

В. Г. КОЛОКОЛЬЦЕВ, С. А. СЕРГЕЕВ (ВСЕГЕИ)

Происхождение и U-Pb изотопный возраст детритовых цирконов Ярегского нефтетитанового и Пижемского титанового месторождений (Тиман)

Впервые получены данные по U-Pb изотопному возрасту цирконового детрита из лейкоксен-кварцевых руд Ярегского нефтетитанового месторождения, которые указывают на резкое преобладание (92 %) рифейских датировок в диапазоне 900–1600 млн лет. Их сопоставление с опубликованными материалами по цирконам Пижемского титанового месторождения доказывает, что доминирующим источником обломочного материала для обеих россыпей служили продукты денудации рифейских породных комплексов. Наличие в пижемских рудах незначительного количества детритовых цирконов позднеархейского возраста подтверждает, что пижемская область сноса отличалась от ярегской более глубоким эрозионным срезом рифейских толщ. Показано, что изотопно-геохронологические материалы не противоречат гипотезе о принадлежности Ярегского нефтетитанового месторождения к двухстадийному седиментационно-нафтидно-эпигенетическому лейкоксеновому типу.

Ключевые слова: цирконовый детрит, U-Pb изотопный возраст, Тиман, Ярегское нефтетитановое месторождение, Пижемское титановое месторождение, нафтидно-водородный титан, рифей, венд.

V. G. KOLOKOLTSEV, S. A. SERGEEV (VSEGEI)

Origin and the U-Pb isotopic age of detrital zircons from the Yaregsk oil-titanium and Pizhensk titanium deposits (Timan)

Data on the U-Pb isotopic age of zircon detritus from leucoxene-quartz ores of the Yaregsk oil-titanium deposit, which indicate a sharp predominance (92 %) of Riphean dating in the range of 900 to 1600 Ma, have been obtained for the first time. Their comparison with the published data on zircons from the Pizhensk titanium deposit proves that the denudation products of the Riphean rock complexes were the dominant source of clastic material for both placers. Insignificant amount of Late Archean detrital zircons in the ore of the Pizhensk deposit confirms that the Pizhensk deposit provenance area differed from that of the Yaregsk deposit in a deeper erosional truncation of Riphean strata. It is shown that the isotope-geochronological data do not contradict the hypothesis that the Yaregsk oil-titanium deposit belongs to the two-stage sedimentary-naphthide-epigenetic leucoxene type.

Keywords: zircon detritus, U-Pb isotope age, Timan, Yaregsk oil-titanium deposit, Pizhensk titanium deposit, naphthide-hydrogen titanium, Riphean, Vendian.

Для цитирования: Колокольцев В. Г., Сергеев С. А. Происхождение и U-Pb изотопный возраст детритовых цирконов Ярегского нефтетитанового и Пижемского титанового месторождений (Тиман) // Региональная геология и металлогения. – 2022. – № 91. – С. 87–96. DOI: 10.52349/0869-7892_2022_91_87-96

Ярегское нефтетитановое месторождение, открытое в начале 1930-х годов как нефтяное, сейчас является одним из крупнейших в мире по запасам титана. Находится оно в Республике Коми, близ г. Ухта и, в соответствии с нефтегазогеологическим районированием [21], входит в состав Тиманской нефтегазоносной области Тимано-Печорской провинции (рис. 1).

Геологическое строение Ярегского месторождения и минералого-технологические особенности титановых руд раскрыты в трудах многих исследователей (Г. Р. Авджиева, И. Н. Бурцева,

Н. Э. Гернгардт, В. Г. Гецена, В. Д. Игнатьева, В. А. Калюжного, О. С. Кочеткова, Б. А. Малькова, М. Л. Махлаева, Е. Д. Надеждиной, А. М. Плякина, Д. П. Сердюченко, А. Р. Сушона, И. В. Швецовой и др.). Уникальность этого месторождения выражена не только большим количеством (около 50 % российских запасов) титановых руд, их необычными физико-химическими и технологическими свойствами, но и геологическим строением. Ярегские лейкоксен-кварцевые руды, залегающие в средне-верхнедевонской толще, находятся в тесном парагенезе с раннефранской трапповой

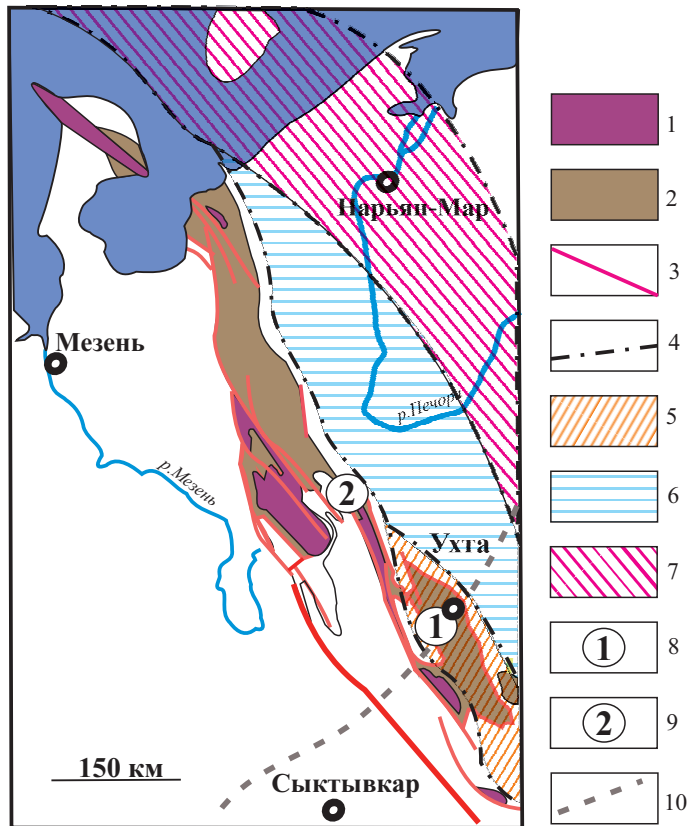


Рис. 1. Местоположение Ярегского нефтетитанового и Пижемского титанового месторождений [20, с дополнениями]

1–2 – выходы на дочетвертичную поверхность: 1 – допалеозойских пород, 2 – девонских пород; 3 – разломы, 4 – границы нефтегазоносных областей; 5–7 – нефтегазоносные области: 5 – Тиманская, 6 – Ижма-Печорская, 7 – Малоземельско-Колгуевская; 8 – Ярегское нефтетитановое месторождение, 9 – Пижемское титановое месторождение, 10 – железная дорога Москва–Воркута

