



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 550.93:552.32 (470.1)

DOI:10.19110/geov.2023.10.2

Два эпизода надсубдукционного интрузивного магматизма в пределах Печорской зоны фундамента Печорской синеклизы

В. Л. Андреичев¹, А. А. Соболева¹, Е. Г. Довжикова², Ю. Л. Ронкин³

¹ Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
andreichev@geo.komisc.ru; aa_soboleva@mail.ru

² Ухтинский государственный технический университет, Ухта

³ Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург

U-Pb (SIMS, SHRIMP-RG)-возрасты циркона из интрузивных пород Печорской зоны Большеземельского мегаблока фундамента Печорской синеклизы, вскрытых двумя скважинами на глубинах ~ 4.5 км, свидетельствуют о двух эпизодах островодужного магматизма. Первый имел место в конце рифея, а второй приурочен к границе раннего и позднего венда. Возраст габбродиоритов из скв. 1-Северный Савинобор, интерпретируемых как производные начальной стадии развития островной дуги, составляет 673 ± 7 млн лет. Позднеостроводужные плагиограниты скв. 1-Новая имеют возраст 564 ± 5 млн лет и предшествуют орогенным гранитоидам Припечорской разломной зоны с U-Pb-возрастами 555–544 млн лет.

Ключевые слова: Печорская синеклиза, Печорская зона, неопротерозой, фундамент, габбродиориты, плагиограниты, циркон, U-Pb-возраст.

Two episodes of subduction-related intrusive magmatism within the Pechora zone of the Pechora Basin basement

V. L. Andreichev¹, A. A. Soboleva¹, E. G. Dovzhikova², Yu. L. Ronkin³

¹ Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

² Ukhta State Technical University, Ukhta

³ Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, Yekaterinburg

The Pechora Basin is the largest tectonic structure of the Pechora Plate. It is located between the Timan and the Cis-Ural Foredeep. The Upper Precambrian sedimentary-metamorphic and igneous rocks of the basement are completely overlain by a sedimentary cover, therefore, the geological structure of the basement is known only on the basis of geophysical data and core samples from boreholes up to 5 km deep. The basement has a heterogeneous structure. It includes complexes of the Late Precambrian passive margin of the East European continent, which compose the Timan megablock (Izhma zone with Timan adjoining from the southwest) and formations formed in an active margin geodynamic setting combined into the Bolshezemel megablock (Pechora and Bolshezemel zones). The boundary between megablocks is the Pripechora fault (suture) zone. The age of igneous rocks of the basement is debatable; therefore, U-Pb (SIMS) studies of single zircon grains are undertaken to specify it. The article presents petrogeochemical data and U-Pb (SIMS, SHRIMP-RG) ages of zircon grains from plutonic rocks of the Pechora zone belonging to the Bolshezemel megablock drilled by two boreholes at depths of ~ 4.5 km. The obtained results indicated two episodes of island-arc magmatism. The first took place at the end of the Riphean, and the second was confined to the Early–Late Vendian boundary. The age of gabbrodiorites from the 1-Severny Savinobor borehole, interpreted as early island-arc rocks, is 673 ± 7 Ma. Late island-arc plagiogranites from the 1-Novaya borehole yield the age of 564 ± 5 Ma and precede the orogenic granitoids of the Pripechora fault zone which are dated (U-Pb) to 555–544 Ma.

Keywords: Pechora Basin, Pechora zone, Neoproterozoic, basement, gabbrodiorites, plagiogranites, zircon, U-Pb age.

Введение

Возраст осадочно-метаморфических и магматических комплексов, слагающих верхнедокембрийский фундамент Тимано-Печорского сегмента литосферы, отождествляемого с Печорской (Тимано-Печорской) плитой, длительное время остается предметом дискуссий. Его актуальность обусловлена наблюдаемым в на-

учной литературе последних лет повышенным интересом к реконструкции докембрийского этапа развития Арктического сектора Земли, а корректное решение в немалой степени зависит от обоснования возраста структурно-вещественных комплексов современными прецизионными методами изотопной геохронологии.

В настоящее время при изотопном датировании магматических, метаморфических и осадочных пород

Для цитирования: 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. 2023. 10 (346). С. 15–25. DOI: 10.19110/geov.2023.10.2

For citation: 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, 10 (346), pp. 15–25, doi: 10.19110/geov.2023.10.2

наиболее востребованным изотопным минералом-хронометром является циркон. Современная масс-спектрометрическая аппаратура позволяет проводить локальный изотопный анализ Pb нанограммовых и меньших содержаний в пределах индивидуального зерна посредством масс-спектрометрии вторичных ионов (SIMS) на ионных микрозондах. Именно такие исследования предпринимаются нами для выяснения времени проявления интрузивного магматизма в докембрийской эволюции Печорской синеклизы.

Общие сведения по геологии Печорской синеклизы

Печорская синеклиза представляет собой крупную региональную тектоническую структуру в составе Печорской плиты, занимая пространство между Тиманом и Предуральским краевым прогибом, а Тиман является юго-западным ограничением плиты и включается в ее состав (рис. 1). Гетерогенный фундамент Печорской синеклизы слагают верхнедокембрийские осадочно-метаморфические и прорывающие их позднедокембрийские магматические образования, повсеместно погребенные под ордовикско-кайнозойским платформенным чехлом. На основании геофизических данных и результатов бурения в составе фундамента Печорской плиты по вещественному составу и характеру магматизма выделяются Большеземельская, Печорская, Ижемская и Тиманская зоны. Две первые зоны объединяются в Большеземельский мегаблок, а две вторые — в Тиманский мегаблок (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). Её продолжением в приуральской части плиты является Денисовская магнитная аномалия, создаваемая телами пород базитового и ультрабазитового состава, слагающими позднедокембрийские комплексы этой части региона (Иванов и др., 1986). Связь Припечорской аномалии с изверженными породами подтверждается результатами глубокого бурения.

Мощность платформенного чехла изменяется от 4–7 км в центральных частях впадин Печорской синеклизы до 1–4 км на сводах и поднятиях, поэтому выяснение строения и геодинамического развития фундамента синеклизы затруднено по причине ограниченности геологической информации, получаемой исключительно по керну более чем 200 скважин разных категорий глубиной до 5 км (Белякова и др., 2008).

Тиманский мегаблок формируют среднерифейские(?) — верхнерифейские терригенные и в меньшей степени карбонатные породы, выходящие на поверхность в пределах Тимана. В Ижемской зоне вскрытые скважинами сланцы того же возраста, с резким несогласием перекрываемые палеозойским осадочным чехлом, вполне сопоставляются по составу протолита со сланцами Тимана. Среди интрузивных образований

преобладают гранитоиды, отдельными скважинами вскрыты монзониты, сиениты и диориты.

В Печорской зоне, включающей Припечорскую зону разломов, фундамент сложен дислоцированными верхнерифейско-вендскими (?) вулканогенными породами базальт-андезит-дацит-риолитовой известково-щелочной серии и их туфами с прослоями филлитовидных сланцев. Интрузивные образования кислого, среднего, основного и ультраосновного состава устанавливаются по геофизическим данным и по результатам бурения.

