

УДК 549+550.93(571.121)

МИНЕРАЛОГИЯ ВКЛЮЧЕНИЙ И ВОЗРАСТ ЦИРКОНА ИЗ ГРАНИТОВ ФУНДАМЕНТА ВЕРХНЕРЕЧЕНСКОЙ ПЛОЩАДИ (ПОЛУОСТРОВ ЯМАЛ)

© 2017 г. Ю. В. Ерохин, К. С. Иванов, В. А. Коротеев, В. В. Хиллер

*Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620016, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15,
e-mail: erokhin-yu@yandex.ru*

Поступила в редакцию 13.09.2017 г.; принята к печати 05.10.2017 г.

Изучение минералов-узников в акцессорных цирконах в настоящее время постепенно перерастает в важную геолого-петрологическую задачу. Такое исследование может показать не только наиболее раннюю минеральную ассоциацию горной породы, но и оценить “запечатанный” минеральный парагенезис циркона, что, в свою очередь, показывает, является ли акцессорный циркон родным для вмещающей горной породы или переотложенным (чужеродным). В настоящей работе изучена минералогия циркона из гранитоидов кристаллического фундамента Верхнереченской нефтеразведочной площади (южная часть полуострова Ямал, Западная Сибирь). Гранитоиды представлены однородными светло-серыми мелкозернистыми разностями биотит-кварц-полевошпатового состава и относятся к монцолейкогранитам, которые сформировались по осадочному субстрату, по всей видимости, в условиях позднеорогенной обстановки. Время магматического внедрения и кристаллизации гранитов по данным U-Pb датирования циркона (измерения проведены на ионном микрозонде SHRIMP-II) оценивается как позднепермское (254.0 ± 3.0 (СКВО = 1.6) млн лет). Установлено, что включения в цирконе представлены разными минералами – фторапатитом, титанитом, монацитом-(Ce), альбитом, кварцем, шамозитом и кальцитом. Последние два минерала, по всей видимости, не формировались совместно с цирконом, а являются более поздними вторичными минералами образовавшимися в результате пропилитизации породы. Время вторичных изменений гранитоида предположительно происходило в поздне триасовое время, т.к. один из цирконов дал U-Pb датировку 204.7 ± 2.6 млн лет. В целом, акцессорные цирконы и содержащиеся в них минеральные включения относятся к “гранитной” ассоциации, и, по всей видимости, являются родными для вмещающего монцолейкогранита.

Ключевые слова: минералогия, включения, возраст, циркон, граниты, полуостров Ямал, Западная Сибирь

MINERALOGY OF THE INCLUSIONS AND AGE OF ZIRCON FROM GRANITE BASEMENT OF VERKHNERECHENSK AREA (YAMAL PENINSULA)

Yuriy V. Erokhin, Kirill S. Ivanov, Victor A. Koroteev, Vera V. Khiller

*A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS, 15 Akad. Vonsovsky st., Ekaterinburg, 620016,
Russia, e-mail: erokhin-yu@yandex.ru*

Received 13.09.2017; accepted 05.10.2017

The study of minerals-prisoners in accessory zircons is gradually evolving into an important geological-petrological task. Such a study can show not only the earliest mineral rock association, but also evaluate the “sealed” mineral paragenesis of zircon, which in turn indicates whether the accessory zircon is native to the host rock or redeposited (alien). In the present work, the mineralogy of zircon from granitoids of the crystalline basement of the Verkhnerchensk oil-exploration area (the southern part of the Yamal Peninsula, Western Siberia) has been studied. Granitoids are represented by homogeneous light gray fine-grained variety of biotite-quartz-feldspar composition and refer to monzoleucogranite, which formed over the sedimentary substrate, most likely under conditions of late orogenic surrounding. The time of magmatic intrusion and crystallization of granites according to the data of U-Pb dating of zircon (measurements carried out on the ion microprobe SHRIMP-II) is estimated as Late Permian (254.0 ± 3.0 (MSWD = 1.6) Ma). It is established that inclusions in zircon are represented by various minerals – fluorapatite, titanite, monazite-(Ce), albite, quartz, chamosite and calcite. The last two minerals, apparently, were not formed together with zircon, but are later secondary minerals formed as a result of the propylitization of the rock. The time of secondary changes in the granitoid supposedly occurred in the Late Triassic, as one of the zircons gave a U-Pb dating of 204.7 ± 2.6 Ma. In general, accessory zircons and mineral inclusions contained in them belong to the “granite” association, and, apparently, are native to the enclosing monzoleucogranite.

Keywords: mineralogy, inclusions, age, zircon, granite, Yamal peninsula, Western Siberia

Для цитирования: Ерохин Ю.В., Иванов К.С., Коротеев В.А., Хиллер В.В. (2017) Минералогия включений и возраст циркона из гранитов фундамента Верхнереченской площади (полуостров Ямал). *Литосфера*, 17(6), 81-90. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-17-6-081-090

For citation: Erokhin Yu.V., Ivanov K.S., Koroteev V.A., Khiller V.V. (2017) Mineralogy of the inclusions and age of zircon from granite basement of Verkhnerchensk area (Yamal peninsula). *Litosfera*, 17(6), 81-90. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-17-6-081-090

Acknowledgments

The authors thank V.S. Bochkarev for the provided stone material.

The research is carried out with the support of the Program of the Presidium of the RAS "Search for fundamental scientific research in the interests of the development of the Arctic zone of the Russian Federation" in the framework of the work on the theme "The foundation of the northern part of the West Siberian oil and gas-bearing megabasin: geodynamic history, oil and gas prospects" and by the Russian Foundation for Basic Research (№ 16-05-00041).

ВВЕДЕНИЕ

Исследования геологии Арктики приобрели в последнее время особенную важность, в том числе в связи с потенциальной нефтегазоносностью этой огромной и пока еще крайне недостаточно изученной территории, а также предстоящим, вероятно, ее разделом между странами. Важнейшим критерием при этом являются, как известно, результаты исследования фундамента осадочных бассейнов Арктики. Ямал – главная газовая провинция нашей страны, и одно из немногих мест, где фундамент, пусть и с большим трудом, все же доступен для непосредственного изучения. Важно и то, что притоки газоконденсата на многих месторождениях Ямала получены, в том числе и из комплексов палеозойского складчатого фундамента. Кристаллические основания нефтегазоносных провинций остаются одними из немногих в той или иной мере перспективных, но недостаточно изученных объектов, причем наиболее перспективны на поиски нефти и газа именно гранитоиды фундаментов [Арешев и др., 1997, Иванов и др., 2007 и др.].

