

УДК 553.72

И. В. Чикирёв, Ю. Л. Войтеховский

Россыпная Ti-Zr минерализация в неопротерозойских (верхнерифейских) породах кильдинской серии и современных пляжевых отложениях п-ов Средний и Рыбачий, Кольский регион

Рассмотрены условия накопления россыпной Ti-Zr минерализации в неопротерозойских терригенных породах землехаптинской свиты кильдинской серии и современных пляжевых терригенных отложениях п-ова Средний и мыса Мотка п-ова Рыбачий (Кольский регион). Установлено, что для пород землехаптинской свиты характерна фациальная изменчивость – распространение мелководных литоральных фаций в западной и центральной частях п-ова Средний и более глубоководных сублиторальных фаций в восточной части п-ова Средний и на мысе Мотка п-ова Рыбачий. Линзы и пласты с россыпной Ti-Zr минерализацией приурочены исключительно к литоральным фациям. Изучение минерального состава показало, что носителями россыпной Ti-Zr минерализации в алевропсаммитах землехаптинской свиты являются: лейкоксен, рутил и циркон, в современных пляжевых отложениях среди минералов Ti ведущая роль принадлежит ильмениту и рутилу, а среди минералов Zr – циркону, который встречается в незначительных количествах. Анализ палеогеографической обстановки свидетельствует, что почти все неопротерозойские (верхнерифейские) породы кильдинской серии накапливались в мелководных (литоральные и сублиторальные фации) условиях при господстве гумидного климата и интенсивном выветривании в областях сноса. Следовательно, несмотря на то, что россыпные концентрации обнаружены лишь на землехаптинском уровне, весь разрез кильдинской серии следует считать перспективным на обнаружение россыпей. Незначительная концентрация тяжелых минералов (в том числе минералов Ti и Zr) в современных пляжевых отложениях п-ова Средний и мыса Мотка п-ова Рыбачий связана со слабостью выветривания в четвертичное время в пределах Балтийского щита и скоплением в литоральной зоне большого количества грубообломочного материала, препятствующего дифференциации среднеобломочного материала (песков) волновым воздействием.

Ключевые слова: рифей, верхний протерозой, неопротерозой, Ti-Zr россыпи, п-ов Средний, п-ов Рыбачий, Кольский регион.

Введение

Объектом исследований были осадочные терригенные породы землехаптинской свиты кильдинской серии неопротерозоя (верхнего рифея) и современные пляжевые терригенные отложения на п-ове Средний и мысе Мотка п-ова Рыбачий (рис. 1).

В ходе работ производственных организаций и Геологического института КНЦ РАН в 1960–1980-х гг. на п-ове Средний среди неопротерозойских (верхнерифейских) пород землехаптинской свиты кильдинской серии выявлено несколько линз и прослоев с россыпной Ti-Zr минерализацией [1; 2]. Среднее содержание Ti в псаммитах землехаптинской свиты составило от 0,61 до 41,67 %, Zr – до 3 %.

В XXI в. в связи с бурным ростом атомной и ядерной энергетики, ракетостроения, авиации, лазерной техники, т. е. отраслей, использующих россыпеобразующие металлы, резко возросло значение россыпей. К концу XX в. россыпи оказались основным источником получения Ti и Zr. За счет разработки россыпных месторождений в мире производилось Zr 95 %, Ti – 70 % [3].

Цель проведенного исследования заключалась в оценке не только перспектив ранее установленной россыпной Ti-Zr минерализации в неопротерозойских породах кильдинской серии, но и рудного потенциала рутил-ильменит-цирконовой минерализации в современных отложениях литоральной зоны п-ова Средний и мыса Мотка п-ова Рыбачий.

Решались следующие задачи: установление литологического контроля распространения россыпей в неопротерозойских и современных пляжевых отложениях п-ова Средний и мыса Мотка п-ова Рыбачий; изучение минералогического состава россыпной Ti-Zr минерализации в неопротерозойских (верхнерифейских) и современных литоральных отложениях; установление источников формирования рутил-ильменит-цирконовой россыпной минерализации в древних и современных пляжевых (литоральных) отложениях; оценка перспективы поисков россыпной Ti-Zr минерализации в неопротерозойских и современных литоральных отложениях.

Краткая характеристика геологического строения

В районе выделяются две структурно-формационные зоны, отвечающие различным геодинамическим бассейнам в неопротерозойское время. Отложения кильдинской структурно-формационной зоны, включающей территорию п-ова Средний, мыса Мотка (п-ов Рыбачий) и о. Кильдин, формировались в условиях перикратонного опускания (погруженная северо-западная часть Восточно-Европейской древней платформы). Породы рыбачинской структурно-формационной зоны, слагающие большую часть п-ова Рыбачий, накапливались в условиях пассивной

континентальной окраины. В результате проявления байкальских движений в конце неопротерозоя (в венде), осадочные образования п-ова Рыбачий были деформированы и надвинуты на отложения п-ова Средний.

В пределах кильдинской структурно-формационной зоны снизу вверх по разрезу залегают отложения кильдинской и волоковой серий. В кильдинской серии снизу вверх выделяются прярярвинская, палвинская, поропелонская, землепахтинская и каруярвинская свиты, в волоковой серии – куяканская и пуманская свиты (рис. 1). В обеих сериях преобладают крупно- и среднезернистые аркозовые псаммиты, подчиненную роль играют кварцевые и полимиктовые псефиты, кварцевые и олигомиктовые песчаники, алевролиты и аргиллиты. На двух стратиграфических уровнях – палвинском и каруярвинском (и аналогах на о. Кильдин) – встречаются доломиты и строматолитовые доломиты.