В Большеземельской зоне бурением вскрыта верхняя часть разреза фундамента, представленная верхнерифейско-вендскими (?) красноцветными и сероцветными ритмично-слоистыми терригенными и туфо-терригенными отложениями, среди которых существенна роль туффитов и кислых вулканитов. На более низких стратиграфических уровнях предполагается значительное развитие основных и ультраосновных пород. Скважинами вскрыты граниты и габбро.

Общее строение фундамента Печорской синеклизы и наблюдаемый спектр магматических пород послужили основанием 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).

До конца прошлого столетия суждения о возрасте магматических пород фундамента Печорской синеклизы, преимущественно гранитоидов, основывались на незначительном количестве K-Ar-возрастных определений (Акимова, 1980; Андреичев, Литвиненко, 2007; Gee et al., 2000), полученных в 70-е годы. Основная часть датировок приходилась на интервал 600–500 млн лет, что и давало основание считать породы венд-кембрийскими. Дальнейшие геохронологические исследования гранитов, а также диоритов были связаны с $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -датированием единичных зерен циркона методом ступенчатого испарения свинца (Kober, 1986, 1987) из пород Ижемской, Печорской и Большеземельской зон (Gee et al., 2000). Полученные значения возраста образуют узкий диапазон 567–551 млн лет, отвечающий границе раннего-позднего венда, которой в отечественной шкале геологического времени отводится интервал 570–555 млн лет (Стратиграфический кодекс..., 2006). При датировании индивидуальных зерен циркона по отношению радиогенных изотопов свинца отсутствует контроль конкордантности, поэтому соответствие измеренного $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -отношения (возраста) времени образования циркона и, соответственно, вмещающей его породы, остается в области предположений.

Таким образом, неопределенность возраста интрузивного магматизма фундамента Печорской

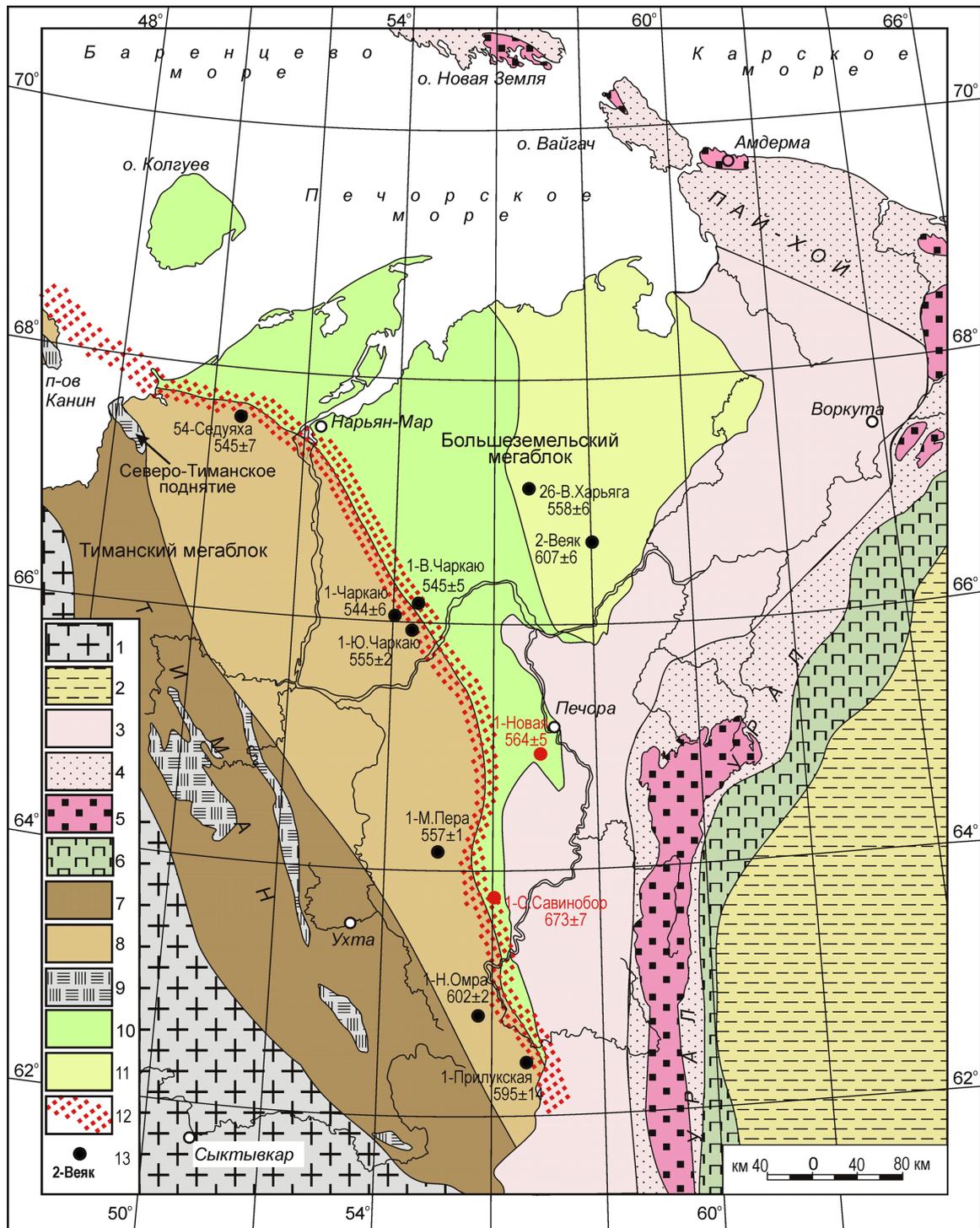


Рис. 1. Тектоническое строение фундамента Печорской синеклизы и ее обрамления (по Тимано-Печорский..., 2000; Белякова и др., 2008):

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; 7–12 – фундамент Печорской плиты: 7 – Тиман, 8 – Ижемская зона, 9 – выходы на поверхность комплексов фундамента, 10 – Печорская зона, 11 – Bolshezemel'skaya зона, 12 – Припечорская зона разломов (северо-западная часть – Чаркаю-Пыльеметский разлом, юго-восточная часть – Илыч-Чикшинский разлом); 13 – скважины, вскрывшие интрузивные породы

Fig. 1. 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; 7–12 – basement of the Pechora plate: 7 – Timan, 8 – Izhma zone, 9 – exposures of the basement, 10 – Pechora zone, 11 – Bolshezemel zone, 12 – Pripechora fault zone (northwestern part – Charkayu-Pylemets fault, southeastern part – Ilych-Chikshino fault); 13 – boreholes that reached intrusive rocks

синеклизы сохраняется, и для ее разрешения необходимы дополнительные аргументы. С этой целью нами были предприняты U-Pb (SIMS)-исследования циркона и получены современные возрастные данные по гранитоидам из разных зон.

