——— ПЕТРОЛОГИЯ ——

УЛК 550.93.550.4.551.24

КАМЕННОУГОЛЬНЫЙ МАГМАТИЗМ ПОЛЯРНОГО УРАЛА

© 2020 г. И. Д. Соболев^{1,*}, И. В. Викентьев¹, А. В. Травин², академик РАН Н. С. Бортников¹

Поступило 15.07.2020 г. После доработки 30.07.2020 г. Принято к публикации 31.07.2020 г.

На Полярном Урале дайки и силлы долеритов, эссексит-долеритов, диоритов, монцодиоритов и лампрофиров, относящиеся к мусюрскому (малоханмейскому) гипабиссальному комплексу, прорывают все ордовикско-среднедевонские океанические и островодужные образования. По геологическим данным и немногочисленным изотопным датировкам предшественников возраст этого комплекса оценивается от конца позднего девона до раннего триаса. Впервые для северной части Урала нами выполнено 40 Ar/ 39 Ar-датирование гипабиссальных тел (разных интрузивных фаз) мусюрского комплекса и получены возрасты: 349 ± 3 , 347 ± 9 , 339 ± 4 , 334 ± 3 и 313 ± 10 млн лет. Эти датировки соответствуют времени коллизии Полярноуральской островодужной системы с палеоконтинентом Аркт-Лавруссия (Арктида + Балтика + Лаврентия), которая привела к образованию каменноугольного Раннеуральского орогена. Преобладающее северо-западное (вкрест предполагаемого орогена) простирание большинства даек Тоупугол-Ханмейшорского района, преимущественно надсубдукционные геохимические черты слагающих их пород (низкие и умеренные содержания TiO_2 (0.7–2.1 мас. %), P_2O_5 (0.1–0.8 мас. %), обогащение крупноионными литофильными элементами (Cs, Rb, Ba, Pb, Sr) относительно высокозарядных элементов-примесей, Ta-Nb-минимум, Pb- и Th-U-максимумы), а также раннекаменноугольные датировки (349-334 млн лет) приводят к выводу о вероятной синколлизионной обстановке их формирования. Ортогональное северо-восточное (вдоль оси орогена) простирание некоторых даек — эссексит-долеритов более южных районов, значительно более высокие концентрации в них TiO_2 (3.1–3.6 мас. %), P_2O_5 (0.6–1.3 мас. %), высокозарядных (Та, Nb) и большинства редкоземельных элементов (Eu, Gd, Tb, Dy, Y, Ho, Er, Tm, Yb, Lu), свойственные в большей степени рифтогенным и внутриплитным магматическим породам, а также их позднекаменноугольный возраст (313 млн лет) предполагают для внедрения этих тел постколлизионный режим.

Ключевые слова: коллизионный магматизм, Полярный Урал, Войкарская зона, мусюрский комплекс, 40 Ar/ 39 Ar-датирование, поздний карбон

DOI: 10.31857/S2686739720100096

Время закрытия Палеоуральского океана на Полярном Урале остается крайне дискуссионной проблемой. Син- и постколлизионный магматизм, сопровождавший это событие, изучен крайне слабо. Настоящая работа содержит новые ⁴⁰Ar/³⁹Ar-датировки и геохимические данные, позволившие впервые для северной части Урала установить каменноугольный возраст даек и силлов основного и среднего состава, сформировавшихся, как мы полагаем, на разных стадиях развития Раннеуральского орогена.