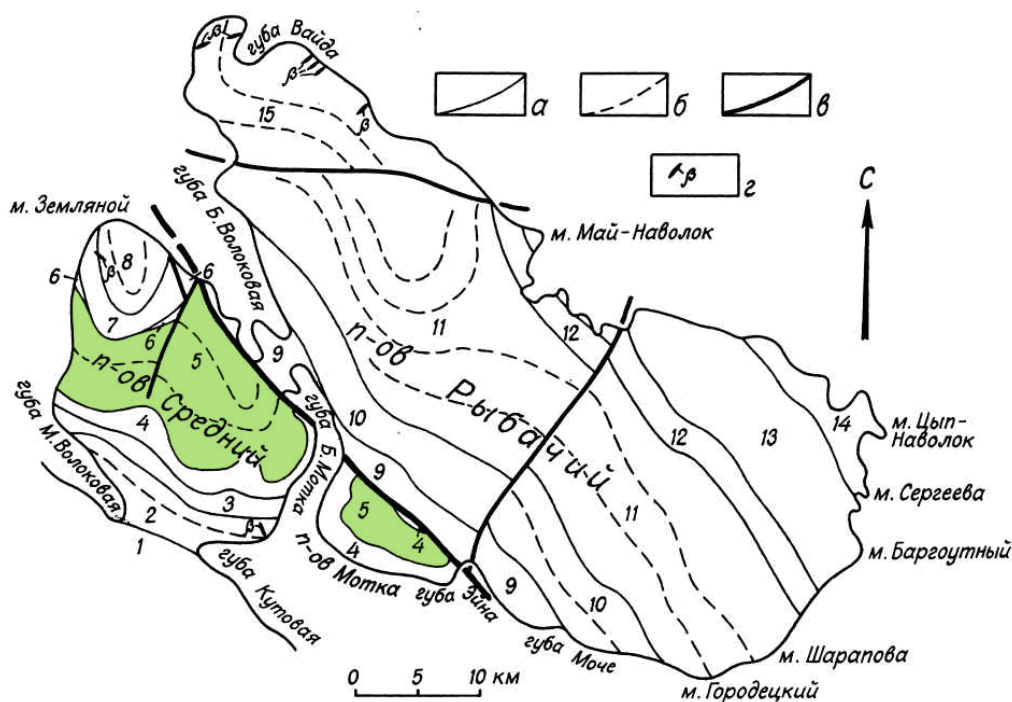


Рис. 1. Геологическая схема п-ов Рыбачий и Средний:

1 – нижнедокембрийские породы фундамента; стратиграфические подразделения кильдинской серии верхнего рифея: 2 – прярярвинская свита; 3 – палвинская свита; 4 – поропелонская свита; 5 – землепахтинская свита; 6 – каруярвинская свита; стратиграфические подразделения волоковой серии верхнего рифея-венда (?): 7 – куяканская свита; 8 – пуманская свита; стратиграфические подразделения эйновской серии среднего рифея (?): 9 – мотовская свита; 10 – лонская свита; 11 – перевальная свита; стратиграфические подразделения баргоутной серии верхнего рифея (?): 12 – майская свита; 13 – зубовская свита; 14 – цыпнаволоцкая свита; 15 – скарбеевская свита. Выходы на поверхность землепахтинской свиты обозначены зеленым цветом: границы между свитами (а); границы слоев в пределах свит (б); разломы (в); дайки основных пород (г)

Fig. 1. Geological sketch map of the Rybachy and Sredny Peninsulas:

1 – Low Precambrian basement; Upper Riphean sedimentary sequence of Kildinskaya Group: 2 – Pjarjarjarskaya Formation; 3 – Palvinskaya Formation; 4 – Poropelonskaya Formation; 5 – Zemlepakhtynskaya Formation; 6 – Karujarjarskaya Formation; Upper Riphean – Vendian (?) sedimentary sequence of Kildinskaya Group: 7 – Kuyakanskaya Formation; 8 – Pumanskaya Formation; Middle Riphean (?) sedimentary sequence of Einovskaya Group: 9 – Motovskaya Formation; 10 – Lonskaya Formation; 11 – Perevalnaja Formation; Upper Riphean (?) sedimentary sequence of Bargoutnaya Group: 12 – Mayskaya Formation; 13 – Zubovskaya Formation; 14 – Tsyppnavolokskaya Formation; 15 – Skarbeeveskaya Formation. Outcrops of Zemlepakhtinskaya Formation are green: Formation boundary (a); Layer boundary within formations (b); faults (в); dikes of basic rocks (г)

Присутствие в песчаниках кильдинской и волоковой серий кварцевого регенерационного цемента свидетельствует о том, что степень их постседиментационного преобразования не превышает стадии глубинного (позднего) катагенеза. Структурные (хорошая сортировка алевропсаммитовых фракций) и текстурные (знаки ряби на поверхностях напластования, различные виды косой слоистости и др.) признаки пород кильдинской и волоковой серий позволяют говорить о мелководном характере накопления.

Породы кильдинской серии имеют позднерифейский возраст, который подтверждается К-Аг датировками по глаукониту [4], комплексу микрофоссилий [5; 6] и строматолитам [7–9]. Возраст

пород волоковой серии менее определен. По комплексу микрофоссилий он считается позднерифейским [5]. По аналогии с разрезами неопротерозоя смежных районов ряд исследователей предполагают ее возможный вендский возраст [10; 11].