В Ижемской зоне возраст цирконов из гранитов в скв. 1-Нижняя Омра составил 602 ± 2 млн лет, в скв. 1-Прилуцкая — 595 ± 14 млн лет, а в скв. 11-Малая Пера — 557 ± 1 млн лет (Андреичев и др., 2014б). Гранитоиды Припечорской разломной зоны, вскрытые скважинами 1-Чаркаю, 1-Южная Чаркаю, 1-Восточная Чаркаю и 54-Седуха, объединяются в чаркаюский комплекс гранодиоритов и амфибол-биотитовых гранитов. По цирконам из всех скважин получены близкие значения возраста в интервале 555–544 млн лет (Андреичев и др., 2014а; Андреичев и др., 2017), свидетельствующие об их формировании при завершении тиманского тектогенеза в позднем венде. Сопоставимые результаты были получены по цирконам из гранитоидов Большеземельской зоны. Возраст цирконов из гранодиоритов в скв. 2-Веяк составил 607 ± 6 млн лет, а в гранитах из скв. 26-Восточная Харьяга — 558 ± 6 млн лет (Андреичев и др., 2023).

В настоящем сообщении мы приводим первые геохимические и U-Pb-данные по интрузивным породам из скважин 1-Северный Савинобор и 1-Новая, пробуренных в Печорской зоне (рис. 1).

Методы исследования

Концентрации петрогенных элементов, представленных в виде оксидов, определены методом традиционного химического анализа («мокрой химии») в ТП НИЦ (Ухта). 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 индивидуальных зерен циркона было выполнено на вторично-ионном микрозонде обратной геометрии SHRIMP-RG, принадлежащем Стэнфордскому университету и Геологической службе США, согласно стандартным процедурам (Ireland, Gibson, 1998; Coble et al., 2018). Катодолюминесцентные изображения цирконов были получены в той же лаборатории на сканирующем электронном микроскопе JEOL LV 5600, оснащенный катодолюминесцентным детектором. Обработка полученных аналитических данных проведена с использованием программы SQUID-2 (Ludwig, 2009). При построении диаграмм с конкордией в координатах $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ — $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ использовалась программа ISOPLOT/Ex (Ludwig, 2012). Отношения Pb/U нормированы на значение $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} = 0.0668$ в стандартном цирконе TEMORA, что соответствует возрасту 416.75 млн лет (Black et al., 2003).

Петрогеохимическая характеристика пород

В скв. 1-Северный Савинобор в интервале 4123–4744 м (забой) вскрыты диориты, на отдельных участках переходящие в габбродиориты и амфиболовые габбро, которые секутся телами микродиоритов и плагиогранитов с видимой мощностью от первых дециметров до 1–2 м. Диориты (рис. 2, а) — средне- и мелкозернистые массивные породы, сложенные зональным плагиоклазом состава An_{45-55} в центральных частях зерен и An_{45-30} по краям (40–60 об. %), зеленой роговой обманкой (20–35 об. %), кварцем (5–10 об. %), биотитом (0–10 об. %). Структура породы гипидиоморфнозернистая. Из вторичных минералов развиты хлорит, эпидот, клиноцоизит, карбонат, лейкоксен; из аксессуарных — апатит, магнетит, гранат, циркон, титанит. Габбродиориты и амфиболовые габбро отличаются более высокими содержаниями темноцветных минералов. Химический состав пород представлен в табл. 1. Согласно петрохимической классификации породы относятся к семействам

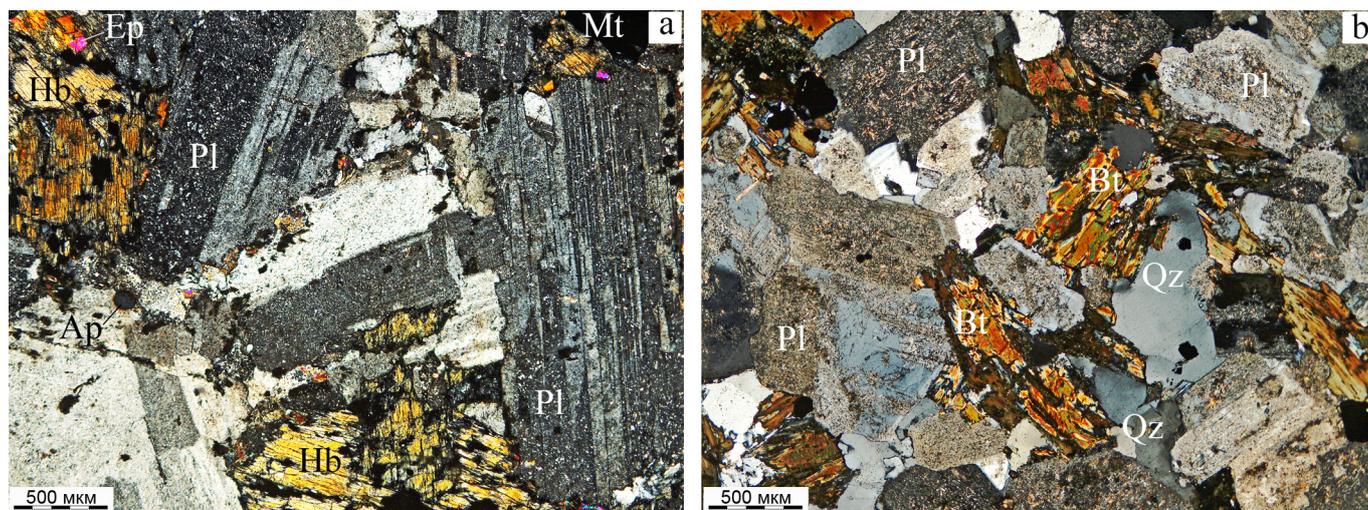


Рис. 2. Микрофотографии шлифов габбродиорита из скв. 1-Северный Савинобор, обр. 37 (а) и плагиогранита из скв. 1-Новая, обр. 67 (б), с анализатором. Pl — плагиоклаз, Qz — кварц, Hb — роговая обманка, Bt — биотит, Ap — апатит, Mt — магнетит, Ep — эпидот

Fig. 2. Cross-polarized thin-section photomicrographs of gabbrodiorite from 1-Severny Savinobor borehole, sample 37 (a) and plagiogranite from 1-Novaya borehole, sample 67 (b). Pl — plagioclase, Qz — quartz, Hb — hornblende, Bt — biotite, Ap — apatite, Mt — magnetite, Ep — epidote

**Таблица 1.** Содержания петрогенных оксидов в интрузивных породах Печорской зоны, мас. %**Table 1.** Main oxide contents in plutonic rocks of Pechora zone, wt. %

