УДК 550.93:552.32 (470.1) DOI:10.19110/geov.2024.11.2

U-Pb (SIMS) цирконовая хронология интрузивного магматизма юго-восточной части Ижемской зоны фундамента Печорской синеклизы

В. Л. Андреичев[1]*, А. А. Соболева[1], Е. Г. Довжикова[2], Ю. Л. Ронкин[3], А. Н. Ларионов[4], С. А. Сергеев[4], Э. Л. Миллер[5], М. А. Кобл[5]

[1] Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия; *izo@geo.komisc.ru**
[2] Ухтинский государственный технический университет, Ухта, Россия
[3] Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия
[4] Институт Карпинского, Санкт-Петербург, Россия
[5] Стэнфордский университет, Стэнфорд, США

U-Pb (SIMS)-возраст цирконов из интрузивных пород Ижемской зоны Тиманского мегаблока фундамента Печорской синеклизы, вскрытых пятью скважинами, свидетельствует о двух эпизодах позднедокембрийского интрузивного магматизма. Первый имел место около 600 млн лет назад, на границе рифея — венда, а второй приурочен к позднему венду. Возраст гранитов из скв. 1-Нижняя Омра и 1-Прилукская составляет 602 ± 2 и 593 ± 14 млн лет соответственно. Граниты скв. 11-Малая Пера, 1-Южный Джьер и диориты скв. 21-Палью имеют возраст 557—536 млн лет и коррелируются с орогенными гранитоидами (555—544 млн лет) Припечорской разломной зоны (предполагаемой сутуры орогена Тиманид).

Ключевые слова: *Печорская синеклиза, Ижемская зона, фундамент, граниты, диориты, циркон, U-Pb-возраст*

U-Pb (SIMS) zircon chronology of intrusive magmatism of the south-eastern part of the Izhma zone (basement of Pechora Basin)

V. L. Andreichev[1], A. A. Soboleva[1], E. G. Dovzhikova[2], Yu. L. Ronkin[3], A. N. Larionov[4], S. A. Sergeev[4], E. L. Miller[5], M. A. Coble[5]

[1] Institute of Geology, FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia
[2] Ukhta State Technical University, Ukhta, Russia
[3] Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, Yekaterinburg, Russia
[4] Karpinsky Institute, St. Petersburg, Russia
[5] Stanford University, Stanford, the USA

The results of local U-Pb (SIMS) zircon analysis indicate that plutonic rocks drilled by five boreholes in the Izhma zone of the Timan megablock of the Pechora Basin basement were not intruded simultaneously in the Late Precambrian. The first episode of magmatic activity took place at c. 600 Ma (at the Riphean — Vendian boundary), while the second one is confined to the Late Vendian. The ages of the granites from the 1-Nizhnyaya Omra and 1-Prilukskaya boreholes are 602 ± 2 and 593 ± 14 Ma, respectively. The granites from the 11-Malaya Pera and 1-South Djer boreholes and diorites from the 21-Palyu borehole are 557—536 Ma old, being well correlated to the 555—544 Ma old orogenic granitoids of the Pripechora fault zone (the supposed suture of the Timanides orogen).

Keywords: *Pechora basin, Izhma zone, basement, granites, diorites, zircon, U-Pb age*

Введение

Геохронологические исследования на Европейском Северо-Востоке России были начаты в 70-е годы прошлого века и поначалу базировались исключительно на K-Ar-методе. Первый обзор 140 возрастных определений по осадочно-метаморфическим и магматическим породам Тиманского поднятия (Тимана, Тиманского кряжа, Тиманской гряды) и прилегающих территорий Мезенской и Печорской синеклиз сделан Г. Н. Акимовой (1980). На рубеже столетий предпочтение стало отдаваться результатам датирования единичных зерен циркона по отношению радиогенных изотопов свинца $^{207}Pb/^{206}Pb$ (Gee et al., 2000; Андреичев, Ларионов, 2000), которые не всегда совпадали с Rb-Sr изохронными возрастами (Андреичев, 1998; Андреичев, Литвиненко, 2007) и поэтому требовали дополнительной аргументации. В последние годы при датировании магматических, метаморфических и осадочных пород наиболее востребованным изотопным минералом-геохронометром стал циркон как наиболее устойчивый к вторичным изменениям. Современная прецизионная масс-спектрометрическая аппаратура позволяет проводить локальный изотопный анализ свинца нанограммовых и меньших содержаний в ненарушенных доменах в пределах индивидуального зерна посредством вторично-ионной масс-спектрометрии (SIMS) на ионных микрозондах SHRIMP.

Для цитирования: Андреичев В. Л., Соболева А. А., Довжикова Е. Г., Ронкин Ю. Л., Ларионов А. Н., Сергеев С. А., Миллер Э. Л., Кобл М. А. U-Pb (SIMS) цирконовая хронология интрузивного магматизма юго-восточной части Ижемской зоны фундамента Печорской синеклизы // Вестник геонаук. 2024. 11 (359). С. 14—29. DOI: 10.19110/geov.2024.11.2

For citation: Andreichev V. L., Soboleva A. A., Dovzhikova E. G., Ronkin Yu. L., Larionov A. N., Sergeev S. A., Miller E. L., Coble M. A. U-Pb (SIMS) zircon chronology of intrusive magmatism of the south-eastern part of the Izhma zone (basement of Pechora Basin). Vestnik of Geosciences, 2024, 11 (359), pp. 14—29, doi: 10.19110/geov.2024.11.2

Именно такие исследования необходимы для выяснения возраста магматических пород фундамента Печорской синеклизы. В нашем распоряжении имеется коллекция кернового материала из скважин, вскрывших фундамент Печорской синеклизы, позволившая провести SIMS-датирование цирконов и установить возраст интрузивного магматизма.

Основные черты геологического строения Печорской синеклизы

Печорская синеклиза представляет собой крупную региональную тектоническую структуру в составе Тимано-Печорской плиты и располагается между Тиманом и Предуральским краевым прогибом (рис. 1). Тиман является юго-западным ограничением плиты

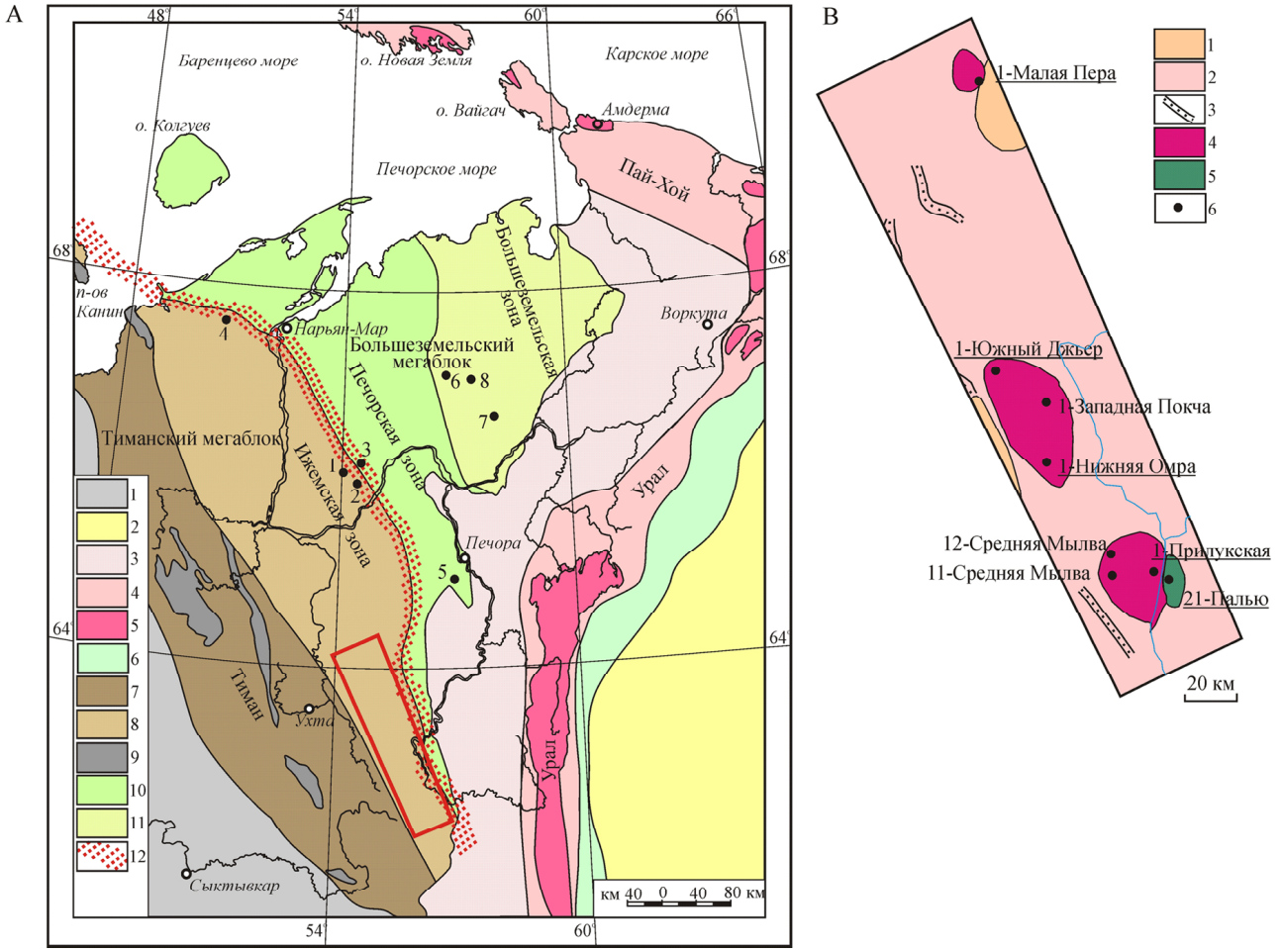

Рис. 1. **А** — тектоническое строение фундамента Печорской синеклизы и ее обрамления (по Тимано-Печорский..., 2000; Белякова и др., 2008): 1 — Восточно-Европейский кратон; 2 — Западно-Сибирская плита; 3—6 — Урал: 3 — Предуральский краевой прогиб, 4 — Западно-Уральская мегазона, палеозойские комплексы Пай-Хоя, о-ва Вайгач и архипелага Новая Земля, 5 — Центрально-Уральская мегазона, верхнедокембрийские комплексы Пай-Хоя, о-ва Вайгач и архипелага Новая Земля, 6 — Восточно-Уральская мегазона; 7—11 — фундамент Тимано-Печорской плиты: 7 — Тиман, 8 — Ижемская зона, 9 — выходы на поверхность комплексов фундамента, 10 — Печорская зона, 11 — Большеземельская зона, 12 — Припечорская зона разломов (северо-западная часть — Чаркаю-Пылемецкий разлом, юго-восточная часть — Илыч-Чикшинский разлом). **В** — строение фундамента юго-восточной части Ижемской зоны по геофизическим данным и результатам бурения: 1 — сланцы и кварцитопесчаники верхнего рифея; 2 — конгломераты, полимиктовые алевролиты, красноцветные алевросланцы венда(?); 3 — пласты магнитных пород; 4—5 — интрузивные породы вендского возраста: 4 — граниты, гранодиориты, 5 — габбродиориты, диориты, плагиограниты; 6 — скважины, вскрывшие магматические породы. Цифрами обозначены скважины: 1 — 1-Чаркаю, 2 — 1-Южная Чаркаю, 3 — 1-Восточная Чаркаю, 4 — 54-Седуяха, 5 — 1-Новая, 6 — 26-Восточная Харъяга, 7 — 2-Веяк, 8 — 4-Сандивей. Подчеркнуты названия скважин, обсуждаемых в этой работе

Fig. 1. **A** — tectonic structure of the basement of the Pechora basin and its frame (according to Timan-Pechora..., 2000; Belyakova et al., 2008): 1 — East European Craton; 2 — West Siberian Plate; 3—6 — the Urals: 3 — Cis-Ural Foredeep, 4 — West Ural megazone, Paleozoic complexes of Pai-Khoi, Vaigach Island, and Novaya Zemlya Archipelago, 5 — Central Ural megazone, Upper Precambrian complexes of Pai-Khoi, Vaigach Island, and Novaya Zemlya Archipelago, 6 — East Ural megazone; 7—11 — basement of the Pechora plate: 7 — Timan; 8 — Izhma zone; 9 — exposures of the basement; 10 — Pechora zone; 11 — Bolshezemelskaya zone; 12 — Pripechora fault zone (northwestern part — Charkayu-Pylemets fault, southeastern part — Ilych-Chikshino fault). **B** — basement structure of the south-eastern part of the Izhma zone according to geophysical data and drilling results: 1 — Upper Riphean schits and quartzite-sandstones; 2 — conglomerates, polymictic siltstones, red-coloured Vendian siltstones; 3 — layers of magnetic rocks; 4—5 — intrusive rocks of Vendian age: 4 — granites, granodiorites, 5 — gabbro-diorites, diorites, plagiogranites; 6 — boreholes that reached igneous rocks. Numbers indicate boreholes: 1 — 1-Charkayu, 2 — 1-South Charkayu, 3 — 1-East Charkayu, 4 — 54-Seduyakha, 5 — 1-Novaya, 6 — 26-East Kharyaga, 7 — 2-Veyak, 8 — 4-Sandivey. The names of the boreholes discussed in this paper are underlined

и включается в ее состав. В геологическом строении синеклизы участвуют дислоцированные осадочно-метаморфические и прорывающие их магматические образования верхнедокембрийского фундамента, перекрытые ордовикско-кайнозойским платформенным чехлом неметаморфизованных осадочных и вулканогенных пород. Мощность чехла изменяется от 4—7 км в центральных частях впадин синеклизы до 1—4 км на сводах и поднятиях, поэтому выяснение строения фундамента Печорской синеклизы затруднено по причине ограниченности геологической информации, получаемой исключительно по керну скважин разных категорий глубиной до 5 км. В отдельных блоках Тимана за счет глубокого эрозионного среза породные комплексы фундамента выходят на поверхность.