Сибирского отделения Российской академии наук,

Новосибирск, Россия

щими с ними вулканическими и вулканогенноосадочными образованиями [3]. Среди этих пород известны [2] силлы и дайки габбро, диоритов, монцодиоритов, лампрофиров, которые прорывают ранне-среднепалеозойские океанические и островодужные комплексы. Эти тела принято относить к мусюрскому (малоханмейскому) гипабиссальному комплексу, выделенному В.П. Ереминым (1974 г.). Возраст и геотектоническая природа мусюрского комплекса трактуются поразному. П.М. Кучерина (1991 г.) считал, что его интрузивы внедрялись в ранне-среднекаменноугольное время и связаны с заключительным эта-

В Войкарской зоне Полярного Урала (рис. 1)

восточнее линейной зоны развития в различной степени метаморфизованных ультраосновных и

основных пород офиолитовой ассоциации расположена почти непрерывная полоса шириной 5—

15 км, сложенная среднепалеозойскими надсуб-

дукционными плутоническими и ассоциирую-

^{*}E-mail: sobolev id@mail.ru

пом субдукции. Е.В. Черняев (2005 г.) и В.А. Душин относят эти базиты к пермотриасовым рифтогенным образованиям [4]. А.П. Прямоносов на основании геологических данных и К/Аг-датировок плагиоклаза (361 ± 1 млн лет) полагает, что расматриваемый комплекс сформировался в конце позднего девона [5]. Единичные пермо-триасовые датировки (239—259 млн лет), встреченные на фоне более древних (до 2695 млн лет), при датировании цирконов из силла габбро-долеритов и прорывающей его дайки лампрофиров в пределах месторождения Новогоднее-Монто ([6] и ссылки в этой работе), интерпретируются как время кристаллизации пород мусюрского комплекса.

Поскольку оставалась неопределенность со статистически непредставительными молодыми датировками, нами проведено дополнительное определение возраста базитов ⁴⁰Ar/³⁹Ar-методом в монофракциях первичных амфибола и плагиоклаза по стандартной методике [7]. Были изучены магматические тела трех фаз внедрения мусюрского комплекса на трех участках (рис. 1). Таблица с результатами датирования доступна по запросу у первого автора.

В Тоупугол-Ханмейшорском рудном районе (участок I на рис. 1) нами изучены силл и дайки, сложенные породами основного и среднего состава, которые прорывают средне-верхнеордовикские вулканиты соколинской, силурийские вулканогенно-осадочные породы тоупугольской и нижне-среднедевонской тоупуголъегартской толщ, а также ранне-среднедевонские диориты собского комплекса. Первая фаза мусюрского комплекса здесь представлена силлом, сложенным габбро-долеритами, габбродиоритами и диоритами. Силл вскрыт карьером месторождения Новогоднее-Монто и выходит далеко за его пределы, простираясь в северо-восточном направлении на 5.5 км при мощности до 200 м. Породы характеризуются порфировидной габбро-офитовой структурой, массивной текстурой, сложены плагиоклазом, клинопироксеном, титаномагнетитом и кварцем. Породы, содержащие 49.5-56.7 мас. % SiO₂, характеризуются нормальной и повышенной щелочностью ($K_2O + Na_2O 2.8-6.4$ мас. %) (рис. 2a), относящейся к Na-типу (Na₂O/K₂O 5.5— 62.9). В породах силла установлены вариации содержаний (мас. %) TiO_2 (0.7–2.1), Al_2O_3 (15.0–17.2), FeO_(06III.) (7.8–14), MgO (3.5–7.9), CaO (4.4–9.6), Na₂O (2.6–6.2), K₂O (0.1–0.8), P₂O₅ (0.1–0.5).

Ко второй фазе мусюрского комплекса отнесены дайки монцодиорит-порфиров северо-западного простирания, их мощность изменяется от 3 до 20 м; одна из даек сечет габбро-долериты первой фазы. Монцодиорит-порфиры обладают резко порфировидной структурой; вкрапленники представлены клинопироксеном и плагиоклазом,

а мелкозернистая основная масса сложена калиевым полевым шпатом, плагиоклазом, клинопироксеном, кварцем и титаномагнетитом. В монцодиорит-порфирах с концентрацией SiO_2 53.4—55.5 мас. % выявлена повышенная щелочность ($K_2O + Na_2O$ 5.0–7.9 мас. %) (рис. 2а) K- и K-Nатипов (Na_2O/K_2O 0.9–1.9). Вариации содержаний породообразующих оксидов в дайках небольшие (мас. %): TiO_2 (1.1–1.2), Al_2O_3 (16.5–19.7), $FeO_{(общ.)}$ (6.9–10.3), MgO (2.9–4.6), CaO (5.7–8.5), Na_2O (3.1–3.7), K_2O (1.7–4.2), P_2O_5 (0.3–0.4).