Скважина / Borehole	1-Северный Савинобор / 1-Severny Savinobor						1-Новая 1-Novaya
	4247—4250	4283—4289	4474—4486	4533—4546	4579—4586	4638—4644	4500—4501
Глубина, м / Depth, m							
№ обр. / Sample No.	33	34	37	38	39	40	67
SiO ₂	52.62	52.54	53.12	53.58	52.50	52.69	70.72
TiO ₂	0.50	0.60	0.60	0.50	0.70	0.65	0.52
Al ₂ O ₃	19.43	19.10	18.84	18.82	19.00	19.07	13.16
Fe ₂ O ₃	5.56	5.18	5.08	2.05	4.07	3.89	1.67
FeO	2.74	3.45	3.17	5.18	4.78	4.37	1.43
MnO	0.17	0.18	0.17	0.10	0.18	0.17	0.04
MgO	5.00	5.90	5.00	5.34	4.94	4.54	1.57
CaO	8.12	5.88	7.42	5.04	6.79	7.50	2.24
Na ₂ O	3.24	3.40	3.24	3.62	3.37	3.67	5.18
K ₂ O	0.60	0.62	0.72	0.55	0.68	0.70	1.16
P ₂ O ₅	0.10	0.20	0.20	0.15	0.18	0.16	0.18
П.п.п. / LOI	1.51	2.87	2.03	4.62	3.18	2.22	1.60
Сумма / Sum	99.59	99.92	99.59	99.55	100.37	99.63	99.47

Таблица 2. Содержания элементов-примесей в интрузивных породах Печорской зоны, г/т**Table 2.** Trace element contents in plutonic rocks of Pechora zone, ppm

Компонент Component	1-С. Савинобор 1-S. Savinobor	1-Новая 1-Novaya	Компонент Component	1-С. Савинобор 1-S. Savinobor	1-Новая 1-Novaya
	37	67		37	67
Li	12.20	6.29	Ce	19.99	78.72
Be	0.66	1.39	Pr	2.57	8.14
Sc	16.85	5.59	Nd	11.28	28.18
V	132.61	38.28	Sm	2.71	4.71
Cr	14.35	171.11	Eu	0.97	1.16
Co	18.88	10.70	Gd	2.66	3.42
Ni	11.81	101.35	Tb	0.41	0.46
Cu	34.78	39.31	Dy	2.58	2.53
Zn	66.05	34.73	Ho	0.53	0.47
Ga	16.14	13.08	Er	1.58	1.31
Ge	1.00	0.71	Tm	0.23	0.18
Rb	10.36	22.74	Yb	1.55	1.16
Sr	311.38	359.80	Lu	0.24	0.17
Y	9.32	8.59	Hf	0.77	1.83
Zr	11.88	42.26	Ta	0.14	1.40
Nb	1.88	12.23	W	0.19	1.54
Mo	0.38	1.54	Tl	0.07	0.11
Ag	0.32	1.15	Pb	4.03	5.98
Cd	0.04	0.04	Bi	0.02	0.39
Sn	0.64	0.58	Th	1.01	15.81
Sb	0.17	0.47	U	0.25	4.45
Te	0.004	0.18	K/Rb	579	423
Cs	1.87	0.44	Rb/Sr	0.03	0.06
Ba	223.15	294.25	Rb/Ba	0.05	0.08
La	8.64	45.70	Ga/Al	1.58	1.88

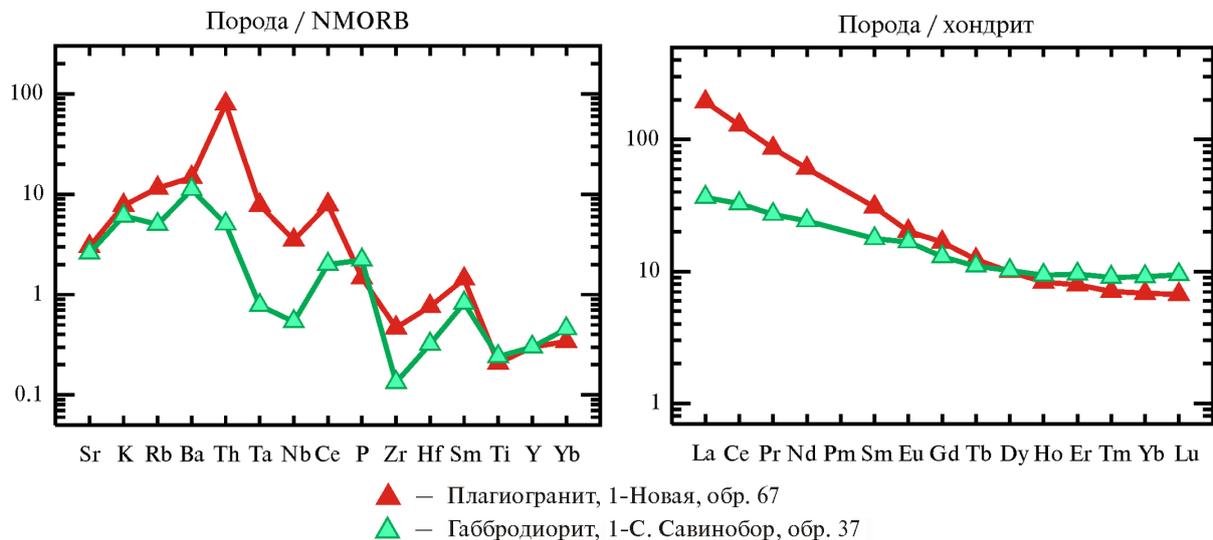


Рис. 3. Мультиэлементная диаграмма (Pearce, 1982) и графики хондрит-нормированного (Sun, McDonough, 1989) распределения редкоземельных элементов для габбродиоритов скв. 1-Северный Савинобор (обр. 37) и плагиигранитов скв. 1-Новая (обр. 67)

Fig. 3. Trace element spider diagrams (Pearce, 1982) and chondrite-normalized rare earth element patterns (Sun, McDonough, 1989) for gabbrodiorite from the 1-Severnyy Savinobor borehole (sample 37) and plagiogranite from the 1-Novaya borehole (sample 67)

габброидов (габбро) и диоритов (габбродиориты и диориты).

Содержания и характер распределения элементов-примесей (табл. 2, рис. 3) в исследованных габбродиоритах (обр. 37, инт. 4474–4480 м) типичны для пород, образовавшихся в геодинамической обстановке незрелой островной дуги (Белякова и др., 2008). Для габбродиоритов характерны несколько повышенные по сравнению со средним составом нормальных толеитовых базальтов срединно-океанических хребтов (NMORB) (Pearce, 1982) содержания крупноионных литофильных элементов — K (0.6 %), Rb (10 г/т), Ba (223 г/т), Sr (311 г/т), а также Th (1.01 г/т) при заметном обеднении высокозарядными литофильными элементами — Ce (19.99 г/т), Sm (2.71 г/т), Yb (1,55 г/т), Y (9 г/т), Ta (0.14 г/т), Nb (1.88 г/т), Ti (0.33 %), Zr (12 г/т), Hf (0.77 г/т) и низких концентрациях Ni (12 г/т) и Cr (14 г/т). Также типично невысокое суммарное содержание редких земель (56 г/т), небольшое обогащение легкими редкими землями относительно тяжелых ($La_N/Yb_N = 4.0$) и отсутствие дефицита европия.