формацией и служат коллекторами промышленной нефти в тектонических ловушках, возникших на рубеже палеозойской и мезозойской эр. Многие исследователи считают, что это месторождение является древней погребенной россыпью, при том что его руды имеют не свойственную титановым россыпям грубообломочную структуру, исключительно лейкоксеновый (а не обычный лейкоксен-ильменитовый) состав рудных компонентов и не характерную для других титановых россыпей высокую (около 9 %) концентрацию в рудах диоксида титана. В отличие от известных прибрежно-морских и континентальных россыпей, ярегский рудный компонент – лейкоксен – при любых концентрациях не образует черных природных шлихов в кварцевых песчаниках. Из-за внешнего сходства его серых зерен с кварцевыми песчинками, рудные песчаники трудно отличить от безрудных и ярегские руды часто остаются незамеченными при проходке нефтепоисковых и иных скважин, не нацеленных специально на поиск этого металла [6].

По-видимому, Ярегский титановый феномен, как и другие месторождения-гиганты, имеет сложный механизм формирования, в известной степени раскрытый его первооткрывателем В. А. Калюжным, который показал существенную роль в образовании этого рудного вмещалища «водородных и нефть-водородных процессов, наложившихся на изначально ильменитовые россыпи» и вызвавших полную лейкоксенизацию ильменита и, как следствие, значительное обогащение руд титаном [5, с. 2].

Теория Калюжного объясняет, почему только на Ярегском нефтетитановом месторождении (в отличие от всех других) единственный рудный минерал – лейкоксен. К примеру, в близком по возрасту Пижемском титановом месторождении, в той же Тиманской провинции, но за пределами нефтегазоносной области (рис. 1) титановые руды не лейкоксеновые, а обычные лейкоксен-ильменитовые, где около 50 % приходится на неизменный ильменит, 25 % на лейкоксенизированный ильменит, а еще 25 % на неэлектромагнитный лейкоксен неясной природы [5]. К тому же пижемские руды заметно беднее (менее 5 % TiO_2) ярегских. Оппоненты В. А. Калюжного считают, что Ярегское месторождение – типичная древняя прибрежно-морская россыпь. Например, Л. В. Махлаев уверен, что в ней «лейкоксен не имеет никакого отношения к нефти, а поступал в эту россыпь изначально, поскольку именно он, а не ильменит был титановым минералом в составе исходных пород» [16, с. 117]. Гипотеза Махлаева привлекает своей простотой, но скорее всего является ошибочной, поскольку его тезис об отсутствии ильменита в питающих породах Ярегского месторождения опровергается эмпирическими данными специалистов [4, 5, 12 и др.].

Концепцию Калюжного разделяет большинство исследователей Тимана, но в существующем варианте она не дает ответа на ключевой вопрос: какова доля нефтидно-водородного титана в ярегских титановых рудах. Оказалось, что эту задачу можно решить, если обратиться к приемам сравнительного анализа [7], который позволяет

при изучении одного объекта использовать информацию, относящуюся к другому объекту. При сопоставлении Ярегского нефтетитанового месторождения с Пижемским титановым, размещенным, как уже сказано, за границами нефтегазоносной области (рис. 1), учитывалось, что они имеют близкий (допозднедевонский) возраст и формировались в прибрежной (пляжевой) зоне морского бассейна. Примечательно, что эти россыпные месторождения, возникшие в однотипных физико-географических условиях, имеют существенные различия, которые освещены в недавней публикации [7]. Особенно разителен контраст структурно-текстурного облика их руд. В Пижемской палеороссыпи преобладает мелко-среднезернистая структура рудоносных пород с отчетливо выраженной (черным шлихом ильменита) разнообразной слоистостью, обычной для фаций и микрофаций пляжей и мелководных отмелей [17, 18] (рис. 2, в), а ярегские руды имеют чуждую титановым россыпям псефитовую структуру и грубую, плохо выраженную слоистость [22] (рис. 2, а), фациальную принадлежность которой корректно установить чрезвычайно трудно. До использования сравнительного анализа считалось, что ярегский парадокс обусловлен особыми обстановками осадконакопления, но фациальная «особость» рудоконцентрирующей седиментации, как правило, не уточнялась. Сравнительная методология, подчиненная выявлению причинно-следственных связей в сопоставляемых объектах, потребовала аргументированного объяснения такой текстурной особенности.

Текстурный анализ позволил обнаружить в ярегских рудах и околорудных породах наложенные (эпигенетические) структурно-вещественные неоднородности. Они, по нашему мнению,

и являются причиной искажения и уничтожения в рудах изначальных седиментогенных признаков. Другими словами, ярегские руды в значительной мере утратили память о гидродинамике осадкообразующей среды, а их внешний облик отражает не седиментационные, а более поздние воздействия и демонстрирует результаты интенсивных эпигенетических процессов в Тиманской нефтегазоносной области. Такое рассуждение хорошо согласуется с современными представлениями о формировании залежей нефти под влиянием наложенного эпигенеза, проявляющегося на поздних этапах инверсии осадочного бассейна, когда происходит раскрытие флюидоупорных систем, подъем агрессивных флюидов из нижних горизонтов бассейна. В резко неравновесных условиях растворялось вещество, одни минералы замещались другими, формировались разнообразные метасоматиты со вторичной пористостью и др. Это убедительно показал Б. А. Лебедев [14]. Подобные явления, включая метасоматическую трансформацию структурно-текстурного облика метаосадков, отмечаются и в коллекторах Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна [9, 10].

