



ВОЗРАСТ МОНЦОДИОРИТ-ПОРФИРОВ ИЗ ПОЗДНЕЙ ДАЙКОВОЙ ФАЗЫ КОНГОРСКОГО МАССИВА (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ U-PB (SIMS)-ДАТИРОВАНИЯ ЦИРКОНОВ

И. Д. Соболев^{1,2}, А. А. Соболева³, Д. А. Варламов⁴

¹Геологический институт (ГИН) РАН, Москва
sobolev_id@mail.ru

²Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН, Москва
sobolev_id@mail.ru

³Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
aa_soboleva@mail.ru

⁴Институт экспериментальной минералогии (ИЭМ) РАН, Черноголовка
dima@iem.ac.ru

В статье представлены результаты U-Pb (SIMS)-изотопного датирования цирконов из монцодиорит-порфиров поздней дайковой фазы Конгорского массива (Полярный Урал), являющегося петротипическим массивом конгорского плутонического комплекса. Исследованные интрузивные породы образовались в глубинных частях девонской Малоуральской островной дуги и относятся к шошонит-латитовой серии. Рассчитанный средний конкордантный возраст цирконов (395 ± 3) млн лет свидетельствует о том, что завершение формирования этого массива происходило в конце раннего девона в эмское время. Полученные данные имеют важное значение для уточнения возраста конгорского комплекса, долгое время остававшегося предметом дискуссий.

Ключевые слова: Малоуральская островная дуга, U-Pb-геохронология, циркон, девонский период, Полярный Урал, монцодиориты.

AGE OF MONZODIORITE PORPHYRIES FROM THE LATE DIKE PHASE OF THE KONGOR PLUTON (THE POLAR URALS) ACCORDING TO THE RESULTS OF U-PB (SIMS) DATING OF ZIRCONS

I. D. Sobolev^{1,2}, A. A. Soboleva³, D. A. Varlamov⁴

¹Geological Institute (GIN) RAS, Moscow

²Institute of Geology of Ore Deposits, Petrology, Mineralogy and Geochemistry (IGEM), RAS, Moscow

³Institute of Geology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch RAS, Syktyvkar

⁴Institute of Experimental Mineralogy (IEM), RAS, Chernogolovka

The paper presents the results of U-Pb (SIMS) isotope dating of zircons from monzodiorite porphyries of the late dike phase of the Kongor Pluton (the Polar Urals), which is a petrotype pluton of the Kongor plutonic complex. The intrusive rocks studied were formed in the deeper parts of the Devonian Malyi Ural island arc and belong to the shoshonite-latitude series. The calculated average concordant age of zircons is 395 ± 3 Ma, indicating that the completion of the formation of this pluton took place at the end of the early Devonian in late Emsian time. The obtained data are important for specification of an age of the Kongor complex, which for a long time has been the subject of discussions.

Keywords: Malyi Ural island arc, U-Pb geochronology, zircon, Devonian, Polar Ural, monzodiorites.

Введение и постановка задачи

В Восточно-Уральской мегазоне (рис. 1, а) Полярного Урала (в пределах Войкарской зоны), к востоку от крупнейших на Урале офиолитовых массивов Рай-Из и Войкаро-Сыньинского (рис. 1, б), распространены многочисленные интрузивы среднепалеозойских гранитоидов, габброидов и монцонитоидов, которые слагают вытянутый в ССВ-направлении на 240 км Собский (Лагортинско-Кокпельский) батолит. Породы, слагающие батолит, активно изучались с середины XX века Н. А. Сириным (1962), Ю. Е. Молдаванцевым (1972), М. И. Буйкайте [3] Р. Г. Язевой, В. В. Бочкарёвым [16], В. Д. Старковым (1985), П. М. Кучериной (ГС-50, 1991 г.), В. Л. Андреичевым [1], А. П. Прямоносным [5], Д. Н. Ремизовым [12], Н. Б. Кузнецовым, О. В. Удариной [14] и многими другими геологами. Интрузивные образования Собского батолита относят к трём плутоническим комплексам. Наибольший объем слага-

ют раннесреднедевонские плагиогранитоиды, диориты и габброиды собского комплекса, в меньшем количестве присутствуют более поздние, предположительно среднепозднедевонские монцонитоиды и габброиды конгорского комплекса (рис. 1, б) и граниты среднедевонского янаслорского комплекса. Плутонические породы прорывают позднеордовикско-среднедевонские островодужные вулканогенные, терригенно-вулканогенные и осадочные образования. Силурийско-девонские вулканические и девонские плутонические породы генетически связаны между собой, интрузивные образования представляют собой глубинные части палеозойской Малоуральской (или Войкарской) островной дуги [6, 9, 12] или активной континентальной окраины Сибирского палеоконтинента [16].

По вопросу о возрасте пород собского комплекса в настоящее время разногласий нет, он считается раннесреднедевонским (410–393 млн лет) на основа-