Долгое время суждения о строении и тектонической природе фундамента Печорской синеклизы основывались на общих геологических соображениях, анализе региональных геофизических полей, характере дислокаций платформенного чехла, и лишь с начала 50-х годов прошлого столетия в связи с проведением геолого-разведочных работ на нефть и газ стала накапливаться геологическая информация о составе позднедокембрийских образований. Обобщение геологических и геофизических материалов по скважинам, вскрывшим фундамент, проводилось в основном Л. Т. Беляковой (1982, 1988; Рифей…, 1987; Белякова, Степаненко, 1990, 1991). Эти данные, дополненные сведениями по немногочисленным вновь пробуренным скважинам, в настоящее время составляют фактологическую основу для выяснения строения и геодинамического развития закрытой части Печорской синеклизы (Тимано-Печорский…, 2002; Белякова и др., 2008; Pease et al., 2004).

На основании геофизических данных и результатов бурения в составе фундамента Тимано-Печорской плиты по вещественному составу и характеру магматизма выделяются Тиманский мегаблок, включающий собственно Тиман и прилегающую к нему с северо-востока Ижемскую зону, и Большеземельский мегаблок в составе Печорской и Большеземельской зон (Дедеев и др., 1974; Белякова, 1983; Дедеев, Запорожцева, 1985; Белякова и др., 2008). Граница между мегаблоками проводится по Припечорской разломной зоне, состоящей из Чаркаю-Пылемецкого и Илыч-Чикшинского глубинных разломов, простирающихся в северо-западном направлении от Урала до Печороморской впадины (Костюченко, 1994; Оловянишников и др., 1996). Разломы, не выраженные на поверхности, зафиксированы по положительной магнитной аномалии, именуемой Припечорской (Гафаров, 1970). Ее связь с изверженными породами подтверждается результатами глубокого бурения.

В строении Тиманского мегаблока принимают участие верхнерифейские преимущественно терригенные отложения, а на Тимане выходят на поверхность и карбонатные породы. В Ижемской зоне вскрытые скважинами породы сопоставляются по составу протолита с рифейскими сланцами Тимана. Из интрузивных образований преобладают гранитоиды, реже встречаются монцониты, сиениты и диориты.

В Печорской и в Припечорской зонах фундамент сложен дислоцированными вулканогенными породами базальт-андезит-дацит-риолитовой известково-щелочной серии и их туфами с прослоями филлитовидных сланцев. Интрузивные образования различного состава, от кислого до ультраосновного, устанавливаются по геофизическим данным и результатам бурения.

В Большеземельской зоне верхняя часть разреза представлена верхнерифейско-вендскими красноцветными и сероцветными ритмично-слоистыми терригенными и туфотерригенными отложениями с преобладанием туффитов и кислых вулканитов. Ниже предполагается развитие основных и ультраосновных пород. Интрузивные породы представлены гранитоидами и габбро.

Особенности строения фундамента Печорской синеклизы, спектр магматических пород дают основание интерпретировать Тиманский мегаблок как северо-восточную (в современных координатах) пассивную континентальную окраину Восточно-Европейского континента (Пучков, 1975; Гецен, 1991). Она простиралась до Припечорской зоны разломов, представляющей собой сутуру орогена Тиманид — след замыкания Печорского океана (Белякова, Степаненко, 1990, 1991; Пучков, 2005; Белякова и др., 2008) в результате аккреционных (Белякова и др., 2008) или коллизионных (Кузнецов и др., 2006, 2007) процессов. В этой зоне, а также в расположенных северо-восточнее Печорской и Большеземельской зонах обнаруживаются породы, образовавшиеся в условиях активной окраины (Белякова, Степаненко, 1991; Довжикова и др., 2000; Белякова и др., 2008).

Возраст интрузивных пород фундамента Печорской синеклизы в разное время основывался на K-Ar, Rb-Sr и Pb-Pb изотопно-геохронометрических данных (Акимова, 1980; Фишман и др., 1981; Андреичев, Литвиненко, 2007; Андреичев, Ларионов, 2000; Gee et al., 2000), а в последнее десятилетие основное внимание было уделено локальным U-Pb (SIMS) изотопным анализам циркона, в результате чего современными возрастными данными были охарактеризованы магматические породы Припечорской, Печорской и Большеземельской зон (Андреичев и др., 2014а; 2017а; 2023а; 2023б; Соболева и др., 2023).

В настоящем сообщении мы приводим геохимические и U-Pb (SIMS)-данные по цирконам из интрузивных пород, вскрытых пятью скважинами в юго-восточной части Ижемской зоны в 1950—60-е годы: 1-Нижняя Омра, 1-Прилукская, 11-Малая Пера, 1-Южный Джьер и 21-Палью (рис. 1).

Методы исследования

Концентрации петрогенных элементов, представленных в виде оксидов, определены методом традиционного химического анализа в Тимано-Печорском научно-исследовательском центре (Ухта) и Институте геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН (Сыктывкар). Определения содержаний элементов-примесей выполнены методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) в ЦКП «Геоаналитик» Института геологии и геохимии УрО РАН (Екатеринбург), процедуры опубликованы (Ронкин и др., 2005).

U-Pb-датирование единичных зерен циркона из скважин 1-Нижняя Омра, 11-Малая Пера, 1-Южный Джьер и 21-Палью проводилось в Центре изотопных исследований Института Карпинского (Санкт-Петербург)

на ионном микрозонде SHRIMP-IIe, а изображения внутренней структуры цирконов получены на сканирующем электронном микроскопе CamScan MX2500 с катодолюминесцентной системой CLI/QUA2. Цирконы из скв. 1-Прилукская исследовались в Центре микроанализа Стэнфордского университета и Геологической службы США (SUMAC) на ионном микрозонде SHRIMP-RG. Изображения цирконов получены на сканирующем электронном микроскопе JEOL LV 5600, оснащенным катодолюминесцентным детектором. Изотопные измерения выполнялись согласно стандартным процедурам: SHRIMP-IIe (Larionov et al., 2004), SHRIMP-RG (Ireland, Gibson, 1998; Coble et al., 2018). Обработка полученных аналитических данных проведена с использованием программы SQUID-2 (Ludwig, 2009), для статистического анализа и построения U-Pb-диаграмм использованы приложения Isoplot 3.75 (Ludwig, 2012) для программы Microsoft Excel и IsoplotR (Vermeesch, 2018). Отношения Pb/U нормированы на значение $^{206}Pb/^{238}U$ = = 0.0668 в стандартном цирконе TEMORA, что соответствует возрасту 416.75 млн лет (Black et al., 2003).

Особенности минерального и химического состава пород

Граниты восточной и юго-восточной части Ижемской зоны объединяются в нижнеомринский комплекс двуслюдяных гранитов (Белякова, Степаненко, 1990, 1991 и др.). Он представлен весьма крупным телом, вскрытым скважиной 11-Малая Пера на глубине 3311—3353 м, а также двумя массивами: Нижнеомринским и Прилукским (рис. 1). Нижнеомринский массив вскрыт скважинами 1-Нижняя Омра (1946—1970.1 м), 1-Западная Покча (2170—2268.4 м), 1-Южный Джьер (2232—2305.4 м), а Прилукский — скважинами 1-Прилукская (3014—3122 м), 11-Средняя Мылва (2270—2363 м) и 12-Средняя Мылва (2325—2406 м). Гранитные тела фиксируются в физических полях как гравитационные минимумы и отрицательные магнитные аномалии. Геологические взаимоотношения с вмещающими породами установлены в скв. 12-Средняя Мылва, где наблюдается рвущий контакт гранитов с дислоцированными биотитовыми сланцами фундамента (Белякова и др., 2008).

Доминирующим петротипом являются двуслюдяные граниты (рис. 2), и лишь в краевой части Нижнеомринского массива (скв. 1-Южный Джьер) отмечаются биотитовые гранодиориты, а в скв. 1-Прилукская среди мелкозернистых гранитов наблюдаются крупнозернистые пегматоидные граниты. Преобладают розоватые и серые массивные равномерно мелко- и среднезернистые породы гранитовой структуры. Главными породообразующими минералами являются кварц, калиевый полевой шпат и плагиоклаз, во второстепенных количествах присутствуют биотит и мусковит, акцессорные минералы представлены магнетитом, апатитом, цирконом, гранатом, титанитом, турмалином, монацитом, ксенотимом. Вторичные изменения гранитоидов проявлены преимущественно в зонах рассланцевания и выражаются в развитии хлорита, серицита, кальцита, эпидота, новообразованного кварца, целестина, молибденита, пирита и халькопирита.

Кроме гранитов исследовались амфибол-биотитовые диориты, вскрытые скв. 21-Палью (3360—3524 м) восточнее Прилукского гранитного массива, практически на границе с зоной Илыч-Чикшинского разлома. Серые мелко- и среднезернистые диориты, инъецированные мелкими крутопадающими телами лейкогранитов, имеют массивную, на отдельных

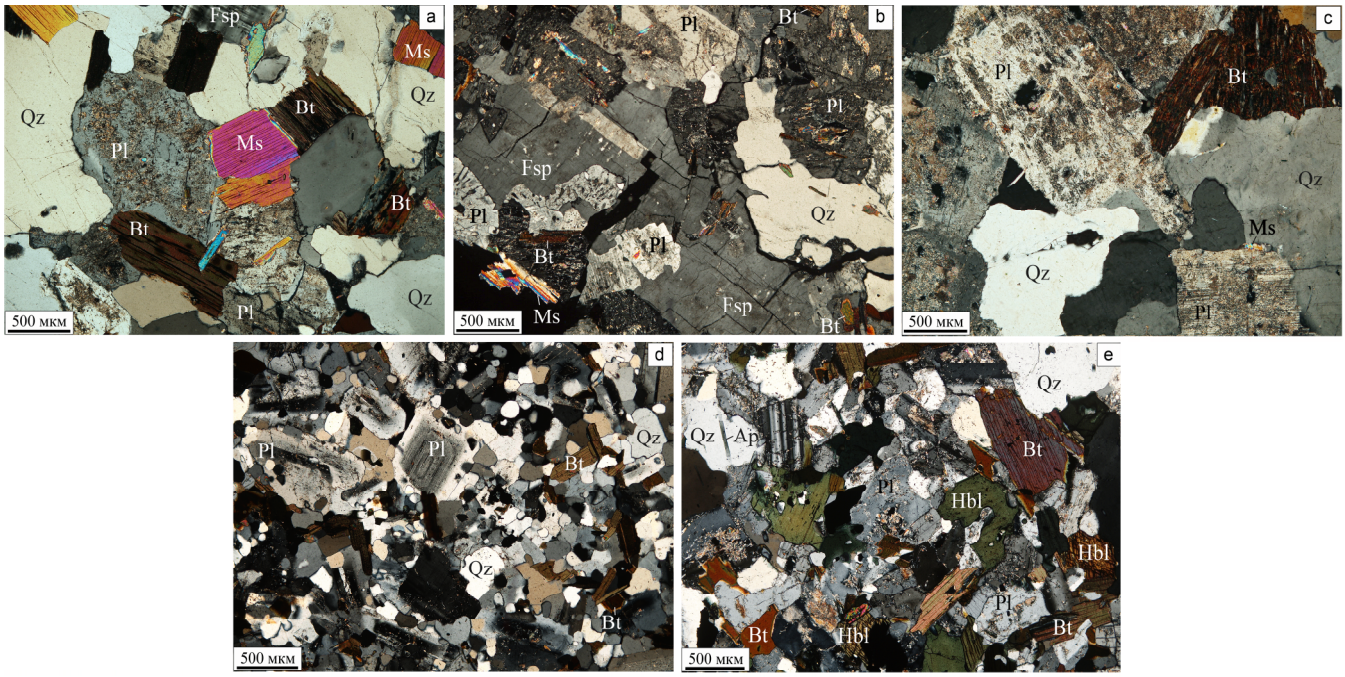

Рис. 2. Микрофотографии шлифов из скважин (с анализатором): a — 1-Нижняя Омра (обр. 125), b — 1-Прилукская (обр. 33), c — 11-Малая Пера (обр. 22), d — 1-Южный Джьер (обр. 19), e — 21-Палью (обр. 30-11). Qz — кварц, Pl — плагиоклаз, Fsp — щелочной полевой шпат, Bt — биотит, Hbl — роговая обманка, Ms — мусковит, Ap — апатит

Fig. 2. Thin-section photomicrographs in cross polarized light from boreholes: a — 1-Nizhnyaya Omra (sample 125), b — 1-Prilukskaya (sample 33), c — 11-Malaya Pera (sample 22), d — 1-South Djier (sample 19), e — 21-Palyu (sample 30-11). Qz — quartz, Pl — plagioclase, Fsp — alkali feldspar, Bt — biotite, Hbl — hornblende, Ms — muscovite, Ap — apatite

участках трахитоидную текстуру, обусловленную параллельной ориентировкой лейст плагиоклаза. Структура пород гипидиоморфнозернистая, с элементами порфировидной (рис. 2). Диориты сложены плагиоклазом, роговой обманкой, биотитом, кварцем и микроклин-пертитом, акцессорные минералы представлены апатитом, цирконом и рудным минералом, практически нацело замещенным титанитом.

Большинство изученных гранитоидов имеют нормальную щелочность (табл. 1) за исключением части пород скв. 1-Прилукская, содержащих повышенное (до 9.63 мас. %) количество щелочей.