Циркон является весьма распространенным акцессорным минералом многих горных пород, он присутствует в различных парагенетических ассоциациях. Его давно и вполне успешно используют в качестве минерала-геохронометра. При этом для циркона характерна высокая устойчивость, что делает его "уникальным контейнером" [Вавилов, 1995 и др.], в котором сохраняются различные минеральные включения. Изучение минералов-узников в акцессорных цирконах дает важную геолого-петрологическую информацию. Такое исследование может показать не только наиболее раннюю минеральную ассоциацию горной породы, но и оценить "запечатанный" минеральный парагенезис циркона, что, в свою очередь, показывает, является ли акцессорный циркон родным для вмещающей горной породы или чужеродным (например, перетолженным). Так, нами изучалась минералогия включений в цирконах из габброидов Ключевского офиолитового комплекса (Средний Урал) и оказалось, что весь парагенезис соответствует эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма и, значит, возраст циркона фиксирует время не образования габброидов, а их метаморфизма [Смирнов и др., 2016]. В исследовании Е.В. Аникиной с коллегами

[2017] показано, что датированные ими цирконы из габброидов Платиноносного пояса Урала содержат чужеродные включения минералов и, по всей видимости, изученные ими цирконы были захвачены из метаморфических пород окружения.

Подобное исследование минеральных микровключений, мы решили провести и для акцессорных цирконов из гранитов кристаллического фундамента Верхнереченской нефтеразведочной площади (полуостров Ямал).

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ РАЙОНА

На Ямале пробурено около 100 структурных и разведочных скважин, вскрывших породы доюрского основания. Из них интрузивные комплексы, выявлены только на четырех площадях: Бованенковской, Новопортовской, Верхнереченской и Сюнай-Салинской (рис. 1). Верхнереченская площадь, а точнее расположенная там и исследованная нами скважина № 1, находится в южной части полуострова Ямал рядом с известным Новопортовским нефтегазовым месторождением, примерно в 50 км от последнего на юго-запад и около 225 км на северо-восток от города Салехард.

Верхнереченская скважина № 1 вскрыла граниты в интервале глубин 1748–2034 м и нами изучались образцы, отобранные на глубине 2016 метров. В соседней с севера скв. 3 аналогичные граниты, также массивного облика, но с признаками расчленения, вскрыты в интервале глубин 1730–1827 м. Расстояние между скважинами 20 км. Судя по аномальному магнитному полю, здесь, возможно, располагаются два массива, вытянутых в северо-западном направлении. В обеих скважинах граниты перекрыты средне-верхнеюрскими отложениями осадочного чехла. Граниты по всему разрезу скважины представлены однородными светло-серыми мелкозернистыми разностями биотит-кварц-полевошпатового состава. Было установлено, что они относятся к монцолейкогранитам, которые сформировались по осадочному субстрату, по всей видимости, в условиях позднеорогенной обстановки. Время кристаллизации субщелочных лейкогранитов Верхнереченской площади было оценено методом химического Th-U-Pb датирования по акцессорным уранини-

ту и монациту, 259.2 ± 3.6 млн лет [Вотяков и др., 2011; Вотяков и др., 2013].

К востоку от скв. 3 пробурена скв. 2, которая в интервале глубин 2480–2600 м вскрыла гранатосодержащие биотит-серицитовые кристаллические сланцы. Непосредственно севернее Верхнереченской площади в пределах Западно-Яротинской площади в доюрском фундаменте были выбурены метаморфические сланцы, что позволило их рассматривать как северное обрамление Верхнереченского гранитного плутона. Сланцы имеют кварц-плагиоклаз-слюдисто-хлоритовый состав и образовались в условиях зеленосланцевого метаморфизма по осадочному субстрату, а позднее подверглись вторичным изменениям в процессе наложенной пропилитизации. Кроме того, в метаморфитах установлен редкий минерал из группы крадаллита – гоэцит, который сформировался позднее, во время пропилитизации породы [Ерохин и др., 2014].

В пределах Сюнай-Салинской площади в фундаменте вскрыты измененные диориты, которые возможно являются краевой частью Верхнереченского гранитного массива. В пределах фундамента Новопортовской площади выбурены габброиды, которые контактируют с нижнепалеозойскими осадочными породами. Установлено, что породы относятся к субщелочным разновидностям феррогаббро и, по всей видимости, слагают корневую интрузию для позднепермско-раннетриасовых рифтогенных базальтов (ее вероятными аналогами являются Тюменская, Норильская интрузии и др.). Габброиды Южного Ямала хорошо сохранились и содержат вкрапленность железистого оливина – фаялита. Химический состав минерала с глубиной становится более магнезиальным и изменяется от феррогортонолита до гортонолита, что указывает на расслоенность габбровой интрузии [Ерохин, Иванов, 2015].

В целом, доюрский кристаллический фундамент Южного Ямала сложен верхнепермскими гранитоидами и их метаморфическим обрамлением, причем субстратом для интрузивных и метаморфических пород послужили осадочные образования. Севернее от Верхнереченско-Сюнай-Салинского антиклинория расположена сложно построенная зона фундамента, содержащая пермско-триасовые базальты и габброиды, чередующиеся с тектонически фрагментированными блоками известково-глинистых сланцев раннего ордовика и силурийско-девонских известняков.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выделение циркона проводилось по стандартной методике, включающей дробление пробы с последующим выделением тяжелой фракции в бромформе, а также дальнейшим отбором кристал-

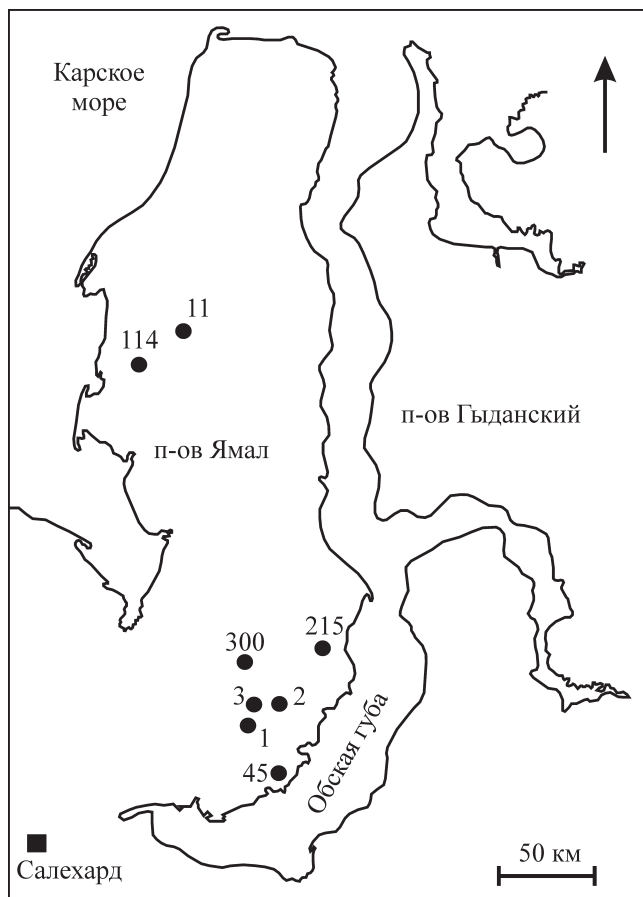


Рис. 1. Схема расположения скважин, вскрывших палеозой, на полуострове Ямал.