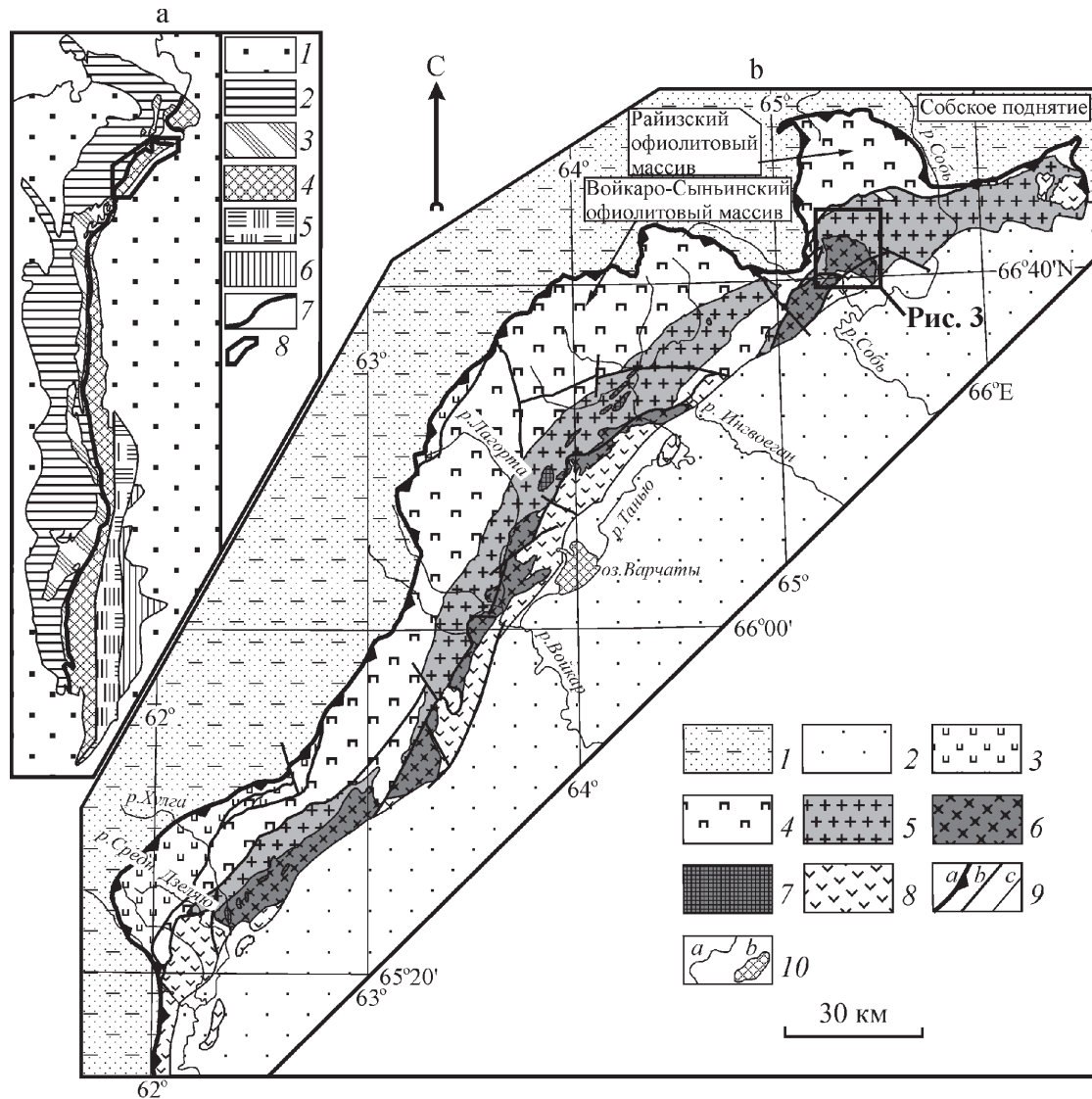


Рис. 1. Тектонические схемы: **а** — тектоническая схема Уральского складчатого пояса и положение его Полярно-Уральского сегмента [10]: 1 — Mz-Kz-комплексы чехла Русской и Западно-Сибирской плит, 2, 3 — палеозойские и докембрийские комплексы Западного Урала: 2 — преимущественно осадочные комплексы палеозойского возраста, 3 — осадочные, вулканогенные и плутонические комплексы позднедокембрийского возраста, 4, 5 — палеозойские и докембрийские комплексы Восточного Урала: 4 — нижнесреднепалеозойские вулканогенно-осадочные образования, 5 — докембрийские и палеозойские осадочные, вулканогенно-осадочные, базит-гипербазитовые и гранитоидные образования, 6 — палеозойские и докембрийские комплексы Зауралья, 7 — Главный Уральский надвиг, 8 — контур тектонической схемы средней и южной частей Полярного Урала; **б** — тектоническая схема средней и южной частей Полярного Урала, составлена по материалам [4, 7]: 1 — позднедокембрийские и палеозойские образования Западно-Уральской мегазоны, 2 — мезозойско-кайнозойский чехол Западно-Сибирской плиты, 3–8 — раннесреднепалеозойские образования Войкарско-Щучинского сегмента (Войкарской зоны) Восточно-Уральской мегазоны: 3 — метаморфизованные базиты и гипербазиты Дзеляюско-Хордююской подзоны, 4 — метаморфизованные гипербазиты и габброиды Райизско-Войкарской подзоны (массивы Рай-Из и Войкаро-Сыньинский), 5–8 — образования Малоуральской подзоны: 5 — раннесреднедевонские плагиогранитоиды собского комплекса, 6 — предположительно среднедевонско-раннекаменноугольные габброиды, диориты и монзонитоиды конгорского комплекса, 7 — среднепозднедевонские гранитоиды янаслорского комплекса, 8 — позднеордовикско-среднедевонские вулканогенные и осадочно-вулканогенные образования, 9 — границы: *a* — Главный Уральский надвиг, *b* — разрывные нарушения, *c* — геологические границы, 10 — водоёмы: *a* — реки, *b* — озёра.

Fig. 1. Tectonic schemes: **a** — tectonic scheme of the Ural fold belt and position of its Polar-Ural segment from [10]: Captions: 1 — Mz-Kz complexes of the sedimentary cover of the Russian and West Siberian plates, 2, 3 — Paleozoic and Precambrian complexes of the Western Urals: 2 — predominantly sedimentary Paleozoic complexes, 3 — Late Precambrian sedimentary, volcanogenic and plutonic complexes, 4, 5 — Paleozoic and Precambrian complexes of the Eastern Urals: 4 — Lower to Middle Paleozoic volcanic-sedimentary formations, 5 — Precambrian and Paleozoic sedimentary, volcanogenic-sedimentary, basic-ultrabasic and granitoid formations, 6 — Paleozoic and Precambrian complexes of the Trans-Uralian zone, 7 — the Main Ural Thrust, 8 — outline of the tectonic scheme of the middle and southern parts of the Polar Urals; **b** — tectonic scheme of the middle and southern parts of the Polar Urals, compiled from materials [4, 7]: Captions: 1 — Late Precambrian and Paleozoic formations of the West Uralian megazone, 2 — Mesozoic to Cenozoic sedimentary cover of the West Siberian plate, 3–8 — Early to Middle Paleozoic formations of the Voykar-Shchuchya segment (the Voykar zone) of the East Uralian megazone: 3 — metamorphosed basites and ultrabasites of the Dzelyayu-Khordyus zone, 4 — metamorphosed ultrabasites and gabbroids of the Rai-Iz-Voikar zone (Rai-Iz and Voykar-Synya massifs), 5–8 — the formations of the Malyi Ural zone: 5 — Early to Middle Devonian plagiogranitoids of the Sobsky Complex, 6 — Middle Devonian to Early Carboniferous (?) gabbroids, diorites and monzonitoids of the Kongor Complex, 7 — Middle to Late Devonian granitoids of the Yanaslor Complex, 8 — Late Ordovician to Middle Devonian volcanogenic and sedimentary-volcanogenic formations, 9 — boundaries: *a* — the Main Ural thrust, *b* — faults, *c* — geological boundaries, 10 — water reservoirs: *a* — rivers, *b* — lakes.

нии геологических взаимоотношений и хорошо согласующихся данных Rb-Sr- и U-Pb-изотопного датирования [1–3, 8, 11, 15, 17, 19]. Гранитоиды янаслорского комплекса также надежно датированы, для них Rb-Sr- и U-Pb-методами получен живецкий (387–383 млн лет) возраст [1, 11, 15]. Но время формирования пород конгорского комплекса долгое время не могли точно установить. Эти породы прорывают силурийско-раннедевонские вулканогенные образования малоуральской свиты, раннесреднедевонские терригенные породы варчатинской свиты, а также раннесреднедевонские плагиигранитоиды главной интрузивной фазы собского комплекса [7]. Верхний предел формирования пород конгорского комплекса определяется тем, что они расчленены дайками субщелочных долеритов мусюрского комплекса, возраст которых считают позднедевонско-раннекаменноугольным [7] или пермотриасовым [6, 8]. Изотопное датирование пород конгорского комплекса также не дало надёжно обоснованного возраста. К-Ar-методом по монофракциям минералов и валовым пробам пород Конгорского массива получены датировки (310±20), (331±7), (331±5), (342±3) млн лет, соответствующие раннему—среднему карбону [5]. Большой разброс K-Ar-датировок минералов и пород конгорского комплекса (от 248 до 376 млн лет) приведен также в работе В. Л. Андреичева [1]. Температура закрытия K-Ar-изотопной системы биотита и амфибола — около 350° и 550° соответственно [20], а в случае вторичных изменений и деформаций пород эти пороговые значения могут быть еще ниже. Можно предполагать, что K-Ar-система в минералах из пород конгорского комплекса могла быть нарушена в ходе термальных событий, сопровождавших формирование в конце палеозоя аккреционно-коллизийного Уральского орогена. В этом случае молодые K-Ar-датировки отражают не время образования пород, а время их последующего преобразования.