По петрохимической классификации (рис. 3, а) породы, вскрытые скв. 1-Нижняя Омра, относятся к адамеллитам, гранитам, плагиогранитам и плагиолейкогранитам. Гранитоиды скв. 1-Прилукская являются гранитами, субщелочными и щелочными гранитами. Скв. 11-Малая Пера вскрывает трондьемиты и адамеллиты, а скв. 1-Южный Джьер — тоналиты, гранодиориты и граниты. Изученные породы скв. 21-Палью относятся к диоритам и кварцевым диоритам.

По величине отношения Na_2O/K_2O преобладающий тип щелочности гранитоидов и диоритов — калиево-натриевый. Натриевую специфику имеют все гранитоиды скв. 1-Южный Джьер (Na_2O/K_2O — 1.31—1.57), два состава гранитоидов скв. 1-Нижняя Омра (Na_2O/K_2O — 2.79 и 2.84) и один кварцевый диорит скв. 21-Палью (Na_2O/K_2O — 4.14). Относительно повышенное содержание K_2O отмечается только в одном образце субщелочного гранита из скв. 1-Прилукская (Na_2O/K_2O — 0.05). По содержанию K_2O диориты и кварцевые диориты скв. 21-Палью и большинство гранитоидов относятся к высококалиевым породам, часть гранитоидов скв. 1-Нижняя Омра и скв. 1-Южный Джьер — к умеренно-калиевым.

Таблица 1. Содержания петрогенных оксидов в интрузивных породах Ижемской зоны, мас. %

Table 1. Main oxide contents in plutonic rocks of Izhma zone, wt. %

Скважина Borehole	1-Нижняя Омра 1-Nizhnyaya Omra					1-Прилукская 1-Prilukskaya						
Глубина, м Depth, m	1960—1970.1					3049	3101.2—3109.2			3109.2—3114.9	3114.9—3117	3117—3122
№ образца Sample No.	125	125/1	125/2	125/3	125/4	32	33	33/1	33/2	33/3	33/4	33/5
SiO_2	72.90	69.36	73.72	75.51	73.83	71.30	70.94	71.98	72.28	69.66	72.10	71.04
TiO_2	0.33	0.00	0.11	0.17	0.05	0.15	0.20	0.20	0.16	0.20	0.20	0.20
Al_2O_3	13.84	17.60	16.18	15.28	16.47	14.65	14.92	14.33	14.52	14.78	14.82	14.92
Fe_2O_3	0.48	0.66	0.16	0.52	1.00	1.76	0.32	0.10	0.07	0.72	1.84	0.57
FeO	1.19	2.49	0.86	0.15	0.50	0.22	1.44	1.51	0.93	0.22	0.22	1.22
MnO	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	0.00	0.01	0.03	0.01
MgO	0.39	0.33	0.30	0.32	0.00	1.04	1.04	1.11	0.16	0.96	1.12	0.88
CaO	0.91	1.26	0.90	0.59	0.84	0.90	1.57	1.34	1.00	1.12	1.34	1.01
Na_2O	4.18	3.17	2.66	4.68	4.55	3.37	3.35	2.95	2.86	0.38	3.73	2.67
K_2O	4.37	4.87	3.56	1.68	1.60	5.62	4.85	5.32	6.77	8.35	3.89	6.19
P_2O_5	0.14	0.15	0.14	0.00	0.00	0.09	0.08	0.19	0.16	0.22	0.10	0.21
П.п.п. / LOI	0.83	1.22	0.14	0.86	0.44	1.16	1.27	1.16	1.00	2.71	0.85	1.14
Сумма / Sum	99.59	101,14	98.75	99.76	99.28	100.28	100.01	100.21	99.91	99.33	100.24	100.06

Скважина Borehole	11-Малая Пера 11-Malaya Pera		1-Южный Джьер 1-South Djer			21-Палью 21-Palyu							
Глубина, м Depth, m	3316—3324		2200	2262.6—2265		3391.9—3395.9					3520—3524		
№ образца Sample No.	22	22/1	19	19/1	19/2	30/10	30/11	30/15	30/32	30/36	32/7	32/9	32/10
SiO_2	71.10	68.84	65.06	70.98	65.40	53.46	56.88	55.20	55.00	55.76	53.74	55.46	54.14
TiO_2	0.45	0.40	0.80	0.26	0.84	1.59	1.84	2.00	1.47	1.33	1.95	1.91	1.94
Al_2O_3	13.28	15.42	15.64	15.75	16.33	16.26	16.86	17.00	16.18	16.46	15.71	16.28	15.97
Fe_2O_3	0.45	3.67	1.48	0.39	0.78	2.83	2.96	2.65	2.41	2.48	4.85	4.11	4.39
FeO	2.92	-	3.16	1.90	3.73	6.68	5.55	6.23	5.93	5.17	6.14	6.38	6.35
MnO	0.06	0.04	0.07	0.23	0.07	0.15	0.15	0.15	0.14	0.13	0.15	0.15	0.18
MgO	1.50	1.18	1.68	0.08	1.62	4.01	4.42	4.12	4.57	4.19	3.61	3.52	3.21
CaO	1.12	0.74	3.87	1.38	4.12	6.46	6.38	6.18	5.91	5.91	5.80	6.25	6.24
Na_2O	2.79	3.36	3.86	4.26	3.24	2.83	2.36	2.48	2.76	2.89	2.27	2.39	2.34
K_2O	4.04	3.67	2.84	3.26	2.07	2.18	0.57	2.25	2.62	2.56	2.42	2.21	2.29
P_2O_5	0.13	0.14	0.25	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.37	0.34	0.36
П.п.п. / LOI	2.00	2.43	1.39	1.16	1.03	2.41	1.24	1.37	1.99	2.44	2.20	1.72	1.69
Сумма / Sum	99.84	99.89	100.10	99.65	99.23	99.11	99.46	99.88	99.23	99.56	99.21	100.72	99.10

По содержанию элементов-примесей исследуемые гранитоиды можно разбить на две группы: I — из скв. 1-Нижняя Омра и 1-Прилукская, II — из скв. 11-Малая Пера и 1-Южный Джьер (табл. 2). По сравнению с модельным составом гранитов срединно-океанических хребтов (Pearce et al., 1984) гранитоиды I группы обогащены крупноионными литофильными элементами (LILE) — K (1.33—6.93 мас. %), Rb (157; 276 г/т), Ba (187; 238 г/т), а также Th (6.20; 7.58 г/т) и обеднены высокозарядными элементами (HFSE) — Nb (5.97; 7.89 г/т), REE, Zr (64.0; 71.1 г/т), Hf (2.06; 2.26 г/т) (рис. 3, b). Гранитоиды II группы примерно так же обогащены LILE (K — 1.72—3.35 мас. %, Rb — 71; 128 г/т, Ba — 285; 449 г/т), Th (11.4; 11.7 г/т) и дополнительно легкими редкими землями (LREE) и обеднены HFSE — Zr (32.2; 90.8 г/т), Hf (1.51; 3.42 г/т) — и тяжелыми редкими землями (HREE). Их главным отличием от гранитоидов I группы является повышенное содержание REE в целом (129—186 г/т против 30—66 г/т в гранитоидах I группы). Это отличие хорошо видно на графиках распределения REE, нормированных к составу хондрита CI (Sun, McDonough, 1989) (рис. 3, c). Для всех рассматриваемых гранитоидов характерно обогащение LREE относительно HREE (La_N/Yb_N — 21—24 в гранитоидах I группы и 7—33 в гранитоидах II группы) и проявленный дефицит Eu (Eu_N/Eu_N^* — 0.29—0.42 и 0.24—0.44 соответственно).

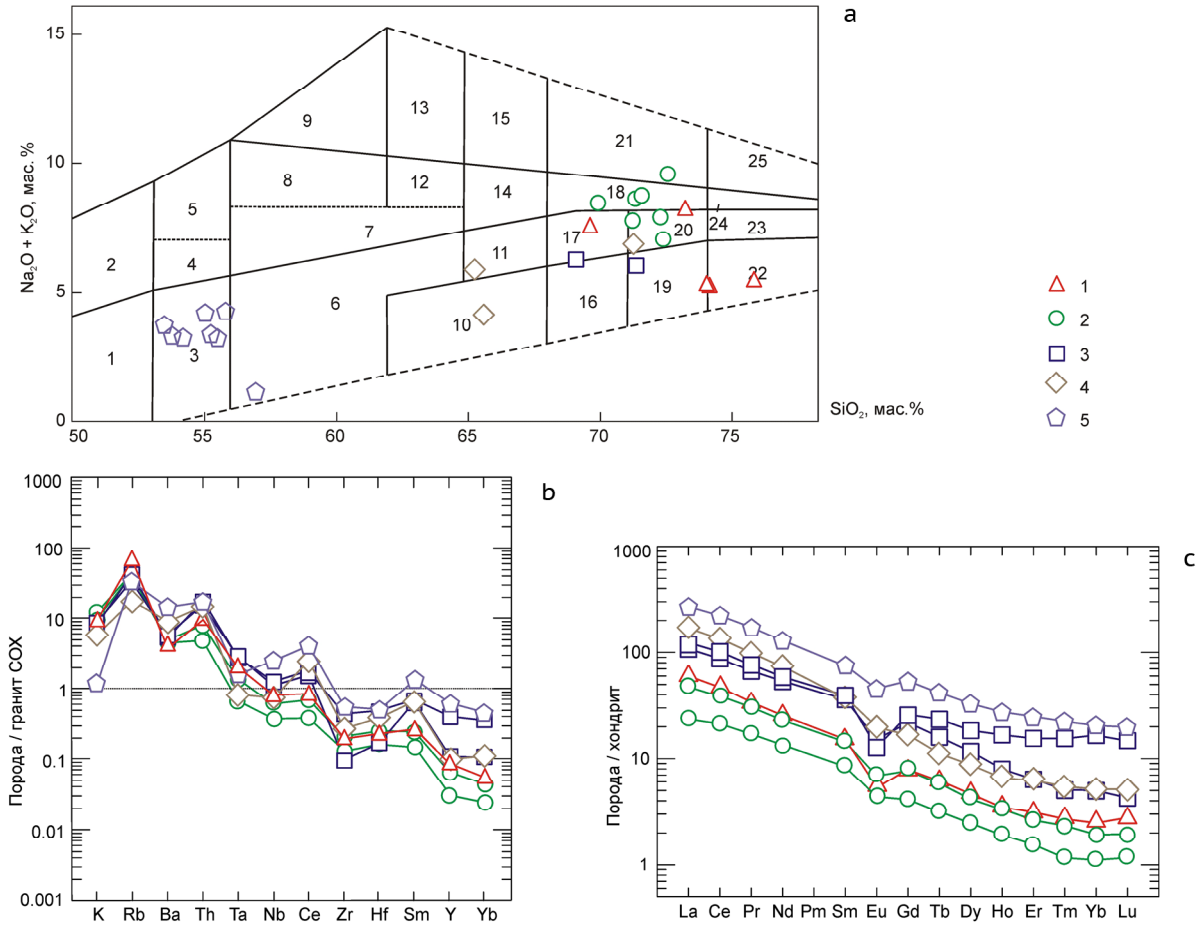

Рис. 3. Диаграммы для гранитоидов и диоритов Ижемской зоны фундамента Печорской синеклизы: **a** — классификационная диаграмма ($Na_2O + K_2O$) – SiO_2 (Петрография..., 2001), **b** — спайдер-диаграмма распределения элементов-примесей, нормированных на модельный состав гранита срединно-океанических хребтов (Pearce et al., 1984), **c** — спектры РЗЭ, нормированных к составу хондрита CI (Sun, McDonough, 1989). Скважины: 1 — 1-Нижняя Омра, 2 — 1-Прилукская, 3 — 11-Малая Пера, 4 — 1-Южный Джьер, 5 — 21-Палью. Поля на диаграмме (**a**): 1 — габбронориты, габбро, габбродиориты; 2 — монцогаббро; 3 — диориты, 4 — монцодиориты; 5 — монцониты; 6 — кварцевые диориты; 7 — кварцевые монцодиориты; 8 — сиениты; 9 — щелочные сиениты; 10 — тоналиты; 11 — гранодиориты; 12 — кварцевые сиениты; 13 — щелочные кварцевые сиениты; 14 — граносиениты; 15 — щелочные граносиениты; 16 — трондьемиты; 17 — адамеллиты; 18 — субщелочные граниты; 19 — плагиограниты; 20 — граниты; 21 — щелочные граниты; 22 — плагиоклазовые лейкограниты; 23 — лейкограниты; 24 — аляскиты; 25 — щелочные аляскиты

Fig. 3. Diagrams for granitoids and diorites of the Izhma zone of the basement of Pechora basin. **a** — classification diagram ($Na_2O + K_2O$) – SiO_2 (Petrography..., 2001), **b** — spider-diagram for trace elements normalized to model composition of ocean ridge granites (Pearce et al., 1984), **c**— chondrite-normalized (Sun, McDonough, 1989) REE chart. Numbers refer to boreholes: 1 — 1-Nizhnyaya Omra, 2 — 1-Prilukskaya, 3 — 11-Malaya Pera, 4 — 1-South Djer, 5 — 21-Palyu. Numbers refer to fields on (**a**): 1 — gabbronorite, gabbro, gabbrodiorite; 2 — monzogabbro; 3 — diorite, 4 — monzodiorite; 5 — monzonite; 6 — quartz diorite; 7 — quartz monzodiorite; 8 — syenite; 9 — alkaline syenite; 10 — tonalite; 11 — granodiorite; 12 — quartz syenite; 13 — alkaline quartz syenite; 14 — granosyenite; 15 — alkaline granosyenite; 16 — trondhjemite; 17 — adamellite; 18 — subalkaline granite; 19 — plagiogranite; 20 — granite; 21 — alkaline granite; 22 — plagioclase leucogranite; 23 — leucogranite; 24 — alaskite; 25 — alkaline alaskite

Диориты и кварцевые диориты скв. 21-Палью по содержанию элементов-примесей похожи на гранитоиды II группы, по сравнению с которыми они содержат лишь несколько больше Nb (24.8 г/т) и REE (325 г/т).