Третья фаза комплекса включает дайки лампрофиров мощностью 1–9 м, простирающиеся в северо-западном, западном и северо-восточном направлениях. Внутри некоторых меланократовых даек встречаются ветвящиеся пегматоидные сегрегации лейкократового облика мощностью от первых мм до 20 см. Контакты с вмещающими лампрофирами постепенные, количество темноцветных вкрапленников в этих обособлениях по мере приближения к контактам увеличивается. Лампрофиры имеют порфировидную лампрофировую структуру и массивную текстуру. В меланократовых разностях вкрапленники сложены преимущественно клинопироксеном (1-1.5 мм)и единичными зернами амфибола (до 1 мм): в лейкократовых обособлениях клинопироксен исчезает, вкрапленников амфибола становится больше, до 7-10 об. %, а их размер увеличивается до 1.5-2 мм. По минеральному составу породы относятся к подгруппе полевошпатовых лампрофиров (одиниты, малхиты и спессартиты). По петрохимической классификации (рис. 2a) они являются породами нормальной и повышенной щелочности с сильно варьирующими параметрами ($K_2O + Na_2O 2.3-8.5$ мас. % при SiO_2 48.7-56.2 мас. %) Na-, K-Na- и реже K-типов $(Na_2O/K_2O\ 0.6-51.5)$ с низкими и умеренными содержаниями TiO_2 (0.7–1.5 мас. %), значительными вариациями (мас. %) Al_2O_3 (10.9–17.4), FeO_(общ.) (4.8–12.1), MgO (2.9–14.7), CaO (7–12.4), $Na_2O(1.7-5.9)$, $K_2O(0.1-5.2)$, $P_2O_5(0.2-0.8)$.

В более южных частях Войкарской зоны по рекам Макаррузь и Кокпела (участки II и III на рис. 1) было опробовано 5 даек массивных долеритов. Дайки прорывают ранне-среднедевонские диориты собского и конгорского комплексов. Мощность даек 0.8—15 м, простирание — восток-северо-восточное. В эндоконтактовых зонах даек мощностью 1—10 мм долериты однородные стекловатые, а в центральных частях тел они приобретают порфировидную офитовую структуру. Породы сложены плагиоклазом, варьирующим по составу от андезина до альбита, авгитом, по краям обрастающим магнезиальной роговой обманкой, и магнезиальным биотитом. Для пород характерны незначительные изменения содержаний