В скв. 1-Новая в интервале 4230–4501 м (забой) вскрыты амфиболовые габбро, прорванные гранодиоритами и плагиигранитами. Плагииграниты (рис. 2, б), из которых исследовались зерна циркона (обр. 67, инт. 4500–4501 м), имеют среднезернистую гипидиоморфнозернистую структуру и массивную текстуру. Они состоят из ксеноморфных зерен кварца и субидиоморфных табличек плагииоклаза (в примерно равных соотношениях), листочков биотита (10–15 об. %) и хлорита. Зерна плагииоклаза имеют зональное строение: более кальциевые ядра сильно сосюритизированы, в неизмененных внешних зонах (An_{30-35}) отмечаются полисинтетические двойники. Биотит образует листочки размером 0.5–1.5 мм, плеохроирующие от красно-коричневого (Ng) до светло-желтовато-коричневого (Np). Его индивидуиды в разной степени хлоритизированы с выделением мелких зерен титанита и магнетита; по периферии некоторых чешуек развит сери-

цит. Встречается парагенезис «хлорит + эпидот» (по биотиту), это позволяет предположить, что внутри выделений биотита до замещения могли сохраняться реликты амфибола. Акцессории представлены апатитом, титанитом и цирконом. По петрохимической классификации породы отвечают плагиигранитам.

Содержания и характер распределения элементов-примесей (табл. 2, рис. 3) типичны для гранитов, образовавшихся в глубинных частях зрелой островной дуги (Белякова и др., 2008). Характерно обогащение породы по сравнению с составом NMORB крупноионными литофильными элементами (K, Rb, Ba, Th) при невысоких концентрациях высокозарядных элементов (тяжелых REE, Ta, Nb, Ti, Y, Zr, Hf). При достаточно высоком суммарном содержании редких земель (176 г/т) характерно их дифференцированное распределение с заметным обогащением легкими редкими землями относительно тяжелых ($La_N/Yb_N = 28.3$). Отсутствие дефицита европия свидетельствует о том, что в очаге на этапе образования плагиигранитной магмы не происходило фракционирование плагииоклаза. Низкие содержания Ba (294 г/т), Rb (23 г/т), высокие концентрация Sr (360 г/т) и величина отношения K/Rb (423) при низких Rb/Sr (0.06) Rb/Ba (0.08) типичны для гранитов М-типа (по Whalen et al., 1987). По содержаниям Nb (13 г/т), Th (16 г/т) и U (4 г/т) рассматриваемые плагииграниты близки к гранитам I-типа.

U-Pb-возраст циркона

Скв. 1-Северный Савинобор. Исследовались цирконы из габбродиоритов (обр. 37, гл. 4474–4480 м). Кристаллы светло-розовые, прозрачные, с гладкими блестящими гранями длиной 0.1–0.2 мм при коэффициенте удлинения (K_y) 1–3 (преобладают зерна с K_y 1.5–2). Зёрна гиацинтового габитуса, в некоторых зёрнах со слабо и нормально развитой призмой, кроме пирамиды {111}, хорошо развиты дополнительные грани более вытянутых пирамид {221} или {331}.



Отмечаются черные и красно-коричневые включения. Католюминесцентные изображения (рис. 4) демонстрируют наличие в большинстве зерен хорошо проявленной секториальной и пятнистой зональности. В зерне 7 наблюдается четкая эвгдральная осциллирующая зональность.

Результаты аналитических измерений 11 зерен приведены в табл. 3 и на рис. 5. Во всех зернах по отношению $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ получены однородные значения возраста в интервале 660–710 млн лет, образующие

кластер с конкордантным возрастом 673 ± 7 млн лет.

Скв. 1-Новая. Анализировались зерна циркона из плагиогранитов (обр. 67, гл. 4500–4501 м). Кристаллы светло-розовые, прозрачные, с гладкими блестящими гранями. Размер 0.1–0.3 мм, в среднем 0.15–0.2 мм, $K_y = 1.5–5$, обычно 2–3. Зерна гиацитного габитуса, одно с острой пирамидой {331} — обломок (около 0.3 мм) головки крупного кристалла. Содержат мелкие красно-коричневые включения. На католюминесцентных изображениях (рис. 6) в большинстве

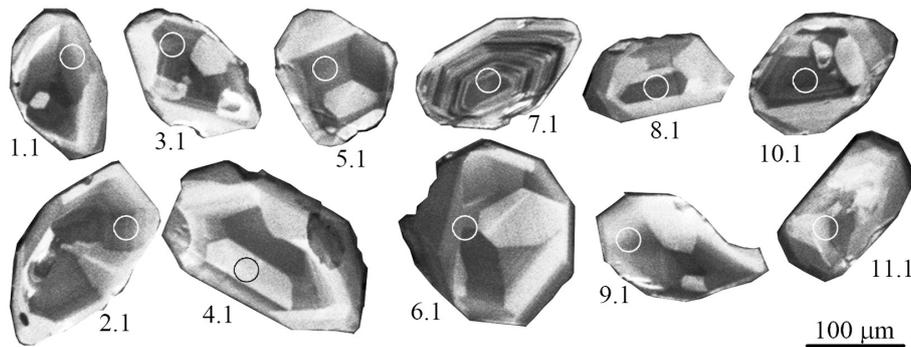


Рис. 4. Католюминесцентные изображения кристаллов циркона с номерами датированных зерен и аналитических кратеров из габбродиоритов скв. 1-Северный Савинобор

Fig. 4. Cathodoluminescence images of zircons with numbers of dated grains and analytical craters from gabbrodiorite, borehole 1-Severny Savinobor

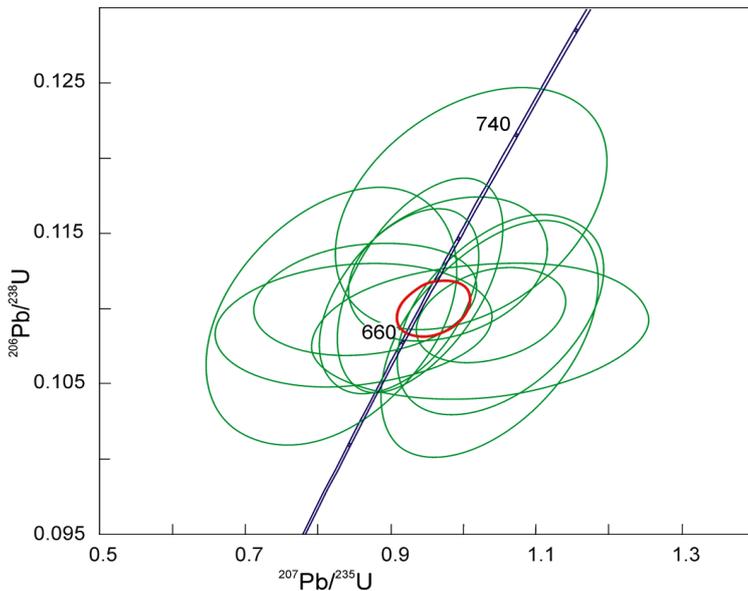


Рис. 5. Диаграмма с конкордией для циркона из габбродиоритов скв. 1-Северный Савинобор. Возраст — 673 ± 7 млн лет (2σ , $n = 11$, СКВО = 1.3)