В *рыбачинской структурно-формационной зоне* снизу вверх по разрезу залегают отложения эйновской и баргоутной серий. В эйновской серии снизу вверх выделяются мотовская, лонская и перевальная свиты, в баргоутной серии – майская, зубовская, цыпнаволоцкая и скарбеевская свиты (рис. 1). Обе серии характеризуются флишоидным типом строения и представлены ритмичным переслаиванием полимиктовых псефитов и гравелитов, граувакковых псаммитов, алевролитов и сланцев.

Локальное присутствие в обеих сериях метаморфических минералов (серицита, хлорита, эпидота) свидетельствует о том, что степень их постседиментационного преобразования не превышает стадии метагенеза.

Структурные (несортированность и неокатанность алевропсаммитовых фракций) и текстурные (ритмичность, градационная слоистость) признаки пород эйновской и баргоутной серий свидетельствуют о формировании в условиях лавинной седиментации при разгрузке турбидитных потоков в зоне континентального подножия с формированием конусов выноса.

Возраст эйновской и баргоутной серий точно не определен. По комплексу микрофоссилий и на основе корреляции с неопротерозойскими породами п-ова Варангер (Северная Норвегия) отложения эйновской серии условно относят к среднему рифею, породы баргоутной серии – к верхнему рифею [12].

Материалы и методы

При картировании линз и отборе протоочных проб с Ti-Zr минерализацией широко использовалась радиометрия, поскольку визуально оруденение обнаружить практически невозможно. В рудных линзах и пластах значение радиоактивности варьирует от 60 до 160 мкР/ч, в то время как общий фон радиоактивности в псаммитах и алевропсаммитах землепахтинской свиты составляет 10–20 мкР/ч. Повышенную радиоактивность рудных линз и пластов, по-видимому, следует связывать с цирконом, в котором U и Th находятся в виде изоморфных примесей. Протоочные пробы весом 5–7 кг отбирались для минералогического, химического и спектрального анализа. Кроме того, проведено шлиховое опробование зоны отлива губы Малая Волоковая, губы Кутловая и Мотовского залива. Шлиховые пробы весом 2–3 кг отбирались для минералогического анализа. В основном исследованы песчано-гравийные отложения, которые наиболее перспективны с точки зрения обнаружения россыпных минералов.

Минералогический анализ выполнен в Геологическом институте КНЦ РАН. В лабораторных условиях из проб выделялся класс крупности <4 мм. Затем проводилось разделение на различные гранулометрические классы (4–2, 2–1, 1–0,5 и 0,5–0,25 мм). Крупная фракция перед минералогическим анализом более мелких классов просматривалась под бинокляром, так как в ней могли оказаться крупные зерна или сростки минералов, которые необходимо учесть при анализе. Классы крупности <4 мм разделялись в тяжелых жидкостях.

Для выделения тяжелой фракции использовался бромформ (плотность 2,9 г/см³), в некоторых случаях дополнительно использовалась жидкость Клеричи (плотность 4,27 г/см³). Навески минералов тяжелой фракции разных классов крупности взвешивались, из них выделялась магнитная фракция. Оставшаяся часть разделялась на сильно- и слабоэлектромагнитные фракции, которые изучались под бинокляром и микроскопом. При этом определялись форма, размер, цвет, отражательная способность, анизотропия и оптические константы минералов. Выход тяжелой фракции из шлиховых проб в среднем составил не более 5 %, из протоочных проб псаммитов и алевропсаммитов землепахтинской свиты – около 30 %.

Результаты и обсуждение

Литологический контроль Ti-Zr оруденения

Ti-Zr россыпи встречаются исключительно среди отложений землепахтинской свиты. На других уровнях разреза кильдинской серии линзы с россыпной минерализацией не выявлены. Общая мощность пород землепахтинской свиты не превышает 600 м. Наиболее широко они распространены в центральной части п-ова Средний, где протяженность выхода составляет около 20 км при ширине 5–10 км. В пределах мыса Мотка п-ова Рыбачий полоса выхода пород землепахтинской свиты достигает 10 км, при максимальной ширине около 4 км. Отложения свиты залегают субгоризонтально с небольшим (5–10°) падением на северо-восток (рис. 1).

Породы землепахтинской свиты характеризуются довольно выдержанным литологическим составом. В разрезе преобладают желтовато-серые с мелкими лимонитовыми конкрециями (2–3 мм) среднезернистые хорошо сортированные аркозовые песчаники и алевропесчаники преимущественно с поровым цементом хлорит-серицитового состава. В восточной части п-ова Средний и на мысе Мотка п-ова Рыбачий в разрезе пород землепахтинской свиты присутствуют прослои алевролитов и пелитов.

В отложениях землепахтинской свиты отмечаются разнообразные текстуры наложения. В разрезах западной и центральной части п-ова Средний (западный тип разреза) широко распространены перекрестные

косоволнистые серии, формировавшиеся в зоне мелководья, в то время как в восточной части п-ова Средний и на мысе Мотка п-ова Рыбачий (восточный тип разреза) в разрезе преобладают различные типы слоистости (горизонтальная, волнистая и однонаправленная косая потокового типа), образование которых происходило в более глубоководных обстановках.