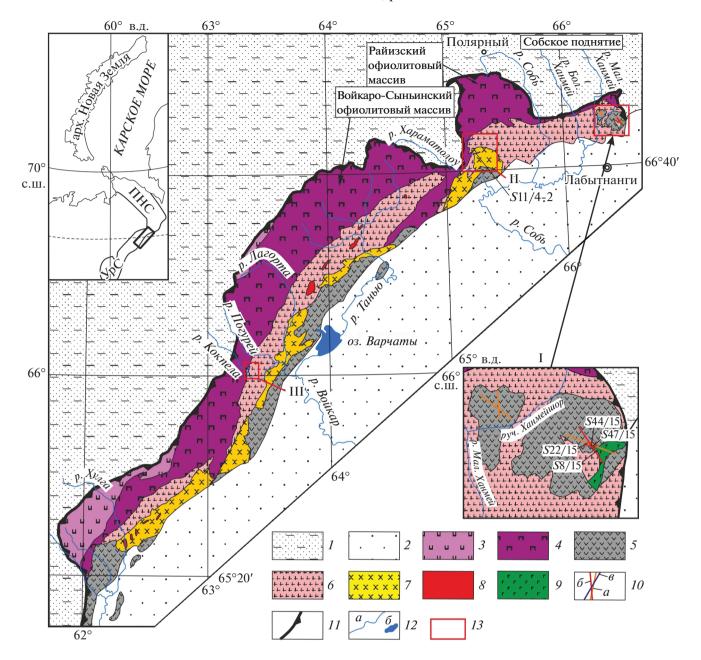


Рис. 1. Геологическая карта Войкарской зоны Полярного Урала, по данным [1, 2], с изменениями и дополнениями. На врезке: Уральское складчато-надвиговое сооружение — УрС, Пайхойско-Новоземельское складчато-надвиговое сооружение — ПНС, прямоугольником показано расположение Войкарской зоны. I — позднедокембрийские и палеозойские образования Западно-Уральской мегазоны; 2 — мезо-кайнозойский чехол Западно-Сибирской плиты; 3—10 — образования Войкарской зоны: 3 — докембрийские метабазиты и гипербазиты Дзеляюско-Хордьюсской подзоны, 4 — ордовикские метаморфизованные гипербазиты и габброиды, 5 — ордовикско-девонские вулканогенные и осадочновулканогенные образования, 6 — ранне-среднедевонские габброиды, диоритоиды и гранитоиды собского комплекса, 7 — ранне-среднедевонские габброиды, диоритоиды конгорского комплекса, 8 — средне-позднедевонские гранитоиды янаслорского комплекса, 9—10 — позднепалеозойские образования мусюрского комплекса (9 — силл габбродолеритов первой фазы, 10 — дайки: a — монцодиорит-порфиров второй фазы, 6 — лампрофиров третьей фазы, 6 — эссексит-долеритов), 11 — Главный Уральский надвиг, 12 — реки (a) и озера (b), b0, b1 — районы исследований (b1 — Тоупугол-Ханмейшорский, b3 — Макаррузь, b4 — Кокпела).

(мас. %): SiO_2 (49.9–50.5), TiO_2 (3.1–3.6), Al_2O_3 (13.5–15.7), $FeO_{(o6iii.)}$ (12.2–13.1), MgO (3.8–4.8), CaO (7.7–9.1), Na_2O (3.6–4.3), K_2O (0.3–1.2), P_2O_5 (0.6–1.3). Согласно петрохимической классифи-

кации (рис. 2a) они относятся к эссекситам с повышенной щелочностью ($K_2O + Na_2O + 4.3 - 5.5$ мас. %) K—Na- и Na-типов ($Na_2O/K_2O + 3.3 - 15.0$). Обращают на себя внимание высокие содержа-

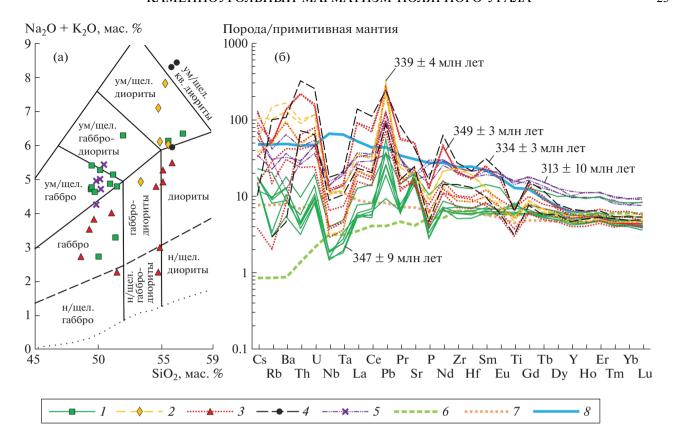


Рис. 2. Геохимические диаграммы для интрузивных пород мусюрского комплекса Войкарской зоны Полярного Урала. (а) $(Na_2O+K_2O)-SiO_2$; (б) мультиэлементная диаграмма, нормировано к примитивной мантии по [8]. I-4- интрузивы Тоупугол-Ханмейшорского рудного района: I- силл габбро-долеритового, габбродиоритового и диоритового составов (первая фаза), 2- дайки монцодиорит-порфиров (вторая фаза), 3- дайки лампрофиров (третья фаза), 4- пегматоидные сегрегации лейкократовых лампрофиров (третья фаза); 5- дайки высокотитанистых эссексит-долеритов более южных районов Войкарской зоны (долины рек Макаррузь и Кокпела); 6-8- составы базальтов различных типов, по [8]: 6- NMORB, 7- EMORB, 8- OIB.