Fig. 5. Concordia diagram for zircons from gabbrodiorite, the 1-Severny Savinobor borehole. Age is 673 ± 7 Ma (2σ , $n = 11$, MSWD = 1.3)

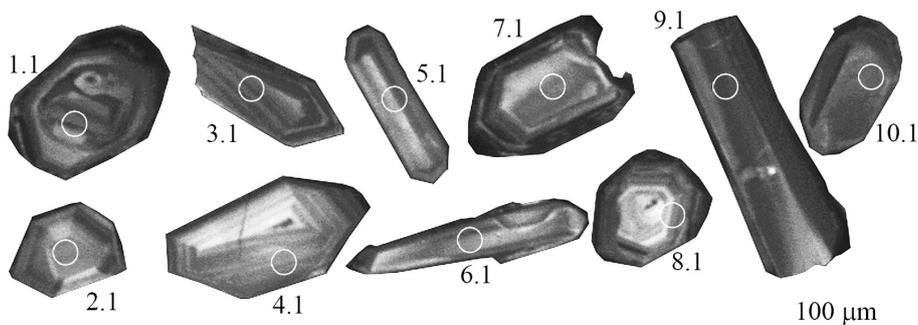


Рис. 6. Католюминесцентные изображения кристаллов циркона с номерами датированных зерен и аналитических кратеров из плагиогранитов скв. 1-Новая

Fig. 6. Cathodoluminescence images of zircons with numbers of dated grains and analytical craters from plagiogranite, the 1-Novaya borehole

Таблица 3. Результаты U-Pb-изотопных исследований цирконовых зерен из интрузивных пород Печорской зоны
Table 3. Results of U-Pb dating of zircon grains from plutonic rocks of Pechora zone

Зерно, кратер Grain, spot	$^{206}\text{Pb}_c$, %	Содержания, мкг/г Content, ppm		^{232}Th / ^{238}U	Изотопные отношения \pm % (1σ) Isotope ratios \pm % (1σ)			Rho	Возраст \pm 1σ , млн лет Age \pm 1σ , Ma		D, %		
		$^{206}\text{Pb}^*$	U		Th	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
скв. 1-Северный Савинобор (габбродиорит, обр. 37, инт. 4474–4480 м) / 1-Severny Savinobor (gabbrodiortite, sample 37, 4474–4480 m)													
11.1	н.п.о.	4.3	47	36	0.78	0.1078 \pm 3.0	1.020 \pm 5.0	0.0686 \pm 4.0	0.6	660 \pm 19	714 \pm 25	887 \pm 82	8
3.1	0.52	3.0	32	17	0.53	0.1082 \pm 1.6	0.996 \pm 6.2	0.0667 \pm 6.0	0.3	663 \pm 10	702 \pm 31	829 \pm 125	6
6.1	0.96	3.8	41	15	0.38	0.1087 \pm 1.5	0.825 \pm 8.5	0.0550 \pm 8.4	0.2	665 \pm 10	611 \pm 38	413 \pm 187	-8
7.1	0.56	4.8	51	28	0.56	0.1093 \pm 3.2	0.801 \pm 7.1	0.0531 \pm 6.3	0.4	669 \pm 20	597 \pm 32	334 \pm 144	-11
1.1	н.п.о.	6.7	71	48	0.69	0.1094 \pm 2.5	1.037 \pm 4.5	0.0687 \pm 3.7	0.6	669 \pm 16	722 \pm 23	889 \pm 77	8
2.1	н.п.о.	9.1	96	55	0.59	0.1094 \pm 1.1	1.025 \pm 2.9	0.0679 \pm 2.7	0.4	669 \pm 7	716 \pm 16	866 \pm 56	7
10.1	0.31	7.7	81	40	0.51	0.1104 \pm 2.3	0.902 \pm 4.3	0.0593 \pm 3.6	0.5	675 \pm 15	653 \pm 20	576 \pm 78	-3
8.1	0.61	4.7	49	36	0.76	0.1104 \pm 1.4	0.844 \pm 6.7	0.0554 \pm 6.5	0.2	675 \pm 9	621 \pm 31	429 \pm 146	-8
5.1	0.15	6.1	64	33	0.53	0.1114 \pm 2.6	0.924 \pm 4.6	0.0602 \pm 3.7	0.6	681 \pm 17	665 \pm 22	608 \pm 81	-2
4.1	н.п.о.	6.7	69	64	0.95	0.1125 \pm 1.7	0.965 \pm 3.7	0.0622 \pm 3.3	0.5	687 \pm 11	686 \pm 18	681 \pm 70	0
9.1	н.п.о.	4.6	46	25	0.56	0.1165 \pm 2.8	0.989 \pm 4.6	0.0616 \pm 3.6	0.6	710 \pm 19	698 \pm 23	659 \pm 78	-2
скв. 1-Новая (плаггиогранит, обр. 67, инт. 4500–4501 м) / 1-Novaya (plagiogranite, sample 67, 4500–4501 m)													
10.1	1.08	15.1	336	116	0.36	0.0524 \pm 4.6	0.400 \pm 6.5	0.0553 \pm 4.6	0.7	329 \pm 15	342 \pm 18	423 \pm 102	4
6.1	0.55	22.1	295	130	0.46	0.0869 \pm 0.8	0.714 \pm 2.5	0.0596 \pm 2.4	0.3	537 \pm 4	547 \pm 11	589 \pm 52	2
5.1	н.п.о.	9.4	126	89	0.73	0.0870 \pm 1.9	0.732 \pm 2.9	0.0610 \pm 2.2	0.7	538 \pm 10	558 \pm 12	637 \pm 46	4
9.1	0.35	22.1	292	177	0.63	0.0882 \pm 1.4	0.690 \pm 2.6	0.0567 \pm 2.2	0.5	545 \pm 7	533 \pm 11	479 \pm 48	-2
1.1	0.39	25.7	332	215	0.67	0.0902 \pm 1.4	0.733 \pm 2.4	0.0589 \pm 2.0	0.6	557 \pm 7	558 \pm 10	563 \pm 43	1
8.1	0.43	18.1	234	80	0.35	0.0901 \pm 5.1	0.696 \pm 6.0	0.0560 \pm 3.1	0.9	556 \pm 27	536 \pm 25	453 \pm 69	-4
4.1	0.18	8.8	112	99	0.92	0.0916 \pm 1.5	0.756 \pm 3.0	0.0599 \pm 2.6	0.5	565 \pm 8	572 \pm 13	597 \pm 57	1
2.1	0.09	8.8	112	101	0.94	0.0921 \pm 1.5	0.763 \pm 2.7	0.0601 \pm 2.3	0.5	568 \pm 8	576 \pm 12	607 \pm 50	1
7.1	0.05	16.0	202	112	0.57	0.0921 \pm 0.8	0.731 \pm 1.8	0.0576 \pm 1.6	0.4	568 \pm 4	557 \pm 8	514 \pm 36	-2
3.1	н.п.о.	19.8	249	130	0.54	0.0924 \pm 0.8	0.748 \pm 1.8	0.0587 \pm 1.6	0.4	570 \pm 4	567 \pm 8	555 \pm 35	-1

Примечание. Ошибка в калибровке стандарта составляет 0.5%. $^{206}\text{Pb}_c$ и $^{206}\text{Pb}^*$ — обыкновенный и радиогенный свинец, н.п.о. — ниже предела определения ($\leq 0.04\%$). Изотопные отношения и содержания ^{206}Pb скорректированы по измеренному ^{204}Pb . D — дискордантность: $D = 100 \times (\text{возраст } ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) / \text{возраст } (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) - 1$. Rho — коэффициент корреляции между ошибками определения изотопных отношений $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ и $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$.