Таким образом, для пород землепахтинской свиты характерна фациальная изменчивость, обусловленная различными условиями накопления отложений западного и восточного типов разреза. Формирование отложений западного типа разреза осуществлялось в основном в литоральной (пляжевой) зоне, а пород восточного разреза – в более глубоководной сублиторальной (шельфовой) зоне.

Линзы и пласты с Ti-Zr минерализацией встречаются исключительно в пределах западного типа разреза пород землепахтинской свиты, поскольку здесь в зоне пляжа (литорали) в неопротерозойское (землепахтинское) время за счет волнового воздействия осуществлялась наиболее интенсивная дифференциация и переработка обломочного материала. О значительной концентрации минералов Ti и Zr именно в зоне литорали указывал Н. А. Шило [3].

Рудные тела встречаются на всех уровнях западного типа разреза и имеют, как правило, линзовидную или пластообразную форму. Они вытянуты по простиранию до 500 м при изменении мощности от 0,1 до 0,7 м. Тела с Ti-Zr минерализацией достаточно трудно прослеживаются на местности, поскольку их выходы часто задернованы либо перекрыты глыбами развалами.

Продуктивная толща состоит из расположенных кулисообразно линзовидных пластов, разделенных безрудными интервалами мощностью от 2 до 3 м. Вмещающими породами для Ti-Zr минерализации служат желтовато-серые тонкослоистые мелкозернистые аркозовые песчаники и алевропесчаники. Слоистость обусловлена тонким чередованием рудных и безрудных слоев мощностью от 0,5 до 5,0 мм (рис. 2).



Рис. 2. Тонкослоистые алевропсаммиты землепахтинской свиты с Ti-Zr минерализацией
Fig. 2. Thin layered aleurite-psammite of Zemlepakhtinskaya Formation with Ti-Zr mineralization

Ti-Zr минерализация обусловлена концентрациями в псаммитах и алевропсаммитах естественного "тяжелого шлиха", впоследствии подвергнувшегося позднекатагенетическим изменениям. Главными рудными составляющими "тяжелого шлиха" являются лейкоксен и циркон, в незначительных количествах присутствует рутил.

Минеральный состав древних и современных россыпей

Выход тяжелой фракции из линз и пластов с Ti-Zr минерализацией составил от 18 до 68 %, при средних значениях – около 30 %. Минералогическое исследование протолочных проб показало, что главными рудными составляющими "тяжелого шлиха" являются лейкоксен и циркон, в незначительных количествах присутствует рутил.

Содержание лейкоксена в тяжелой фракции варьирует от 65,1 до 95,5 %, при среднем содержании около 85 %. По данным рентгенофазового анализа, лейкоксен по составу является агрегатом тонкодисперсных анатаза и рутила. Он образуется в результате поверхностных изменений титановых минералов, и чаще

всего ильменита. В рудных линзах землепахтинской свиты он представлен в виде землистых плотных масс грязно-белого цвета, образующих пленки вокруг зерен титановых минералов. Зерна лейкоксена имеют среднюю степень окатанности, размер их меняется от 0,1 до 0,2 мм, при преобладающих значениях 0,13 мм (рис. 3).



Рис. 3. Зерна лейкоксена из алевропсаммитов с Ti-Zr минерализацией
Fig. 3. Leucosene grains from aleurite-psammite with Ti-Zr mineralization

Кроме лейкоксена, носителем титановой минерализации является *рутил*. Он содержится в незначительных количествах (0,5–0,7 %) в виде черных и темно-красных удлиненно-призматических и овально-округлых зерен с сильным металлическим блеском. Размер их варьирует от 0,1 до 0,25 мм, при преобладающем размере около 0,11 мм (рис. 4).



Рис. 4. Зерна рутила из алевропсаммитов с Ti-Zr минерализацией
Fig. 4. Rutile grains from aleurite-psammite with Ti-Zr mineralization

Содержание *циркона* в "тяжелом шлихе" меняется от 3,1 до 23,1 %, при среднем значении около 5–7 %. Размер зерен варьирует от 0,1 до 0,25 мм, при преобладающем размере 0,12 мм. Зерна циркона характеризуются большим разнообразием по окраске и морфологии. Встречаются прозрачные и желтоватые зерна различной формы – от хорошо окатанных до призматических. По степени окатанности среди кристаллов циркона выделяется пять разновидностей: совершенно окатанные, хорошо окатанные, средне окатанные, слабо окатанные и угловатые. По морфологии зерна циркона подразделяются на три вида: зональные,

незональные и с включениями. Среди зональных выделяются полнозональные и неполнозональные, тонкозональные и грубозональные (рис. 5).



Рис. 5. Зерна циркона из алевропсаммитов с Ti-Zr минерализацией
Fig. 5. Zircon grains from aleurite-psammite with Ti-Zr mineralization

Большое разнообразие кристаллов циркона по морфологии и окраске свидетельствует о том, что их поставка в бассейн седиментации в неопротерозойское (землепахтинское) время осуществлялась из различных источников сноса.

По-видимому, первоначальный состав Ti-Zr минерализации был ильменит-цирконовый, но в процессе лейкоксенизации происходило изменение ильменита, сопровождающееся образованием мелкоагрегатной рутил-анатазовой смеси с гидратированным железом.

Следует отметить, что в целом для всех терригенных пород землепахтинской свиты отмечаются повышенные содержания лейкоксена (от 32,5 до 53,9 %) и циркона (от 18 до 27,5 %) в тяжелой фракции, однако доля самой тяжелой фракции не превышает 0,5 %.