ния TiO_2 и P_2O_5 , максимальные среди всех изученных тел.

Для рассмотренных типов пород нормированные к составу примитивной мантии [8] спектры распределения элементов-примесей (рис. 26) демонстрируют некоторое обогащение крупноионными литофильными элементами (Cs, Rb, Ba, Pb) и U, Th относительно высокозарядных элементов, а также наличие Ta-Nb-минимума и Pb-максимума. Габбродолериты первой фазы в меньшей степени обогащены большинством некогерентных элементов (Cs, Rb, Ba, Pb, U, Th, Ta, Nb, La, Ce, Pr, Nd, Eu) по сравнению с монцодиоритами и лампрофирами второй и третьей фаз. Эссекситдолериты более южных районов (бассейны рр. Макаррузь. Кокпела) имеют существенно более высокие концентрации высокозарядных (Ta, Nb, Ті) и редкоземельных (Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) элементов, а также Y и P при схожих концентрациях крупноионных литофильных элементов (Cs, Rb, Ba, Pb, Sr), U и Th по сравнению со средними составами пород второй и третьей фаз мусюрского комплекса Тоупугол-Ханмейшорского района. На диаграммах для определения геодинамических обстановок формирования базальтов (рис. 3), фигуративные точки составов изученных пород попадают в поля островодужных, рифтогенных или внутриплитных образований. Подобное (смешанное) сочетание геохимических характеристик могут иметь рифтогенные породы, образовавшиеся при плавлении деплетированных в надсубдукционной обстановке ультрабазитов мантийного клина.

 40 Аг/ 39 Аг-датирование плагиоклаза из силла габбродолеритов первой фазы (обр. S8/15, 66°48′45″ с.ш., 66°29′37″ в.д.) показало (рис. 4а), что в высокотемпературной части возрастного спектра выделилось плато из трех ступеней, характеризующееся 53% выделенного 39 Аг и значением 347 \pm 9 млн лет. Из дайки монцодиоритпорфиров второй фазы (обр. S22/15, 66°48′58″ с.ш., 66°29′02″ в.д.) был датирован плагиоклаз; в спектре выделилось плато из пяти ступеней (83% выделившегося 39 Аг), характеризующееся значением возраста 339 \pm 4 млн лет (рис. 4б). Из дайки лампрофиров, относящейся к третьей фазе му-

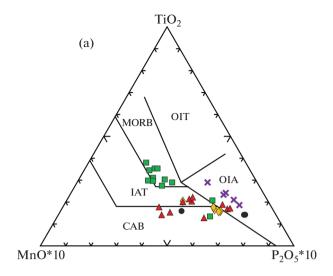
сюрского комплекса (обр. S44/15, 66°48′51" с.ш., $66^{\circ}29'10''$ в.д.), проанализирована навеска первичного амфибола. В спектре выделилось хорошее плато из четырех ступеней (91% выделившегося 39 Ar) со значением возраста 349 \pm 3 млн лет (рис. 4в). Для одной из даек меланократовых лампрофиров был датирован амфибол из пегматоидного лейкократового прожилка (обр. S47/15, 66°48′51" с.ш., 66°29′10" в.д.). В спектре выделилось плато из двух ступеней (81% выделившегося ³⁹Ar), характеризующееся значением возраста 334 ± 3 млн лет (рис. 4г). Результаты 40 Ar/ 39 Ar латирования плагиоклаза из дайки высокотитанистых эссексит-долеритов (обр. S11/4-2, 66°44′30″ с.ш., $65^{\circ}13'46''$ в.д.) показали (рис. 4д), что в возрастном спектре выделилось хорошее плато из пяти ступеней, характеризующееся 80% выделенного 39 Ar и значением 313 \pm 10 млн лет.