Результаты U-Pb (SIMS)-датирования индивидуальных кристаллов циркона из пород Конгорского массива также не дали окончательной ясности. Исследование (SHRIMP-II, ЦИИ ВСЕГЕИ) цирконов из образца монцодиорита главной интрузивной фазы Конгорского массива [6] (рис. 2) дало два возрастных интервала — 396–402 млн лет и 363–380 млн лет, первый из которых интерпретируется как возраст цирконов, захваченных из вмещающих диоритов собского комплекса, а второй — как время кристаллизации цирконов собственно конгорского комплекса. Нами [13] тем же методом (U-Pb SIMS, SHRIMP-RG, Стэнфорд), в том числе для одного образца диоритов (массив Диоритовый, г. Северная Манюкую), были получены две подобные группы возрастов — 392–400 и 360–384 млн лет (рис. 2). Но на основании детального исследования строения зерен циркона мы предполагаем, что более древний возрастной интервал отвечает времени формирования диоритов конгорского комплекса, а более молодой связан с преобразованием пород, возможно, при внедрении гранитоидов янаслорского комплекса.

В связи с остающейся неопределенностью мы решили выполнить U-Pb-датирование цирконов из пород поздней дайковой фазы петротипического Конгорского массива, что могло бы помочь определить время завершения формирования этого интрузива и конгорского комплекса в целом.

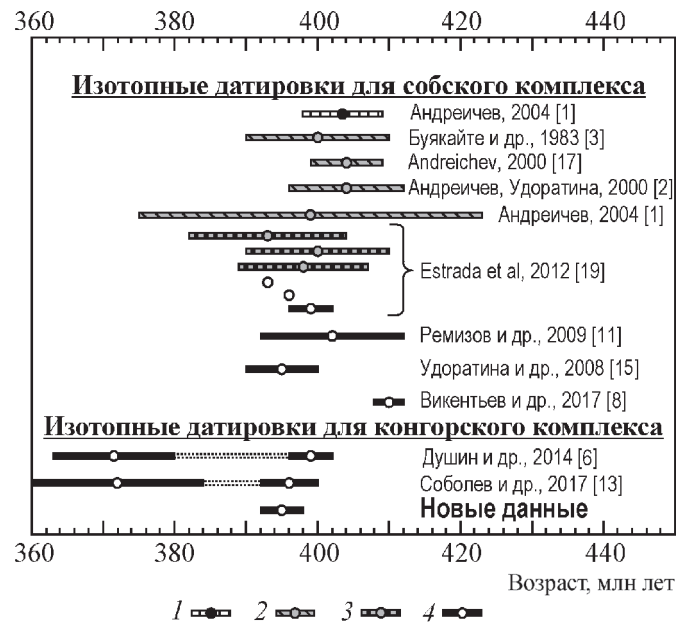


Рис. 2. Обобщение результатов изотопно-геохронологических исследований пород собского и конгорского комплексов Полярного Урала. Изотопные датировки приведены по литературным источникам [1–3, 6, 8, 11, 13, 15, 17, 19] и нашим новым данным. Методы изотопного датирования: 1 — K-Ar, 2 — Rb-Sr, 3 — Ar-Ar, 4 — U-Pb

Fig. 2. Summary chart of geochronological ages for the rocks of the Sobsky and Kongor Complexes of the Polar Urals. Isotopic ages used from [1–3, 6, 8, 11, 13, 15, 17, 19] and from our new data. Isotopic dating methods: 1 — K-Ar, 2 — Rb-Sr, 3 — Ar-Ar, 4 — U-Pb

Геологическая позиция и строение Конгорского массива

Конгорский массив расположен в бассейне рек Макарурузь и Хараматолоу (рис. 3). Он имеет штокообразную форму и размеры в плане 7.5×10 км при вертикальной мощности более 3 км. На севере, западе и востоке массива его контакты с раннедевонскими диоритоидами и габброидами собского комплекса преимущественно тектонические, и только на небольшом участке в северной части массива во время геологического картирования масштаба 1:50 000 П. М. Кучериной (1991 г.) были установлены фрагменты дотектонического «горячего» контакта с кварцевыми диоритами собского комплекса, с экзоконтактовой зоной метаморфизованных и ороговикованных пород мощностью первые сотни метров [5]. На юге породы Конгорского массива прорывают метаморфизованные и интенсивно дислоцированные позднеордовикские вулканы устьконгорской свиты с образованием в последних магнетитовых скарнов (рудопоявление Первая Рудная Горка).

Главная интрузивная фаза массива сложена преимущественно порфировидными породами среднего состава нормальной и повышенной щёлочности — габбро, диоритами, кварцевыми диоритами, монцогаббро, монцодиоритами и кварцевыми монцодиоритами. Они расчленены дайками монцодиорит-порфиров, кварцевых монцодиорит-порфиров и монцогаббро, представляющими собой позднюю интрузивную фазу. Дайки, хорошо выраженные в рельефе, образуют скальные выходы, возвышающиеся на фоне вмещающих пород главной интрузивной фазы. Мощность даек от 1 до 20 метров, для них характерно СЗ-, СЗЗ- и