Гипотеза о наложенном эпигенезе явилась своеобразным ключом к алгоритму решения задачи определения доли нафтидно-гидротермального диоксида титана в ярегских рудах. Если структурно-вещественная информация о седиментационной стадии деградировала на Ярегском месторождении, но сохранилась в Пижемской россыпи, то представляется очевидной принципиальная возможность реконструировать по аналогии седиментационные обстановки и на Ярегском гиганте. В свою очередь, данные о содержании рудных компонентов в Пижемской

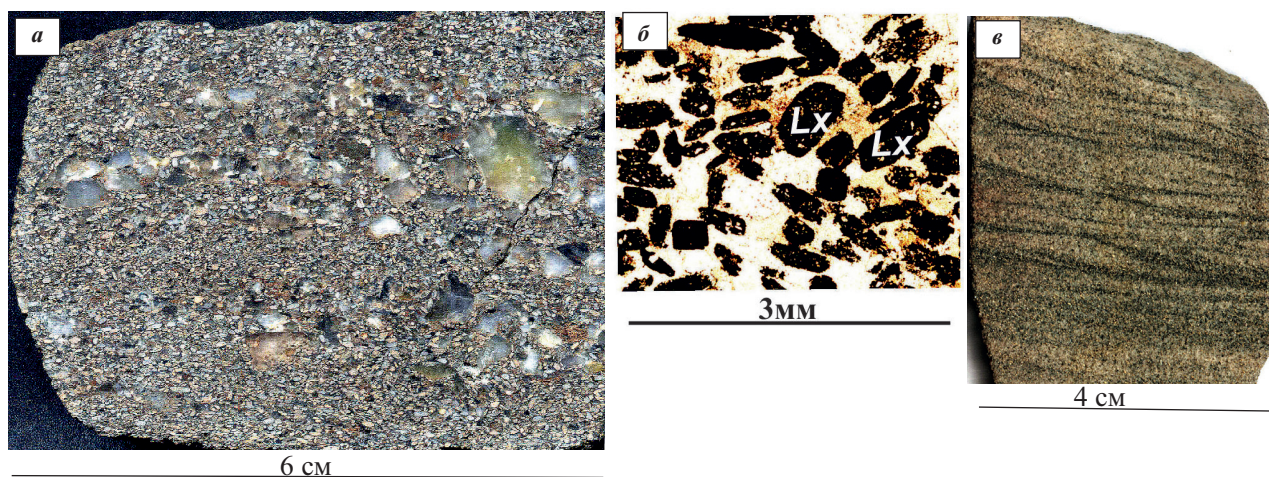


Рис. 2. Текстуры руд

а–б – неяснослоистая ярегская богатая лейкоксовая руда состава (%): SiO_2 – 32,65, Al_2O_3 – 4,64, TiO_2 – 31,78, Fe_2O_3 – 15,75, MnO – 0,30, MgO – 0,81, CaO – 0,81, Na_2O – 0,61, K_2O – 1,43, P_2O_5 – 0,20, потери при прокаливании – 11,0, сумма – 99,98; а – сканограмма образца, б – шлиф без анализатора, черное – лейкоксен; в – слоистость в пижемской ильменит-лейкоксовой руде состава (%): SiO_2 – 82,64, Al_2O_3 – 5,11, TiO_2 – 5,26, Fe_2O_3 – 1,00, FeO – 1,50, MgO – 0,46, CaO – 0,23, K_2O – 1,36, Na_2O – 0,5, потери при прокаливании – 1,95; сумма – 100,01. Сканограмма образца, темные слои обогащены ильменитом

залежи дают представление о степени концентрации титановых минералов при седиментации. Если допустить, что на седиментационной стадии концентрация TiO_2 в ярегских ильменитсодержащих осадках мало отличалась от пижемских (около 5 %) [3], а сейчас составляет более 9 % [2], то определение минимальной доли эпигенетического диоксида титана сводится к одному арифметическому действию: $9 - 5 = 4$ [7].

Ряд нестрогих допущений не позволяет без оговорок принять полученную величину, но она дает представление о значительном вкладе гидротермального TiO_2 (почти вдвое увеличивающего концентрацию полезного компонента), соизмеримом с седиментационным. Если оценочная доля нафтидно-водородного титана в ярегских рудах отражает интенсивность природного процесса, то по генетической классификации Ярегское месторождение целесообразно отнести к двустадийному седиментационно-нафтидно-эпигенетическому лейкоксеновому типу [7].

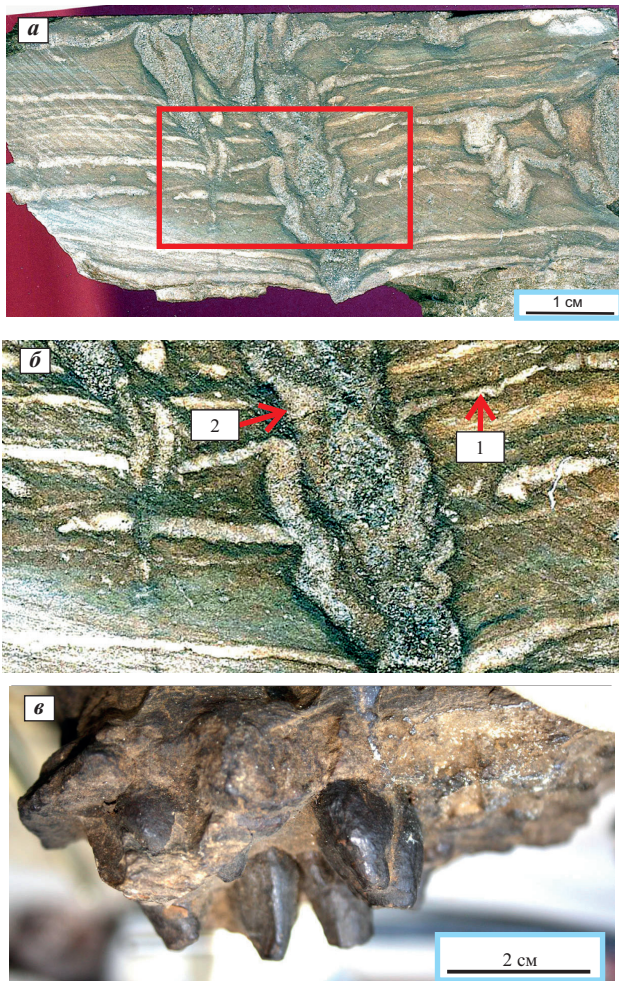


Рис. 3. Новообразованная (флюидотурбитная) текстура и ее детали

a – сканограмма пришлифованного образца; *б* – деталь сканограммы (стрелками показан циркон-лейкоксен-кварцевый след): 1 – послойно проникающего флюида, 2 – пронизывающего слоистость; *в* – фото того же образца с препарированными конусами

Применение сравнительного подхода при оценке интенсивности эпигенетических процессов в ярегском рудогенезе явилось поводом для использования его потенциала в целях уточнения синседиментационных обстановок россыпеобразования и определения возрастной и вещественной специфики геологических провинций, питавших столь непохожие друг на друга Ярегскую и Пижемскую россыпи. Современным инструментом исследования седиментационных бассейнов и осадочных обломочных пород являются изотопные методы. U-Pb изотопное датирование детритовых цирконов позволяет получать возрастные спектры, которые отражают процессы, протекающие на территориях, примыкающих к осадочным бассейнам, хранят информацию о возрасте пород в питающих провинциях, способствуют определению источника рудных компонентов и др. На сегодня опубликованы изотопные U-Pb характеристики цирконов из Пижемской россыпи [15], но отсутствуют по цирконам Ярегского месторождения. Цель данной работы – получение данных об U-Pb возрасте детритовых цирконов Ярегского нефтетитанового месторождения и их сопоставление с цирконами Пижемского месторождения для сравнительной информации об источниках обломочного материала, слагающего эти россыпи.