Все датируемые породы образовались в условиях гипабиссальной фации глубинности, для которой характерно их быстрое остывание после консолидации. Поэтому фиксируемые ⁴⁰Ar/³⁹Arдатировки должны соответствовать времени их формирования.

Каменноугольный ⁴⁰Ar/³⁹Ar-возраст базитов согласуется с геологическими данными, но противоречит опубликованным ([6] и ссылки в этой работе) пермо-триасовым датировкам самых молодых единичных зерен циркона из этих же проб. Причина получившегося расхождения не ясна. Можно предположить удревнение аргоновых датировок, связанное с захватом радиогенного аргона из вмещающих диоритов и монцонитов собского и конгорского комплексов, но в этом случае трудно было бы ожидать столь хорошую взаимную согласованность датировок, полученных нами по минералам из разных пород. Кроме этого, присутствие избыточного радиогенного аргона должно было привести к дискордантной, например — седлообразной форме возрастного спектра [11]. Более вероятным, на наш взгляд, кажется омоложение датировок циркона. Нарушение U/Pb-изотопной системы могло произойти в зернах циркона, содержащих метамиктные участки.

Если интерпретировать полученные нами 40 Ar/ 39 Ar-датировки 347 \pm 9, 339 \pm 4, 349 \pm 3, 334 \pm 3 и 313 \pm 10 млн лет как время кристаллизации гипабиссальных тел мусюрского комплекса, то каменноугольный возраст этих базитов соответствует времени коллизии Полярноуральской островодужной системы с палеоконтинентом Аркт-Лавруссия (Арктида + Балтика + Лаврентия), которая привела к образованию Раннеуральского орогена [12].

Внедрение даек и силлов могло происходить в местах локального растяжения на син- и постколлизионном этапах. Преобладающее северо-западное (вкрест предполагаемого орогена) простира-



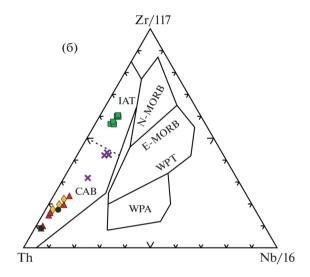


Рис. 3. Составы основных и средних пород мусюрского комплекса Войкарской зоны Полярного Урала на диаграммах, применяемых для определения геодинамической обстановки формирования базальтоидов. (a) (MnO*10) $-TiO_2$ $-(P_2O_5*10)$ [9]; CAB – известковощелочные островодужные базальты, ІАТ – островодужные толеиты, MORB – базальты срединно-океанических хребтов, OIT - толеиты океанических островов, ОІА – андезиты океанических островов; (б) Th - (Zr/117) - (Nb/16) [10]; ICA - островодужныеизвестково-щелочные базальтоиды, ІАТ – островодужные толеиты, N-MORB - базальты срединноокеанических хребтов нормального типа, E-MORB базальты срединно-океанических хребтов обогащенного типа, WPT - внутриплитные толеиты, WPA внутриплитные щелочные базальты; фигуративные точки составов пород соответствуют рис. 2.

ние даек Тоупугол-Ханмейшорского района, преимущественно надсубдукционные геохимические черты слагающих их пород, а также раннекаменноугольные датировки (349—334 млн лет) приводят к выводу о вероятной синколлизионной обстановке их формирования. Ортогональное севе-