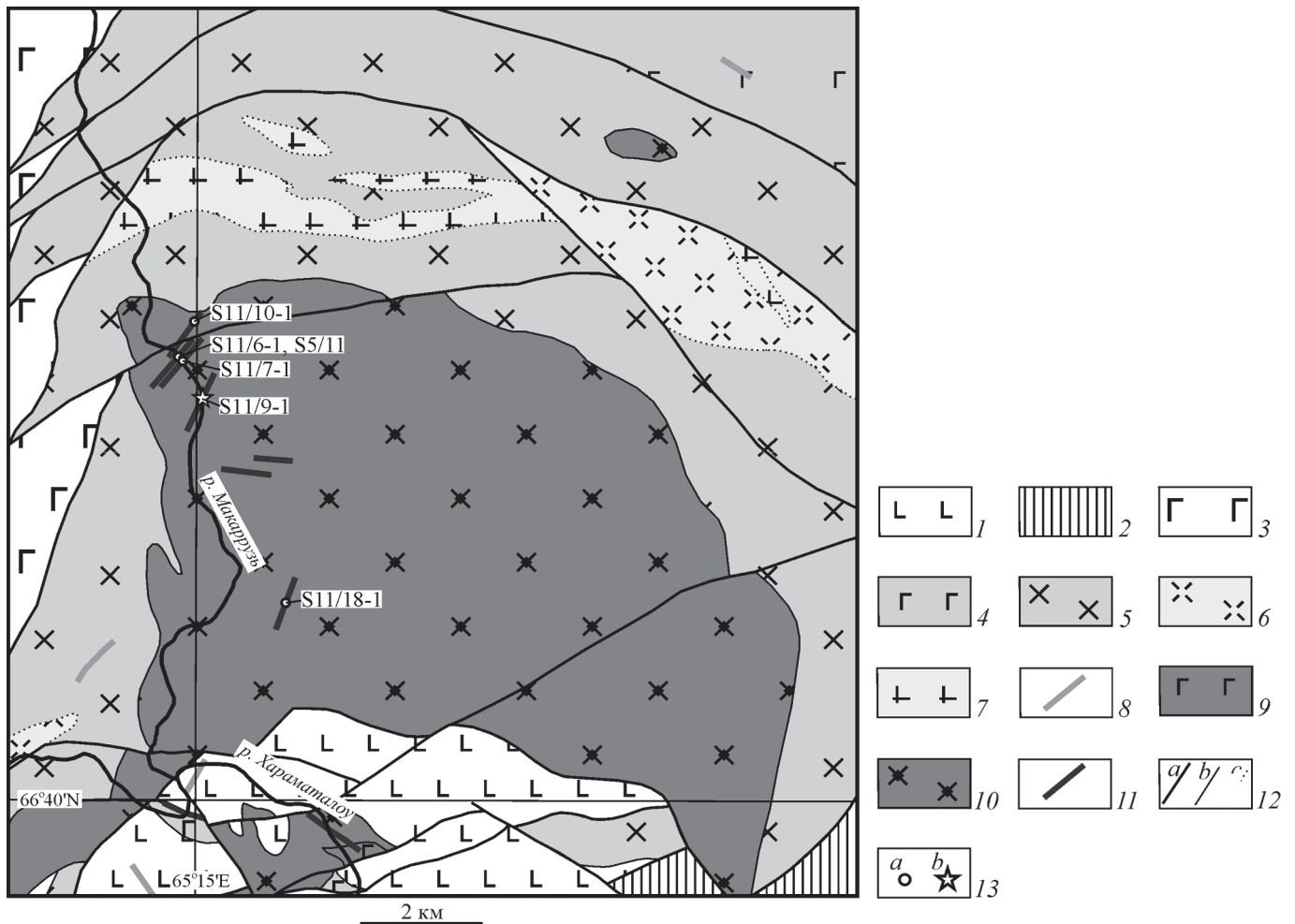


Рис. 3. Геологическая карта бассейна р. Макарузь (по [5]), с изменениями:

1, 2 — стратифицированные образования: 1 — средне-верхнеордовикские вулканогенные и вулканогенно-осадочные образования устьконгорской свиты, 2 — юрско-меловые осадочные отложения Западно-Сибирской плиты; 3–11 — plutonic formations: 3 — среднепозднеордовикские метабазиты кэршорского комплекса, 4–8 — раннесреднедевонские образования собского комплекса: 4 — габброиды ранней интрузивной фазы, 5, 6, 7 — диориты, тоналиты, тронджемиты главной интрузивной фазы соответственно, 8 — дайки плагиогранитоидов поздней фазы, 9–11 — среднедевонско-раннекаменноугольные (?) образования конгорского комплекса: 9 — габброиды ранней интрузивной фазы, 10 — диориты и монзонитоиды главной интрузивной фазы, 11 — дайки монзонитоидов поздней фазы; 12 — границы: a — тектонические, b — геологические, c — фациальные; 13 — точки наблюдения с номерами образцов пород: a — образцы, для которых определён химический состав, b — образец, из которого продатированы цирконы

Fig. 3. Geological map of the Makarruz river basin according to [5], with changes.

Captions: 1, 2 — stratified formations: 1 — Middle to Upper-Ordovician volcanogenic and volcanogenic-sedimentary rocks of the Ust’Kongor Formation, 2 — Jurassic to Cretaceous sedimentary rocks of the West Siberian plate, 3–11 — plutonic formations: 3 — Middle to Late Ordovician metabasites of the Kershor Complex, 4–8 — Early to Middle Devonian formations of the Sobsky Complex: 4 — gabbroids of the early intrusive phase, 5, 6, 7 — diorites, tonalites, and trondhjemitites of the main intrusive phase, respectively, 8 — dikes of plagiogranitoids of the late phase, 9–11 — Middle Devonian to Early Carboniferous (?) formations of the Kongor Complex: 9 — gabbroids of the early intrusive phase, 10 — diorites and monzonitoids of the main intrusive phase, 11 — monzonitoid dikes of the late phase, 12 — boundaries: a — tectonic, b — geological, c — between different intrusive rock types; 13 — sampling locations: a — samples for chemical analyses, b — samples for zircon dating

З-падение с различными углами наклона (от 40 до 90°). Контакты с вмещающими диоритами и монцодиоритами — резкие, секущие, с выраженными зонами закалки. Монцодиорит-порфиры преобладают среди пород дайковой фазы Конгорского массива, поэтому именно эти породы были отобраны нами в одной из даек для извлечения и датирования цирконов.

Методы исследования

Минеральный состав пород определялся методами оптической микроскопии в ГИН РАН (г. Москва) и уточнялся на электронном сканирующем микроскопе Tescan VEGA-II XMU с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 450 и спектрометром с волно-

вой дисперсией Oxford INCA Wave 700 в ИЭМ РАН, (г. Черноголовка).

Силикатный анализ пород производился в лаборатории химии минерального сырья ИГ Коми НЦ УрО РАН методом рентгено-спектрального флуоресцентного анализа (аналитик С. Т. Неверов). Содержания в породах элементов-примесей определены методом ICP-MS в лаборатории анализа минерального вещества ИГЕМ РАН (аналитик Я. В. Бычкова).

U-Pb-датирование и анализ элементов-примесей в индивидуальных кристаллах циркона проводилось методом SIMS на ионном микрозонде SHRIMP-RG, принадлежащем Стэнфордскому университету и Геологической службе США, согласно методике, опи-

санной в статье [18]. Для определения изотопного состава U и Pb проводилась калибровка по цирконово-му стандарту Temora-2 (416.8 млн лет, Black et al., 2004). Концентрации элементов-примесей (Ti, Fe, Y, REE, Hf, U, Th) были рассчитаны относительно состава циркона Мадагаскар Грин (MAD) (Barth & Wooden, 2010).

Минеральный и химический состав пород

В центральных частях даек монцодиорит-порфиры имеют резко порфировидную структуру, в эндо-контактных частях наблюдаются признаки динамометаморфических преобразований. Порфировидные выделения (15–40 об. %) представлены крупными (7–20 мм) преимущественно вытянутыми вдоль плоскости контакта субидиоморфными зональными кристаллами плагиоклаза (An_{52-17}) и небольшими (0.5–1.0 мм) зёрнами и гломеропорфировыми сростками интенсивно амфиболитизированного диопсида ($Wo_{150-52}En_{36-38}Fs_{11-14}$), которые заключены в основную мелко-, тонкозернистую биотит-кварц-плагиоклаз-кашлишпатовую массу. Среди аксессуарных минералов встречаются апатит, ильменит, магнетит и титаномагнетит, зерна последнего по краям и трещинам часто бывают замещены титанитом. Кварцевые монцодиорит-порфиры, слагающие некоторые дайки, содержат больше кварца (до 15 %) при меньших количествах темноцветных минералов.

Субщелочные породы, слагающие дайки Конгорского массива, характеризуются калий-натриевым и в меньшей степени калиевым типами щёлочности и классифицируются как монцодиориты, кварцевые монцодиориты и монцобаббро. Породы относятся к шошонит-латитовой и высококальциевой известково-щелочной сериям и для них характерны следующие вариации состава (мас. %): SiO_2 (51.2–59.6), TiO_2 (0.6–0.7), Al_2O_3 (14.3–17.4), $FeO_{общ.}$ (5.5–7.5), MgO (3.0–7.7), CaO (4.9–7.9), Na_2O (2.4–3.6), K_2O (2.8–3.6).

Концентрации и характер распределения элементов-примесей во всех исследованных породах похожи и типичны для надсубдукционных образований. При умеренных суммарных содержаниях редкоземельных элементов (РЗЭ) от 78.7 до 108.8 г/т отмечается заметное обогащение лёгкими РЗЭ относительно тяжёлых (La_N/Yb_N 6.5–8.9). Составы пород, нормированные к примитивной мантии, обогащены крупноионными литофильными элементами-примесями (Cs, Rb, Ba, Sr, Pb), а также Th и U относительно высокозарядных элементов (Y, Zr, Hf, Nb, Ta), они характеризуются хорошо проявленными положительными аномалиями по Pb, Sr, U и отрицательными — по Nb и Ta.