Результаты и их обсуждение

Скв. 1-Нижняя Омра вскрыла граниты в интервале 1946.0—1970.1 м под нижнеордовикскими песчаниками седьёльской свиты — основания осадочного чехла. Цирконы, выделенные из обр. 125 (1960 м), представлены субидиоморфными длиннопризматическими кристаллами светло-розового цвета, прозрачными и мутными. Длина кристаллов составляет 106—231 мкм, коэффициент удлинения ($K_{удл}$) 1.5—3.2. На катодолюминесцентных изображениях (рис. 4) видно, что для зерен в основном характерно яркое свечение (в некоторых зернах — только в центральных частях, а краевые практически черные). В большей части зерен наблюдается тонкая осцилляционная зональность, в зерне 7 зональность более грубая. В некоторых зернах (3, 7, 9—11) можно предположить наличие унаследованных (детритовых?) ядер. В зернах 2, 6, 8, 10 и ядерной части зерна 3 содержатся вытянутые, изогнутые и амебовидные темные включения размером до 50 мкм.

Проанализировано 11 зерен (табл. 3). Все значения аналитических данных конкордантны, дискордантность варьирует от +6 до –3 %, но полученные результаты неоднозначны. Изотопные данные по аналитическим кратерам семи зерен, в которых анализировались средние и периферические части зерен (зоны роста), образуют компактный кластер, отвечающий возрасту 602 ± 2 млн лет (рис. 5). Содержания урана в этих кратерах составляет 232—940 мкг/г, тория — 171—360 мкг/г, Th/U = 0.23—0.86. В краевой части зерна 4 (U = 4185 мкг/г, Th = 205 мкг/г, Th/U = 0.05) получен возраст 559 ± 2.4 млн лет. В трех зернах (3, 7 и 9) анализировались ядра (U = 122—230 мкг/г, Th = 63—129 мкг/г, Th/U = 0.42—0.58). По зернам 7 и 9 получен конкордантный возраст 1333 ± 11 млн лет, по зерну 3 — 1662 ± 18 млн лет.

Скв. 1-Прилукская вскрыла граниты в интервале 3014—3122 м под кварцевыми песчаниками нижнеордовикской седьёльской свиты. Анализировались зерна циркона из обр. 33 (3101.2—3109.2 м). Это светло-желтовато-розовые, светло-розовые вытянутые субидиоморфные кристаллы бипирамидально-призматического габитуса, длиной 60—500 мкм при $K_{удл}$ 3.5—7, с гладкими гранями, прозрачные и полупрозрачные. На катодолюминесцентных изображениях (рис. 4) видно, что в зернах 1 и 8 присутствуют более светлые цирконовые ядра, окруженные более темным незональным цирконом. Для зерен 3 и 6 характерна лоскутная зональность, а для зерен 2, 4, 5 и 10 — осцилляционная зональность. Внутренняя часть некоторых зерен незональная (зерна 9, 11) или имеет лоскутную зональность (зерно 7), а на периферии этих кристаллов проявлена тонкая осцилляционная зональность.

Проанализировано 11 зерен (табл. 3). Дискордантность аналитических данных превышает 5 % и лишь по четырем зернам (7, 9, 10 и 11), проанализированным в зонах роста с тонкой осцилляционной зональностью (U — 115—361 г/т, Th — 79—215 г/т, Th/U — 0.54—1.11),

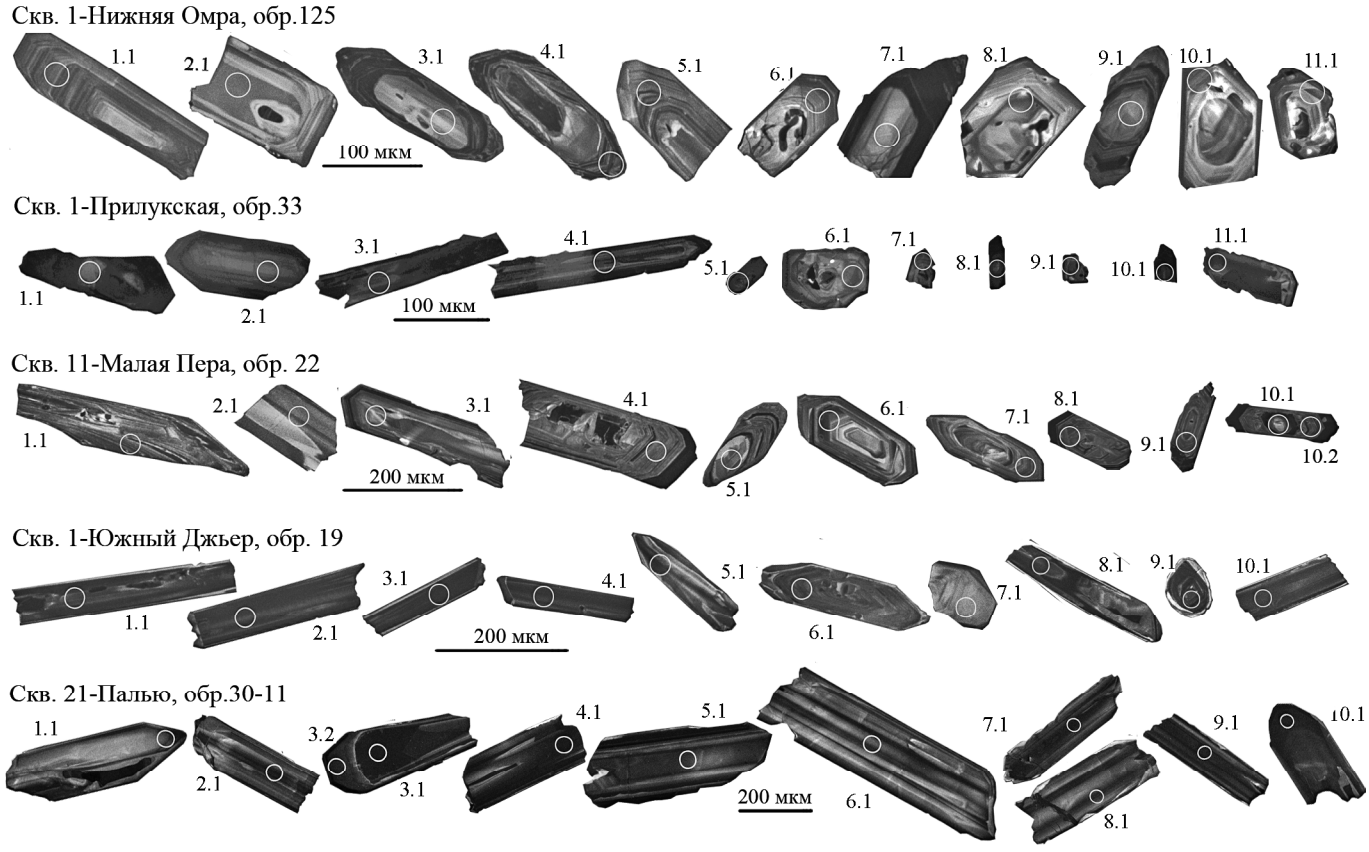

Рис. 4. Катодолюминесцентные изображения зерен циркона с номерами аналитических кратеров диаметром 25 мкм

Fig. 4. Cathodoluminescent images of zircon grains with numbers of analytical craters with a diameter of 25 microns

Таблица 2. Содержание элементов-примесей в интрузивных породах Ижемской зоны, г/т
Table 2. Trace element contents in plutonic rocks of Izhma zone, ppm

Скважина Borehole	1-Нижняя Омра 1-Nizhnyaya Omra	1-Прилукская 1-Prilukskaya	11-Малая Пера 11-Malaya Pera	1-Южный Джьер 1-South Djer	21-Палью 21-Palyu
№ образца Sample No.	125	33	22	19	30/11
Li	181	43.7	61.0	41.5	3.49
Be	5.56	4.41	4.23	1.45	1.45
Sc	1.99	2.46	6.42	7.41	19.1
Ti	1011	1047	1551	2263	14069
V	8.70	13.1	25.4	59.1	273
Cr	4.60	6.92	9.51	16.4	9.40
Mn	212	146	251	226	1189
Co	2.97	3.64	6.13	7.75	26.3
Ni	3.74	4.07	5.36	7.39	15.2
Cu	8.40	23.7	5.02	27.5	19.0
Zn	40.9	32.1	32.4	62.0	121
Ga	21.8	21.3	17.0	16.7	26.9
Ge	1.47	1.16	1.51	1.02	9.90
Rb	276	157	128	70.5	133
Sr	88	87.7	54.8	328	458
Y	6.10	4.53	7.62	6.78	44.2
Zr	64.0	71.1	32.2	90.8	189
Nb	7.89	5.97	11.0	7.40	24.8
Mo	0.13	1.05	0.08	0.30	1.10
Ag	0.71	0.54	0.75	0.64	0.14
Cd	0.00	0.004	0.00	0.04	0.22
Sn	10.8	3.16	7.91	1.71	3.83
Sb	0.06	0.06	0.12	0.08	0.03
Te	0.00	0.07	0.01	0.00	0.16
Cs	19.4	5.93	11.4	5.91	2.50
Ba	187	238	285	449	716
La	14.0	11.3	25.6	41.1	64.3
Ce	29.4	24.0	54.5	84.2	138
Pr	3.29	2.92	6.42	9.54	16.4
Nd	12.1	10.8	25.3	35.0	60.9
Sm	2.36	2.20	5.66	5.80	11.7
Eu	0.32	0.41	0.90	1.17	2.69
Gd	1.64	1.58	4.53	3.50	11.2
Tb	0.23	0.22	0.61	0.42	1.58
Dy	1.22	1.08	3.00	2.26	8.46
Ho	0.20	0.19	0.46	0.38	1.57
Er	0.52	0.44	1.07	1.03	4.15
Tm	0.07	0.06	0.13	0.14	0.58
Yb	0.43	0.34	0.86	0.89	3.54
Lu	0.06	0.046	0.11	0.13	0.51
Hf	2.06	2.26	1.51	3.42	4.51
Ta	1.44	0.94	1.98	0.57	1.08
W	1.38	0.67	0.71	0.40	0.56
Tl	1.34	0.98	0.85	0.49	0.63
Pb	19.1	31.2	22.3	10.9	9.89
Bi	0.58	7.06	0.80	0.10	0.052
Th	7.58	6.20	11.7	11.4	13.8
U	2.84	2.99	4.30	2.33	1.77

получен средневзвешенный конкордантный возраст 593 ± 14 млн лет (рис. 6), сопоставимый с возрастом гранитов из скв. 1-Нижняя Омра.

Скв. 11-Малая Пера расположена в 100 км к северо-западу от скв. 1-Нижняя Омра. Граниты вскрыты в интервале 3311—3353 м под нижнеордовикскими аргиллитами нибельской свиты. Цирконы выделены из обр. 22 (3316—3324 м). Они представлены розовыми полупрозрачными субидиоморфными длиннопризматическими кристаллами длиной 130—440 мкм, $K_{удл}$ — 2.5—4.0. На катодолюминесцентных изображениях (рис. 4) практически во всех зернах наблюдается тонкая осцилляционная зональность или ее следы. В центральной части зерна 5 содержится окатанное детритовое ядро.

Выполнено 11 анализов в 10 зернах (табл. 3). В двух кратерах (9.1 и 10.2) дискордантность возрастов составляет 20 и 160 %, поэтому эти анализы были исключены из расчета. В остальных кратерах дискордантность изменяется от +7 до –3 %. В ядре зерна 5 (U — 313 г/т, Th — 98 г/т, Th/U — 0.32) зафиксирован конкордантный возраст, равный 1464 ± 11 млн лет. По остальным восьми зернам (U — 275—1973 г/т, Th — 96—414 г/т, Th/U — 0.09—0.47), независимо от места локализации аналитических кратеров, получен средний конкордантный возраст 557 ± 1 млн лет (рис. 7). Заметим, что ранее из этого же образца по четырем зернам циркона был определен $^{207}Pb/^{206}Pb$-возраст методом ступенчатого испарения свинца, составивший 551 ± 8 млн лет (Gee et al., 2000).

В ***скв. 1-Южный Джьер*** граниты вскрыты в интервале 2232—2305.4 м под песчаниками седьёльской свиты. Цирконовые зерна отбирались из биотитового гранодиорита (обр. 19, гл. 2200 м). Преобладают бесцветные до светло-розовых удлиненные бипирамидально-призматические прозрачные, с гладкой поверхностью зерна длиной 80—250 мкм при $K_{удл}$ 5—6. В них на катодолюминесцентных изображениях (рис. 4) видна грубая осцилляционная зональность. В осевой части зерен 1 и 8 содержатся крупные темные включения. Центральная зона зерна 7, более светлая в катодных лучах, окружена более темной каймой. Зерно 9 характеризуется почти изометричной формой и сглаженными очертаниями, его темная центральная часть окружена светлой каймой.