Номера скважин: 215 – Новопортовская, 300 – Западно-Яротинская, 1–3 – Верхнереченская, 11 – Восточно-Бованенковская, 45 – Сюнай-Салинская, 114 – Бованенковская.

Fig. 1. Scheme location wells penetrating Paleozoic, the Yamal Peninsula.

Wells: 300 – West-Yarotinskaya, 1–3 – Verkhneretchenskaya, 11 – East-Bovanenkovskaya, 45 – Syunai-Salin-skaya, 114 – Bovanenkovskaya, 215 – Novoportovskaya.

лов вручную. Изотопные анализы циркона на количественные содержания урана, тория и свинца выполнены на ионном микроанализаторе SHRIMP-II в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург). Обработка полученных результатов и расчет U-Pb возрастов проводился с использованием программы ISOPLOT/EX ver.3.66 [Ludwig, 2008]. Позднее изученные шашки с вмонтированными цирконами были переданы авторам во временное пользование для исследования минералогии включений (на данный момент шашки снова хранятся в ЦИИ ВСЕГЕИ). Определение химического состава минералов, слагающих включения в цирконе, выполнено в лаборатории физических и химических методов исследования ИГТ УрО РАН

(г. Екатеринбург) на электронно-зондовом микроанализаторе CAMECA SX 100 с пятью волновыми спектрометрами и с использованием стандартных образцов (аналитик В.В. Хиллер).

ИЗОТОПНЫЙ ВОЗРАСТ АКЦЕССОРНОГО ЦИРКОНА ГРАНИТОИДОВ

Ранее нами уже проводилось датирование гранитоидов из кристаллического фундамента Верхнереченской площади. По результатам микрозондового исследования состава акцессорных монацита и уранинита были проведены расчеты химических Th/Pb- и U/Pb-возрастов, в том числе и на основе биминеральных изохронных построений. Все анализы уранинита и монацита легли на единую “биминеральную” изохрону с возрастом 259.2 ± 3.6 (СКВО = 0.29) млн лет [Вотяков и др., 2011; Вотяков и др., 2013]. Поскольку результаты, полученные методом микрозондового химического датирования пока еще не признаются безоговорочно всеми геологами, а также учитывая большую важность изучения геологии Арктики, мы проверили полученные результаты изотопным изучением акцессорного циркона.

Акцессорный циркон из монцелейкогранита имеет размер от 50 до 150 мкм в длину. Кристаллы хорошо огранены, имеют короткопризматический до изометричного габитус, обычно с развитием одной дипирамиды. Индивиды прозрачны, имеют светло- и темно-розовую окраску и на просвет содержат большое количество длиннопризматических и игольчатых включений. В лучах катодolumинесценции кристаллы циркона обнаруживают ритмично-зональное внутреннее строение (рис. 2).

В пробе было проанализировано 7 кристаллов цирконов из выборки в 35 индивидов. Интересно, что примерно половина кристаллов оказалась подвержена метамиктным изменениям (из-за аномально высоких содержаний урана и тория) и не пригодными для изотопного датирования. В отдельных точках индивидов циркона содержание урана и тория достигало 2450 и 1070 г/т, соответственно (табл. 1). Все 12 сделанных анализов попали на конкордию, причем практически все кучно легли в область 244–267 млн лет (рис. 3), за исключением одной “молодой” датировки 204.7 ± 2.6 млн лет (по всей видимости, связанной с поздними наложенными преобразованиями породы – подробнее см. [Федоров и др., 2004]).

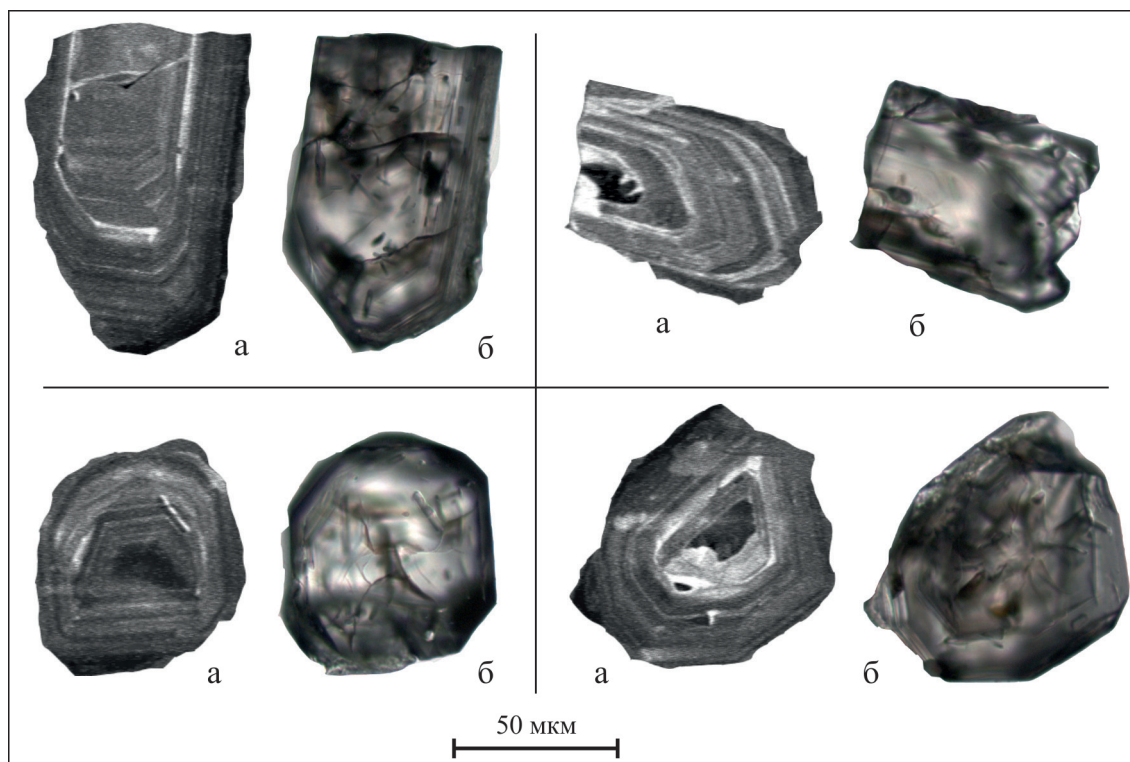


Рис. 2. Фото цирконов из гранитоидов Верхнереченской площади.