Результаты датирования цирконов из монцодиорит-порфиров

Цирконы были отобраны из монцодиорит-порфиров (обр. S11/9-1, левый борт среднего течения р. Макарууз, N 66°43'42", E 65°15'6", рис. 3), слагающих дайку мощностью около 5 метров, прорывающую породы главной интрузивной фазы в западной части Конгорского массива. Было продатировано 10 индивидуальных кристаллов циркона (табл. 1, данные анализов приведены в порядке увеличения возрастов). В тех же зёрнах были определены содержания элементов-примесей (табл. 2, данные анализов приведены в порядке увеличения возрастов).

Цирконы представлены идиоморфными бипирамидально-призматическими зёрнами размером 30–160 мкм, иногда имеющими слегка скругленные вершины. Кристаллы прозрачные, светло-желтые, в различной степени удлиненные ($K_{удл}$ — 2.5–6). В катодных лучах (рис. 4) цирконы имеют яркое и умеренно-яркое свечение. Преобладают зёрна с контрастной секториальной (зёрна № 1, 2, 7, 9, 10) и слабоконтрастной (часто размытой) осцилляционной (зёрна № 3, 4, 5) зональностью. В двух зёрнах зональность почти отсутствует (№ 6, 8).

Таблица 1. Результаты U-Pb SIMS-изотопного анализа зерен циркона из монцодиорит-порфиров конгорского комплекса (обр. S11/9-1, Конгорский массив, р. Макарууз)

Table 1. Results of U-Pb SIMS-isotopic analysis of zircon grains from the monzodiorite porphyries of the Kongor Complex (sample S11/9-1, Kongor Pluton, the Makarruz River)

№ анализа / Analysis No.	$^{206}Pb_c$, %	Содержание, г/т / Content, ppm			$^{232}Th/^{238}U$	Изотопные отношения, ± % (1σ) / Isotopic ratios ± % (1σ)			Rho	Возраст, млн лет, ± 1σ / Age, Ma, ± 1σ		D, %
		U	Th	$^{206}Pb^*$		$^{207}Pb/^{206}Pb$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{206}Pb/^{238}U$		$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{206}Pb$	
4.1	-0.24	171	76	9.0	0.46	0.0583 ± 3.4	0.494 ± 4.9	0.0615 ± 3.5	0.72	385 ± 13	540 ± 75	40
7.1	0.00	152	58	8.2	0.39	0.0565 ± 2.4	0.487 ± 2.5	0.0624 ± 0.9	0.35	390 ± 3	472 ± 52	21
8.1	0.19	96	35	5.1	0.38	0.0546 ± 4.1	0.470 ± 4.2	0.0624 ± 1.1	0.25	390 ± 4	395 ± 91	1
3.1	0.48	104	38	5.6	0.38	0.0524 ± 5.2	0.451 ± 5.4	0.0624 ± 1.7	0.31	390 ± 6	302 ± 118	-23
9.1	0.13	144	70	7.8	0.50	0.0534 ± 3.2	0.461 ± 4.0	0.0626 ± 2.4	0.60	392 ± 9	344 ± 71	-12
5.1	0.19	193	98	10.4	0.52	0.0509 ± 3.1	0.440 ± 3.2	0.0627 ± 0.8	0.26	392 ± 3	235 ± 72	-40
6.1	0.71	148	80	8.1	0.56	0.0560 ± 6.4	0.489 ± 6.5	0.0633 ± 1.1	0.17	396 ± 4	450 ± 143	14
2.1	0.28	184	109	10.1	0.61	0.0549 ± 3.2	0.482 ± 3.3	0.0637 ± 0.8	0.25	398 ± 3	408 ± 72	3
10.1	-1.00	52	16	2.9	0.32	0.0606 ± 8.3	0.534 ± 8.5	0.0639 ± 1.4	0.17	400 ± 6	624 ± 180	56
1.1	0.14	119	64	6.6	0.55	0.0538 ± 3.4	0.478 ± 3.5	0.0644 ± 1.0	0.28	403 ± 4	363 ± 76	-10

Примечания. Ошибка в калибровке стандарта составляет 0.50 %; $^{206}Pb_c$ и $^{206}Pb^*$ — содержание обыкновенного и радиогенного свинца соответственно; изотопные отношения и возрасты скорректированы по измеренному ^{204}Pb ; D — дискордантность: $D = 100 \cdot [\text{возраст } (^{207}Pb/^{206}Pb)/\text{возраст } (^{206}Pb/^{238}U) - 1]$; Rho — коэффициент корреляции между ошибками определения изотопных отношений $^{206}Pb/^{238}U$ и $^{207}Pb/^{235}U$.

Notes. Error in calibration of standard is 0.50 %; $^{206}Pb_c$ and $^{206}Pb^*$ — content of common and radiogenic lead, respectively; isotopic ratios and ages are corrected from measured ^{204}Pb ; D — discordance: $D = 100 \cdot [\text{age } (^{207}Pb/^{206}Pb)/\text{age } (^{206}Pb/^{238}U) - 1]$; Rho is correlation coefficient between $^{206}Pb/^{238}U$ and $^{207}Pb/^{235}U$ isotope ratio detection errors.

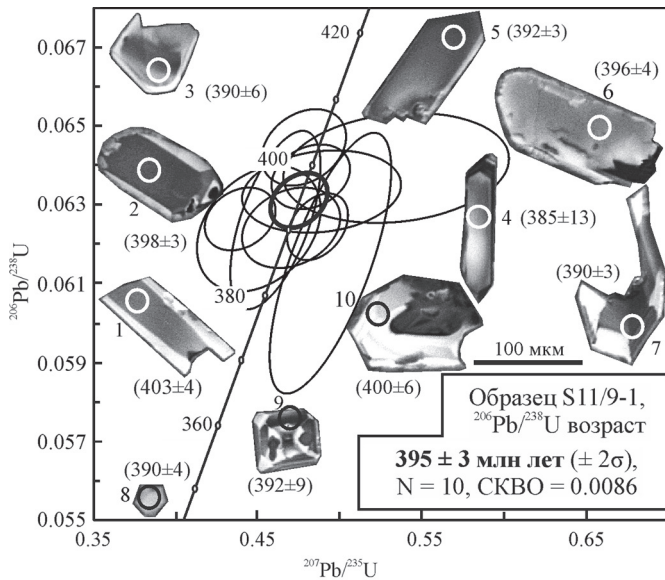


Рис. 4. Катодолуминесцентные изображения цирконов с номерами датированных зерен и графики с конкордией для возрастов цирконов из монцодиорит-порфиров поздней фазы Конгорского массива (обр. S11/9-1). Эллипсы погрешностей соответствуют 2σ

Fig. 4. Cathodoluminescence images of zircons with spot numbers and ages, conventional concordia diagram for zircons from monzodiorite porphyries of the late phase of the Kongor Pluton (sample S11/9-1). Errors are shown as ellipses at the 2σ level