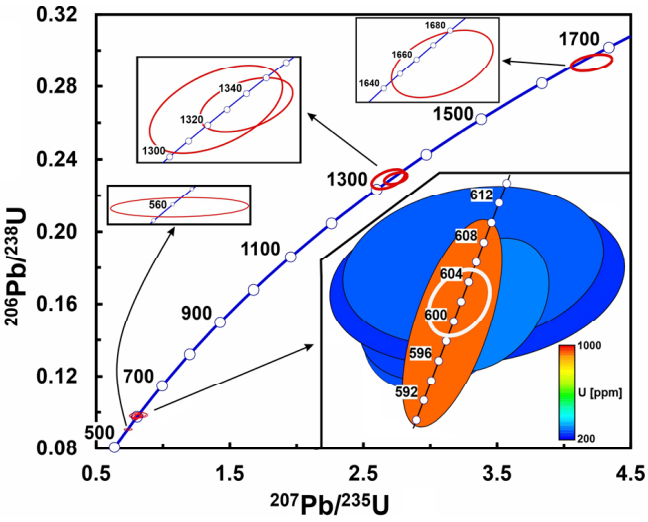

Рис. 5. Диаграмма с конкордией для кристаллов циркона из гранитов скв. 1-Нижняя Омра. Здесь и далее на рис. 6—9 координаты аналитических кратеров — центры эллипсов погрешностей (±2σ). Кроме того, на вкладках рисунков 6—9 для наглядности отображены фигуративные эллипсы в увеличенном масштабе. На вкладке, демонстрирующей цветовую градацию концентраций урана, белым контуром выделен эллипс, по которому рассчитан конкордантный возраст 602 ± 2 млн лет (2σ, n = 7, СКВО = 0.0028)

Fig. 5. Concordia diagram for zircon crystals from granites of borehole 1-Nizhnyaya Omra. Here and below in Fig. 6—9 the coordinates of analytical craters are the centers of error ellipses (±2σ). In addition, for clarity, the inserts all pictures 6—9 show figurative ellipses on an enlarged scale. On the inserts demonstrating the color gradation of uranium concentrations, the ellipse used to calculate the concordant age of 602 ± 2 Ma (2σ, n = 7, MSWD = 0.0028) is outlined in white

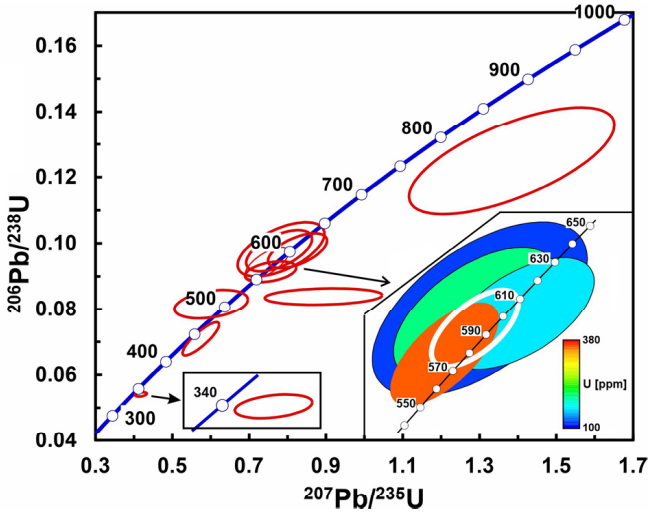

Рис. 6. Диаграмма с конкордией для кристаллов циркона из гранитов скв. 1-Прилукская. Конкордантный возраст 593 ± 14 млн лет (2σ, n = 4, СКВО = 0.79)

Fig. 6. Concordia diagram for zircon grains from granites of the 1-Prilukskaya borehole. Concordant age — 593 ± 14 Ma (2σ, n = 4, MSWD = 0.79)

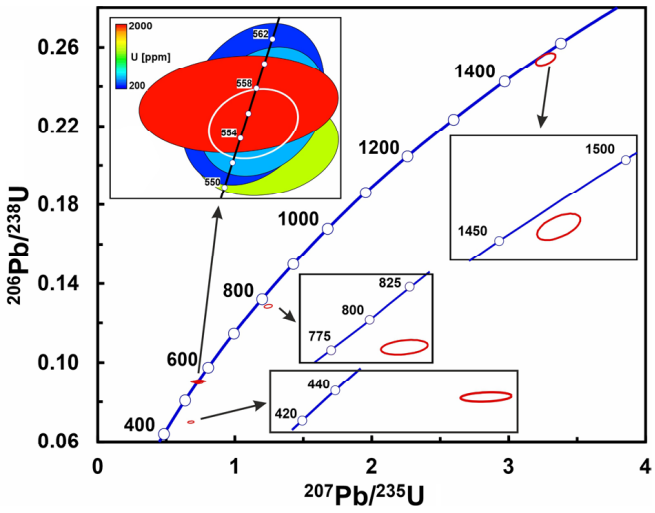

Рис. 7. Диаграмма с конкордией для кристаллов циркона из гранитов скв. 11-Малая Пера. Конкордантный возраст 557 ± 1 млн лет (2σ, n = 8, СКВО = 1.5)

Fig. 7. Concordia diagram for zircon grains from granites of the 11-Malaya Pera borehole. Concordant age — 557 ± 1 Ma (2σ, n = 8, MSWD = 1.5)

Таблица 3. Результаты U-Pb-изотопных исследований цирконовых зерен из интрузивных пород Ижемской зоны

Table 3. Results of U-Pb dating of zircon grains from plutonic rocks of Izhma zone

Зерно, кратер Grain, spot	$^{206}Pb_c$, %	Содержания, мкг/г Content, ppm			$\frac{^{232}Th}{^{238}U}$	Изотопные отношения ± % (1σ) Isotope ratios ± % (1σ)			Rho	Возраст ± 1σ, млн лет Age ± 1σ, Ma		D, %
		$^{206}Pb^*$	U	Th		$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{206}Pb$	
Скв. 1-Нижняя Омра (обр. 125, гл. 1960—1970.1 м) / 1-Nizhnyaya Omra (sample 125, 1960—1970.1 m)												
4.1	1.85	332	4185	205	0.05	0.09060 ± 0.23	0.739 ± 1.7	0.0592 ± 1.6	0.14	559 ± 1.2	574 ± 36	3
1.1	н.п.о.	78.7	940	207	0.23	0.09751 ± 0.75	0.805 ± 1.2	0.0599 ± 0.9	0.63	600 ± 4.3	599 ± 20	0
8.1	0.10	21.4	254	177	0.72	0.09764 ± 0.54	0.800 ± 1.9	0.0594 ± 1.9	0.28	601 ± 3.1	583 ± 40	−3
11.1	0.09	20.4	243	203	0.86	0.09770 ± 0.49	0.800 ± 2.0	0.0594 ± 2.0	0.24	601 ± 2.8	581 ± 43	−3
5.1	н.п.о.	71.6	853	360	0.44	0.09774 ± 0.37	0.808 ± 1.2	0.0600 ± 1.1	0.30	601 ± 2.1	602 ± 25	0
6.1	н.п.о	24.4	291	215	0.77	0.09783 ± 0.48	0.821 ± 1.5	0.0609 ± 1.5	0.31	602 ± 2.8	635 ± 31	6
2.1	0.42	19.7	232	171	0.76	0.09823 ± 0.60	0.817 ± 3.5	0.0603 ± 3.4	0.17	604 ± 3.4	614 ± 74	2
10.1	0.37	22.4	264	197	0.77	0.09850 ± 0.57	0.815 ± 3.1	0.0600 ± 3.0	0.19	606 ± 3.3	604 ± 65	0
9.1	0.44	45.4	230	129	0.58	0.22920 ± 0.95	2.685 ± 1.9	0.0850 ± 1.7	0.50	1330 ± 11	1315 ± 32	−1
7.1	н.п.о	30.5	155	63	0.42	0.22970 ± 0.58	2.742 ± 1.3	0.0866 ± 1.1	0.46	1333 ± 7	1351 ± 22	1
3.1	0.20	30.9	122	64	0.54	0.29310 ± 0.65	4.207 ± 1.5	0.1041 ± 1.4	0.43	1657 ± 9	1698 ± 25	3
Скв. 1-Прилукская (обр. 33, гл. 3101.2—3109.2 м) / 1-Prilukskaya (sample 33, 3101.2—3109.2 m)												
2.1	0.60	247.4	5325	1099	0.21	0.0541 ± 0.5	0.417 ± 1.5	0.0559 ± 1.4	0.3	339 ± 2	447 ± 31	32
5.1	0.44	38.8	638	53	0.09	0.0709 ± 2.9	0.577 ± 3.5	0.0590 ± 2.1	0.8	442 ± 12	568 ± 45	28
3.1	1.72	14.0	200	298	1.54	0.0816 ± 2.2	0.611 ± 6.9	0.0543 ± 6.5	0.3	506 ± 11	383 ± 146	−24
6.1	3.68	7.9	110	52	0.49	0.0840 ± 1.1	0.905 ± 6.7	0.0781 ± 6.6	0.2	520 ± 6	1149 ± 132	121
4.1	0.41	54.4	693	1156	1.72	0.0912 ± 1.4	0.732 ± 3.8	0.0582 ± 3.5	0.4	563 ± 8	535 ± 77	−5
10.1	0.36	29.2	361	189	0.54	0.0941 ± 2.1	0.752 ± 3.2	0.0580 ± 2.5	0.7	580 ± 12	528 ± 54	−9
11.1	0.27	16.9	201	215	1.11	0.0978 ± 2.6	0.788 ± 4.5	0.0584 ± 3.7	0.6	602 ± 15	543 ± 82	−10
9.1	0.48	13.5	160	75	0.48	0.0980 ± 2.2	0.838 ± 4.5	0.0620 ± 4.0	0.5	602 ± 12	675 ± 85	12
7.1	0.91	9.7	115	79	0.71	0.0983 ± 3.4	0.799 ± 6.8	0.0589 ± 5.9	0.5	605 ± 20	563 ± 128	−7
1.1	2.44	9.3	86	33	0.39	0.1253 ± 5.3	1.408 ± 8.1	0.0815 ± 6.1	0.7	761 ± 38	1232 ± 119	62
8.1	0.19	19.6	137	70	0.53	0.1675 ± 2.6	2.289 ± 3.0	0.0991 ± 1.5	0.9	998 ± 24	1607 ± 29	61
Скв. 11-Малая Пера (обр 22, гл. 3316—3324 м) / 11-Malaya Pera (sample 22, 3316—3324 m)												
10.2	0.67	116	1914	284	0.15	0.0699 ± 0.3	0.680 ± 1.4	0.0705 ± 1.4	0.2	436 ± 1.1	943 ± 28	116
1.1	0.40	102	1321	277	0.22	0.0896 ± 0.3	0.737 ± 1.7	0.0596 ± 1.7	0.2	553 ± 1.5	589 ± 37	7
2.1	0.11	38	487	222	0.47	0.0901 ± 0.4	0.735 ± 1.5	0.0592 ± 1.5	0.3	556 ± 2.1	574 ± 32	3
7.1	н.п.о.	21	275	96	0.36	0.0902 ± 0.5	0.731 ± 1.7	0.0588 ± 1.6	0.3	556 ± 2.7	560 ± 35	1
4.1	1.77	156	1973	221	0.12	0.0902 ± 0.3	0.725 ± 2.4	0.0583 ± 2.4	0.1	557 ± 1.4	540 ± 52	−3
3.1	0.68	65	827	113	0.14	0.0904 ± 0.3	0.734 ± 2.3	0.0589 ± 2.3	0.1	558 ± 1.8	563 ± 50	1
10.1	0.52	114	1464	414	0.29	0.0904 ± 0.3	0.736 ± 1.5	0.0591 ± 1.5	0.2	558 ± 1.6	570 ± 33	2