Методика исследований. Отбор цирконов осуществлен не по традиционной схеме, что вызвано следующими мотивами. В рудной толще Ярегского месторождения одна из разновидностей эпигенетических новообразований представлена субвертикальными лейкоксен-кварцевыми конусами, сопрягающимися с такими же по составу послойно ориентированными зонами (рис. 3), которые ассоциируются со следами метасоматирующего флюида, расщепляющегося на многочисленные вертикальные конические составляющие. Подобные конусы представляют собой лейкоксен-кварцевые аналоги текстур «конус в конусе», возникающие метасоматическим путем при фильтрации термального флюида [8]. Кроме кварца и лейкоксена в конусах в значительном количестве присутствуют зерна циркона. По комплексным данным спектрального анализа и лазерного пробоотбора в сочетании с ИСП-масс-спектрометрией (LA-ICP-MS), концентрация циркония в конусах (1300 г/т) почти в 4 раза выше, чем во вмещающих алевроделитах (около 350 г/т). Подобные циркониевые аномалии в осадочных толщах обычно считаются производными гравитационной дифференциации.

Вместе с тем из публикации [15] очевидно, что в Пижемской титановой палеороссыпи нет цирконов моложе 600 млн лет. В ряде изначально более древних цирконов (достоверные кластеры 1200, 1600 и 2000 млн лет) отмечается воздействие постседиментационных процессов, приведших к нарушению U-Pb изотопной системы. Наиболее молодые процессы перекристал-

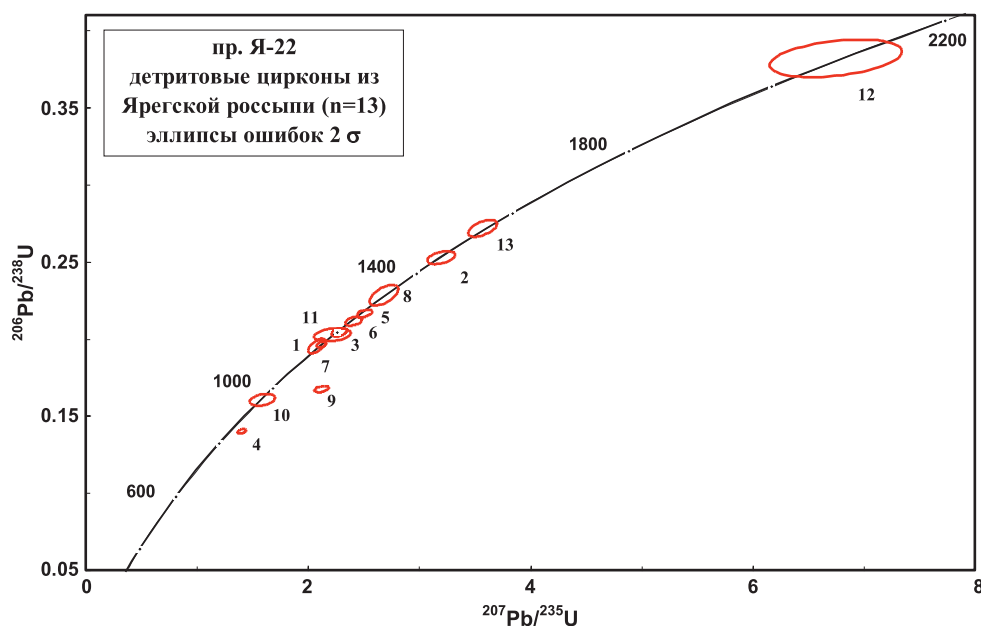


Рис. 4. Диаграмма с конкордией для детритовых цирконов из Ярегской россыпи

лизации имели место, по-видимому, в пермское время [15, табл. 1, в точке 33,1 в зерне циркона с нарушенным равновесием изотопной U-Pb-системы ($D = 319\%$) получено значение возраста 334 ± 8 млн лет]. Более детальные исследования в дальнейшем, возможно, позволят выявить в Пижемской или Ярегской палеороссыпях, помимо древних детритовых, еще и новообразованные гидротермально-метасоматические цирконы. Они могли возникнуть в результате интенсивных процессов наложенного эпигенеза. С целью попутного решения еще и этой альтернативы на Ярегском месторождении цирконы для изотопного U-Pb-датирования отобраны из лейкоксен-кварцевого конуса.

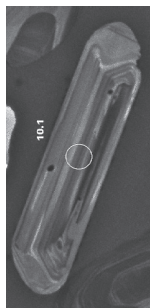
Цирконовый концентрат извлечен из вручную раздробленного конического тела. В Центре изотопных исследований (ЦИИ) ВСЕГЕИ выделены 80 зерен для катодолюминесцентного (КЛ) исследования, из которых были отобраны для анализа на вторично-ионном микрозонде SHRIMP II только идиоморфные призматические и длиннопризматические кристаллы – 13 штук, (см. таблицу и рис. 4). Все остальные цирконы – округлые, что указывает на их длительный перенос от источников. В режиме КЛ в них видны зональные центральные части с умеренным свечением и темно-серые однородные краевые оболочки со слабым свечением (рис. 5). Изотопные геохронологические исследования цирконов U-Pb методом проводились по регулярной методике, адаптированной для ЦИИ [25], как для Ярегской, так и для Пижемской [15] россыпей.