Как показали проведенные исследования, выход тяжелой фракции из шлиховых проб современных отложений литоральной зоны п-ова Средний и мыса Мотка п-ова Рыбачий составил от 2 до 15 %, и в среднем обычно не превышает 5 %. Среди титановых минералов диагностированы ильменит и рутил. Содержание ильменита составляет от 0,4 до 4,7 %, рутила – от 0,1 до 1,7 %.

Ильменит представлен округлыми зернами неправильной формы, в которых иногда просматриваются ромбоэдрические кристаллы. Цвет ильменита черный, кристаллы с металлическим или полуметаллическим блеском. Размер зерен меняется от 0,1 до 0,3 мм, при преобладающем размере 0,15 мм (рис. 6).

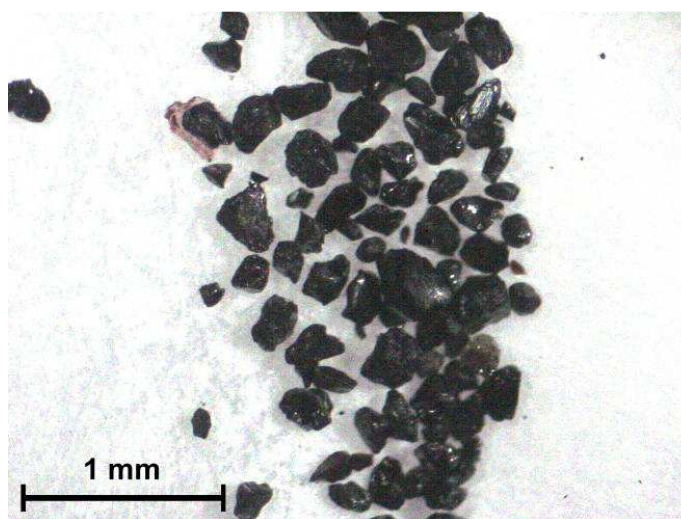


Рис. 6. Зерна ильменита из современных пляжевых отложений п-ова Средний
Fig. 6. Ilmenite grains in contemporary beach deposits from the Sredny Peninsula

Рутил встречается в виде тонкопризматических кристаллов, иногда с тонкой вертикальной штриховкой на гранях призмы. Обломки зерен средней окатанности и имеют палочковидную форму. Реже наблюдаются угловатые, неправильные зерна. Размер зерен варьирует от 0,1 до 0,25 мм, при преобладающем размере 0,12 мм (рис. 7).

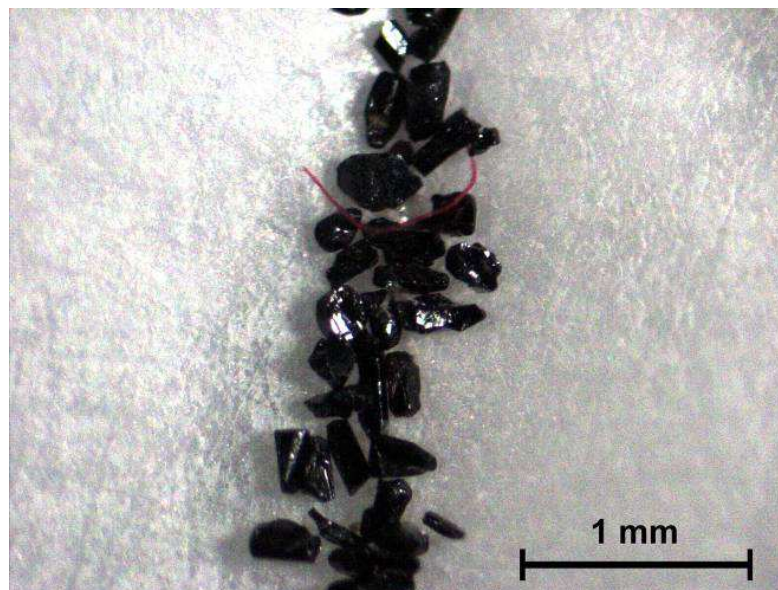


Рис. 7. Зерна рутила из современных пляжевых отложений п-ова Средний
Fig. 7. Rutile grains in contemporary beach deposits from the Sredny Peninsula

Кроме того, в отдельных пробах в незначительных количествах встречаются сфен (титанит) и лейкоксен. Их содержание не превышает 0,4 %.

Среди минералов циркония диагностирован *циркон*. Он встречается в отдельных шлихах, содержание его незначительно и колеблется от 0,15 до 0,6 %.

В целом минералогический анализ шлиховых проб показал, что в исследуемой литоральной зоне не происходит значительной концентрации тяжелых минералов.

Палеогеографические обстановки накопления пород

Общеизвестно, что для формирования значимых россыпных концентраций благоприятны мелководные обстановки осадконакопления и гумидный климат, способствующий развитию процессов выветривания пород и, как следствие, "вскрытию" россыпеобразующих минералов.

