitic complexes of the Izmir-Ankara Mélange East of Ankara, Turkey: preliminary data // *Ophioliti*. 2013. V. 38. P. 157–173.
7. Saccani E., Allahyari K., Rahimzadeh B. Petrology and geochemistry of mafic magmatic rocks from the Sarve-Abad ophiolites (Kurdistan region, Iran): Evidence for interaction between MORB-type asthenosphere and OIB-type components in the southern Neo-Tethys Ocean // *Tectonophysics*. 2014. V. 621. P. 132–147.
8. Сафонова И.Ю. Внутриплитные океанические базальты из аккреционных комплексов Центрально-Азиатского складчатого пояса и Западной Пацифики. Автореф. дис. ... доктора геол.-мин. наук. Новосибирск, 2020. 40 с.
9. Saccani E. A new method of discriminating different types of post-Archean ophiolitic basalts and their tectonic significance using Th-Nb and Ce-Dy-Yb systematics // *Geoscience Frontiers*. 2015. V. 6. P. 481–501.
10. Khogenkumar S., Krishnakanta Singh A., Bikramaditya Singh R.K., Khanna P.P., Ibotombi Singh N., Inaocha Singh W. Coexistence of MORB and OIB-type mafic volcanics in the Manipur Ophiolite Complex, Indo-Myanmar Orogenic Belt, northeast India: Implication for heterogeneous mantle source at the spreading zone // *Journ. Asian Earth Sciences*. 2016. V. 116. P. 42–58.
11. Вахрушева Н.В. Щелочные ультрамафиты дайковой серии в дунит-гарцбургитовом комплексе Наранского массива (Монголия) // *Современные проблемы магматизма и метаморфизма*. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2012. Т. 1. С. 109–112.
12. Прямоносов А.П., Степанов А.Е., Телегина Т.В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000. Серия Полярно-Уральская. Лист Q-41-XII. Об. записка. М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013. 213 с.
13. Соболев И.Д., Викентьев И.В., Травин А.В., Бортников Н.С. Каменноугольный магматизм Полярного Урала // *Доклады РАН. Науки о Земле*. 2020. Т. 494. № 2. С. 22–28.
14. Соболев И.Д., Соболева А.А., Варламов Д.А. Возраст монцодиорит-порфиров из поздней дайковой фазы Конгорского массива (Полярный Урал) по результатам U-Pb [SIMS]-датирования цирконов // *Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН*, 2017. № 12. С. 16–24.
15. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Издание второе, переработанное и дополненное. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. 200 с.
16. Sun S.-S., McDonough W.F. Chemical and Isotopic Systematic of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes // *Geol. Soc. Spec. Publ.* London. 1989. V. 42. P. 313–345.
17. Травин А.В., Юдин Д.С., Владимиров А.Г., Хромых С.В., Волкова Н.И., Мехоношин А.С., Колотилина Т.Б.

- Термохронология Чернорудской гранулитовой зоны (Ольхонский регион, Западное Прибайкалье) // Геохимия. 2009. № 11. С. 1181–1199.
18. Язева Р.Г., Бочкарев В.В. Войкарский вулcano-плутонический пояс (Полярный Урал). Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. 160 с.
19. Вахрушева Н.В., Иванов К.С. Природа и возраст плагиоклазитов ультраосновного массива Рай-Из (Полярный Урал). // ДАН. 2018. Т. 480. № 1. С. 80–84.
20. Ронкин Ю.Л., Прямоносков А.П., Телегина Т.В., Ленихина О.П. Дунит-гарцбургитовый и дунит-верлит-клинопироксенит-габбровый комплексы Полярного Урала: REE и Sr-Nd ограничения / Тез. докл. I Российской конференции по изотопной геохронологии. М.: ИГЕМ РАН, 2000. С. 302–305.

SUBALKALINE BASALTOIDS IN ULTRAMAFIC ROCKS OF THE RAI-IZ MASSIF (POLAR URALS) AND THEIR PETROGENETIC SIGNIFICANCE

N. V. Vakhrusheva^{a,#}, K. S. Ivanov^a, Corresponding Member of the RAS V. N. Puchkov^a, and P. B. Shiryaev^a

^a Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation

[#] E-mail: nv250190@yandex.ru

The composition and age of subalkaline dolerites localized in chromite-bearing ultramafic rocks of the Rai-Iz massif are investigated. Dolerites are traced along tectonic zones inside ultramafic rocks and are not observed beyond their boundaries, spatially tending to deposits and occurrences of chromites. The studied dolerites are characterized by high concentrations of alkalis, TiO₂, P₂O₅, enrichment with large-ion lithophilic elements and Th; the amount of REE varies from 103.3 to 164.2 ppm; (La/Sm)_n = 1.3–1.7. The age of subalkaline dolerites was determined by the method ⁴⁰Ar/³⁹Ar (402.7 ± 3.8 million years). At this time, a deep metamorphic processing of ultramafic rocks of most of the Rai-Iz massif occurred with the formation of high-chromium chrome mineralization and the isolation of a vein series of subalkaline dolerites in the discharge zones.

Keywords: subalkaline dolerites, ultramafic rocks, chromite, Polar Urals, ⁴⁰Ar/³⁹Ar-dating, Paleozoic