Обсуждение результатов. Диаграмма с конкордией для отобранных идиоморфных детритовых цирконов приведена на рис. 4. Все проанализированные цирконы имеют возраст древнее

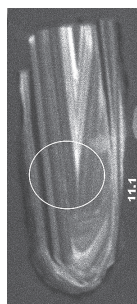
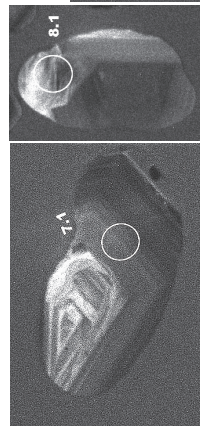
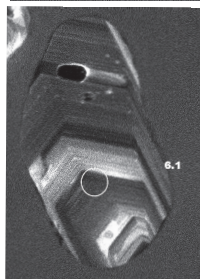
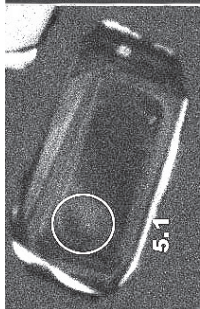
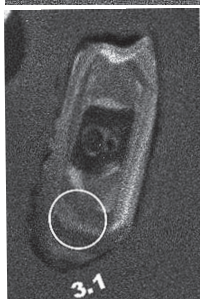
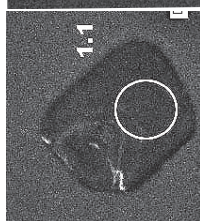
960 млн лет, что позволяет на этой стадии изучения отказаться от упомянутого выше предположения о синтезе собственно-эпигенетических цирконов в ярегской россыпи. Может показаться, что наличие в конусе не метасоматических, а кластогенных цирконов опровергает версию о метасоматическом генезисе самого конуса, но такое умозаключение не совсем корректно. Полвека назад сибирский геолог Г. Л. Поспелов, подчеркивая двойственный характер метасоматоза, показал, что «идеальный» метасоматоз проявляется в реальных динамических системах метасоматоза так же редко, как идеальные кристаллы среди реальных кристаллов <...> Как в реальных кристаллах, <...> «порядок» и «беспорядок» тесно связаны друг с другом <...>, так и в реальных метасоматитах содержатся следы неметасоматических процессов <...>. Процессы метасоматоза переходят в процессы интрасоматоза (*заполнения пустот* – В. К.) и далее – интросоматоза (*вторжения вещества* – В. К.)» [19, с. 43]. Это заключение Поспелова заслуживает пристального внимания.

При рассмотрении распределения выявленных возрастов зерен детритового циркона из ярегских титановых руд обособляются следующие возрастные группы: позднерифейская (каратавий) 1000–900 млн лет, среднерифейская (юрматиний) преобладающая, 1200 млн лет, раннерифейская (бурзаний) 1600–1500 млн лет и раннепротерозойская (поздний карелий). Возрастные кластеры (1200, около 1600 и около 2000 млн лет) весьма сходны с таковыми из Пижемской россыпи, причем наиболее древние зерна в разной степени перекристаллизованны. Нужно отметить, что наиболее полный сравнительный анализ источников детритового циркона возможен при получении изотопно-геохимиче-

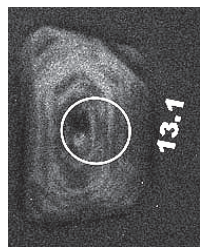
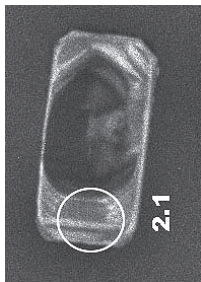
1. Позднерифейский, около 950 млн лет (8%), низкоурановый, $Th/U = 1,20$ (из мафических пород)



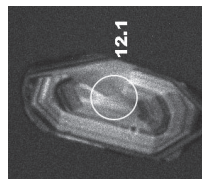
2. Среднерифейский, 1300–1150 млн лет (преобладающий, 55%) $Th/U = 0,41$ (из кислых пород)



3. Раннерифейский, 1600–1450 млн лет (15%), $Th/U = 0,39$ (из кислых пород)



4. Палеопротерозойский, 2100–2000 млн лет (7%), низкоурановый $Th/U = 0,33$



Сильно измененные, дискордантные (15%), возможно, палеопротерозойские, $Th/U = 0,53$

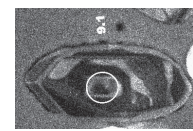
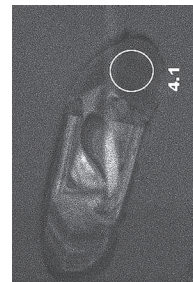


Рис. 5. Релевантные возрастные кластеры цирконов из Ярегской россыпи. Диаметр кратеров пробоотбора на КЛ изображениях — 30 мкм

Результаты U-Pb (SIMS SHRIMP-Пе) локальных изотопных анализов циркона (n = 13) из пробы Я-22 (Ярегская россыпь, Коми)

№ кратеров	²⁰⁶ Pb/c %	U г/г	Th г/г	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb* г/г	Возраст по ²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U		Возраст по ²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb*		²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb*	± %	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U	± %	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U	± %	КК
10,1	0,14	91	106	1,20	12,6	959	±9	984	±55	0,0719	2,7	1,590	2,9	0,1604	1,0	0,34
4,1	0,01	626	305	0,50	75,3	845	±4	1009	±22	0,0728	1,1	1,405	1,2	0,1400	0,4	0,38
7,1	0,06	327	147	0,46	54,9	1150	±11	1130	±24	0,0773	1,2	2,082	1,6	0,1953	1,0	0,64
1,1	0,01	663	177	0,28	112,0	1155	±4	1157	±16	0,0784	0,8	2,121	0,9	0,1962	0,4	0,43
11,1	0,01	201	71	0,37	35,0	1189	±9	1183	±59	0,0795	3,0	2,219	3,1	0,2026	0,9	0,28
3,1	0,01	271	73	0,28	47,5	1198	±6	1222	±23	0,0810	1,2	2,281	1,3	0,2042	0,6	0,42
6,1	0,01	254	94	0,38	46,2	1236	±6	1264	±23	0,0828	1,2	2,411	1,3	0,2113	0,6	0,42
5,1	0,02	381	282	0,76	70,8	1262	±5	1296	±19	0,0841	1,0	2,509	1,1	0,2163	0,5	0,43
8,1	0,06	140	42	0,31	27,4	1325	±15	1322	±32	0,0853	1,6	2,683	2,0	0,2282	1,2	0,61
2,1	0,05	174	67	0,40	37,7	1452	±9	1464	±27	0,0918	1,4	3,198	1,6	0,2526	0,7	0,44
9,1	0,45	565	304	0,56	81,6	997	±5	1468	±23	0,0920	1,2	2,122	1,3	0,1673	0,5	0,38
13,1	0,01	171	63	0,38	39,8	1549	±11	1535	±23	0,0953	1,2	3,571	1,5	0,2716	0,8	0,56
12,1	0,01	56	18	0,33	18,5	2085	±23	2073	±58	0,1282	3,3	6,750	3,6	0,3819	1,3	0,37