Окончание таблицы 3 / End of Table 3

Зерно, кратер Grain, spot	$^{206}Pb_c$ %	Содержания, мкг/г Content, ppm			$\frac{^{232}Th}{^{238}U}$	Изотопные отношения ± % (1σ) Isotope ratios ±% (1σ)			Rho	Возраст ± 1σ, млн лет Age ± 1σ, Ma		D, %
		$^{206}Pb^*$	U	Th		$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{206}Pb$	
8.1	0.45	103	1319	204	0.16	0.0905 ± 0.3	0.746 ± 1.5	0.0598 ± 1.5	0.2	558 ± 1.7	596 ± 32	7
9.1	0.21	114	1030	197	0.20	0.1285 ± 0.3	1.244 ± 1.0	0.0702 ± 0.9	0.3	779 ± 2.0	935 ± 19	20
5.1	н.п.о.	68	313	98	0.32	0.2539 ± 0.5	3.270 ± 0.9	0.0934 ± 0.7	0.5	1459 ± 6.0	1496 ± 14	3
Скв. 1-Южный Джьер (обр. 19, гл. 2200 м) / 1-South Djer (sample 19, 2200 m)												
10.1	0.15	82.2	1115	2364	2.19	0.0856 ± 2.1	0.682 ± 2.5	0.05776 ± 1.5	0.8	530 ± 11	521 ± 32	–2
5.1	0.23	31.4	426	632	1.53	0.0857 ± 2.1	0.657 ± 3.7	0.0557 ± 3.0	0.6	530 ± 11	439 ± 68	–17
4.1	н.п.о.	52.3	707	1134	1.66	0.0861 ± 2.1	0.702 ± 2.5	0.05916 ± 1.5	0.8	532 ± 11	573 ± 32	8
3.1	0.10	86.3	1164	2174	1.93	0.0862 ± 2.1	0.672 ± 2.6	0.05656 ± 1.5	0.8	533 ± 11	475 ± 34	–11
2.1	н.п.о.	98.9	1335	3096	2.40	0.0864 ± 2.0	0.708 ± 2.5	0.05941 ± 1.4	0.8	534 ± 11	582 ± 31	9
6.1	н.п.о.	149.0	1977	229	0.12	0.0879 ± 2.0	0.708 ± 2.2	0.05836 ± 0.8	0.9	543 ± 11	543 ± 17	0
1.1	0.03	44.6	580	994	1.77	0.0894 ± 2.1	0.717 ± 2.6	0.05816 ± 1.5	0.8	552 ± 11	536 ± 33	–3
8.1	0.01	102.0	2280	4667	2.12	0.0982 ± 2.1	0.805 ± 2.2	0.0594 ± 0.68	0.9	604 ± 12	582 ± 15	–4
7.1	0.81	7.6	53	13	0.26	0.1667 ± 2.6	1.53 ± 10	0.0667 ± 9.9	0.3	994 ± 24	828 ± 210	–17
9.1	0.03	202.0	785	444	0.58	0.2998 ± 1.9	4.384 ± 2.1	0.10605 ± 0.6	0.9	1691 ± 31	1733 ± 10	2
Скв. 21-Палью, (обр. 30/11, гл. 3391.9—3395.9 м) / 21-Palyu (sample 30/11, 3391.9—3395.9 m)												
3.1	0.22	120	1603	2468	1.59	0.0873 ± 0.8	0.704 ± 2.9	0.0585 ± 2.8	0.26	540 ± 4	549 ± 60	2
7.1	0.26	63	838	1424	1.76	0.0875 ± 0.8	0.696 ± 2.8	0.0577 ± 2.7	0.30	541 ± 4	518 ± 59	–4
1.1	0.19	34	457	476	1.08	0.0876 ± 0.8	0.715 ± 2.3	0.0592 ± 2.1	0.36	541 ± 5	574 ± 45	6
10.1	0.33	69	911	1454	1.65	0.0876 ± 0.8	0.696 ± 2.4	0.0577 ± 2.3	0.35	541 ± 5	518 ± 50	–4
8.1	0.24	48	631	669	1.10	0.0880 ± 0.9	0.704 ± 2.3	0.0580 ± 2.1	0.38	544 ± 4	530 ± 45	–3
3.2	0.51	62	816	151	0.19	0.0882 ± 0.8	0.713 ± 3.7	0.0586 ± 3.6	0.23	545 ± 4	552 ± 77	1
5.1	0.93.	24	314	244	0.80	0.0882 ± 1.1	0.695 ± 7.0	0.0571 ± 7.0	0.15	545 ± 6	495 ± 48	–9
4.1	0.29	54	705	854	1.25	0.0885 ± 0.9	0.723 ± 2.8	0.0592 ± 2.6	0.31	547 ± 4	574 ± 56	5
9.1	0.19	62	808	960	1.23	0.0889 ± 0.8	0.705 ± 2.3	0.0575 ± 2.1	0.37	549 ± 4	511 ± 45	–7
2.1	0.31	61	791	1218	1.59	0.0892 ± 0.8	0.723 ± 2.5	0.0588 ± 2.3	0.34	551 ± 4	560 ± 49	2
6.1	0.45	38	493	405	0.85	0.0900 ± 0.9	0.735 ± 3.7	0.0592 ± 3.6	0.25	556 ± 4	574 ± 77	3

Примечание. Ошибка в калибровке стандарта составляет (%): 0.77 (обр. 125), 0.39 (обр. 33), 0.22 (обр. 22), 0.66 (обр. 19), 0.59 (обр. 30—11). $^{206}Pb_c$ и $^{206}Pb^*$ — обыкновенный и радиогенный свинец, н.п.о. — ниже предела определения (<0.01 %). Изотопные отношения и содержания ^{206}Pb скорректированы по измеренному ^{204}Pb. D — дискордантность: D = 100 × [возраст ($^{207}Pb/^{206}Pb$) / возраст ($^{206}Pb/^{238}U$) — 1]. Rho — коэффициент корреляции между ошибками определения изотопных отношений $^{206}Pb/^{238}U$ и $^{207}Pb/^{235}U$.

Note. Error in the calibration standard (%): 0.77 (Sample 125), 0.39 (Sample 33), 0.22 (Sample 22), 0.66 (Sample 19), 0.59 (Sample 30—11). $^{206}Pb_c$ and $^{206}Pb^*$ — common and radiogenic lead; н.п.о. — below the limit of determination (≤0.01). Isotope ratios and $^{206}Pb^*$ content are corrected using measured ^{204}Pb. D is discordance: D = 100 × × [age ($^{207}Pb/^{206}Pb$)/age ($^{206}Pb/^{238}U$) — 1]. Rho is the error correlation coefficient of $^{206}Pb/^{238}U$ versus $^{207}Pb/^{235}U$.

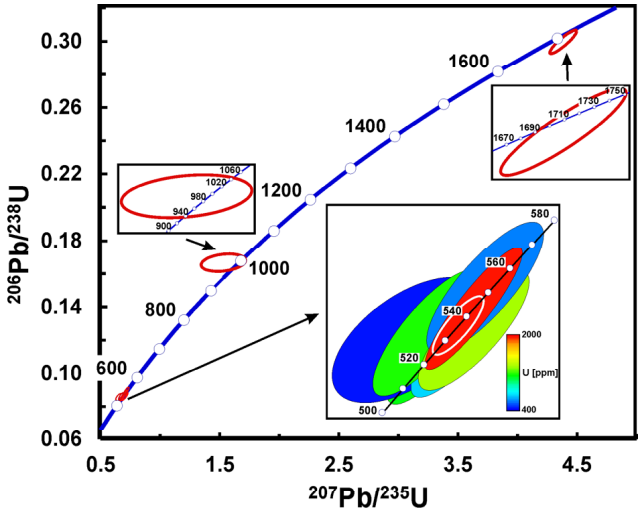

Рис. 8. Диаграмма с конкордией для кристаллов циркона из гранодиоритов скв. 1-Южный Джьер. Конкордантный возраст 536 ± 8 млн лет (2σ, n = 7, СКВО = 0.014)

Fig. 8. Concordia diagram for zircon grains from granites of the 1-South Djer borehole. Concordant age — 536 ± 8 Ma (2σ, n = 7, MSWD = 0.014)

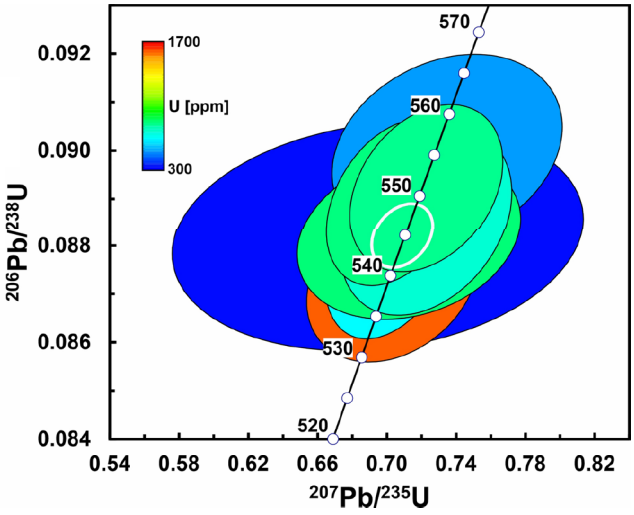

Рис. 9. Диаграмма с конкордией для кристаллов циркона из диоритов скв. 21-Палью. Конкордантный возраст 545 ± 3 млн лет (2σ, n = 11, СКВО = 0.024)

Fig. 9. Concordia diagram for zircon grains from diorites of the 21-Palyu borehole. Concordant age — 545 ± 3 Ma (2σ, n = 11, MSWD = 0.024)

Результаты аналитических измерений в 10 зернах приведены в табл. 3. Семь фигуративных точек (U — 426—1977 г/т, Th — 229—3096 г/т, Th/U — 0.12—2.40) с $^{206}Pb/^{238}U$-возрастами 530—552 млн лет на графике (рис. 8) составляют кластер, соответствующий конкордантному возрасту 536 ± 8 млн лет. По остальным трем зернам (7, 8 и 9) получены более древние значения $^{206}Pb/^{238}U$-возраста — 994 ± 24, 604 ± 12 и 1691 ± 31 млн лет соответственно.

В ***скв. 21-Палью*** под доломитами и мергелями среднеордовикской маломакарихинской свиты в интервале 3360—3524 м вскрыты диориты. Ранее из обр. 30 с глубины 3360 м по отношению радиогенных изотопов свинца $^{207}Pb/^{206}Pb$ в четырех цирконовых зернах был получен возраст 560 ± 15 млн лет (Gee et al., 2000). Исследуемые нами зерна циркона отбирались из обр. 30/11 (3391.9—3395.9 м). Они представляют собой светло-розовые прозрачные идиоморфные зерна бипирамидально-призматического облика и обломки удлиненно-призматических кристаллов. Размер зерен 200—550 мкм при $K_{удл}$ 4—5. На катодолюминесцентных изображениях в цирконах наблюдаются грубая осцилляционная зональность и слабое свечение (рис. 4). Десять зерен циркона проанализированы в 11 кратерах (табл. 3), средний конкордантный возраст составляет 545 ± 3 млн лет (рис. 9).

Заключение

Результаты локального U-Pb (SIMS)-датирования цирконов из магматических пород юго-восточной части Ижемской зоны фундамента Печорской синеклизы свидетельствуют о дискретности гранитогенеза, что ставит под сомнение отнесение пород к единому комплексу. Возможно, его следует выделять в объеме Нижнеомринского и Прилукского массивов, на что указывает близость цирконовых возрастов в скв. 1-Нижняя Омра (602 ± 2 млн лет) и в скв. 1-Прилукская (593 ± ± 14 млн лет). По-видимому, их можно сопоставить по возрасту с выходящими на поверхность интрузивными породами Северного Тимана, тем более что они находятся в одном коровом мегаблоке. SIMS-датировки по цирконам из северотиманских габбродолеритов, оливин-керсутитовых габбро, сиенитов и гранитов разных массивов образуют узкий интервал — 617—598 млн лет (Larionov et al., 2004, Andreichev et al., 2020, Андреичев и др., 2021), а образование пород связывается с плюмовым магматизмом (Степаненко, 2015; Соболева и др., 2021).

Другой эпизод магматизма зафиксирован в цирконах из гранитоидов в скв. 11-Малая Пера (557 ± 1 млн лет) и в скв. 1-Южный Джьер (536 ± 8 млн лет). Близкий возраст (545 ± 3 млн лет) показали цирконы из диоритов скв 21-Палью. Эти породы коррелируются по возрасту с поздневендскими синорогенными гранитами, вскрытыми скважинами: 54-Седуяха — 545 ± 7 млн лет (Андреичев и др., 2014а), 1-Чаркаю — 544 ± 6 млн лет, 1-Южная Чаркаю — 555 ± 2 млн лет и 1-Восточная Чаркаю — 545 ± 5 млн лет (Андреичев и др., 2017а) в Припечорской зоне разломов, вдоль которой функционировала зона субдукции и связанная с ней островодужная система, занимавшая территорию Печорской зоны. Им предшествуют позднеостроводужные плагиограниты, установленные в Печорской зоне в скв. 1-Новая — 564 ± 5 млн лет (Андреичев и др., 2023а).

Возраст, превышающий 0.9 млрд лет (в аналитических кратерах 3.1 (1657 ± 9 млн лет), 7.1 (1333 ± 7 млн лет, 9.1 (1330 ± 11 млн лет) цирконов из гранитов скв. 1-Нижняя Омра, кратере 8.1 (998 ± 24 млн лет) циркона из гранитов скв. 1-Прилукская, кратере 5.1 (1459 ± 6 млн лет) циркона из гранитов скв. 11-Малая Пера и кратеров 7.1 (994 ± 24 млн лет) и 9.1 (1691 ± 31 млн лет) зерен циркона из гранитов скв. 1-Южный Джьер) получен по преимущественно округлым ядрам циркона, которые, по всей видимости, унаследованы из гранитообразующего, вероятно, обломочного субстрата. На это указывает наличие аналогичных датировок среди возрастов детритовых цирконов из метатерригенных пород верхнедокембрийского фундамента Тиманского мегаблока Печорской плиты, выходящего на поверхность в отдель-

ных поднятиях. Это породы барминской серии Северного Тимана (Андреичев и др., 2014б; 2017б; 2018), четласской (Удоратина и др., 2017; Брусницина и др., 2021; Brusnitsyna et al., 2022), вымской (Соболева и др., 2019) и обдырской (Соболева и др., 2024) серий Среднего Тимана, джежимской свиты Южного Тимана (Кузнецов и др., 2010; Гракова и др., 2024; Соболева и др., 2024).

Исследование выполнено по теме «Глубинное строение, геодинамическая эволюция, взаимодействие геосфер, магматизм, метаморфизм, изотопная геохронология Тимано-Североуральского сегмента литосферы» Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, ГР № 122040600012-2) с частичной поддержкой в рамках темы государственного задания ИГТ УрО РАН (ГР № 123011800013-6).

Авторы выражают благодарность рецензентам за конструктивные замечания, способствовавшие существенному улучшению статьи.