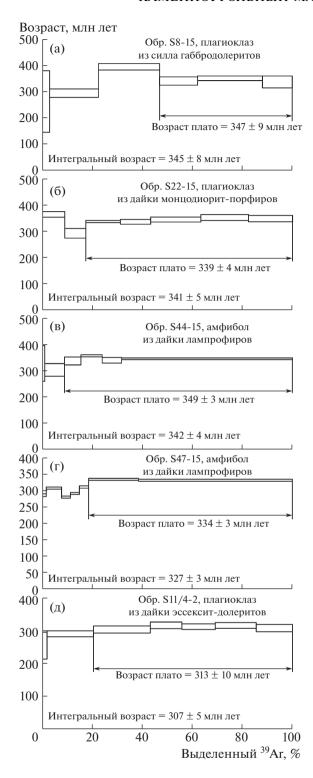


Рис. 4. Результаты ⁴⁰Ar/³⁹Ar-датирования базитов мусюрского комплекса для: (а) плагиоклаза из силла габбродолеритов первой фазы, (б) плагиоклаза из дайки монцодиорит-порфиров второй фазы, (в) роговой обманки из дайки лампрофиров третьей фазы, (г) роговой обманки из пегматоидного прожилка лейкократовых лампрофиров третьей фазы, (д) плагиоклаза из дайки эссексит-долеритов (средн. теч. р. Макаррузь).

ро-восточное (вдоль оси орогена) простирание даек эссексит-долеритов более южных районов, значительно более высокие концентрации в них высокозарядных элементов, свойственные в большей степени рифтогенным и внутриплитным породам, а также их позднекаменноугольный возраст (313 млн лет) предполагают для внедрения этих даек постколлизионный режим.

На Южном Урале для базитовых интрузивов, связанных с подобными процессами, также известны датировки близкого возраста: 357 ± 8 млн лет (40 Ar/ 39 Ar-метод, по амфиболу, краснохтинский комплекс) [13], 328.9 ± 0.78 и 324.78 ± 0.46 млн лет (U—Pb-метод, по циркону и бадделеиту, худолазовский комплекс), 321 ± 15 млн лет (Sm/Nd-метод, улугуртауский комплекс) [14].

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны А.А. Носовой за критические замечания, которые способствовали улучшению рукописи.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены при финансовой поддержке грантов РФФИ № 18-05-70041 ("Ресурсы Арктики") и 16-35-00552. В ЦКП "ИГЕМ-Аналитика" выделены монофракции (в рамках госзадания ИГЕМ РАН) и сделан силикатный (ХRF) анализ пород (аналитик А.И. Якушев); часть проб проанализировано в ИГ Коми НЦ УрО РАН (аналитик С.Т. Неверов); анализ элементов-примесей (ICP-MS) произведен в ИПТМ РАН (аналитик В.К. Карандашев). ⁴⁰Аг/³⁹Аг-исследования выполнены в рамках госзадания ИГМ СО РАН.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы подтверждают отсутствие у них конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Зылева Л.И., Коновалов А.Л., Казак А.П. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Западно-Сибирская. Лист Q-42 (Салехард). Об. записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2014. 396 с.
- 2. Шишкин М.А., Астапов А.П., Кабатов Н.В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:1000000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист Q-41 (Воркута). Гл. ред. В.П. Водолазская. Об. записка. СПб.: Карт. фабрика ВСЕГЕИ, 2007. 541 с.
- 3. *Язева Р.Г., Бочкарев В.В.* Войкарский вулкано-плутонический пояс (Полярный Урал). Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. 160 с.
- 4. Душин В.А., Сердюкова О.П., Малюгин А.А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:200000, изд. второе. Серия По-

- лярно-Уральская. Лист Q-42-VII, VIII (Обской). Об. записка. СПб.: Карт. фабрика ВСЕГЕИ, 2014. 384 с.
- 5. Прямоносов А.П., Степанов А.Е., Телегина Т.В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000, изд. второе. Серия Полярно-Уральская. Лист Q-41-XII. Об. записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2001. 213 с.
- 6. Викентьев И.В., Мансуров Р.Х., Иванова Ю.Н., Тюкова Е.Э., Соболев И.Д., Абрамова В.Д., Выхристенко Р.И., Хубанов В.Б., Трофимов А.П., Грознова Е.О., Двуреченская С.С., Кряжев С.Г. Золото-порфировое Петропавловское месторождение (Полярный Урал): геологическая позиция, минералогия и условия образования // Геология рудных месторождений. 2017. Т. 59. № 6. С. 501—541. https://doi.org/10.7868/S001677701706003X
- 7. 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. Т. 11. С. 1181—1199.
- 8. 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.
- 9. Mullen E.D. MnO/TiO₂/P₂O₅: A Minor Element Discriminant for Basaltic Rocks of Oceanic Environments