Note. Error in the calibration standard is 0.5%. $^{206}\text{Pb}_c$ and $^{206}\text{Pb}^*$ — common and radiogenic lead; н.п.о. — below the limit of determination ($\leq 0.04\%$). Isotope ratios and $^{206}\text{Pb}^*$ content are corrected using measured ^{204}Pb . Rho is the error correlation coefficient of $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ versus $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$. D is discordance: $D = 100 \times [\text{age } (^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) / \text{age } (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) - 1]$.

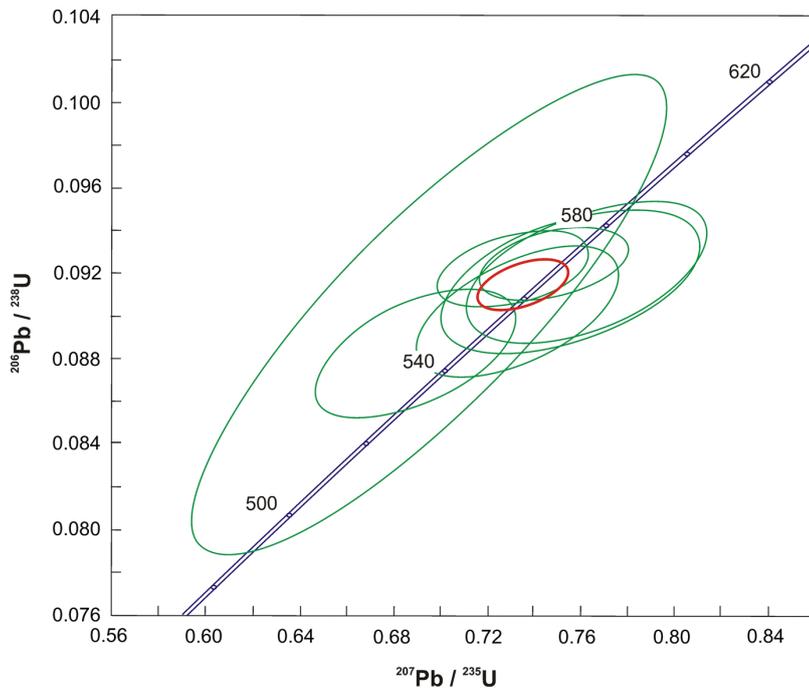


Рис. 7. Диаграмма с конкордией для циркона из плагиигранитов скв. 1-Новая.

Возраст 564 ± 5 млн лет (2σ , $n = 7$, СКВО = 2.2)

Fig. 7. Concordia diagram for zircons from plagiogranite, the 1-Novaya borehole.

Age is 564 ± 5 Ma (2σ , $n = 7$, MSWD = 2.2)

зерен циркона видна эвгедральная осцилляционная зональность с достаточно широкими зонами роста. Зональность внутренней части зерна 1 нарушена. В центральных частях зерен 4 и 8 наблюдаются черные включения. В зерне 10 зональность выражена слабо.

Результаты аналитических измерений в 10 зернах приведены в табл. 3. Положение семи фигуративных точек на графике (рис. 7) определяет кластер, соответствующий конкордантному возрасту 564 ± 5 млн лет. Из расчета исключены аналитические данные по зернам 10.1, 6.1 и 5.1. Заметим, что аналогичный возраст, равный 565 ± 8 млн лет, был установлен ранее при Pb-Pb (Pb-evaporation)-датировании единичных зерен циркона из пробы диорита в этой же скважине (Gee et al., 1998).

Заключение

Таким образом, новые геохимические данные и первые U-Pb (SIMS)-датировки цирконов из интрузивных пород Печорской зоны Большеземельского мегаблока фундамента Печорской синеклизы указывают на два эпизода островодужного магматизма. Возраст цирконов из габбродиоритов в скв. 1-Северный Савинобор, интерпретируемых как производные начальной стадии развития островной дуги, составляет 673 ± 7 млн лет, что соответствует завершению рифея. Позднеостроводужные плагииграниты скв. 1-Новая имеют возраст 564 ± 5 млн лет (граница раннего-позднего венда) и предшествуют орогенным гранитоидам Припечорской разломной зоны с U-Pb (SIMS)-возрастами 555–544 млн лет. Новые датировки в сочетании с полученными ранее свидетельствуют о том, что в пределах Большеземельского мегаблока фундамента Печорской синеклизы представлены магматические породы, формировавшиеся в надсубдукционной обстановке в позднем рифее — венде. Установленные эпизоды ранне- и позднеостроводужного, а затем коллизионного магматизма соответствуют последовательной континентализации этого сегмента земной коры.

Авторы выражают благодарность М. А. Коблу (Стэнфордский университет, США) за помощь в получении и обработке данных U-Pb-датирования цирконов, а также признательны рецензентам, чьи предметные и конструктивные замечания способствовали существенному улучшению статьи.

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

Литература / References

- Акимова Г. Н. Геохронология докембрия Тимана // Сов. геология. 1980. № 12. С. 71–85.
- Akimova G.N. Geochronology of the Precambrian Timan. Sov. Geology, 1980, No. 12, pp. 71–85. (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. Isotope geochronology of granitoid magmatism in the basement of the Pechora syncline. 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 the age of granitoid magmatism in the basement of the Pechora syncline. Doklady Earth Sciences, 2014a, V. 458, No. 5, pp. 559–566. (in Russian)
- Андреичев В. Л., Соболева А. А., Довжикова Е. Г., Ларионов А. Н., Пресняков С. Л., Миллер Э. Л., Кобл М. А. Возраст гранитоидного магматизма фундамента Ижемской зоны Печорской синеклизы: первые U-Pb данные // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XVI Геологического