Примечание. Погрешности приведены на уровне 1σ. Pb_c и Pb* – свинец обыкновенный и радиогенный соответственно. Изотопные отношения и содержания ²⁰⁶Pb скорректированы по измеренному ²⁰⁴Pb. Возраст – в млн лет. Погрешность калибровки по стандарту Темога 0,37%. КК – коэффициент корреляции между ошибками определения изотопных отношений ²⁰⁶Pb/²³⁸U и ²⁰⁷Pb/²³⁵U. Номера кратеров пробоотбора соответствуют номерам на изображениях цирконов

ских и возрастных характеристик статистически достаточных монофракций – не менее 60, а лучше 100–120 зерен в образце. Тем не менее и имеющиеся данные могут быть полезны для генетических выводов.

У 92 % цирконовых зерен из Ярегской россыпи установлен рифейский возраст. Полученные данные полезны для уточнения возраста титансодержащей россыпи. По геологическим воззрениям она, перекрываясь с явным размывом фаунистически охарактеризованными позднедевонскими палеоосадками, датируется средним и ранним девонном [20], что, однако, не противоречит возможности ее намного более раннего литогенеза. Из-за отсутствия в рудоносных породах обеих россыпей органических остатков весьма дискуссионным является возраст и Пижемской россыпи, которую одни исследователи считают среднедевонским [23], другие – ордовикским [24], третьи среднекембрийско-ордовикским [13] и даже поздневендским [11].

Очевидно, что основным источником обломочного материала служили продукты эрозии рифейских породных комплексов. Выявленное зерно циркона позднекарельского возраста (около 2000 млн лет) указывает, как и в случае с Пижемским детритом, на существование в области сноса источника кластики, сложенного нижнепротерозойскими кристаллическими породами. Раннепротерозойские детритовые цирконы могли поступить в рифей-вендские осадки, а позже в допозднедевонские рудные россыпи

в результате неоднократного рециклинга. При этом, в Ярегской россыпи архейские цирконы пока не установлены.

При сравнении возрастных данных по детритовым цирконам из Пижемской и Ярегской россыпей (таблица и данные [15, рис. 3 и табл. 1]) видно, что первая характеризуется большим разнообразием источников сноса с показателями возраста 600 (главный), 1200 (второй по значимости), около 1600, около 2000 и 2700 млн лет. Во второй (Ярегской) – 900, 1200 (главный), 1600 и 2000 млн лет. Полное отсутствие фанерозойского детритового циркона указывает на то, что обе россыпи более древние, чем ранее считалось большинством исследователей и скорее всего имеют вендский возраст.

Перейдя к более детальной оценке источников возрастных кластеров, отметим, что в Пижемской россыпи главный кластер (600 млн лет), по нашему мнению, отражает один из важных рубежей в геологической истории региона – аккреционно-коллизивную стадию становления Тимано-Печоро-Уральского орогена, длившуюся с конца позднего рифея до венда включительно [1]. Процессы складчатости и внутриплитного орогенеза сопровождались магматизмом, признаки которого отмечены сравнительно недалеко (около 30 км) от Пижемского седиментационного бассейна в районе Четласской горст-антиклинали (рис. 1). По-видимому, этот обломочный материал не переносился на большие расстояния, на что указывает отсутствие вендских цирконов

в ярегском бассейне, всего лишь в 200 км от коренных выходов содержащих их пород.

Пижемские цирконы с рифейскими возрастными 1200 и 1600 млн лет соответствуют возрастному диапазону цирконовых зерен ярегской россыпи, за исключением отсутствующих в первой (Пижемской) позднерифейских (900 млн лет). Все это убедительно доказывает, что основу обломочного материала в той и другой россыпях составляют продукты эрозии близких по возрасту (и, вероятно, по составу) рифейских метаосадочных толщ.

Позднекарельский (2000–1600 млн лет) цирконовый детрит в пижемской и ярегской россыпях присутствует в очень незначительном количестве. Наличие в пижемской россыпи позднеархейских детритовых цирконов (2700 млн лет) и их полное отсутствие в ярегских рудах позволяет предположить, что пижемская область сноса характеризовалась более глубоким эрозионным срезом и (или) поступлением в этот осадочный бассейн небольшого количества обломочного материала с удаленных выходов на древнюю эрозионную поверхность архейских метаморфических комплексов. Но не исключено, что отсутствие архейских детритовых цирконов в ярегской выборке обусловлено недостаточным статистическим объемом проанализированных зерен циркона.

Заключение. 1. Установлено, что набор U-Pb возрастов детритовых цирконов в рудах Ярегской россыпи характеризуется резким преобладанием рифейских датировок, охватывающих все три эратемы в диапазоне 1600–900 млн лет и лишь для одного зерна получена палеопротерозойская оценка возраста (около 2000 млн лет). Даже с учетом ограниченного статистического объема исследованных зерен циркона полученные данные однозначно показывают, что основным источником обломочного материала служили продукты эрозии широко распространенных на преддевонской земной поверхности рифейских породных комплексов.

2. Результаты переоценки ранее опубликованных изотопных данных по детритовым цирконам Пижемского месторождения [15] и их сопоставления с цирконами Ярегской россыпи доказывают, что для обеих россыпей доминирующим источником обломочного материала служили продукты эрозии рифейских породных комплексов. Наличие в пижемских рудах незначительного количества цирконов позднеархейского возраста позволяет считать, что пижемская область сноса характеризовалась более глубоким эрозионным срезом земной коры и (или) поступлением небольшого количества обломочного материала с удаленных древних метаморфических комплексов.

3. Отсутствие в обеих россыпях вторичных (постседиментационных) цирконов, образование которых могло быть результатом предполагаемого воздействия на россыпи метасоматических процессов, может указывать на недостаточную для

их синтеза интенсивность этих процессов либо на слишком малый статистический объем проанализированных зерен циркона. Решение этой альтернативы требует дополнительных исследований.

4. Полученные геохронологические данные могут служить посылкой в пользу вендского возраста седиментогенной стадии формирования не только Пижемской [11], но также и Ярегской россыпи.