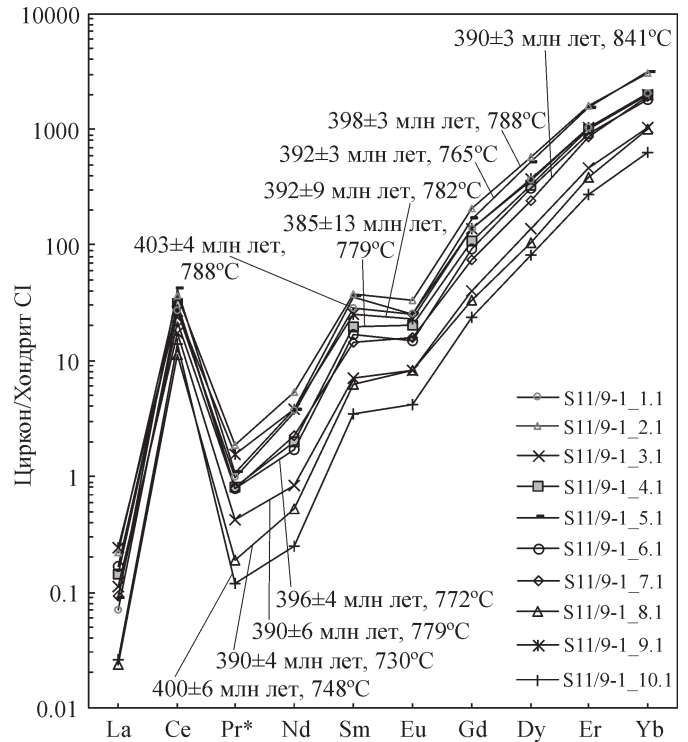


Рис. 5. Графики распределения РЗЭ в цирконах из монцодиорит-порфиров поздней фазы Конгорского массива (обр. S11/9-1). Содержания РЗЭ нормированы к составу хондрита CI по [22]

Fig. 5. REE patterns for zircons from monzodiorite porphyries of the late phase of the Kongor Pluton (sample S11/9-1). REE concentrations are normalized to chondrite CI after [22]

Таблица 2. Содержания элементов-примесей в цирконах из монцодиорит-порфиров конгорского комплекса (обр. S11/9-1, Конгорский массив, р. Макарууз)

Table 2. Trace element composition (ppm) in zircons from the monzodiorite porphyries of the Kongor Complex (sample S11/9-1, Kongor Pluton, the Makarruz River)

Компонент / Component	Номера анализируемых областей в кристаллах циркона / Numbers of the analyzed regions in zircon crystals									
	4.1	7.1	8.1	3.1	9.1	5.1	6.1	2.1	10.1	1.1
La	0.03	0.02	0.01	0.03	0.06	0.02	0.04	0.05	0.01	0.02
Ce	18.96	13.05	6.88	10.49	16.26	25.62	18.77	22.41	8.67	16.47
Pr*	0.08	0.07	0.02	0.04	0.15	0.10	0.07	0.18	0.01	0.09
Nd	0.92	1.04	0.25	0.39	1.79	1.77	0.80	2.53	0.12	1.68
Sm	3.03	2.23	0.97	1.09	3.80	5.45	2.58	5.75	0.54	4.34
Eu	1.17	0.92	0.48	0.48	1.32	1.47	0.87	1.93	0.24	1.46
Gd	22.44	15.39	6.88	8.32	28.73	34.49	19.15	42.09	4.83	28.64
Dy	83.87	61.04	26.51	34.70	95.59	131.75	78.15	144.27	20.93	92.41
Er	164.88	140.64	64.56	76.10	169.45	254.96	152.89	265.69	45.95	173.38
Yb	337.27	325.69	168.17	175.81	340.76	530.46	311.69	513.38	108.44	347.35
Fe	5.92	1.27	1.32	2.50	1.39	1.58	4.96	2.62	0.67	0.72
⁴⁸ Ti	6.93	12.41	4.14	6.90	7.14	6.00	6.41	7.53	5.02	7.54
⁴⁹ Ti	7.12	12.09	3.96	6.79	7.52	5.89	6.55	7.32	5.05	7.43
Y	913.29	749.99	343.28	410.84	979.24	1399.25	819.92	1493.07	250.81	988.81
Hf	9728.18	9942.90	11696.93	10301.74	10233.54	12442.49	11375.89	10792.02	10147.76	10459.91
Th	76.13	57.54	34.87	38.04	69.73	97.57	80.27	108.96	16.04	63.91
U	171.01	152.18	96.06	104.14	144.37	192.92	148.13	183.79	51.98	119.22
Th/U	0.45	0.38	0.36	0.37	0.48	0.51	0.54	0.59	0.31	0.54
Eu/Eu*	0.31	0.36	0.42	0.35	0.28	0.25	0.27	0.27	0.31	0.30
Ce/Ce*	64.58	49.28	107.28	63.93	29.93	71.58	64.12	34.96	197.63	52.11
ΣРЗЭ	632.6	560.1	274.7	307.4	657.9	986.1	585.0	998.3	189.7	665.8
Yb _N /La _N	13980	20711	42361	9242	8208	35345	10972	13566	24655	29425
T(⁴⁸ Ti) °C	779	841	730	779	782	765	772	788	748	788
Возраст, млн лет / Age, Ma	385	390	390	390	392	392	396	398	400	403



Для цирконов характерны низкие концентрации U и Th — 52–193 и 16–109 г/т соответственно при выдержанных значениях Th/U — 0.31–0.59 (табл. 2). При значительных вариациях суммарных концентраций РЗЭ (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Yb) от 190 до 998 г/т характер их распределения весьма похож. Для РЗЭ в цирконах характерна четко выраженная дифференциация с сильным обогащением тяжёлыми РЗЭ относительно лёгких ($Yb_N/La_N = 8208–42361$), значительная по величине положительная Ce-аномалия ($Ce/Ce^* = 30–107$) и небольшая отрицательная Eu-аномалия ($Eu/Eu^* = 0.25–0.42$) (рис. 5, табл. 2). По содержанию Ti в цирконе [23] оценена модельная температура кристаллизации, она варьирует в интервале 841–730 °C (при $a_{SiO_2}=1$ и $a_{TiO_2}=0.7$). Сходство состава цирконов (рис. 5) свидетельствует о том, что все проанализированные зерна имеют одинаковое происхождение, а по характеру распределения РЗЭ и данным Ti-термометрии цирконы соответствуют типичным цирконам магматического генезиса [21].

По 10 анализам получен диапазон $^{206}Pb/^{238}U$ -возрастов 385–403 млн лет. Рассчитанный средний конкордантный возраст (рис. 4) — (395 ± 3) млн лет ($2\sigma SKBO=0.0086$).

Обсуждение результатов

Проведенное U–Pb-датирование цирконов из монцодиорит-порфиров поздней дайковой фазы Конгорского массива позволило уточнить время окончания формирования этого интрузива, являющегося петротипическим массивом конгорского комплекса. Все цирконы в исследованном образце показали близкие возрасты, и рассчитанный для них средний конкордантный возраст (395 ± 3) млн лет соответствует времени кристаллизации более древней группы цирконов (392–400 млн лет) из диоритов главной интрузивной фазы конгорского комплекса [13]. С учётом всех опубликованных U–Pb-изотопных датировок цирконов [6, 13] временной диапазон формирования конгорского комплекса составляет 399–395 млн лет (вторая половина эмского века) (рис. 2). Этот диапазон близок к нижней границе возраста этого комплекса, предполагаемого по геологическим данным, а также коррелируется со временем формирования части плагиогранитоидов собского комплекса, возраст которого надёжно установлен по геологическим и многочисленным изотопным [1–3, 8, 11, 15, 17, 19] датировкам — 410–393 млн лет (пражско-раннеэйфельское время) (рис. 2).