а – в катодolumинесцентных лучах, б – на просвет в оптике.

Fig. 2. Photo of zircons from the granitoids of Verkhnerchenskaya area.

а – in cathodoluminescent beams, б – in the clearance in optics.

Таблица 1. U-Pb (SHRIMP-II) изотопные данные для цирконов из гранитов Верхнереченской площади

Table 1. U-Pb (SHRIMP-II) isotope data for zircons from granites of Verkhnerenchenskaya area

Зерно	Содержание				Возраст, млн лет	Изотопные отношения (1), ± %		
	$^{206}\text{Pb}_c$, %	$^{206}\text{Pb}^*$, г/г	U, г/г	Th, г/г		$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}^*$
1.1	0.38	27.1	743	170	266.9 ± 3.9	0.283 ± 5.5	0.0423 ± 1.5	23.66 ± 1.5
1.2	0.24	28.8	827	140	255.2 ± 3.3	0.286 ± 3.1	0.0403 ± 1.3	24.76 ± 1.3
1.3	0.12	41.2	1184	139	255.3 ± 3.3	0.288 ± 2.2	0.0404 ± 1.3	24.75 ± 1.3
2.1	0.20	66.3	2388	1068	204.7 ± 2.6	0.229 ± 2.3	0.0323 ± 1.3	31.00 ± 1.3
3.1	0.00	23.8	717	91	244.5 ± 3.2	0.278 ± 2.4	0.0386 ± 1.3	25.87 ± 1.3
3.2	0.21	24.2	726	156	244.6 ± 3.2	0.278 ± 3.6	0.0387 ± 1.3	25.86 ± 1.3
4.1	0.10	23.5	692	98	250.0 ± 3.3	0.283 ± 2.6	0.0395 ± 1.3	25.29 ± 1.3
4.2	0.31	20.0	576	97	254.9 ± 3.4	0.275 ± 3.7	0.0403 ± 1.4	24.80 ± 1.4
5.1	0.22	85.8	2448	1008	257.3 ± 3.2	0.294 ± 2.1	0.0407 ± 1.3	24.55 ± 1.3
5.2	0.16	42.3	1215	126	255.6 ± 3.2	0.283 ± 2.6	0.0404 ± 1.3	24.72 ± 1.3
6.1	0.08	63.2	1809	354	256.8 ± 3.5	0.290 ± 2.0	0.0406 ± 1.4	24.60 ± 1.4
7.1	0.35	72.4	2029	334	261.5 ± 3.9	0.298 ± 2.7	0.0414 ± 1.5	24.16 ± 1.3

Примечание. Pb_c и Pb^* – обыкновенный и радиогенный свинец соответственно; погрешности калибровки относительно стандартов 0.56%; (1) коррекция с использованием ^{204}Pb .

Note. Pb_c and Pb^* indicate the common and radiogenic portions respectively; error in standard calibration was 0.56%; (1) corrected using measured ^{204}Pb .

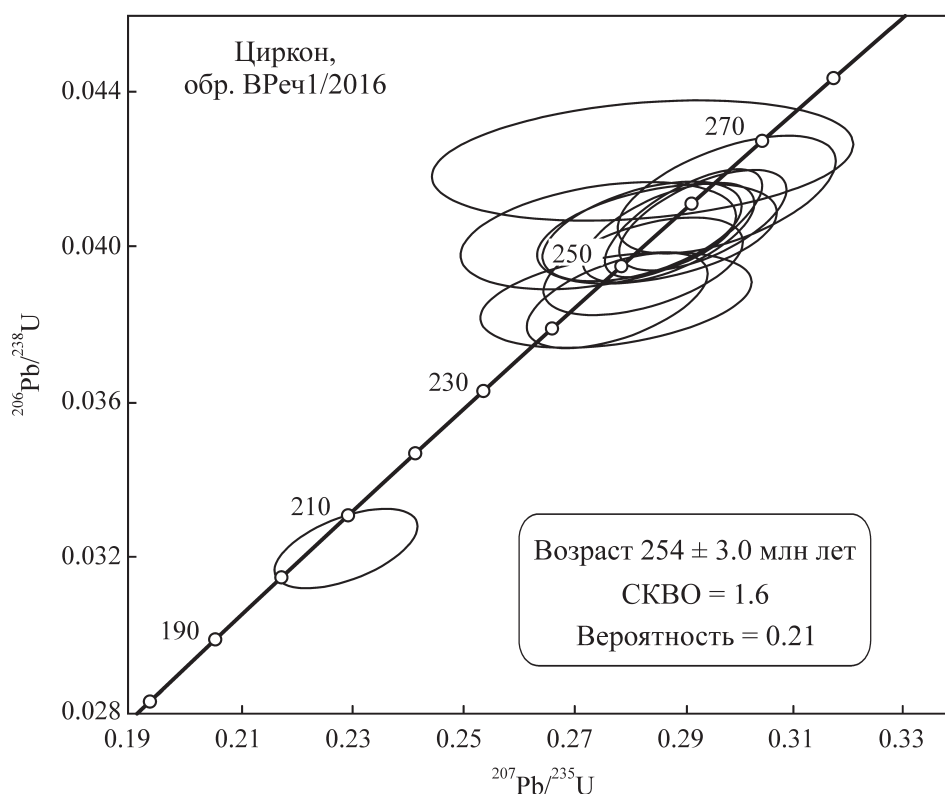


Рис. 3. Изотопная U-Pb диаграмма с конкордией, построенная по результатам микрозондового изучения цирконов из гранита Верхнереченской площади.

Fig. 3. Isotope U-Pb diagram with a concordium, constructed from the results of a microprobe study of zircons from the granite of Verkhnerenchenskaya area.

Без учета этой “молодой” точки (для которой характерны максимальные значения урана и тория – см. табл. 1), все остальные 11 анализов определя-

ют возраст 254.0 ± 3.0 (СКВО = 1.6) млн лет. Данная датировка практически точно совпадает с ранее полученным нами результатом химического

датирования по акцессорным ураниниту и монациту [Вотьяков и др., 2011; Вотьяков и др., 2013].

МИНЕРАЛОГИЯ ВКЛЮЧЕНИЙ В ЦИРКОНЕ

Породообразующие и акцессорные минералы монцолейкогранитов из Верхнереченской площади описаны в предыдущих работах [Иванов и др., 2012; Вотьяков и др., 2013]. Детальное изучение кристаллов циркона показало, что включения в них представлены разными минералами – апатитом, монацитом, титанитом, плагиоклазом, кварцем, хлоритом и карбонатом (рис. 4).