- съезда Республики Коми. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2014б. Т. II. С. 101—103.
- Andreichev V. L., Soboleva A. A., Dovzhikova E. G., Larionov A. N., Presnyakov S. L., Miller E. L., Koble M. A. Age of granitoid magmatism in the basement of the Izhem zone of the Pechora syncline: first U-Pb data. Geology and mineral resources of the European North-East of Russia: Proc. of the 16th Geological Congress of the Komi Republic. Syktyvkar: IG Komi SC UB RAS, 2014b, V. II, pp. 101—103. (in Russian)
- 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. 2017. Т. 474. № 3. С. 321—326. DOI: 10.7868/S0869565217150129
- Andreichev V. L., Soboleva A. A., Dovzhikova E. G., Miller E. L., Koble M. A., Larionov A. N., Vakulenko O. V., Sergeev S. A. Age of granitoids of Pechora fault zone of the basement of the Pechora syncline: first U-Pb (SIMS) data. Doklady Earth Sciences, 2017, V. 474, No. 3, pp. 321—326. (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. 2023. 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., Koble M. A. Granitoids of the Bolshezemelskaya zone of the basement of the Pechora syncline: composition and U-Pb age. Geology and geophysics, 2023, V. 64, No. 2, pp. 180—191. (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 ВИНТИ. № 1155—84.
- Belyakova L. T. Structure of the foundation 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. in VINITI, No. 1155—84. (in Russian)
- Белякова Л. Т., Степаненко В. И. Гранитоиды фундамента Печорской синеклизы как индикаторы тектоно-магматической зональности // Докл. АН СССР. 1990. Т. 313. № 3. С. 677—681.
- Belyakova L. T., Stepanenko V. I. Granitoids of the basement of the Pechora syncline as indicators of tectono-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 baikalides of the basement of the Pechora syncline. Proc. AS USSR, Ser. Geol, 1991, No. 12, pp. 106—117. (in Russian)
- Белякова Л. Т., Богацкий В. И., Богданов Б. П., Довжикова Е. Г., Ласкин В. М. Фундамент Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна. Ухта: ГУП РК ТП НИЦ, 2008. 288 с.
- Belyakova L. T., Bogatsky V. I., Bogdanov B. P., Dovzhikova E. G., Laskin V. M. Foundation of the Timan-Pechora oil and gas basin. Ukhta: TP Scientific Research Center, 2008, 288 p. (in Russian)
- 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 foundation in the junction zone of the East European Platform and the Urals. Proc. AS USSR, Ser. Geol, 1970, No. 8, pp. 3—14. (in Russian)
- Гецен В. Г. Геодинамическая реконструкция развития северо-востока европейской части СССР для поздне-протерозойского 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)
- Дедеев В. А., Запорожцева И. В. Земная кора Европейского Северо-Востока СССР. Л., Наука, 1985. 98 с.
- Dedeev V. A., Zaporozhtseva I. V. Earth's crust of the European Northeast of the USSR. Leningrad: Nauka, 1985, 98 p. (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., Zapolnov A. K. Timan and Pechora fold systems. Structure of the foundation of platform regions of the USSR. Leningrad: Nauka, 1974, pp. 82—90. (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 Всероссийского петрографического совещания. Сыктывкар, 2000. Т. IV. С. 49—52.
- Dovzhikova E. G., Remizov D. N., Piis V. L. Geodynamic position of igneous rocks of the basement of the Timan-Pechora plate in the light of new data. Petrography at the turn of the XXI century: results and prospects. Proc. of the All-Russian Petrographic Meeting, Syktyvkar, 2000, V. IV, 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., Pumpyansky 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 p. (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. Статья 1. Протоуралиты, тиманиды и доордовикские гранитоидные вулcano-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-Ural tectonic evolution of the northeastern and eastern framing of the East European Platform. Article 1. Proto-Uralids, timanids and pre-ordovician granitoid volcano-plutonic associations of the north of the Urals and the Timan-Pechora region. Lithosphere, 2006, No. 4, pp. 3—22. (in Russian)



- Кузнецов Н. В., 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. Статья 2. Позднедокембрийско-кембрийская коллизия Балтики и Арктиды // Литосфера. 2007. № 1. С. 32—45.
- Kuznetsov N. V., Soboleva A. A., Udoratina O. V., Gertseva M. V., Andreichev V. L., Dorokhov N. S. Pre-Ural tectonic evolution of the northeastern and eastern framing of the East European Platform. Article 2. Late Precambrian-Cambrian collision of Baltica and Arctida. Lithosphere, 2007, No. 1, pp. 32—45. (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 in 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)
- Оловьяншиников 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. Structure of the junction zone of the Russian and Pechora plates according to geological and geophysical data. Doklady Earth Sciences, 1996, V. 351, No. 4, pp. 209—231. (in Russian)
- Пучков В. Н. Структурные связи Приполярного Урала и Русской платформы. Л.: Наука, 1975. 208 с.
- Puchkov V. N. Structural connections of the Subpolar Urals and the Russian Platform. Leningrad: Nauka, 1975, 208 p. (in Russian)
- 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 Paleo-Ural Ocean to the Ural Orogen. Problems of Tectonics of Central Asia. Moscow: GEOS, 2005, pp. 309—342. (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 // Информационный сборник научных трудов ИГТ УрО РАН. Ежегодник-2004. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2005. С. 423—433.
- Ronkin Yu. L., Lepikhina O. P., Golik S. V., Zhuravlev D. Z., Popova O. Yu. Multielement analysis of geological samples by acid decomposition and completion on HR ICP-MS Element2. Information collection of scientific works of the Institute of Geography, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Yearbook 2004. Yekaterinburg: IGG UB RAS, 2005, pp. 423—433. (in Russian)
- Стратиграфический кодекс России. Издание третье. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. 96 с.
- Stratigraphic Code of Russia. Third edition. St. Petersburg: VSEGEI Publishing House, 2006, 96 p. (in Russian)
- Тимано-Печорский седиментационный бассейн // Атлас геологических карт (литолого-фациальных, структурных и палеогеологических) / Под ред. Богацкого В. И., Ларионовой З. В. Ухта: Изд-во ТП НИЦ, 2000.
- Timan-Pechora sedimentation basin. Atlas of geological maps (lithological-facies, structural and paleogeological). Eds. Bogatsky V. I., Larionova Z. V. Ukhta: Publishing house TP SRC, 2000. (in Russian)
- 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. P. 155—170. DOI: 10.1016/S0009-2541(03)00165-7.
- 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. P. 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. P. 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. P. 149—167. DOI: 10.1111/j.1525-1314.1998.00112x.
- Kober B. Whole-grain evaporation for $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -age investigations on single zircons using a double-filament thermal ion source // Contrib. Mineral. Petrol. 1986. V. 93. P. 482—490.
- Kober B. Single grain evaporation combined with Pb+ emitter bedding for $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -age investigations using thermal ion mass spectrometry, and implications to zirconology // Contrib. Mineral. Petrol. 1987. V. 96. P. 63—71.
- Ludwig K. R. SQUID 2 — A User's Manual, rev. 12 Apr, 2009 // Berkeley Geochronology Center Special Publication. 2009. № 5. 110 p.
- Ludwig K. R. Isoplot 3.75, a geochronological toolkit for Excel // Berkeley Geochronology Center Special Publication. 2012. № 5. 75 p.
- Pearce J. A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate margins // Andesites / ed. R.S. Thorpe. New York: John Wiley & Sons, 1982. P. 525—548.
- Sun S. S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle compositions for mantle composition and processes // Magmatism in the ocean basins. Geological Society, Colorado, USA, Special publication. 1989. V. 42. P. 313—345. DOI: 10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19.
- Whalen J. B., Currie K. L., Chappell B. W. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis // Contrib. Miner. and Petrol. 1987. V. 95. P. 407—419. DOI: 10.1007/BF00402202.

Поступила в редакцию / Received 05.09.2023