Литература / References

Акимова Г. Н. Геохронология докембрия Тимана // Сов. геология. 1980. № 12. С. 71—85.
Akimova G. N. Geochronology of the Precambrian of Timan. Sov. geology, 1980, No. 12, pp. 71—85. (in Russian)

Андреичев В. Л. Изотопная геохронология интрузивного магматизма Северного Тимана. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 91 с.
Andreichev V. L. Isotopic geochronology of intrusive magmatism of the Northern Timan. Yekaterinburg: UB RAS, 1998, 91 p. (in Russian)

Андреичев В. Л., Ларионов А. Н. $^{207}Pb/^{206}Pb$-датирование единичных кристаллов циркона из магматических пород Северного Тимана // Изотопное датирование геологических процессов: новые методы и результаты: Тез. докл. I Росс. конф. по изотопной геохронологии. М.: ГЕОС, 2000. С. 26—28.
Andreichev V. L., Larionov A. N. $^{207}Pb/^{206}Pb$ dating of single zircon crystals from igneous rocks of the Northern Timan. Isotopic dating of geological processes: new methods and results. Proc. of the 1st Russian Conf. on Isotope Geochronology. Moscow: GEOS, 2000, pp. 26—28. (in Russian)

Андреичев В. Л., Литвиненко А. Ф. Изотопная геохронология гранитоидного магматизма фундамента Печорской синеклизы. Сыктывкар: Геопринт, 2007. 68 с.
Andreichev V. L., Litvinenko A. F. Isotopic geochronology of granitoid magmatism in the basement of the Pechora Basin. Syktyvkar: Geoprint, 2007, 68 p. (in Russian)

Андреичев В. Л., Соболева А. А., Довжикова Е. Г. Первые U-Pb-данные о возрасте гранитоидного магматизма фундамента Печорской синеклизы // ДАН. 2014а. Т. 458. № 5. С. 559—566. DOI: 10.7868/S0869565214290192
Andreichev V. L., Soboleva A. A., Dovzhikova E. G. First U-Pb data on age of granitoids in the basement of the Pechora basin. Doklady Earth Sciences, 2014a, V. 458, pp. 1207—1214. DOI: 10.1134/S1028334X14100146

Андреичев В. Л., Соболева А. А., Герелс Дж. U-Pb-возраст и источники сноса обломочных цирконов из верхнедокембрийских отложений Северного Тимана // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2014б. Т. 22. № 2. С. 32—45. DOI: 10.7868/S0869592X14020021
Andreichev V. L., Soboleva A. A., Gehrels G. U-Pb dating and provenance of detrital zircons from the Upper Precambrian deposits of North Timan. Stratigraphy and Geological Correlation, 2014a, V. 22, No. 2, pp.147—159. DOI: 10.1134/S0869593814020026

Андреичев В. Л., Соболева А. А., Довжикова Е. Г., Миллер Э. Л., Кобл М. А., Ларионов А. Н., Вакуленко О. В., Сергеев С. А. Возраст гранитоидов Припечорской разломной зоны фундамента Печорской синеклизы: первые U-Pb (SIMS)-данные // ДАН. 2017а. Т. 474. № 3. С. 321—326. DOI: 10.7868/S0869565217150129
Andreichev V. L., Soboleva A. A., Dovzhikova E. G., Miller E. L., Coble M. A., Larionov A. N., Vakulenko O. V., Sergeev S. A. Age of granitoids in the Pripechora fault zone of the basement of Pechora Basin: First U-Pb (SIMS)-data. Doklady Earth Sciences, 2017a, V. 474, Issue 1, pp. 498—502. DOI: 10.1134/S1028334X17050191

Андреичев В. Л., Соболева А. А., Хоуриган Дж. К. Результаты U-Pb (LA-ICP-MS)-датирования детритовых цирконов из терригенных отложений верхней части докембрийского фундамента Северного Тимана // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2017б. Т. 92, вып. 1. С. 10—20.
Andreichev V. L., Soboleva A. A., Hourigan J. K. U-Pb (LA-ICP-MS) dating of detrital zircons from clastic sediments of upper part of Precambrian basement of Northern Timan. Bulletin of Moscow Society of Naturalists, Geological Series, 2017б, V. 92, part 1, pp. 10—20. (in Russian)

Андреичев В. Л., Соболева А. А., Хубанов В. Б., Соболев И. Д. U-Pb (LA-ICP-MS)-возраст детритовых цирконов из метаосадочных пород основания верхнедокембрийского разреза Северного Тимана // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2018. Т. 93, вып. 2. С. 14—26.
Andreichev V. L., Soboleva A. A., Khubanov V. B., Sobolev I. D. U-Pb (LA-ICP-MS) dating of detrital zircons from clastic sediments composing lowest part of Precambrian sequence of Northern Timan. Bulletin of Moscow Society of Naturalists, Geological Series, 2018, V. 93, No. 2, pp. 14—26. (in Russian)

Андреичев В. Л., Соболева А. А., Удоратина О. В., Ронкин Ю. Л. Цирконология сиенитов Северного Тимана // Вестник геонаук. 2021. № 6 (318). С. 16—27. DOI: 10.19110/geov.2021.6.2. DOI: 10.19110/geov.2021.6.2
Andreichev V. L., Soboleva A. A., Udoratina O. V., Ronkin Yu. L. Zirconology of syenites of the Northern Timan. Vestnik of Geosciences, 2021, No. 6 (318), pp. 16—27. (in Russian)

Андреичев В. Л., Соболева А. А., Довжикова Е. Г., Ронкин Ю. Л. Два эпизода надсубдукционного интрузивного магматизма в пределах Печорской зоны фундамента Печорской синеклизы // Вестник геонаук. 2023а. 10 (346). С. 15—25. DOI: 10.19110/geov.2023.10.2
Andreichev V. L., Soboleva A. A., Dovzhikova E. G., Ronkin Yu. L. Two episodes of subduction-related intrusive magmatism within the Pechora zone of the Pechora Basin basement. Vestnik of Geosciences, 2023, No. 10 (346), pp. 15—25. (in Russian)

Андреичев В. Л., Соболева А. А., Довжикова Е. Г., Ронкин Ю. Л., Миллер Э. Л., Кобл М. А. Гранитоиды Большеземельской зоны фундамента Печорской синеклизы: состав и U-Pb-возраст // Геология и геофизика. 2023б. Т. 64, № 2. С. 180—191. DOI: 10.15372/GiG2022125
Andreichev V. L., Soboleva A. A., Dovzhikova E. G., Ronkin Yu. L., Miller E. L., Coble M. A. Granitoids in the Bolshezemel zone of the Pechora Basin basement: composition and U-Pb age. Russian Geology and Geophysics, 2023, V. 64, Issue 2, pp. 148—157. DOI: 10.2113/RGG 20224436

Белякова Л. Т. Байкальская вулканогенная моласса севера Урала и Большеземельской тундры / Сов. геология, 1982. № 10. С. 68—78.
Belyakova L. T. Baikalian volcanogenic molasse of the Northern Urals and Bolshezemelskaya tundra. Sov. geology, 1982, No. 10, pp. 68—78. (in Russian)

Белякова Л. Т. Строение фундамента Ижма-Печорской впадины и Большеземельского мегаблока // Верхний докембрий севера европейской части СССР. Сыктывкар, 1983. С. 72—75. Деп. в ВИНИТИ. № 1155—84.
Belyakova L. T. Structure of the basement of the Izhma-Pechora depression and the Bolshezemelsky megablock). Upper Precambrian of the North of the European part of the USSR). Syktyvkar, 1983, pp. 72—75. Dep. at VINITI. No. 1155—84. (in Russian)

Белякова Л. Т. Строение фундамента Тимано-Печорской провинции и его отражение в палеоструктурах осадочного чехла // Геотектоника Европейского Северо-Востока СССР. Сыктывкар: Коми научный центр УрО АН СССР, 1988. С. 22—25.
Belyakova L. T. Structure of the Basement of Timan-Pechora province and its reflection in the sedimentary cover palaeostructures. Geotectonics of the European North-East of the USSR. Syktyvkar: Komi SC UB USSR AS, 1988, pp. 22—25. (in Russian)

Белякова Л. Т., Богацкий В. И., Богданов Б. П., Довжикова Е. Г., Ласкин В. М. Фундамент Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна. Ухта: ТП НИЦ, 2008. 288 с.
Belyakova L. T., Bogatskij V. I., Bogdanov B. P., Dovzhikova E. G., Laskin V. M. The basement of the Timan-Pechora oil and gas basin. Uhta: TP SRC, 2008, 288 p. (in Russian)

Белякова Л. Т., Степаненко В. И. Гранитоиды фундамента Печорской синеклизы как индикаторы тектоно-магматической зональности // ДАН СССР. 1990. Т. 313. № 3. С. 677—681.
Belyakova L. T., Stepanenko V. I. Granitoids of the basement of the Pechora Basin as indicators of tectonic-magmatic zoning. Doklady Earth Sciences, 1990, V. 313, No. 3, pp. 677—681. (in Russian)

Белякова Л. Т., Степаненко В. И. Магматизм и геодинамика байкалид фундамента Печорской синеклизы // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1991. № 12. С. 106—117.
Belyakova L. T., Stepanenko V. I. Magmatism and geodynamics of the Baikalide basement of the Pechora Basin. Proceedings USSR AS. Geological series, 1991, No. 12, pp. 106—117. (in Russian)

Брусницына Е. А., Ершова В. Б., Худолей А. К., Андерсон Т., Маслов А. В. Возраст и источники сноса пород четласской серии (рифей) Среднего Тимана по результатам U-Th-Pb (LA-ICP-MS)-датирования обломочных цирконов. Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2021. Т. 29. № 6. С. 1—23. DOI: 10.31857/S0869592X21060028
Brusnitsyna E., Ershova V., Khudoley A., Andersen T., Maslov A. Age and provenance of the Riphean rocks of the Chetlas Group of the Middle Timan: U–Th–Pb (LA-ICP-MS) dating of detrital zircons. Stratigraphy and Geological Correlation, 2021, V. 29, No. 6, pp. 607—626. DOI: 10.1134/S0869593821060022

Гафаров Р. А. О глубинном строении фундамента в зоне сочленения Восточно-Европейской платформы и Урала // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1970. № 8. С. 3—14.
Gafarov R. A. On the deep structure of the basement in the junction zone of the East European Platform and the Urals. Proceedings of USSR AS. Geological series, 1970, No. 8, pp. 3—14. (in Russian)

Гецен В. Г. Геодинамическая реконструкция развития северо-востока европейской части СССР для позднепротерозойского этапа // Геотектоника. 1991. № 5. С. 26—37.
Getsen V. G. Geodynamic reconstruction of the development of the Northeast of the European part of the USSR for the Late Proterozoic stage. Geotectonics, 1991, No. 5, pp. 26—37. (in Russian)

Гракова О. В., Никулова Н. Ю., Хубанов В. Б. U/Pb-возраст и источники сноса обломочного циркона из верхнерифейских песчаников Немской возвышенности (Южный Тиман) // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2024. № 3 (69). С. 76—86. (Науки о Земле). DOI 10.19110/1994-5655-2024-3-76—86
Grakova O. V., Nikulova N. Yu., Khubanov V. B. U/Pb age and sources of detrital zircon from Upper Riphaean sandstones of the Nemskaya Upland (South Timan). Proc. Komi SC UB RAS, 2024, No. 3 (69), pp. 76—86, (Earth Sciences). (in Russian)

Дедеев В. А., Журавлев В. С., Запольнов А. К. Тиманская и Печорская складчатые системы // Структура фундамента платформенных областей СССР. Л.: Наука, 1974. С. 82—90.
Dedeev V. A., Zhuravlev V. S., Zapol'nov A. K. Timan and Pechora fold systems. Structure of the basement of the platform regions of the USSR. Leningrad: Nauka, 1974, pp. 82—90. (in Russian)

Дедеев В. А., Запорожцева И. В. Земная кора Европейского Северо-Востока СССР. Л.: Наука, 1985, 98 с.
Dedeev V. A., Zaporozhtseva I. V. The Earth's crust of the European North-East of the USSR. Leningrad: Nauka, 1985, 98 p. (in Russian)

Довжикова Е. Г., Ремизов Д. Н., Пиис В. Л. Геодинамическая позиция магматических пород фундамента Тимано-Печорской плиты в свете новых данных // Петрография на рубеже XXI века: итоги и перспективы: Материалы Всеросс. петрограф. совещ. Сыктывкар, 2000. Т. IV. С. 49—52.
Dovzhikova E. G., Remizov D. N., Pease V. L. Geodynamic position of igneous rocks in the basement of the Timan-Pechora plate in the light of new data). Petrography at the turn of the 21st century: results and prospects. Proceedings of the All-Russian Petrographic Conference, V. 4, Syktyvkar, 2000, pp. 49—52. (in Russian)

Иванов С. Н., Пучков В. Н., Иванов К. С., Самаркин Г. И., Семенов И. В., Пумпянский А. И., Дымкин А. М., Полтавец Ю. А., Русин А. И., Краснобаев А. А. Формирование земной коры Урала. М.: Наука, 1986. 248 с.
Ivanov S. N., Puchkov V. N., Ivanov K. S., Samarkin G. I., Semenov I. V., Pumpyanskij A. I., Dymkin A. M., Poltavets Yu. A., Rusin A. I., Krasnobaev A. A. Formation of the Earth's crust of the Urals. Moscow: Nauka, 1986, 248 pp. (in Russian)

Костюченко С. Л. Структура и тектоническая модель земной коры Тимано-Печорского бассейна по результатам комплексного геолого-геофизического изучения // Тектоника и магматизм Восточно-Европейской платформы. М.: КМК, 1994. С. 121—133.
Kostyuchenko S. L. Structure and tectonic model of the Earth's crust of the Timan-Pechora Basin based on the results of a comprehensive geological and geophysical study. Tectonics and magmatism of the East European platform. Moscow: KMK, 1994, pp. 121—133. (in Russian)

Кузнецов Н. Б., Соболева А. А., Удоратина О. В., Герцева М. В., Андреичев В. Л., Дорохов Н. С. Доуральская тектоническая эволюция северо-восточного и восточного обрамления Восточно-Европейской платформы. Ст. 1. Протоуралиды, Тиманиды и доордовикские гранитоидные вулкано-плутонические ассоциации севера Урала и Тимано-Печорского региона // Литосфера. 2006. № 4. С. 3—22.