Апатит является главным минералом-узником в кристаллах циркона, его количество составляет около 85-90% от общего числа других включений. Минерал составляет игольчатые и длиннопризматические зерна, размером до 30 мкм по удлинению, в матрице циркона. На срезе они часто имеют вид гексагонального шестигранника. Включения апатита встречаются как в центральной части, так и в краевой зоне кристаллов циркона. Индивиды фосфата всегда хорошо сформированы и, по всей видимости, просто захватывались растущими кри-

сталлами циркона, без какого-либо совместного роста. Всё это указывает на более раннюю кристаллизацию апатита по сравнению с цирконом. По данным микрозондового анализа минерал отличается устойчивым составом и из-за высокого содержания фтора (F в пределах 3.3–3.4 мас. %) относится к фторапатиту (табл. 2, ан. 1-2). Из существенных примесей в минерале отмечаются редкие земли (РЗЭ до 1.5 мас. %), марганец (MnO до 1.1 мас. %) и кремнезем (SiO_2 до 0.4 мас. %). Интересно, что повышенная марганцовистость в апатитах (MnO в пределах 1.5 мас. %) характерна для редкометалльных гранитоидов S-типа, в то время как в породах других типов (A- и I-типах) апатит имеет менее значимые содержания марганца [Broska et al., 2002 и др.]. К примеру, изученные нами верхнереченские апатиты хорошо сопоставляются с составом акцессорного фторапатита из каледонских S-гранитов массива Румбурк, Чехия [Seifert et al., 2010]. В целом, апатит из включений в цирконах лишь немного отличается от акцессорного апатита из матрицы монцолейкогранита, чуть большим содержанием марганца и фтора, а также заметным присутствием редких земель.

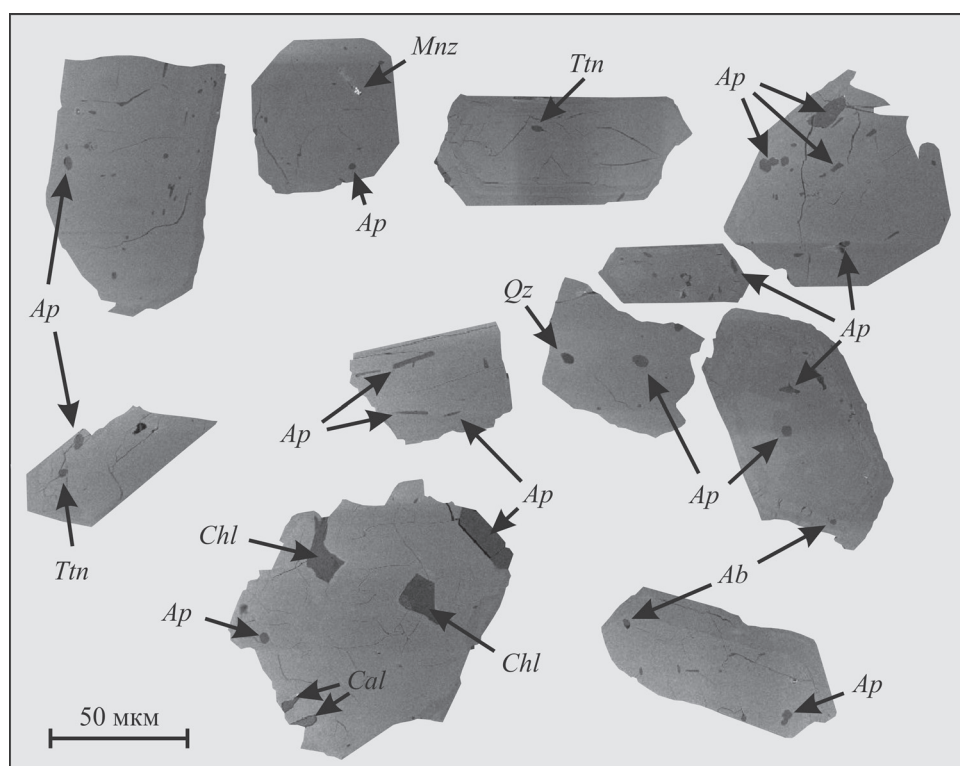


Рис. 4. Зерна циркона с минеральными включениями.

Образец ВРеч1/2016 м, BSE-изображение, CAMECA SX 100. Сокращения: *Ap* – апатит, *Mnz* – монацит, *Ab* – альбит, *Ttn* – титанит, *Chl* – хлорит, *Cal* – кальцит, *Qz* – кварц.

Fig. 4. Zircon grains with mineral inclusions.

Sample VRech1/2016 m, BSE image, CAMECA SX 100. Abbreviations: *Ap* – apatite, *Mnz* – monazite, *Ab* – albite, *Ttn* – titanite, *Chl* – chlorite, *Cal* – calcite, *Qz* – quartz.

Таблица 2. Химический состав (мас. %) минеральных включений в кристаллах циркона

Table 2. Chemical composition (wt %) of mineral inclusions in zircon crystals

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
P ₂ O ₅	41.50	41.87	0.04	0.08	28.95	—	—	—	—	0.38	0.39
ThO ₂	0.09	0.13	0.27	0.41	8.34	—	—	—	—	—	—
UO ₂	0.03	0.05	0.04	0.07	0.39	—	—	—	—	—	—
SiO ₂	0.41	0.33	30.98	30.72	0.81	68.18	67.67	26.41	23.33	0.12	0.12
TiO ₂	0.04	—	29.44	29.84	—	0.01	—	0.11	0.06	—	0.01
Ce ₂ O ₃	0.38	0.31	2.06	1.93	27.73	—	—	—	—	—	—
La ₂ O ₃	0.21	0.19	1.15	1.08	11.36	—	—	—	—	—	—
Nd ₂ O ₃	0.31	0.28	0.59	0.72	12.95	—	—	—	—	—	—
Pr ₂ O ₃	0.06	0.05	0.06	0.05	1.96	—	—	—	—	—	—
Sm ₂ O ₃	0.20	0.18	0.20	0.34	2.86	—	—	—	—	—	—
Y ₂ O ₃	0.43	0.51	0.27	0.47	2.90	—	—	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	—	—	8.46	8.33	—	19.40	19.95	16.91	21.02	—	—
Cr ₂ O ₃	—	—	—	0.07	—	0.02	0.02	—	—	—	—
FeO	0.19	0.23	0.18	0.21	0.24	—	0.11	35.81	35.20	0.03	—
MnO	0.88	1.08	—	0.04	0.17	0.01	0.01	0.65	1.28	0.14	0.08
MgO	0.02	0.01	0.02	—	—	—	0.01	7.19	5.49	0.01	—
CaO	52.94	52.18	24.51	23.70	0.95	0.10	0.93	0.04	0.01	55.27	54.87
Na ₂ O	—	—	0.02	—	—	11.05	10.33	0.01	0.01	—	—
K ₂ O	—	—	0.04	0.04	—	0.83	0.11	0.02	0.02	—	—
F	3.28	3.35	1.78	2.03	0.02	—	—	—	—	0.09	—
Cl	0.02	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—
O≡F ₂	–1.38	–1.41	–0.75	–0.85	–0.01	—	—	—	—	—	—
Сумма	99.61	99.36	99.36	99.28	99.62	99.60	99.14	87.15	86.42	56.03	55.48

Примечание. Ан. 1–2 – апатит (выборка из 25 анализов), ан. 3–4 – титанит, ан. 5 – монацит, ан. 6–7 – альбит, ан. 8–9 – хлорит (шамозит), ан. 10–11 – кальцит.