В целом полученные геохронологические данные поддерживают и дополняют новыми деталями версию об источниках рудоформирующего обломочного материала для титановых россыпей Южного и Среднего Тимана, предложенную более полувека назад В. А. Калюжным [5]. Важно подчеркнуть, что впервые полученные U-Pb датировки детритовых цирконов Ярегского нефтетитанового месторождения не опровергают гипотезу о его принадлежности к двустадийному седиментационно-нафтидно-эпигенетическому лейкоксеновому типу [7].

Благодарности. Авторы искренне признательны Г. А. Беленицкой, Т. Ю. Толмачевой, С. Д. Великославинскому за конструктивную критику рукописи и ценнейшие рекомендации, а также В. В. Шишлову за аналитические данные по цирконю, полученные с использованием метода лазерной абляции.

1. Андреев В. Л. Эволюция фундамента Печорской плиты по изотопно-геохронологическим данным / Автореферат докторской диссертации. – Екатеринбург, 2010.

2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000. Третье поколение. Серия Мезенская, лист Р-39 – Сыктывкар. Объяснительная записка / Н. М. Пармузин, К. Э. Якобсон, А. Ю. Вовшина, О. А. Воинова и др. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. – 384 с.

3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000. Третье поколение. Серия Мезенская, лист Q-39 – Нарьян-Мар. Объяснительная записка / Н. М. Пармузин, К. Н. Мазуркевич, Л. Р. Семенова, О. Л. Коссовая и др. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. – 517 с.

4. Игнатъев В. Д., Бурцев И. Н. Лейкоксен Тимана. Минералогия и проблемы технологии. – СПб.: Наука. – 1997. – 215 с.

5. Калюжный В. А. Геология новых россыпеобразующих метаморфических формаций. – М.: Наука, – 1982. – 264 с.

6. Колокольцев В. Г. Новое о титаносности Ярегского рудного узла (Южный Тиман) // Региональная геология и металлогения. – 2016. – № 67. – С. 107–117.

7. Колокольцев В. Г. Ярегский титановый феномен // Природа. – 2019. – № 7. – С. 27–39.

8. Колокольцев В. Г. Загадочная текстура конус-в-конусе // Природа. – 2015. – № 11 – С. 27–36.

9. Колокольцев В. Г., Ларичев А. И., Скачек К. Г. Метасоматическая трансформация седиментогенных текстур в нефтяных коллекторах Западной Сибири // IX Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». – М.: РГГУ, 2009. – 345 с.