Согласно методике Е. П. Акульшиной [13] реконструкцию палеоклиматических условий накопления пород возможно восстанавливать по количественным соотношениям Al_2O_3/TiO_2 в глинистой фракции. Проведенный анализ соотношения Al_2O_3/TiO_2 в пелитах показал, что в течение формирования пород кильдинской серии господствовал гумидный тип климата, и лишь небольшая его аридизация отмечается в течение накопления отложений палвинской и каруярвинской свит (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика палеоклиматов в течение накопления отложений кильдинской серии
Table 1. Paleoclimate characteristics during accumulation of Kildin Group

| Свита | Отношение Al_2O_3/TiO_2 в пелитах | |
|-----------------|-------------------------------------|---------------------|
| | Климат | |
| | гумидный (< 20) | семиаридный (20–30) |
| Каруярвинская | – | 22 |
| Землепахтинская | 15 | – |
| Поропеллонская | 15 | – |
| Палвинская | – | 21 |
| Пряярвинская | 18 | – |

Геохимические параметры, рассчитанные по методике А. А. Предовского [14] и Е. П. Акульшиной [13], позволяют охарактеризовать интенсивность процессов выветривания в областях сноса и дифференциацию вещества в бассейне седиментации.

Из данных, приведенных в табл. 2, можно заключить, что показатели интенсивности выветривания, дифференциации и зрелости глинистого вещества в течение накопления отложений кильдинской серии

характеризовались достаточно высокими значениями, т. е. существовали благоприятные условия для формирования концентраций россыпеобразующих минералов.

Таблица 2. Параметры интенсивности выветривания, дифференциации и зрелости терригенных пород кильдинской серии

Table 2. Weathering intensity, differentiation and maturity parameters of terrigenous rocks of Kildin Group

| Свита | Интенсивность выветривания w | Интенсивность дифференциации d | Степень зрелости глинистого вещества | |
|-----------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------|
| | | | Al_2O_3/Na_2O | K_2O/Na_2O |
| Каруярвинская | 120 | 3,0 | 100 | 3,3 |
| Землепахтинская | 75 | 1,7 | 15 | 3,2 |
| Поропелонская | 55 | 1,6 | 11 | 2,5 |
| Палвинская | 80 | 2,8 | 15 | 3,4 |
| Пяряярвинская | 70 | 1,5 | 11 | 2,8 |

Главными поставщиками россыпеобразующих рудных формаций титана считаются породы габбро-пироксенитовых серий, а циркониевых минералов – прежде всего щелочные гранитоиды. Все вышеперечисленные разновидности пород неогарейского и палеопротерозойского возраста широко распространены в пределах всего Балтийского щита и Кольского региона в частности. Партнерство в россыпях Ti-Zr минералов – это уникальное и вместе с тем закономерное явление; два элемента (Ti и Zr) с резко различной магматической минералообразующей историей в ходе экзогенной переработки эндогенных источников объединяются в единую ассоциацию [3].

Заключение

В результате проведенных исследований можно сделать выводы:

1. Линзы и пласты с Ti-Zr минерализацией приурочены исключительно к литоральным (пляжевым) фациям землепахтинской свиты, распространенным в пределах западной и центральной части п-ова Средний, поскольку именно здесь в неогарейское время в пляжной зоне за счет воздействия волн происходила наиболее интенсивная дифференциация обломочного материала и тем самым создавались благоприятные условия для формирования россыпей.

2. В отложениях землепахтинской свиты основными носителями циркониевой минерализации является циркон, а титановой – лейкоксен, представляющий собой продукт поверхностного изменения различных титановых минералов, и прежде всего ильменита.

3. Основными источниками поставки минералов Ti и Zr в бассейн седиментации в неогарейское (позднерифейское) время, вероятнее всего, служили гранито-гнейсовые комплексы неогарей и формации ультраосновных-основных пород палеопротерозоя Кольского региона.

4. Анализ палеогеографической обстановки свидетельствует о том, что почти все породы кильдинской серии накапливались в мелководных условиях при господстве гумидного климата и интенсивном выветривании в областях сноса. Следовательно, несмотря на то, что россыпные концентрации обнаружены лишь на землепахтинском уровне, весь разрез кильдинской серии следует считать перспективным с точки зрения обнаружения значимых россыпных концентраций.

5. В современных россыпях литоральной зоны п-ова Средний и мыса Мотка п-ова Рыбачий главными носителями Ti являются ильменит и рутил, а Zr – циркон. Незначительная концентрация тяжелых минералов (в том числе минералов Ti и Zr) в современных пляжевых отложениях связана со слабостью процесса выветривания в четвертичное время в пределах Балтийского щита и скоплением в литоральной зоне большого количества грубообломочного материала, препятствующего дифференциации среднеобломочного материала (песков) волновым воздействием.

Благодарности

Авторы выражают благодарность инженерам лаборатории сепарации вещества и первичной обработки проб ФГБУН Геологический институт КНЦ РАН В. И. Басалаевой, А. Б. Калачёвой, Н. Г. Орешковой за проведение минералогического анализа.

Библиографический список

1. Негруца В. З. Стратиграфия гиперборейских отложений п-вов Среднего, Рыбачьего и о-ва Кильдин // Проблемы геологии докембрия Балтийского щита и покрова Русской платформы : тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер. Т. 175. 1971. С. 153–186.
2. Негруца В. З., Басалаев А. А., Чикирёв И. В. Баренцевоморский фосфоритовый бассейн. Апатиты : КНЦ РАН, 1994. 116 с.
3. Шило Н. А. Учение о россыпях : Теория россыпеобразующих рудных формаций и россыпей. Владивосток : Дальнаука, 2002. 576 с.