Note. An. 1–2 – apatite (a sample of 25 analyzes), an. 3–4 – titanite, an. 5 – monazite, an. 6–7 – albite, an. 8–9 – chlorite (chamosite), an. 10–11 – calcite.

Титанит слагает редкие включения в кристаллах циркона, в 35 индивидах было установлено только два зерна, размером не более 5–10 мкм. Они приурочены к центральным зонам кристаллов циркона. Титанит имеет округлые и овальные зерна, что позволяет предполагать его совместный рост с цирконом. По данным микрозондового анализа минерал имеет необычный состав (табл. 2, ан. 3–4), но вполне уверенно определяется как титанит. В нем отмечается присутствие существенных концентраций глинозема (Al₂O₃ до 8.5 мас. %), редких земель (РЗЭ до 4.3 мас. %) и фтора (F до 2 мас. %). Подобные обогащенные примесями акцессорные титаниты встречаются достаточно часто и в разных породах, например, в кислых вулканитах Италии [De-la Ventura et al., 1999], дайках лампрофиров Германии [Seifert, 2005], карбонатитах Кольского полуострова [Chakhmouradian, 2004] и многих других породах [Higgins et al., 1976]. В целом, титанит из включений в цирконах резко отличается по химическому составу от акцессорного титанита из матрицы монцолейкогранита, для которого характерны близкие значения к эталонному сфену.

Монацит образует редкую вкрапленность в кристаллах циркона, в 35 индивидах было установлено только два зерна, размером не более 20 мкм. Обыч-

но тяготеет к краевым частям кристаллов циркона и слагает округлые включения. Вполне вероятно, что монацит формировался на заключительной стадии кристаллизации циркона и имел совместный с ним рост. В режиме обратно рассеянных электронов (BSE-изображение) минерал хорошо выделяется ярко-белой окраской на фоне серой матрицы циркона (см. рис. 4). Микрозондовый анализ монацита показал, что минерал относится к цериевой разновидности (см. табл. 2, ан. 5) с высоким содержанием тория (ThO₂ до 8.3 мас. %). Из других примесей можно отметить присутствие существенных концентраций кремнезема (SiO₂ до 0.8 мас. %), иттрия (Y₂O₃ до 2.9 мас. %) и кальция (CaO до 1 мас. %). В целом, монацит из включений в цирконах хорошо соотносится по химическому составу с акцессорным монацитом из матрицы монцолейкогранита.

Кварц также слагает редкую вкрапленность в кристаллах циркона, в 35 индивидах было установлено только четыре зерна, размером не более 5–10 мкм. Обычно тяготеет к краевым частям кристаллов циркона и слагает округлые включения. По данным микрозондового анализа включения кварца содержат слабые примеси щелочей, кальция и глинозема. Вполне вероятно, что кварц ранее представлял собой расплавленное включение, а позже раскры-

сталлизовался, или цирконом был захвачен самый ранний (т.н. зародышевый) кристалл, которые возникают в самом начале кристаллизации расплава.

Плаггиоклаз тоже образует редкие включения в кристаллах циркона, в 35 индивидах было установлено только три зерна, размером не более 5 мкм. Обычно тяготеет к краевым частям кристаллов циркона и слагает округлые включения. По данным микрозондового анализа полевой шпат представлен альбитом (табл. 2, ан. 6-7). Из примесей в плаггиоклазе отмечаются кальций (CaO до 0.9 мас. %) и калий (K_2O до 0.8 мас. %). В целом, альбит из включений в цирконах напоминает по химическому составу породообразующий плаггиоклаз из матрицы монцолейкогранита, и резко отличается от пертитовых (олигоклазовых) вростков в калиевом полевоом шпате. Нахождение плаггиоклаза в матрице циркона можно объяснить по аналогии с кварцем, вполне вероятно, что цирконом был захвачен самый ранний (т.н. зародышевый) индивид, которые возникают в самом начале кристаллизации расплава.

Хлорит также образует редкую вкрапленность в кристаллах циркона, в 35 индивидах было установлено только два включения, размером до 30 мкм, причем в одном и том же кристалле циркона. Минерал слагает включения неправильной формы, как в краевой части, так и в центре индивидов циркона. По данным микрозондового анализа (табл. 2, ан. 8-9) хлорит относится к шамозиту с незначительным содержанием минералов клинохлора (до 24%), донбассита (до 11%) и пеннантита (до 3%). В целом, хлорит из включений в цирконах хорошо соотносится по химическому составу с шамозитом из матрицы монцолейкогранита, где он активно замещает лейсты биотита. Наличие хлорита в цирконе достаточно сложно объяснить, вполне возможно, шамозит заместил включения каких-нибудь первичных минералов (биотита или ортопироксена). Кроме того, зерно циркона, где были установлены включения хлорита, явно имеет неправильную форму с кавернами и углублениями (см. рис. 3), и, возможно, в них отложился вторичный шамозит.

Кальцит, как и хлорит, образует только два включения, размером до 10–15 мкм, причем в том же самом кристалле циркона. Минерал слагает зерна вытянутой формы в краевой части индивидов циркона. По данным микрозондового анализа (табл. 2, ан. 10-11) карбонат соответствует чистому кальциту. В целом, кальцит из включений в цирконах хорошо соотносится по химическому составу с карбонатом из матрицы монцолейкогранита, где он слагает небольшие обособления в породе совместно с хлоритом и мусковитом. Наличие карбоната в цирконе можно объяснить только с учетом присутствия хлорита. Кальцит встречен в том же самом зерне циркона, что и включения хлорита, и вполне вероятно, что зерно циркона находилось или контактировало с теми самыми карбонатными обособ-

лениями (содержащими хлорит и вторичную слюду) и подвергалось растворению с образованием каверн и углублений.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В целом, установленная нами ассоциация минералов-узников в цирконах весьма сходна с минералогией вмещающей матрицы монцолейкогранита, что позволяет говорить об акцессорных цирконах и содержащихся в них минеральных включениях как о “гранитных” минералах, т.е. сформировавшихся именно в этом кремнекислом (монцолейкогранитном) расплаве.