Заключение

Результаты U–Pb-датирования цирконов из пород поздней дайковой фазы Конгорского массива свидетельствуют о том, что завершение формирования этого массива происходило в конце раннего девона в эмское время. Полученные данные имеют важное значение для уточнения возраста конгорского комплекса, поскольку Конгорский массив является петротипическим.

Авторы благодарят М. А. Кобла (Стэнфордский университет, Стэнфорд, США), выполнившего U–Pb SIMS-датирование цирконов и анализ в них элементов-примесей, С. Т. Неверова (ИГ Коми НЦ УрО РАН), выполнившего определение петрогенных элементов в породах методом рентгено-флюоресцентного спектрального анализа, Я. В.

Бычкову (ИГЕМ РАН) за анализ элементов-примесей в породах методом ICP-MS.

Изготовление петрографических шлифов, получение катодолюминесцентных изображений кристаллов циркона, их U–Pb-датирование и определение в них элементов-примесей выполнены за счет средств гранта РФФИ «Мой первый грант» (№ 16-35-00552). Определение минерального и химического состава пород произведено за счет средств гранта РНФ (№ 16-17-10251).

Литература

1. Андреев В. Л. Изотопная геохронология ультрамафит-мафитовых и гранитоидных ассоциаций восточного склона Полярного Урала. Сыктывкар: Геопринт, 2004, 44 с.
2. Андреев В. Л., Удоратина О. В. Новые данные о возрасте гранитоидов конгорского комплекса (Полярный Урал) // Изотопное датирование геологических процессов: новые методы и результаты: Тез. докл. I Российской конф. по изотопной геохронологии. М.: ГЕОС, 2000. С. 28–30.
3. Геохимия изотопов в офиолитах Полярного Урала / М. И. Буякайте, В. И. Виноградов, В. Н. Кулешов и др. М.: Наука, 1983. 183 с. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 376).
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Западно-Сибирская. Лист Q-42 (Салехард). Объяснительная записка / Л. И. Зылёва, А. Л. Коновалов, А. П. Казак и др. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014. 396 с.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000 2-е изд. Серия Полярно-Уральская. Лист Q-41-XII. Объяснительная записка / А. П. Прямоносков, А. Е. Степанов, Т. В. Телегина и др. СПб, 2001, 213 с.
6. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000. 2-е изд. Серия Полярно-Уральская. Лист Q-42-VII, VIII (Обской). Объяснительная записка. В. А. Душин, О. П. Сердюкова, А. А. Малюгин и др. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014. 384 с.
7. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист Q-41 (Воркута). Гл. ред. В. П. Водолазская. Объяснительная записка / М. А. Шишкин, А. П. Астапов, Н. В. Кабатов и др. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007. 541 с.
8. Золотопорфировое Петропавловское месторождение (Полярный Урал): геологическая позиция, минералогия и условия образования / И. В. Викентьев, Р. Х. Мансуров, Ю. Н. Иванова и др. // Геология рудных месторождений. 2017. Т. 59. № 6. С. 501–541.
9. Кузнецов Н. Б., Романюк Т. В. Палеозойская эволюция Полярного Урала: Войкарский бассейн с корой океанического типа существовал не менее 65 млн лет // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2014. № 5. С. 56–70.
10. Кузнецов Н. Б., Удоратина О. В., Андреев В. Л. Палеозойское изотопное омоложение комплексов доуралид и проблема эволюции восточной окраины Восточно-Европейского континента в палеозое // Вестник ВГУ. Сер. геол. 2000. Вып. 9. С. 15–19.
11. Магматизм Малоуральской островной дуги (Полярный Урал) / Д. Н. Ремизов, С. И. Григорьев, С. Ю. Петров и др. Отв. ред. Н. П. Юшкин // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XV геол. съезда Республики Коми. Сыктывкар: Геопринт, 2009. Т. II, С. 322–324.
12. Ремизов Д. Н. Островодужная система Полярного Урала (петрология и эволюция глубинных зон). Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 221 с.