4. Беккер Ю. Р., Негруца В. З., Полевая Н. И. Возраст глауконитовых горизонтов и верхней границы гиперборея восточной части Балтийского щита // Доклады АН СССР. 1970. Т. 193, № 5. С. 1123–1126.
5. Любцов В. В., Михайлова Н. С., Предовский А. А. Литостратиграфия и микрофоссилии позднего докембрия Кольского полуострова. Апатиты : КНЦ АН СССР, 1989. 129 с.
6. Samuelsson J. Biostratigraphy of Kildin Island and Sredni Peninsula: preliminary results // Norwegian-Russian Collaboration Programme "North Area", 1-st International Barents Symposium (Abstracts), 21–24 October, 1993, Kirkenes, Norway. Abstract Volume. P. 39.
7. Крылов И. Н., Любцов В. В. Строматолитовые бигермы острова Кильдин // Природа и хозяйство Севера. 1976. Вып. 4. С. 50–56.
8. Raaben M. E., Lyubtsov V. V. Stromatolites on Kildin Island, Kanin Peninsula (Russia) and Grasdalen Formation and Porsanger Dolomite (Northern Norway) // Norwegian-Russian Collaboration Programme "North Area", 1-st International Barents Symposium, 21–24 October, 1993, Kirkenes, Norway. Abstract Volume. P. 33.
9. Медведев П. В., Войтеховский Ю. Л., Чаженгина С. Ю., Чикирёв И. В. О возрасте отложений полуостровов Средний, Рыбачий и острова Кильдин (Кольский регион) в связи с находкой пластовых строматолитов // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19, № 1/1. С. 89–100.
10. Келлер Б. М., Соколов Б. С. Поздний докембрий севера Мурманской области // Доклады АН СССР. 1960. Т. 133, № 5. С. 1154–1157.
11. Беккер Ю. Р. Молассы докембрия. Л. : Недра. Ленингр. отд-ние, 1988. 288 с.
12. Чикирёв И. В. Литогенетическая корреляция верхнедокембрийских отложений Кольского региона и Barents Sea Region (п-ов Варангер, Северная Норвегия) // Наука и образование–2013 : мат. междунар. науч.-техн. конф., Мурманск, 4–11 марта 2013 г. Мурманск : МГТУ, 2013. С. 386–389. URL: <http://www.mstu.edu.ru/science/actions/conferences/files/nio2013-9.pdf>.
13. Акульшина Е. П. Методика определения условий выветривания, осадконакопления и постседиментационных преобразований по глинистым минералам // Глинистые минералы как показатели условий литогенеза / отв. ред. Е. П. Акульшина. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1976. С. 9–37. (Труды Института геологии и геофизики / АН СССР. Сиб. отд-ние; Вып. 223).
14. Предовский А. А. Реконструкция условий седиментогенеза и вулканизма раннего докембрия. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1980. 152 с.

References

1. Negrutsa V. Z. Stratigrafiya giperboreyskih otlozheniy p-vov Srednego, Rybachego i o-va Kildin [Stratigraphy of hyperborean sediments of Sredny, Rybachy peninsulas and Kildin island] // Problemy geologii dokembriya Baltiyskogo schita i pokrova Russkoy platformy : tr. VSEGEI. Nov. ser. V. 175. 1971. P. 153–186.
2. Negrutsa V. Z., Basalaev A. A., Chikiriyov I. V. Barentsevomorskiy fosforitovy basseyн [Barents Sea phosphorite basin]. Apatity : KNTs RAN, 1994. 116 p.
3. Shilo N. A. Uchenie o rossypanyah : Teoriya rossyepobrazuyuschih rudnyh formatsiy i rossyepye [Teaching on placers deposits: the placer-forming ore associations and generation theory]. Vladivostok : Dalnauka, 2002. 576 p.
4. Bekker Yu. R., Negrutsa V. Z., Polevaya N. I. Vozrast glaukonitovyh gorizontov i verhney granitsy giperboreya vostochnoy chasti Baltiyskogo schita [Age of glauconitic horizons and upper boundary of the Hyperborean of the Baltic Shield eastern part] // Doklady AN SSSR. 1970. V. 193, N 5. P. 1123–1126.
5. Lyubtsov V. V., Mihaylova N. S., Predovskiy A. A. Litostratigrafiya i mikrofossilii pozdnego dokembriya Kolskogo poluostrova [Lithostratigraphy and microfossils of Late Precambrian of the Kola Peninsula]. Apatity : KNTs AN SSSR, 1989. 129 p.
6. Samuelsson J. Biostratigraphy of Kildin Island and Sredni Peninsula: preliminary results // Norwegian-Russian Collaboration Programme "North Area", 1-st International Barents Symposium (Abstracts), 21–24 October, 1993, Kirkenes, Norway. Abstract Volume. P. 39.
7. Krylov I. N., Lyubtsov V. V. Stromatolitovye bigermy ostrova Kildin [Stromatolitic bigherms of Kildin Island] // Priroda i hozyaystvo Severa. 1976. Vyp. 4. P. 50–56.
8. Raaben M. E., Lyubtsov V. V. Stromatolites on Kildin Island, Kanin Peninsula (Russia) and Grasdalen Formation and Porsanger Dolomite (Northern Norway) // Norwegian-Russian Collaboration Programme "North Area", 1-st International Barents Symposium, 21–24 October, 1993, Kirkenes, Norway. Abstract Volume. P. 33.
9. Medvedev P. V., Voytehovskiy Yu. L., Chazhengina S. Yu., Chikiriyov I. V. O vozraste otlozheniy poluostrovov Sredniy, Rybachiy i ostrova Kildin (Kolskiy region) v svyazi s nahodkoy plastovyh stromatolitov [About the age of sediments from Sredni, Rybachy Peninsulas and Kildin Island (Kola region) in connection with the finding of strata stromatolites] // Vestnik MGTU. 2016. V. 19, N 1/1. P. 89–100.
10. Keller B. M., Sokolov B. S. Pozdny dokembriy severa Murmanskoy oblasti [Late Precambrian of the northern Murmansk region] // Doklady AN SSSR. 1960. V. 133, N 5. P. 1154–1157.
11. Bekker Yu. R. Molassy dokembriya [Precambrian molasses]. L. : Nedra. Leningr. otd-nie, 1988. 288 p.