Описанная нами ассоциация минералов-узников имеет один и тот же возраст – 254.0 ± 3.0 млн лет [Иванов и др., 2012], установленный именно по кристаллам циркона. При этом мы можем, на основе взаимоотношений минералов друг с другом, выделить ранние и более поздние минеральные ассоциации. Так, в центральных частях индивидов циркона были отмечены только фторапатит и фтористо-редкоземельно-глиноземистый титанит, причем фосфат также содержит немного редких земель. Вполне вероятно, что часть фторапатита кристаллизовалась раньше циркона, т.к. индивиды фосфата имеют идеальное ограничение и возможно были захвачены растущими кристаллами циркона. В краевых зонах кристаллов циркона установлен не только фторапатит, но и монацит с кварцем и альбитом. При этом появление монацита в цирконе, по всей видимости, сопровождается активной кристаллизацией акцессорного монацита в самой матрице породы (возможно одновременно с уранинитом и ксенотимом). Интересно, что в цирконе присутствуют включения кварца и альбита и отсутствует калиевый полевой шпат, возможно рост кристаллов циркона остановился до формирования калишпата. Дело в том, что в монцолейкограните калиевый полевой шпат кристаллизуется позднее кварца и альбита как бы “запечатывая” собой окружающее пространство. То есть на момент завершения роста индивидов циркона в расплаве присутствовали зародыши кристаллов кварца и альбита, но еще не сформировались зародыши калишпата. О включениях хлорита и кальцита стоит говорить, как о самых поздних образованиях и не связанных с ростом кристаллов циркона. Здесь уместнее увязывать попадание индивидов циркона под влияние поздних карбонатных обособлений с хлоритом и мусковитом (процесс пропилитизации?), которые формировались на заключительном этапе эволюции монцолейкогранита. Время вторичных изменений (пропилитизации) гранитоида предположительно происходило в поздне-триасовое время, т.к. один из цирконов дал U-Pb датировку в 204.7 ± 2.6 млн лет. Если рассмотренные нами минеральные ассоциации из включений в

цирконах представить в виде некоего эволюционного тренда, то он будет выглядеть следующим образом: фторапатит → циркон (ядро) + фторапатит + + титанит → циркон (край) + фторапатит + монацит + кварц + альбит → хлорит + кальцит (сильно оторванные от времени кристаллизации циркона, вторичные минералы).

ВЫВОДЫ

Таким образом, нами определен U-Pb-возраст акцессорных цирконов из гранитоидов Верхнереченской нефтеразведочной площади, а также изучена минералогия включений в них. Время магматического внедрения и кристаллизации гранитов по данным U-Pb-датирования циркона (измерения проведены на ионном микрозонде SHRIMP-II) оценивается как позднепермское (254.0 ± 3.0 (СКВО = 1.6) млн лет. Минералогия включений достаточно разнообразная – фторапатит, титанит, монацит-(Ce), альбит, кварц, шамозит и кальцит. Последние два минерала, вероятнее всего, не формировались совместно с цирконом, а являются более поздними вторичными минералами. Время вторичных изменений (пропилитизации) гранитоида предположительно происходило в поздне триасовое время (204.7 ± 2.6 млн лет). В целом, акцессорные цирконы и содержащиеся в них минеральные включения принадлежат “гранитной” ассоциации, и, по всей видимости, являются родными для вмещающего монцолейкогранита.

Авторы благодарят В.С. Бочкарева за предоставленный каменный материал.

Исследования проводятся при поддержке Программы Президиума РАН “Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны РФ” в рамках работы по теме “Фундамент северной части Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна: геодинамическая история, оценка перспектив нефтегазоносности” и при частичной поддержке РФФИ (грант 16-05-00041).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аникина Е.В., Краснобаев А.А., Пушкарев Е.В., Русин И.А. (2017) Природа циркона в габбро Волковского массива (Средний Урал): проблема возраста и геохронологические следствия. *Литосфера*. (4), 84-96.
- Арешев Е.Г., Гаврилов В.П., Донг Ч.Л., Зао Н., Попов О.К., Поспелов В.В., Шан Н.Т., Шнип О.А. (1997) Геология и нефтегазоносность фундамента Зондского шельфа. М.: Нефть и газ, 288 с.
- Вавилов М.А. (1995) Реликтовые алмазосодержащие ассоциации метаморфических пород Кокчетавского массива. Автореферат... кандидата геолого-минералогических наук. Новосибирск, ИМП СО РАН, 40 с.
- Вотьяков С.Л., Иванов К.С., Хиллер В.В., Бочкарев В.С., Ерохин Ю.В. (2011) Химическое микрозондовое Th-U-Pb-датирование монацита и уранинита из гранитов фундамента Ямала. *Докл. АН*. **439**(2), 244-247.
- Вотьяков С.Л., Иванов К.С., Ерохин Ю.В., Хиллер В.В., Бочкарев В.С., Захаров А.В., Коротков С.А. (2013) Вещественный состав и химическое микрозондовое Th-U-Pb-датирование гранитов из фундамента полуострова Ямал. *Литосфера*. (3), 57-66.
- Ерохин Ю.В., Иванов К.С. (2015) Фаялит из габбро доюрского фундамента Новопортовской площади (Южный Ямал, Арктика). *Труды ИГГ УрО РАН*. Екатеринбург, ИГГ УрО РАН. **162**, 159-162.
- Ерохин Ю.В., Хиллер В.В., Иванов К.С., Рыльков С.А., Бочкарев В.С. (2014) Минералогия метаморфических сланцев из доюрского основания южной части полуострова Ямал. *Литосфера*. (5), 136-140.
- Иванов К.С., Ерохин Ю.В., Бочкарев В.С., Сергеев С.А., Шокальский С.П. (2012) Изотопное U-Pb-датирование гранитов из фундамента Ямала. *Горные ведомости*. (11), 26-34.
- Иванов К.С., Ерохин Ю.В., Пономарев В.С., Федоров Ю.Н., Кормильцев В.В., Клец А.Г., Сажнова И.А. (2007) Гранитоидные комплексы фундамента Западной Сибири. *Состояние, тенденции и проблемы развития нефтегазового потенциала Западной Сибири*. Тюмень: ФГУП “ЗапСибНИИГГ”, 49-56.
- Смирнов В.Н., Иванов К.С., Коротеев В.А., Ерохин Ю.В., Хиллер В.В. (2016) U-Pb-датирование и изучение состава включений в цирконах из офиолитовых габбро Ключевского массива (Средний Урал): результаты и геологическая интерпретация. *Докл. АН*. **468**(5), 556-561.
- Федоров Ю.Н., Криночкин В.Г., Иванов К.С., Краснобаев А.А., Калеганов Б.А. (2004) Этапы тектонической активизации Западно-Сибирской платформы (по данным К-Аг метода датирования). *Докл. АН*. **397**(2), 239-242.
- Broška I., Williams C.T., Aubin A., Uher P., Leichmann J. (2002) Apatite composition and estimation of fluorine concentration in the West-Carpathian granites. *Geol. Carpath.*, **53**, 190-192.
- Chakhmouradian A.R. (2004) Crystal chemistry and paragenesis of compositionally unique (Al-, Fe-, Nb-, and Zr-rich) titanite from Afrikanda, Russia. *Amer. Mineral.*, **89**, 1752-1762.
- Della Ventura G., Bellatreccia F., Williams C.T. (1999) Zr- and LREE-rich titanite from Tre Croci, Vico Volcanic complex (Latium, Italy). *Mineral. Magaz.* **63**, 123-130.
- Higgins J.B., Ribbe P.H. (1976) The crystal chemistry and space groups of natural and synthetic titanites. *Amer. Mineral.*, **61**, 878-888.
- Ludwig K.R. (2008) User's Manual for Isoplot/Ex, Version 3.66. A geochronological toolkit for Microsoft Excel, Berkeley Geochronology Center. Special Publication (4), 77 p.
- Seifert W. (2005) REE-, Zr-, and Th-rich titanite and associated accessory minerals from a kersantite in the Frankenswald, Germany. *Mineral. Petrol.*, **84**(3-4), 129-146.
- Seifert W., Thomas R., Rhede D., Förster H.-J. (2010) Origin of coexisting wustite, Mg-Fe and REE phosphate minerals in graphite-bearing fluorapatite from the Rum-burk granite. *Europ. J. Mineral.* **22**, 495-507.