- and its Implications for Petrogenesis // Earth Planet. Sci. Lett. 1983. V. 62. P. 53–62.
- Wood D.A. The Application of a Th—Hf—Ta Diagram to Problems of Tectonomagmatic Classification and to Establishing the Nature of Crustal Contamination of Basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province // Earth Planet. Sci. Lett. 1980. V. 50 (1). P. 11—30.
- 11. Lanphere M.A., Dalrimple C.B. Identification of Excess ⁴⁰Ar by the ⁴⁰Ar/³⁹Ar Age Spectrum Technique // Earth Planet. Sci. Lett. 1976. V. 32. P. 141–148.
- 12. *Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В.* Палеозойская эволюция Полярного Урала: Войкарский бассейн с корой океанического типа существовал не менее 65 млн лет // Бюлл. МОИП. Отдел Геол. 2014. № 5. С. 56—70.
- 13. Рязанцев А.В., Новиков И.А., Разумовский А.А. Каменноугольный окраинно-континентальный мафит-ультрамафитовый комплекс параллельных даек Западно-Магнитогорской зоны (Южный Урал) // Изв. высших учебных заведений. Геология и разведка. 2019. № 3. С. 42—50. https://doi.org/10.32454/0016-7762-2019-3-42-50
- 14. *Рахимов И.Р.* Геология, петрология и рудоносность позднедевонско-карбонового интрузивного магматизма Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала // Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Уфа: УНЦ РАН, 2017. 19 с.

CARBONIFEROUS MAGMATISM OF THE POLAR URALS

I. D. Sobolev^{a,#}, I. V. Vikentyev^a, A. V. Travin^b, and Academician of the RAS N. S. Bortnikov^a

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

^b V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

#E-mail: sobolev id@mail.ru

In the Polar Urals, dikes and sills of dolerites, essexite-dolerites, diorites, monzodiorites and lamprophyres belonging to the Musyur (Malyi Khanmey) hypabyssal complex cut all Ordovician-Middle Devonian oceanic and island arc formations. Based on geological data and a few previous isotopic dating, the age of this complex is estimated from the end of the Late Devonian to the Early Triassic. For the first time, for the northern part of the Urals, we performed ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of hypabyssal magmatic bodies (various intrusive phases) of the Musyur complex and obtained the ages: 349 ± 3 , 347 ± 9 , 339 ± 4 , 334 ± 3 and 313 ± 10 Ma. These ages correspond to the collision of the Polar Ural island arc system with the Arct-Lavrusia (Arctida + Baltica + Lawrence) continent, which led to the formation of the Carboniferous Early Ural Orogen. The prevailing northwestern (transversely to the supposed orogen) strike of most dikes in the Toupugol-Khanmeyshor area, mainly the suprasubduction geochemical features of the rocks (low and moderate TiO_2 (0.7–2.1 wt.%), P_2O_5 (0.1–0.8 wt.%), enrichment in large-ion lithophile elements (Cs, Rb, Ba, Pb, Sr) compared to high-fieldstrength trace elements, Ta-Nb minimum, Pb and Th-U maxima), as well as the Early Carboniferous ages (349–334 Ma) lead to the conclusion about their very likely formation in syn-collisional setting. Orthogonal northeastern (along the orogen axis) strike of some dikes – essexite-dolerites from more southern regions, significantly higher concentrations of TiO_2 (3.1–3.6 wt%), P_2O_5 (0.6–1.3 wt%), high-field-strength (Ta, Nb) and most rare earth elements (Eu, Gd, Tb, Dy, Y, Ho, Er, Tm, Yb, Lu), which are more typical for rift-related and intraplate igneous rocks, as well as their Late Carboniferous age (313 Ma) may testify intruding of these magmatic bodies in the post-collision setting.

Keywords: collisional magmatism, Polar Urals, Voykar zone, Musyur complex, ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating, Late Carboniferous