10. Колокольцев В. Г., Ларичев А. И., Мордвинцев М. В. Экстраординарные метасоматические преобразования осадочных пород в чехле Западно-Сибирской плиты // VIII совещание по геологии россыпей: материалы 8 Уральского литологического совещания. – Екатеринбург: ИГ УрО РАН, 2010. – С. 138–139.
11. Колокольцев В. Г., Лисицына М. А., Бунакова Н. Ю. Полигенетичность титаноносной формации Тимана // VIII совещание по геологии россыпей: тезисы докладов. – Киев, 1987. – С. 260–262.
12. Кочетков О. С. Акцессорные минералы в древних толщах Тимана и Канина. – Л.: Наука, 1967. – 121 с.
13. Кочетков О. С. Геология древнейших россыпей Тимана // Россыпи складчатых (орогенных) областей. Ч.1. – Бишкек, 1991. – С. 51–54.
14. Лебедев Б. А. Геохимия эпигенетических процессов в осадочных бассейнах. – Л.: Недра, 1992. – 239 с.
15. Makeev A. B., Krasotkina A. O., Skublov S. G. Геохимия и U-Pb-возраст циркона Пижемского титанового месторождения (Средний Тиман) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. – № 5. – 2016. – С. 38–52.
16. Махлаев Л. В. О природе лейкоксона в Ярегском нефтетитановом месторождении (в связи с оценкой перспектив других титановых палеороссыпей Притиманья) // Литосфера. – 2008. – № 5. – С. 117–121.
17. Надеждина Е. Д., Каленик В. Н., Сидорова И. С. Литогенетические типы и фации титаноносных отложений Среднего Тимана // Рудноносность осадочных пород. – М.: Наука, 1973. – С. 155–167.
18. Надеждина Е. Д. Литогенетические типы и фации титаноносных отложений Среднего Тимана. Рудноносность осадочных пород // Металлогения осадочных и осадочно-метаморфических пород. – М.: Наука, 1970 – С. 223–233
19. Пospelov G. L. Парадоксы, геолого-физическая сущность и механизмы метасоматоза. – Новосибирск: Наука, 1973. – 355 с.
20. Плякин А. М., Ершова О. В. О возрасте девонских полиминеральных россыпей Тимана // Известия Коми научного центра УРО РАН. – 2010. – № 1. – С. 60–63.
21. Прищепа О. М., Новые представления о тектоническом и нефтегазогеологическом районировании Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции / О. М. Прищепа, В. И. Богацкий, В. Н. Макаревич, О. В. Чумакова, Н. И. Никонов, А. В. Куранов, М. М. Богданов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2011. – Т. 6, № 40. – 34 с.
22. Сушон А. Р. Условия формирования титановых россыпей в среднедевонских отложениях Тимана. // Известия вузов. Геология и разведка – 1962. – № 6. – С. 87–99.
23. Тихомиров С. В. Девон Среднего Тимана // Известия АН СССР, 1948. – № 2. – С. 47–56.
24. Цаплин А. Е. Строение титаноносной малоручейской свиты Среднего Тимана / А. Е. Цаплин, В. В. Тополюк, Л. П. Бакулина, Е. Г. Довжикова // Известия вузов. Геология и разведка – 1988. – № 9. – С. 57–62.
25. Schuth S., Gornoy V. I., Berndt J., Shevchenko S. S., Sergeev S. A., Karpuzov A. F., Mansfeldt T. Early Proterozoic U-Pb Zircon Ages from Basement Gneiss at the Solovetsky Archipelago, White Sea, Russia / International Journal of Geosciences. – 2012. – Vol. 3. – No. 2. – Pp. 289–296.
- Mezenskaya, list R-39 – Syktyvkar. Ob'yasnitel'naya zapiska. [Geological map of the map of the Russian Federation. Scale 1 : 1 000 000. Mezenskaya series, sheet R-39 – Syktyvkar. Explanatory note]. Eds.: N. M. Parmuzin, K. E. Yakobson, A. Yu. Vovshina, O. A. Voinova et al. St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2016, 384 p.
3. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1 : 1 000 000. Tret'e pokolenie. Seriya Mezenskaya, list Q-39 – Nar'yan-Mar. Ob'yasnitel'naya zapiska [Geological map of the map of the Russian Federation. Scale 1 : 1 000 000. Mezenskaya series, sheet Q-39 – Nar'yan-Mar. Explanatory note]. Eds.: N. M. Parmuzin, K. N. Mazurkevich, L. R. Semenova, O. L. Kossovaya et al. St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2015, 517 p.
4. Ignat'ev V. D., Burtsev I. N. Leykoksen Timana. Mineralogiya i problemy tekhnologii. St. Petersburg, Nauka, 1997, 215 p.
5. Kalyuzhnyy V. A. Geologiya novykh rossypeobrazuyushchikh metamorficheskikh formatsiy. Moscow, Nauka, 1982, 264 p.
6. Kolokol'tsev V. G. Novoe o titanonosnosti Yaregskogo rudnogo uzla (Yuzhnyy Timan). *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 2016, no. 67, pp. 107–117.
7. Kolokol'tsev V. G. Yaregskiy titanovyy fenomen. *Priroda*, 2019, no. 7, pp. 27–39.
8. Kolokol'tsev V. G. Zagadochnaya tekstura konus-vkonuse. *Priroda*, 2015, no. 11, pp. 27–36.
9. Kolokol'tsev V. G., Larichev A. I., Skachek K. G. Metasomaticheskaya transformatsiya sedimentirovannykh tekstur v neftyanikh kollektorakh Zapadnoy Sibiri. IX Mezhdunarodnaya konferentsiya «Novye idei v naukach o Zemle». Moscow, RGGRU, 2009. 345 p.
10. Kolokol'tsev V. G., Larichev A. I., Mordvintsev M. V. Ekstraordinarnye metasomaticheskie preobrazovaniya osadochnykh porod v chekhle Zapadno-Sibirskoy plity. Aktual'nye voprosy litologii: materialy 8 Ural'skogo litologicheskogo soveshchaniya. Ekaterinburg, IGG Uro RAN, 2010, pp. 138–139.
11. Kolokol'tsev V. G., Lisitsyna M. A., Bunakova N. Yu. Poligenetichnost' titanonosnoy formatsii Timana. *VIII soveshchanie po geologii rossypey: tezisy dokladov*. Kiev, 1987, pp. 260–262.
12. Kochetkov O. S. Aktseornnye mineraly v drevnikh tolshchakh Timana i Kanina. Leningrad, Nauka, 1967, 121 p.
13. Kochetkov O. S. Geologiya drevneyshikh rossypey Timana. Rosyipi skladchatykh (orogennykh) oblastey. Pt. 1. Bishkek, 1991, pp. 51–54.
14. Lebedev B. A. Geokhimiya epigeneticheskikh protsessov v osadochnykh basseynakh. Leningrad, Nedra, 1992, 239 p.
15. Makeev A. B., Krasotkina A. O., Skublov S. G. Geokhimiya i U-Pb-vozrast tsirkona Pizhemsckogo titanovogo mestorozhdeniya (Sredniy Timan). *Vestnik IG Komi NTs UrO RAN*, no. 5, 2016, pp. 38–52.
16. Makhlaev L. V. O prirode leykoksen v Yaregskom nefetitivanom mestorozhdenii (v svyazi s otsenkoy perspektiv drugikh titanovykh paleorossypey Pritiman'ya). *Litosfera*, 2008, no. 5, pp.117–121.
17. Nadezhkina E. D., Kalenik V. N., Sidorova I. S. Lito-geneticheskie tipy i fatsii titanonosnykh otlozheniy Srednego Timana. *Rudonosnost' osadochnykh porod*. Moscow, Nauka, 1973, pp. 155–167.
18. Nadezhkina E. D. Nekotorye fatsial'nye osobennosti formirovaniya drevnikh titanovykh rossypey Timana. *Metallogeniya osadochnykh i osadochno-metamorficheskikh porod*. Moscow, Nauka, 1970, pp. 223–233.
19. Pospelov G. L. Paradoksy, geologo-fizicheskaya sushchnost' i mekhanizmy metasomatoza. Novosibirsk, Nauka, 1973, 355 p.
20. Plyakin A. M., Ershova O. V. O vozraste devonskikh polimineral'nykh rossypey Timana. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra URORAN*, 2010, no. 1, pp. 60–63.
21. Prishchepa O. M., Bogatskiy V. I., Makarevich V. N., Chumakova O. V., Nikonov N. I., Kuranov A. V., Bogda-

nov M. M. Novye predstavliiia o tektonicheskom i neftegazogeologicheskom rayonirovanii Timano-Pechorskoy neftegazonosnoy provintsii. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 2011, vol. 6, no. 40, 34 p.

22. Sushon A. R. Usloviya formirovaniya titanovykh rosspyey v srednedevonskikh otlozheniyakh Timana. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*, 1962, no. 6, pp. 87–99.

23. Tikhomirov S. V. Devon Srednego Timana. *Izvestiya AN SSSR*, 1948, no. 2, pp. 47–56.

24. Tsaplin A. E., Topolyuk V. V., Bakulina L. P., Dovzhikova E. G. Stroenie titanonosnoy malorucheyskoy svity Srednego Timana. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*, 1988, no. 9, pp. 57–62.

25. Schuth S., Gornyy V. I., Berndt J., Shevchenko S. S., Sergeev S. A., Karpuzov A. F., Mansfeldt T. Early Proterozoic U-Pb Zircon Ages from Basement Gneiss at the Solovetsky Archipelago, White Sea, Russia. *International Journal of Geosciences*, 2012, vol. 3, no. 2, pp. 289–296.

Колокольцев Вячеслав Григорьевич – канд. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ¹.
<kolokoltsev@rambler.ru>

Сергеев Сергей Андреевич – канд. геол.-минерал. наук, директор, ЦИИ, ВСЕГЕИ¹. <sergey_sergeev@vsegei.ru>

Kolokoltsev Vyacheslav Grigor'evich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, VSEGEI¹.
<kolokoltsev@rambler.ru>

Sergeev Sergey Andreevich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Director, CIR, VSEGEI¹.
<sergey_sergeev@vsegei.ru>

¹Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, Россия, 199106.

A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny Prospect, St. Petersburg, Russia, 199106.