13. *Соболев И. Д., Удоратина О. В., Ген Ц.* Возраст и изотопно-геохимические характеристики диоритов конгорского комплекса (массив Диоритовый, Полярный Урал) // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий: Сборник статей V Всероссийской молодежной геологической конференции / Ред. Ф. Р. Ардисламов. Уфа: ООО Альфа-реклама, 2017. С. 132–139.
14. *Удоратина О. В., Кузнецов Н. Б.* Собский плагиогранитный комплекс Полярного Урала // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2007. Т. 82. Вып. 3. С. 49–59.
15. *Удоратина О. В., Кузнецов Н. Б., Ларионов А. Н., Шишкин М. А.* U-Pb-возраст плагиогранитоидов Собского массива (Полярный Урал) / Отв. ред. Л. В. Махлаев, А. Ф. Хазов. Петрология и минералогия севера Урала и Тимана // Сыктывкар: Геопринт, 2008. № 5. С. 52–62.
16. *Язева Р. Г., Бочкарев В. В.* Войкарский вулcano-плутонический пояс (Полярный Урал). Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984, 160 с.
17. *Andreichev V. L.* Geochronology of metamorphic and magmatic processes in the crustal evolution of the Polar Urals // INTAS-EUROPROBE TIMPEBAR-URALIDES workshop. St. Petersburg: Geotryckeriet, 2000, P. 1.
18. *Barth A. P., Tani K., Meffre S. et. al.* Generation of silicic melts in the early Izu-Bonin arc recorded by detrital zircons in proximal arc volcanoclastic rocks from the Philippine Sea: Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2017, V. 18, Issue 10, pp. 3576–3591. doi: 10.1002/2017GC006948.
19. *Estrada S., Henjes-Kunst F., Burgath K.-P. et. al.* Insights into the magmatic and geotectonic history of the Voikar Massif, Polar Urals // Z. Deutschen Ges. Geowissenschaften. 2012, V. 163/1. P. 9–41. DOI: 10.1127/1860-1804/2012/0163-0009.
20. *Hodges K. V.* Geochronology and Thermochronology in Orogenic Systems. In: Treasure on Geochemistry. Oxford. UK: Elsevier, 2004, P. 263–292.
21. *Hoskin P. W. O., Schaltegger U.* The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis // Rev. Mineral. Geochem. 2003. V. 53. P. 27–62.
22. *Sun S. S., McDonough W. F.* Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Geol. Soc. London. Spec. Publ. 1989. V. 42. P. 313–345.
23. *Watson E. B., Wark D. A., Thomas J. B.* Crystallization thermometers for zircon and rutile // Contrib. Mineral. Petrol. 2006, V. 151. P. 413–433.
- References**
1. *Andreichev V. L.* *Izotopnaya geohronologiya ultramafit-mafitovyh i granitoidnyh asociacij vostochnogo sklona Polyarnogo Urala* (Isotope geochronology of ultramafic-mafic and granitoid associations of the eastern slope of the Polar Urals). Syktyvkar: Geoprint, 2004, 44 pp.
2. *Andreichev V. L., Udoratina O. V.* *Novye dannye o vozraste granitoidov kongorskogo kompleksa (Polyarnyj Ural)* (New data on the age of granitoids of the Kongor Complex (the Polar Urals)). *Izotopnoe datirovanie geologicheskikh processov: novye metody i rezul'taty. Tez. Dokl. I Rossijskoj konf. po izotopnoj geohronologii.* Moscow: GEOS, 2000, pp. 28–30.
3. *Geohimiya izotopov v ofiolitah Polyarnogo Urala* (Geochemistry of isotopes in the ophiolites of the Polar Urals). *Tr. GIN AN SSSR.* M. I. Buyakajte, V. I. Vinogradov, V. N. Kuleshov et. al. Moscow: Nauka, 1983, V. 376, 183 pp.
4. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:1000000 (treete pokolenie).* Seriya Zapadno-Sibirskaya. List Q-42 (Salekhard). *Obyasnitelnaya zapiska* (State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1: 1,000,000 (third generation). The West Siberian series. Sheet Q-42 (Salekhard). Explanatory note). L. I. Zyl'yova, A. L. Kononov, A. P. Kazak et. al. St. Petersburg: *Kartograficheskaya fabrika VSEGEI*, 2014. 396 pp.
5. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:200000 (izdanie vtoroe).* Seriya Polyarno-Ural'skaya. List Q-41-XII. *Obyasnitelnaya zapiska* (State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1: 200000 (second edition). The Polar-Urals series. Sheet Q-41-XII. Explanatory note). A. P. Pryamonosov, A. E. Stepanov, T. V. Telegina et. al. St. Peterburg, 2001, 213 pp.
6. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:200000. Izdanie vtoroe.* Seriya Polyarno-Ural'skaya. List Q-42-VII, VIII (Obskoj). *Obyasnitelnaya zapiska* (State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1: 200,000. Second edition. The Polar Urals series. Sheet Q-42-VII, VIII (Obskaya). Explanatory note). V. A. Dushin, O. P. Serdyukova, A. A. Malyugin et. al. St. Petersburg: *Kartograficheskaya fabrika VSEGEI*, 2014, 384 pp.
7. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:1000000 (treete pokolenie).* Seriya Ural'skaya. List Q-41 (Vorkuta). *Obyasnitelnaya zapiska* (State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1: 1,000,000 (third generation). The Urals series. Sheet Q-41 (Vorkuta). Explanatory note). Ed. V. P. Vodolazskaya. M. A. Shishkin, A. P. Astapov, N. V. Kabatov et. al. St. Petersburg: *Kartograficheskaya fabrika VSEGEI*, 2007, 541 pp.
8. *Zoloto-porfirovoe Petropavlovskoe mestorozhdenie (Polyarnyj Ural): geologicheskaya poziciya, mineralogiya i usloviya obrazovaniya* (Gold-porphiry Petropavlovskoye ore deposit (the Polar Urals): geological position, mineralogy and conditions of formation). I. V. Vikentev, R. H. Mansurov, Yu. N. Ivanova et. al. *Geologiya rudnyh mestorozhdenij*, 2017, V. 59, No. 6, pp. 501–541.
9. *Kuznetsov N. B., Romanyuk T. V.* *Paleozojskaya ehvolyuciya Polyarnogo Urala: Vojkarskij bassejn s koroj okeanicheskogo tipa sushchestvoval ne menee 65 mln let* (Paleozoic evolution of the Polar Urals: the Voykar basin with an oceanic crust existed for at least 65 million years). *Bull. MOIP. Otdel Geologicheskij*, 2014, No. 5, pp. 56–70.
10. *Kuznetsov N. B., Udoratina O. V., Andreichev V. L.* *Paleozojskoe izotopnoe omolozhenie kompleksov douralid i problema ehvolyucii vostochnoj okrainy Vostochno-Evropejskogo kontinenta v paleozoe* (Paleozoic isotope rejuvenation of the Pre-Uralides complexes and the problem of the evolution of the eastern margin of the Eastern European continent in the Paleozoic). *Vestnik VGU. Ser. Geologicheskaya*, 2000, V. 9, pp. 15–19.
11. *Magmatizm Malouralskoj ostrovnogoj dugi (Polyarnyj Ural)* (Magmatism of the Malyi Ural island arc (the Polar Urals)). *Geologiya i mineral'nye resursy evropejskogo severo-vostoka Rossii. Materialy XV geol. s'ezda Respubliki Komi.* Ed. N. P. Yushkin. D. N. Remizov, S. I. Grigorev, S. Yu. Petrov et. al. Syktyvkar: Geoprint, 2009, V. II, p. 322–324.
12. *Remizov D. N.* *Ostrovoduzhnaya sistema Polyarnogo Urala (petrologiya i ehvolyuciya glubinyh zon)* (The island-arc system of the Polar Urals (petrology and evolution of deeper zones)). Ekaterinburg: *UrO RAN*, 2004, 221 pp.
13. *Sobolev I. D., Udoratina O. V., Gen Ts.* *Vozrast i izotopno-geohimicheskie harakteristiki dioritov kongorskogo kompleksa (massiv Dioritovyj, Polyarnyj Ural)* (The age and isotope-geochemical characteristics of the diorites from the Kongor Complex (the Diorite Pluton, the Polar Urals)). *Geologiya, geoekologiya i resursnyj potencial Urala i sopredel'nyh territorij: Sbornik statej V Vserossijskoj molo-dezhnoj geologicheskoy konferencii.* Ed. F. R. Ardislamov. Ufa: *OOO Alfa-reklama*, 2017, pp. 132–139.



14. Udoratina O. V., Kuznetsov N. B. *Sobskij plagiogranitnyj kompleks Polyarnogo Urala* (Sobsky plagiogranitic complex of the Polar Urals). *Byulleten MOIP. Otdel Geologicheskij*. 2007, V. 82, No. 3, pp. 49–59.
15. Udoratina O. V., Kuznetsov N. B., Larionov A. N., Shishkin M. A. *U-Pb-vozrast plagiogranitoidov Sobskogo massiva (Polyarnyj Ural)* (U-Pb age of plagiogranitoids of the Sobski Pluton (the Polar Urals)). *Petrologiya i mineralogiya severa Urala i Timana*. Eds. L. V. Mahlaev, A. F. Khazov. Syktyvkar: Geoprint, 2008, No. 5, pp. 52–62.
16. Yazeva R. G., Bochkarev V. V. *Vojkarskij vulkano-plutonicheskij poyas (Polyarnyj Ural)* (Voykar volcano-plutonic belt (the Polar Urals)). Sverdlovsk: *UNC AN SSSR*, 1984, 160 pp.
17. Andreichev V. L. Geochronology of metamorphic and magmatic processes in the crustal evolution of the Polar Urals. INTAS-EUROPROBE TIMPEBAR-URALIDES workshop. St. Peterburg: Geotryckeriet, 2000, p. 1.
18. Barth A.P., Tani K., Meffre S. et al. Generation of silicic melts in the early Izu-Bonin arc recorded by detrital zircons in proximal arc volcanoclastic rocks from the Philippine Sea: *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2017, V. 18, Issue 10, pp. 3576–3591. doi: 10.1002/2017GC006948.
19. Estrada S., Henjes-Kunst F., Burgath K.-P. et al. Insights into the magmatic and geotectonic history of the Voikar Massif, Polar Urals. *Z. Deutschen Ges. Geowissenschaften*. 2012, V. 163/1, pp. 9–41. DOI: 10.1127/1860-1804/2012/0163-0009.
20. Hodges K. V. Geochronology and Thermochronology in Orogenic Systems. In: *Treasure on Geochemistry*. Oxford. UK: Elsevier, 2004, P. 263–292.
21. Hoskin P. W. O., Schaltegger U. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. *Rev. Mineral. Geochem.* 2003. V. 53, pp. 27–62.
22. Sun S. S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geol. Soc. London. Spec. Publ.* 1989, V. 42, pp. 313–345.
23. Watson E. B., Wark D. A., Thomas J. B. Crystallization thermometers for zircon and rutile. *Contrib. Mineral. Petrol.* 2006, V. 151, pp. 413–433.