REFERENCES

- Anikina E.V., Krasnobaev A.A., Pushkarev E.V., Rusin I.A. The nature of zircon in the Volkovsky massif gabbro (Middle Urals): the age problem and geochronological consequences. *Lithosphere*, (4), 84-96. (In Russian)
- Areshiev E.G., Gavrilov V.P., Dong Ch.L., Zao N., Popov O.K., Pospelov V.V., Shan N.T., Shnip O.A. (1997) *Geologiya i neftegazonosnost' fundamenta Zondskogo shel'fa* [Geology and oil and gas bearing of the foundation of the Zond shelf]. Moscow, Oil and Gas, 288 p. (In Russian)
- Broska I., Williams C.T., Aubin A., Uher P., Leichmann J. (2002) Apatite composition and estimation of fluorine concentration in the West-Carpathian granites. *Geol. Carpath.* **53**, 190-192.
- Chakhmouradian A.R. (2004) Crystal chemistry and paragenesis of compositionally unique (Al-, Fe-, Nb-, and Zr-rich) titanite from Afrikanda, Russia. *Amer. Mineral.*, **89**, 1752-1762.
- Della Ventura G., Bellatreccia F., Williams C.T. (1999) Zr- and LREE-rich titanite from Tre Croci, Vico Volcanic complex (Latium, Italy). *Mineral. Magaz.*, **63**, 123-130.
- Erokhin Yu.V., Ivanov K.S. (2015) Fayalite from the gabbro of the pre-Jurassic foundation of Novoportovskaya area (South Yamal, Arctic). *Proceedings of IGG UrB RAS*, **162**, Ekaterinburg, IGG UrB RAS, 159-162. (In Russian)
- Erokhin Yu.V., Khiller V.V., Ivanov K.S., Ryl'kov S.A., Bochkarev V.S. (2014) Mineralogy of metamorphic schists from the pre-Jurassic basement of the southern part of the Yamal Peninsula. *Lithosphere*, (5), 136-140. (In Russian)
- Fedorov Yu.N., Krinichkin V.G., Ivanov K.S., Krasnobaev A.A., Kaleganov B.A. (2004) Stages of tectonic reactivation of the West Siberian platform (based on K-Ar dating). *Dokl. Earth Sci.*, **397**(5), 628-631.
- Higgins J.B., Ribbe P.H. (1976) The crystal chemistry and space groups of natural and synthetic titanites. *Amer. Mineral.*, **61**, 878-888.
- Ivanov K.S., Erokhin Yu.V., Bochkarev V.S., Sergeev S.A., Shokal'skiy S.P. (2012) Isotope U-Pb-dating of granites from the basement of the Yamal Peninsula. *Gornye vedomosti*, (11), 26-34. (In Russian)
- Ivanov K.S., Erokhin Yu.V., Ponomarev V.S., Fedorov Yu.N., Kormil'tsev V.V., Klets A.G., Sazhnova I.A. (2007) Granitoids complexes of the basement of Western Siberia. Tyumen', FSUE "ZapSibNIIGG", 49-56. (In Russian)
- Ludwig K.R. (2008) User's Manual for Isoplot/Ex, Version 3.66. A geochronological toolkit for Microsoft Excel, Berkeley Geochronology Center. Special Publication (4), 77 p.
- Seifert W. (2005) REE-, Zr-, and Th-rich titanite and associated accessory minerals from a kersantite in the Frankenthal, Germany. *Mineral. Petrol.*, **84**(3-4), 129-146.
- Seifert W., Thomas R., Rhede D., Förster H.-J. (2010) Origin of coexisting wustite, Mg-Fe and REE phosphate minerals in graphite-bearing fluorapatite from the Rumburk granite. *Europ. J. Mineral.*, **22**, 495-507.
- Smirnov V.N., Ivanov K.S., Koroteev V.A., Erokhin Yu.V., Khiller V.V. (2016) U-Pb dating and composition of inclusions in zircon from ophiolitic gabbro of the Klyuchevsk massif (Middle Urals): results and geological interpretation. *Dokl. Earth Sci.*, **468**(2), 574-579.
- Vavilov M.A. (1995) *Reliktovye almasosoderzhashchie assotsiatsii metamorficheskikh porod Kokchetavskogo massiva* [Relict diamond-bearing associations of metamorphic rocks of the Kokchetav Massif]. Author's abstract... candidate of geological and mineralogical sciences. Novosibirsk, IMP SB RAS, 40 p.
- Votyakov S.L., Ivanov K.S., Khiller V.V., Bochkarev V.S., Erokhin Yu.V. (2011) Chemical microprobe Th-U-Pb age dating of monazite and uraninite grains from granites of the Yamal crystalline basement. *Dokl. Earth Sci.*, **439**(1), 994-997.
- Votyakov S.L., Ivanov K.S., Erokhin Yu.V., Khiller V.V., Bochkarev V.S., Zakharov A.V., Korotkov S.A. (2013) Composition and chemical microprobe Th-U-Pb-dating of granites from the basement of the Yamal Peninsula. *Lithosphere*, (3), 57-66. (In Russian)