Kuznetsov N. B., Soboleva A. A., Udoratina O. V., Gertseva M. V., Andreichev V. L., Dorokhov N. S. Pre-Uralian tectonic evolution of the North-East and East frame of the East European Craton. Part 1. Pre-Uralian tectonic evolution of the North-East and East frame of the East European Craton. Lithosphere, 2006, No. 4, pp. 3—22. (in Russian)

Кузнецов Н. Б., Соболева А. А., Удоратина О. В., Герцева М. В., Андреичев В. Л., Дорохов Н. С. Доуральская тектоническая эволюция северо-восточного и восточного обрамления Восточно-Европейской платформы. Ст. 2. Позднедокембрийско-кембрийская коллизия Балтики и Арктиды // Литосфера. 2007. № 1. С. 32—45.

Kuznetsov N. B., Soboleva A. A., Udoratina O. V., Gertseva M. V., Andreichev V. L., Dorokhov N. S. Pre-Uralian tectonic evolution of the North-East and East frame of the East European Craton. Part 2. Late Precambrian-Cambrian collision of Baltica and Arctida). Lithosphere, 2007, No. 1, pp. 32—45. (in Russian)

Кузнецов Н. Б., Натапов Л. М., Белоусова Е. А., Гриффин У. Л., О`Рейли С., Куликова К. В., Соболева А. А., Удоратина О. В. Первые результаты U/Pb-датирования и изотопно-геохимического изучения детритных цирконов из позднедокембрийских песчаников Южного Тимана (увал Джежим-Парма) // Докл. АН. 2010. Т. 435, № 6. С. 798—805.

Kuznetsov N. B., Natapov L. M., Belousova E. A., Griffin U. L., O'Relly S., Kulikova K. V., Soboleva A. A., Udoratina O. V. The first results of U/Pb dating and isotope geochemical studies of detrital zircons from the Neoproterozoic sandstones of the Southern Timan (Djejim-Parma Hill). Doklady Earth Sciences, 2010, V. 435, No. 2, pp. 1676—1683. DOI: 10.1134/S1028334X10120263

Оловянишников В. Г., Бушуев А. С., Дохсаньянц Э. П. Строение зоны сочленения Русской и Печорской плит по геолого-геофизическим данным // Докл. РАН. 1996. Т. 351. № 4. С. 209—231.

Olovyanishnikov V. G., Bushuev A. S., Dokhsanyants E. P. The structure of the conjugation zone of the Russian and Pechora plates from geological and geophysical data. Doklady Earth Sciences, 1996, V. 351, No. 8, pp. 1228—1232.

Петрография и петрология магматических, метаморфических и метасоматических горных пород / Ред. В. С. Попов, О. А. Богатиков. М.: Логос, 2001. 768 с.

Petrography and petrology of igneous, metamorphic and metasomatic rocks. Eds. V. S. Popov, O. A. Bogatikov, V. S. Popov, O. A. Bogatikov. Moscow: Logos, 2001, 768 p. (in Russian)

Пучков В. Н. Структурные связи Приполярного Урала и Русской платформы. Л.: Наука, 1975.

Puchkov V. N. Structural connections between the Cis-Polar Urals and adjacent part of the East-European Platform. Leningrad: Nauka, 1975, 208 pp.

Пучков В. Н. Эволюция литосферы: от Печорского океана к Тиманскому орогену, от Палеоуральского океана к Уральскому орогену // Проблемы тектоники Центральной Азии. М.: ГЕОС, 2005. С. 309—342.

Puchkov V. N. Evolution of the lithosphere: from the Pechora Ocean to the Timan Orogen, from the Paleoural Ocean to the Ural Orogen. Problems of Tectonics of Central Asia. Moscow: GEOS, 2005, pp. 309—342. (in Russian)

Рифей и венд Европейского Севера СССР / В. Г. Гецен, В. А. Дедеев, Г. Н. Акимова, В. Л. Андреичев и др. Сыктывкар, 1987. 124 с.

Riphean and Vendian of the European North of the USSR. V. G. Getsen, V. A. Dedeev, G. N. Akimova, V. L. Andreichev et al. Syktyvkar, 1987, 124 p. (in Russian)

Ронкин Ю. Л., Лепихина О. П., Голик С. В., Журавлев Д. З., Попова О. Ю. Мультиэлементный анализ геологических образцов кислотным разложением и окончанием на HR ICP-MS Element2 // Ежегодник-2004: Информ. сб. науч. тр. ИГГ УрО РАН. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2005. С. 423—433.

Ronkin Yu. L., Lepikhina O. P., Golik S. V., Zhuravlev D. Z., Popova O. Yu. Multi-element analysis of geological samples by acid digestion and termination on HR ICP-MS Element2: Yearbook-2004. Information collection of scientific papers of IGG UB RAS. Yekaterinburg: IGG UB RAS, 2005, pp. 423—433. (in Russian)

Соболева А. А., Андреичев В. Л., Бурцев И. Н., Никулова Н. Ю., Хубанов В. Б., Соболев И. Д. Детритовые цирконы из верхнедокембрийских пород вымской серии Среднего Тимана (U-Pb-возраст и источники сноса) // Бюлл. МОИП. 2019. Т.94. Вып. 1. С. 3—16.

Soboleva A. A., Andreichev V. L., Burtsev I. N., Nikulova N. Y., Khubanov V. B., Sobolev I. D. Detrital zircons from Upper Precambrian rocks of the Vym series of the Middle Timan (U-Pb age and sources of drift). Bulletin of Moscow Society of Naturalists, Geological Section, 2019, V. 94, No. 1, pp. 3—16. (in Russian)

Соболева А. А., Андреичев В. Л., Удоратина О. В. Неопротерозойский плюмовый магматизм Северного Тимана // Петрология и геодинамика геологических процессов: Материалы XIII Всеросс. петрограф. совещ. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2021. Т. 3. С. 92—94.

Soboleva A. A., Andreichev V. L., Udoratina O. V. Neoproterozoic plume magmatism of the Northern Timan. Petrology and Geodynamics of Geological Processes: Proceedings of the XIII All-Russian Petrographic Meeting. Irkutsk: Publishing house of the V.B. Sochava Institute of Geography of the Siberian Branch RAS, 2021, V. 3, pp. 92—94. (in Russian)

Соболева А. А., Хашимова Ю. В., Андреичев В. Л., Довжикова Е. Г., Адамская Е. В., Львов П. А. Эдиакарский вулканизм Большеземельской зоны фундамента Тимано-Печорской плиты // Геодинамика и минерагения Северной Евразии: Материалы VI Междунар. науч. конф., посвящ. 50-летию Геологического института им. Н. Л. Добрецова СО РАН. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2023. С. 491—493.

Soboleva A. A., Khashimova Yu. V., Andreichev V. L., Dovzhikova E. G., Adamskaya Ye. V., Lvov P. A. Ediacaran volcanism of the Bolshezemelskaya Zone of the basement of the Timan-Pechora plate. Geodynamics and Minerageny of Northern Eurasia. Proceedings of the 6th International Scientific Conference Dedicated to the 50th Anniversary of the Dobretsov Geological Institute SB RAS. Buryat State University Publishing Department, Ulan-Ude, 2023, p. 491—493. (in Russian)

Соболева А. А., Андреичев В. Л., Хубанов В. Б., Цыбульская А. Е., Кремер И. О. Результаты U-Pb (LA-ICP-MS)-датирования детритового циркона из верхнедокембрийских отложений южной части Тимана // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XVIII Геологического съезда Республики Коми. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2024. Т. II. С. 97—100.

Soboleva A. A., Andreichev V. L., Khubanov V. B., Tsybulskaya A. E., Kremer I. O. Results of U-Pb (LA-ICP-MS) dating of detrital zircon from Upper Precambrian sediments of the southern part of Timan. Geology and Mineral Resources of the European North-East of Russia: Proceedings of the 18th Geological Congress of the Komi Republic. Syktyvkar: IG Komi SC UB RAS, 2024, V. 2, pp. 97—100. (in Russian)

Степаненко В. И. Позднепротерозойский магматизм северо-восточной окраины Восточно-Европейской платформы как плюм-события // Тектоника и геодинамика континентальной и океанической литосферы: общие и региональные аспекты: Материалы XLVII Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2015. Т. 2. С. 188—191.

Stepanenko V. I. Late Proterozoic magmatism of the northeastern margin of the East European Platform as a plume event. Tectonics and geodynamics of continental and oceanic lithosphere: general and regional aspects. Proceedings of the XLVII Tectonic Meeting. Moscow: GEOS, 2015, V. 2, pp. 188—191. (in Russian)

Тимано-Печорский седиментационный бассейн. Атлас геологических карт (литолого-фациальных, структурных и палеогеологических) / Под ред. В. И. Богацкого, З. В. Ларионовой. Ухта: Изд-во ТП НИЦ, 2000.

Timan-Pechora sedimentary basin. Atlas of geological maps (lithological-facial, structural and paleogeological). Eds. V. I. Bogatsky, Z. V. Larionova. Ukhta: TP SRC, 2000. (in Russian)

Удоратина О. В., Бурцев И. Н., Никулова Н. Ю., Хубанов В. Б. Возраст метапесчаников верхнедокембрийской четласской серии Среднего Тимана на основании U-Pb-датирования детритных цирконов // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2017. Т. 92, вып 5. С. 15—32.

Udoratina O. V., Burtsev I. N., Nikulova N. Yu., Khubanov V. B. Age of metasediments of the Upper Precambrian Chetlas Series of the Middle Timan on the basis of U-Pb-dating of detrital zircons. Bulletin of Moscow Society of Naturalists, Geological Section, 2017, V. 92, No. 5, pp. 15—32. (in Russian)

Фишман М. В., Андреичев В. Л., Естафьева А. Д. Каталог определений возраста горных пород СССР радиологическими методами (северо-восток европейской части СССР, север Урала, Пай-Хой, Новая Земля). Сыктывкар: Ин-т геологии Коми фил. АН СССР, 1981. 181 с. Деп. в ВИНИТИ. № 531—82.

Fishman M. V., Andreychev V. L., Estafieva A. D. Catalogue of age determinations of rocks of the USSR by radiological methods (North-East of the European part of the USSR, North of the Urals, Pai-Khoi, Novaya Zemlya). Syktyvkar: Institute of Geology, Komi Branch of the Academy of Sciences of the USSR, 1981, 181 p. Dep. in VINITI. No. 531-82. (in Russian)

Andreichev V. L., Soboleva A. A., Udoratina O. V., Ronkin Yu. L., Coble M. A., Miller E. L. Granites of Northern Timan — probable indicators of Neoproterozoic stages of Rodinia breakup // Geodynamics & tectonophysics, 2020, V. 11, No. 2, pp. 201—218. DOI: 10.5800/GT-2020-11-2-0470.

Black L. P., Kamo S. L., Allen C. M., Aleinikoff J. N., Davis D. W., Korsch R. J., Foudoulis C. TEMORA 1: A new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology // Chem. Geol., 2003, V. 200, pp. 155—170. DOI: 10.1016/S0009-2541(03)00165-7

Brustnitsyna E., Ershova V., Khudoley A. Maslov A., Andersen T., Stockli D., Kristoffersen M. Age and provenance of the Precambrian Middle Timan clastic succession: Constraints from detrital zircon and rutile studies // Precambrian Research, 2022, V. 371, Article 106580.

Coble M. A., Vazquez J., Barth A.P., Wooden J., Burns D., Kylander-Clark A., Jackson S., Vennari C. E. Trace element characterization of MAD-559 zircon reference Material for ion microprobe analysis. Geostandards and Geoanalytical Research. 2018, V. 42, pp. 481—497. DOI: 10.1111/ggr. 12238

Gee D. G., Beliakova L., Pease V., Larionov A., Dovshikova E. New, Single Zircon (Pb-Evaporation) Ages from Vendian Intrusions in the Basement beneath the Pechora Basin, Northeastern Baltica // Polarforschung, 2000, V. 68, pp. 161—170. DOI: 10.2312/ polarforschung.68.16

Ireland T. R., Gibson G. M. SHRIMP monazite and zircon geochronology of high-grade metamorphism in New Zealand // J. Metamorphic Geol, 1998, V. 16, pp. 149—167.

Larionov A. N., Andreichev V. L. & Gee D. G. The Vendian alkaline igneous suite of northern Timan: ion microprobe U-Pb zircon ages of gabbros and syenite // The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Eds. Gee D.G., Pease V. Geol. Soc. London. Mem., 2004, No. 30, pp. 69—74.

Ludwig K. R. SQUID 2 — A User's Manual, rev. 12 Apr, 2009 // Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2009, No. 5, 110 p.

Ludwig K. R. Isoplot 3.75, a geochronological toolkit for Excel // Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2012, No. 5, 75 p.

Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindle A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology, 1984, V. 25, pp. 956—983. DOI: 10.1093/petrology/25.4.956

Pease V., Dovzhikova E., Beliakova L. & Gee D. G. Late Neoproterozoic granitoid magmatism in the basement to the Pechora Basin, NW Russia: geochemical constraints indicate westward subduction beneath NE Baltica // The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica / D. G. Gee & V. Pease (eds). Geol. Soc., London, Mem., 2004, V. 30, pp. 75—85. DOI: 10.1144/GSL.MEM.2004.030.01.08

Sun S. S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Magmatism in ocean basins / Eds. A. D. Saunders, M. J. Norry. Geological Society of London, Special Publication, 1989, V. 42, pp. 313—345. doi: 10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19

Vermeesch P. IsoplotR: A Free and Open Toolbox for Geochronology. Geoscience Frontiers, 2018, V. 9 (5), pp. 1479—1493. DOI: 10.1016/j.gsf.2018.04.001

Поступила в редакцию / Received 17.10.2024