12. Chikiryov I. V. Litogeneticheskaya korrelyatsiya verhnedokembriyskikh otlozheniy Kolskogo regiona i Barents Sea Region (p-ov Varanger, Severnaya Norvegiya) [Lithogenetical correlation of Upper Precambrian deposits of Kola Region and Barents Sea Region (Varanger Peninsula, North Norway)] // *Nauka i obrazovanie–2013 : mat. mezhdunar. nauch.-tehn. konf., Murmansk, 4–11 marta 2013 g. Murmansk : MGTU, 2013. P. 386–389. URL: <http://www.mstu.edu.ru/science/actions/conferences/files/nio2013-9.pdf>.*

13. Akul'shina E. P. Metodika opredeleniya usloviy vyvetrivaniya, osadkonakopleniya i postsedimentatsionnykh preobrazovaniy po glinistym mineralam [Methods of determination the weathering conditions, sediments accumulation and postsedimentation transformation using the clay minerals] // *Glinistye mineraly kak pokazateli usloviy litogeneza / otv. red. E. P. Akul'shina. Novosibirsk : Nauka. Sib. otd-nie, 1976. P. 9–37. (Trudy Instituta geologii i geofiziki / AN SSSR. Sib. otd-nie; Vyp. 223).*

14. Predovskiy A. A. Rekonstruktsiya usloviy sedimentogeneza i vulkanizma rannego dokembriya [Reconstruction of sedimentogenesis' and volcanism conditions in Early Precambrian]. L. : Nauka. Leningr. otd-nie, 1980. 152 p.

Сведения об авторах

Чикирёв Игорь Владимирович – мкр Академгородок, 50а, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Апатитский филиал Мурманского государственного технического университета, кафедра геологии и полезных ископаемых, канд. геол.-мин. наук, доцент, профессор; Геологический институт КНЦ РАН, науч. сотрудник; e-mail: officeaf@afmgtu.apatity.ru

Chickiryov I. V. – 50a, Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Apatity Branch of Murmansk State Technical University, Department of Geology and Mineral Resources, Cand. of Geol. & Miner. Sci., Associate Professor, Professor; Geological Institute KSC RAS, Research Fellow; e-mail: officeaf@afmgtu.apatity.ru

Войтеховский Юрий Леонидович – ул. Ферсмана, 14, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Геологический институт КНЦ РАН, д-р геол.-мин. наук, профессор, директор; e-mail: woyt@geoksc.apatity.ru; Апатитский филиал Мурманского государственного технического университета, зав. кафедрой геологии и полезных ископаемых

Voytekhovsky Yu. L. – 14, Fersmana Str., Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Geological Institute KSC RAS, Dr of Geol. & Miner. Sci., Professor, Director; e-mail: woyt@geoksc.apatity.ru; Apatity Branch of Murmansk State Technical University, Head of the Department of Geology and Mineral Resources

I. V. Chickiryov, Yu. L. Voytekhovsky

Ti-Zr placer mineralization in Neoproterozoic (Upper Riphean) rocks of Kildin Formation and in contemporary beach sands of Sredny and Rybachy Peninsulas, Kola Region

Concentration mechanisms of titanium-zirconium placer mineralization in Neoproterozoic terrigenous rocks of Zemlepkhtinskaya Formation, Kildin Group, and in contemporary beach deposits from Sredny Peninsula and Motka Cape from Rybachy Peninsula (Kola region) have been considered in the paper. It has been shown that the rocks of Zemlepkhtinskaya Formation are facially variable. The shallow littoral facies are confined to the western and central parts of Sredny Peninsula, the deeper sublittoral facies are confined to the eastern part of Sredny Peninsula and to Motka Cape of Rybachy Peninsula. It has been established that lenses and beds with titanium-zirconium placer mineralization occur solely in littoral facies. The ore minerals in aleurite-psamite of Zemlepkhtinskaya Formation are represented by leucoxene, rutile and zircon, and in contemporary beach deposits – by ilmenite, rutile and minor zircon. Paleogeographic reconstruction indicates that almost all deposits of Neoproterozoic (Upper Riphean) Kildin Group were accumulated in shallow (littoral and sublittoral) environment during dominant humid climate and intense weathering of source area. Thus, not only deposits of Zemlepkhtinskaya Formation, but also the whole succession of Kildin Group can be regarded perspective for placers' accumulation. The low grade of heavy minerals (mainly Ti and Zr minerals) in contemporary beach deposits from Sredny Peninsula and Motka Cape from Rybachy Peninsula is related to weak weathering of the Baltic Shield during Quaternary and to accumulation of coarse debris in littoral zone, preventing the differentiation of sand by wave action.

Key words: Riphean, Upper Proterozoic successions, Neoproterozoic successions, Ti-Zr placer mineralization, Sredny Peninsula, Rybachy Peninsula, Kola Region.